

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](https://cnum.cnam.fr))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Revue technique de l'Exposition universelle de 1900. Texte
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1900
Numérotation	1, 1900 - 14, 1901
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1900-1901
Collation	14 vol. ; in-8
Nombre de volumes	14
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 585
Sujet(s)	Exposition universelle (1900 ; Paris)
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE585
LISTE DES VOLUMES	
	1. Première partie. Architecture et construction. Tome I
	2. Deuxième partie. Matériel et procédés généraux de la mécanique. Tome I
	3. Deuxième partie. Matériel et procédés généraux de la mécanique. Tome II
	4. Deuxième partie. Matériel et procédés généraux de la mécanique. Tome III
	5. Troisième partie. Électricité. Tome I
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	6. Quatrième partie. Génie civil. Tome I
	7. Quatrième partie. Génie civil. Tome II
	8. Cinquième partie. Moyens de transport
	9. Sixième partie. Génie rural et industries agricoles et alimentaires. Tome I
	10. Sixième partie. Génie rural et industries agricoles et alimentaires. Tome II
	11. Septième partie. Mines et métallurgie. Tome I
	12. Huitième partie. Industries textiles
	13. Neuvième partie. Industries chimiques et diverses
	14. Dixième partie. Armées de terre et de mer

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1900
Volume	6. Quatrième partie. Génie civil. Tome I
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1901
Collation	1 vol. (960 p.) : ill. en noir et blanc ; 27 cm
Nombre de vues	972
Cote	CNAM-BIB 8 XAE585.6
Sujet(s)	Exposition universelle (1900 ; Paris) Approvisionnement en eau -- Technique -- 19e siècle Génie civil -- 19e siècle
Thématique(s)	Expositions universelles
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	06/10/2010
Date de génération du PDF	06/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/152558152
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE585.6

REVUE TECHNIQUE
DE
L'EXPOSITION UNIVERSELLE
DE 1900

COURBEVOIE

IMPRIMERIE E. BERNARD ET C^{ie}

14, RUE DE LA STATION, 14

BUREAUX A PARIS, 29, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

70 796

2 X 100 536

Revue Technique

DE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

DE 1900

*Par un Comité d'Ingénieurs,
d'Architectes, de Professeurs et de Constructeurs*

Directeur

CH. JACOMET*

DIRECTEUR-INGÉNIEUR DES POSTES ET TÉLÉGRAPHES
DIRECTEUR
DE L'ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE
EN RETRAITE

QUATRIÈME PARTIE

—
Génie civil

—
TOME I

PARIS

E. BERNARD & C^{ie}, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

29, Quai des Grands-Augustins, 29

—
1901

L'ALIMENTATION EN EAU

ET

L'ASSAINISSEMENT DES VILLES

à

L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900

COMPTE RENDU DES DERNIERS PROGRÈS ET DE L'ÉTAT
ACTUEL DE LA SCIENCE SUR CES QUESTIONS

PAR LE

D^r Ed. IMBEAUX

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES

DIRECTEUR DU SERVICE MUNICIPAL DE NANCY

LAURÉAT DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

INTRODUCTION

Coup d'œil rapide sur l'Exposition d'hygiène (Paris 1900).

La place que tient l'hygiène publique à l'Exposition de 1900 n'est pas grande. Elle paraît plus petite encore si on la compare au développement donné à l'exposition des Armées de terre et de mer, dans un immense palais qui — contraste frappant — daigne abriter dans une aile modeste la principale partie de l'exposition d'hygiène. Serait-ce donc que pendant tant de siècles écoulés l'homme aurait mieux appris à détruire qu'à conserver sa santé et sa vie ?

Cependant ce XIX^e siècle qui expire a apporté à l'humanité l'espoir qu'il n'en sera pas toujours ainsi : d'une part, les penseurs et — ce qui vaut mieux encore — les monarques eux-mêmes organisent des congrès pour proscrire le fléau de la guerre ; d'autre part, les savants ont établi sur une base solide et définitive les fondements de la science hygiénique, si peu étudiée et si peu connue jusqu'ici. Aussi est-ce, avec cet espoir au cœur, que le visiteur salue au seuil de l'exposition d'hygiène les grandes figures de Pasteur, de Koch et de Pettenkofer, les fondateurs de la nouvelle science.

Et tout d'abord aux pieds du Maître, voici toute son œuvre, toute l'histoire de ses travaux et de ses découvertes : c'est là, avec celle des Pays-Bas, fiers de l'invention du microscope, la seule exposition rétrospective qu'on rencontre. Puis à côté de là, voici le monde nouveau découvert par Pasteur et par ses élèves, grâce à la lunette de Leuwenhoeck : deux vitrines à l'entrée montrent la collection des bactéries, des moisissures, des algues, en un mot de ces infiniment petits qui jouent pourtant un si grand rôle dans l'univers (décomposition des corps organisés, fermentations, maladies infectieuses, etc...). Ce monde n'est pas complètement connu, puisque nous ignorons encore le microbe spécifique de bien des maladies ; mais la voie est tracée, la méthode découverte, les milieux de culture et les instruments préparés (il suffit pour s'en convaincre de jeter les yeux sur les collections d'instruments et de procédés de laboratoire), et les travailleurs de demain se chargeront de nous apprendre le reste.

Après ces généralités relevant plutôt de la science pure, nous espérons voir de nombreuses applications à l'hygiène publique, et notamment à la salubrité des Villes. En ce qui regarde ce dernier point, il eût été fort intéressant de rassembler et de comparer les travaux et les efforts faits — particulièrement dans ce dernier quart de siècle — par toutes les grandes cités du monde civilisé pour protéger la santé et assurer le bien-être de leurs habitants, en mettant en pratique les progrès si rapides de la théorie. Malheureusement peu de villes — peu de villes françaises surtout — ont exposé leur situation hygiénique et décrit leur outillage pour s'alimenter en eau, évacuer leurs immondices, désinfecter les logements et objets contagionnés, enrayer les épidémies. De plus, toute l'exposition d'hygiène est loin d'être réunie en un seul groupe comme l'était, par exemple, l'exposition spéciale de 1893 : elle est comme coupée en tronçons et dispersée aux quatre coins du vaste champ de foire, en sorte qu'il est difficile dans ces conditions de s'en faire une bonne idée d'ensemble.

C'est ainsi qu'on ne trouve autour du salon Pasteur que quatre salles exigües où les nations étrangères — l'Allemagne surtout — n'ont pu faire tenir leur exposition : elles ont donc dû transporter au Champ de Mars, le long de l'avenue de Suffren, la plupart des modèles, plans et ouvrages exposés. Encore tout n'est-il pas au premier étage de l'extrémité droite de la galerie des Machines : les villes de Belgique et d'Italie, la ville de Berlin, certains modèles anglais sont au rez-de-chaussée de la galerie latérale, les villes de Budapest et de Vienne au premier étage

de la même galerie, leurs expositions confondues dans celles des classes 28 et 29 (Génie civil et Travaux Publics). De son côté, la ville de Paris a un pavillon spécial sur la rive droite de la Seine près du pont des Invalides : ici comme déjà en 1889 et 1895 (Paris) et 1898 (Madrid) les questions d'adduction d'eau et d'assainissement sont traitées largement et magnifiquement, et c'est précisément ce qui nous fait regretter de ne pas voir à côté les expositions similaires que de nombreuses villes françaises et étrangères auraient pu organiser. (Ajoutons que le service des Eaux et Assainissement de Paris vient de publier à l'occasion de l'Exposition un magnifique ouvrage, qui fait connaître en détail la situation de la Ville à ce jour.)

Enfin, on trouve encore par-ci par-là des données intéressant l'hygiène :

Dans le palais des Armées de terre et de mer et dans les pavillons des Colonies, des appareils relatifs à l'hygiène militaire et à l'hygiène coloniale ;

Dans le palais des Congrès et de l'Économie sociale, l'exposition des villes de Suède, puis des documents concernant les cités ouvrières et les sanatoria ;

Dans les salles de l'Agriculture allemande, des appareils de contrôle des denrées alimentaires ;

Dans des annexes, en bordure de l'avenue de la Bourdonnais, des appareils de filtration en grand (ozone, peroxyde de chlore) et d'épuration des eaux ;

Enfin à Vincennes des types de maisons ouvrières ⁽¹⁾ et du matériel de voirie.

L'hygiène industrielle est plus largement représentée : nombreux sont les filtres domestiques, grands et petits, de tous systèmes ; nombreux également les baignoires, chauffe-bains et douches ; puis les siphons, tuyaux salubres, réservoirs de chasse, etc... Un autre groupe bien fourni aussi est celui des appareils de chauffage et de ventilation. Enfin, on trouve dans les sections de Mécanique et de Métallurgie les engins et outils utilisés pour les recherches et distributions d'eau : tuyaux, pompes, appareils de forage et de sondage, etc.

Si maintenant, au milieu de cet éparpillement, nous nous arrêtons seulement aux documents et modèles relatifs aux distributions d'eau

(1) Voir Tome II, de la 1^{re} Partie, p. 1.

et à l'assainissement des villes, nous aurons dans l'énumération ci-dessous à peu près tout ce qu'il y a d'intéressant pour chaque pays.

I. — FRANCE.

Aucune donnée d'ensemble si ce n'est une carte indiquant la mortalité moyenne par fièvre typhoïde durant la période de 1889 à 1898 dans une cinquantaine de villes, ainsi que le détail pour les arrondissements de Paris et les localités du département de la Seine (un peu plus loin on voit que pour 229 villes réunies, représentant 10 millions et demi d'habitants, cette mortalité qui était en 1886 de 0,53 par mille habitants serait tombée à 0,27 en 1898).

La Ville de Paris, comme nous l'avons déjà dit, a une belle exposition. Comme choses nouvelles, nous y trouvons : Le plan en relief des captations des sources du Loing et du Lunain et les photographies des travaux faits pour leur adduction ; des données relatives aux bassins filtrants d'Ivry et de Saint-Maur et aux usines élévatoires qui y sont adjointes ;

Des vues et des modèles des usines de Clichy, de Colombes et de Pierrelaye pour l'élévation des eaux d'égouts en vue de l'épandage, — des tronçons des aqueducs et siphons construits pour la conduite de ces eaux, — une vue panoramique du domaine agricole d'Achères, etc.

Des appareils pour le désablement et le dévasement des égouts, savoir :

Le bateau-vanne ou plutôt le wagon-vanne, déjà connu depuis assez longtemps, mais auquel on a adapté une locomotive électrique à trolley comme moteur ;

Une grue avec drague, roulant sur les bords de la cuvette ;

Une drague avec locomotive hydro-électrique, glissant sur des rails pendus à la voûte et laissant passer sous elle les wagons qui, également mus par l'électricité, sont chargés d'emmener les produits du dragage ;

Des engins pour enlever les fumiers et corps flottants, ainsi que pour retenir et draguer les corps lourds à l'arrivée des eaux d'égout aux usines et avant leur élévation : grille avec râteau et transporteur automatiques, bassins de dégrossissage avec dragues à mâchoires et ponts-roulants ;

Des réservoirs et siphons de chasse automatiques ;

Des hydro-élévateurs (systèmes Adams, Salmson, Shone, Samain, Thirion, etc.) ;

La Ville de Reims, qui exposait déjà en 1889 les projets d'épuration de ses eaux d'égout, montre aujourd'hui un plan en relief de ses champs d'épandage (600 hectares exploités par la Compagnie des Eaux Vannes). On trouve également un remarquable avant-projet pour l'assainissement intérieur de la Ville, dressé suivant le type du *système séparatif* par M. l'ingénieur en chef Bourguin.

Marseille a également réalisé son assainissement en exécutant le projet Cartier déjà exposé en 1889 et consistant à envoyer à la mer les produits du *tout à l'égout*, par un émissaire de 12 kilomètres de longueur : la dépense a été de 33 millions et demi.

Toulon n'expose encore qu'un projet : les eaux d'égout seraient relevées par des éjecteurs hydropneumatiques, système Shone, et envoyées à une usine d'épuration.

Amiens, Saint-Étienne, Boulogne-sur-Mer montrent simplement le fonctionnement et les travaux de leurs bureaux municipaux d'hygiène.

Enfin la *Compagnie générale des Eaux*, 52, rue d'Anjou, qui, déjà chargée de la régie des eaux de Paris, exploite les distributions d'eau d'un certain nombre de villes françaises, a exposé :

- 1° L'ensemble des plans des distributions d'eau de ces villes ;
- 2° Cinq modèles relatifs à l'épuration des eaux de rivière par la filtration en grand, aidée de l'emploi de fer métallique (procédé Anderson) : plans en relief de l'usine de Choisy-le-Roi et de celle du col de Villefranche, revolver, chambre de manœuvre pour le réglage du débit des filtres, appareil pour le lavage mécanique du sable ;
- 3° Une réduction des réservoirs en fer et ciment construits à Châtillon (4 000 m³ de capacité) ;
- 4° Un certain nombre d'appareils spéciaux, et notamment un clapet multiple pour conduites de refoulement créé par la maison Chappée, du Mans, sur les indications de la Compagnie ;
- 5° Enfin une magnifique notice rendant compte, avec vues photographiques à l'appui, des installations de la Compagnie en France. Nous en donnons ci-dessous le résumé sous forme de tableau :

Noms des agglomérations desservies	Nombre d'habitants	Volume d'eau distribuée par jour mètres cubes	Nature de l'eau distribuée	
Banlieue de Paris	Départ. de la Seine (62 communes) . . .	689 726	Eau de rivière filtrée (en outre, puits du Vésinet et quelques sources).	
	Départ. de Seine-&Oise (67 communes)	150 197		
	Départ. de Seine-&Marne (2 communes)	5 072		
Lyon	466 000	170 000	Galeries et puits filtrants au bord du Rhône.	
Banlieue de Lyon (22 communes)	80 000	13 000 <small>au minimum</small>	Puits filtrants au bord du Rhône.	
Villefranche-sur-Saône	12 205	1300 à 2000 3000 à 6000	Eau de sources. Eau (industrielle) d'un puits filtrant au bord de la Saône.	
Nice et littoral	Service de Nice et Villefranche-s/-Mer	93 760	1 500	Eau des sources de Sainte-Thècle (un peu d'eau de la nappe sous le Paillon et un peu d'eau de la Vésubie).
	Service d'Antibes	7 à 8 000	?	Eau de sources.
	Service du Lauron (communes de Colle, Cagnes et Villeneuve-Loubet)	3 à 4 000	?	Eau de sources.
	Service de Vence	3 043	?	Eau de sources.
	Service de la Vésubie (littoral de Villefranche à Menton et y compris Monaco).	65 000	?	Eau de rivière filtrée.
Toulon et la Seyne	95 276	14 000	Source Saint-Antoine et galerie souterraine au puits de Ragas.	
	16 341	2 200		
Hyères	17 708	1 200	Nappe souterraine de la plaine du Gapeau.	
Arcachon	8 221	7 000	Eau du lac Cazaux.	
Ancenis	5 048	1 200	Galerie captante dans une île de la Loire.	
Rennes	69 937	15 000	Sources et drainages des vallées granitiques de la Loisanne et de la Minette.	
Morlaix	16 027	500 à 2000	Sources du chemin de fer.	
Rouen	113 219	1 800 15 000	Eau de rivière (eau indust.) Sources de Fontaine-sous-Préaux et de Darnétal. (Un projet est à l'étude pour amener les sources des Moulineaux. Quelques industries sont alimentées en eau de Seine).	
Sotheville — Petit-Quevilly et Saint-Etienne du Rouvray	34 074	8 500	Eau de Seine avec cuves filtrantes (on pense y distribuer l'eau des sources des Moulineaux).	
Lisieux	16 349	1 800	Eau de sources.	
Elbeuf	20 542	4 500	Source du Mont-Duve.	
Arras	26 144	3 à 5000	Sources du Vivier.	
Boulogne-sur-Mer	46 807	7 000	Sources de Tingry	

II. — ANGLETERRE.

À peu près rien pour ce qui nous concerne; et cependant l'hygiène a fait récemment de grands progrès en Angleterre, puisqu'un tableau nous apprend que la mortalité générale y est passée de 22 ou 23 0/00 en 1860, à 17 0/00 en 1898, et que la mortalité par fièvre typhoïde est de même passée de 0,4 à 0,2 0/00.

Signalons toutefois des modèles des systèmes nouveaux dits biologiques pour l'épuration des eaux d'égout (*sewage*) : c'est d'une part le système Cameron, essayé à Exeter, et utilisant un réservoir septique (*septic tank*) qui est une fosse fermée propre à la pullulation des microbes anaérobies, et d'autre part le système Dibdin, essayé à Barking, Crossness et Sutton et utilisant des bassins ouverts remplis d'un mélange de cailloux, mâchefer, terre cuite, coke et gravier.

III. — ALLEMAGNE.

Exposition beaucoup plus complète et beaucoup plus intéressante, en ce qui concerne notre sujet, que celles des autres pays. De plus, le « K. Gesundheitsamt » a eu soin de dresser et de distribuer un catalogue explicatif, qui nous a été d'un grand secours pour notre étude.

1° *Comptes rendus d'ensemble.*

Une grande carte faisant connaître du même coup, au moyen de signes appropriés, le mode d'alimentation en eau, le volume d'eau disponible par tête et par jour, et le mode d'éloignement des immondices de toutes les villes de l'Empire de plus de 15 000 habitants : la même carte donne encore la mortalité et la natalité dans ces mêmes villes.

Des représentations plastiques et graphiques pour l'appréciation de l'état sanitaire et de la propagation des maladies contagieuses dans l'Empire. (Dans la Prusse seule, la mortalité générale est passée de 27,6 0/00 de 1865 à 1875, à 23,3 de 1890 à 1895, et pour les mêmes périodes la mortalité par fièvre typhoïde est passée de 0,62 à 0,19 0/00).

Pour la Bavière, une carte d'ensemble du royaume bavarois, avec une carte détaillée des environs de Munich indiquant les travaux d'adduction d'eau exécutés par le « K. b. technisches Bureau für Wasserversorgung », ainsi que deux rapports sur ces travaux (de 1878 à 1899).

Pour l'Alsace-Lorraine, une étude extrêmement intéressante

(d'autant plus qu'elle est malheureusement seule de ce genre dans toute l'Exposition) intitulée : « Base géologique des distributions d'eau potable en Alsace-Lorraine, et principaux types hygiéniques des distributions existantes ».

Enfin des représentations cartographiques des pollutions spécifiques de divers cours d'eau (Saale, Elbe, Orla).

2° Travaux des Villes.

Berlin. — Outre les tableaux statistiques donnant la mortalité, la natalité, le bien-être, la criminalité dans la capitale, etc., la ville de Berlin montre :

Un modèle de ses filtres couverts du Müggelsee et des stations élévatoires, avec un tableau donnant le rapport du nombre des bactéries de l'eau brute et de l'eau filtrée ;

Le plan des égouts (système radial, avec une usine élévatoire pour chacun des arrondissements) ;

Le plan d'ensemble des champs d'épuration (*Rieselfelder*), avec un modèle de détail d'un champ ;

Enfin un modèle d'un appareil à nettoyer les égouts (appareil assez semblable au bateau-vanne, avec cette différence qu'il a des roues pour rouler sur le radier et une section épousant latéralement la forme de l'égout, en sorte que l'eau est obligée de passer avec force à la partie inférieure).

Hambourg. — Avec un plan de la ville, deux modèles du mécanisme d'entrée et de sortie de l'eau dans les grands filtres à sable (8000 m² de superficie par bassin), installés à la suite de l'épidémie (classique) de choléra de 1892 ;

Un carton de photographies montrant l'ensemble et les détails des beaux travaux de filtrage et d'adduction d'eau de la ville (filtres du Kaltetehofe, usines élévatoires de Billwaerder-insel et de Rothenburgsort) ;

Un modèle pour le nettoyage des filtres à sable sous une couche de glace (sorte de sac attaché derrière un couteau-râcleur à deux tranchants qu'on fait aller et venir à la surface du sable ; on vide le sac en tirant sur une corde fixée au fond, qui le retourne) ;

Enfin, deux modèles et six dessins de l'établissement d'incinération des ordures ménagères, sur le Bullerdeich.

Cologne. — Un plan général de la ville et de son réseau d'égouts (réseau assez complexe puisqu'une partie va aux champs d'épandage,

une autre se décharge dans le Rhin après dilution et épuration à son passage au travers d'une usine d'épuration en construction, une troisième enfin à niveau trop bas doit être relevée mécaniquement pour être rejetée dans la seconde);

Des profils-types des égouts et tuyaux;

Des détails de construction pour certains points difficiles du trajet des collecteurs;

Un graphique montrant l'infection et l'auto-épuration du Rhin, de Cologne à Volmerswerth (59 kilom.);

Un modèle et des plans du nouvel abattoir et du parc aux bestiaux;

Enfin, un modèle de voiture, système Salubrita (Lehbach), pour enlever les ordures ménagères sans faire de poussière (voiture entièrement close et portant en haut des ouvertures latérales fermées par des valves qui s'écartent et reviennent en place automatiquement au moment du passage de la boîte à ordures).

Brême. — Modèle et dessin du système de filtration double d'après Goetze, appliqué aux eaux potables de la ville.

Halle. — Modèle de l'installation pour l'épuration des eaux d'égout avant leur rejet dans la Saale, système Müller-Nahsen, (puits profonds dans lesquels les eaux usées sont mélangées à du sulfate d'alumine, argile soluble et lait de chaux, et se clarifient en laissant précipiter un dépôt qu'on enlève).

Cassel. — Modèle de l'installation pour l'épuration des eaux d'égout, contenant les matières fécales d'après Hoepfner (série de 5 bassins de décantation où l'écoulement est arrêté ou ralenti à volonté; le premier résidu est envoyé dans un puits et relevé ensuite par des machines pour repasser par les bassins une seconde fois).

Leipzig. — Modèle et dessin du procédé d'épuration des eaux d'égout, système Friedrich, par l'emploi du charbon fourni par la combustion de la vase déposée (première purification par le contact du *sewage* avec le charbon de vase nouvellement brûlé, puis aération sur un champ d'oxydation, enfin filtration intermittente sur un filtre constitué par le charbon de vase);

Modèle et dessins d'un four à combustion, système Friedrich, pour la transformation et l'utilisation des matières fécales par l'obtention d'ammoniaque, d'acide phosphorique et de potasse.

3° *Appareils exposés par leurs inventeurs.*

a) Eaux potables.— Modèle d'un filtre Kroehnke (série de chambres à sable et à eau dans un tambour tournant);

Filtre Kurka ou filtre de pierre pour la filtration en grand (à Vincennes) : l'eau se filtre en passant de bas en haut au travers d'une série de tubes en pierre poreuse fine, assemblés en batteries;

Appareils de stérilisation de l'eau par distillation : système Marke, système Werner von Siemens, système Joseph Nagel (ce dernier comportant une réfrigération subséquente);

Modèles des installations urbaines faites par M. G. Oesten, de Berlin, pour séparer le fer contenu dans les eaux souterraines alimentaires (installation d'Insterburg et de Mittweida).

b) Eaux usées. — Modèle d'un appareil de purification des eaux d'égout par le procédé (biologique) Erich Merten, de Berlin : (après une sédimentation et une filtration préalables, les eaux d'égout sont versées dans des bassins d'oxydation remplis de couches de coke et de gravier);

Modèle d'un appareil purificateur mécanique et automatique système Riensch, avec procédés de transport des boues et impuretés séparées des eaux d'égout (grille et peigne, avec une vis sans fin à la suite);

Modèle, également du même auteur, de puits clarificateurs, avec cribles et appareils pour éloigner la vase, destinés à clarifier complètement le *sewage* (puits profonds en forme d'entonnoirs à la base et renfermant dans leur partie supérieure des batteries de diaphragmes angulaires sur lesquels se dépose la vase);

Modèle d'un appareil pour clarification des eaux d'égout par le procédé Rothe-Degener, dit de l'humus ou de la boue de charbon, et photographies d'installations de ce genre exécutées par W. Rothe et C^{ie} (de Gùsten) pour les villes de Postdam, Spandau, Tegel et Baden-Baden;

Dessins explicatifs du système Eichen (Allgemeine Staedtereinigungsgesellschaft à Wiesbaden) pour la clarification soit des eaux usées, soit des eaux d'alimentation industrielle (après leur passage dans un double réservoir à dépôt, les eaux subissent encore une filtration);

Enfin un modèle de la voiture du système Kinsbruner (la voiture elle-même, déjà vue à l'Exposition de Bruxelles en 1897, se trouve à l'Annexe de Vincennes) pour l'enlèvement sans poussière des ordures

ménagères : le système est appliqué à Berlin depuis 1896, mais il a l'inconvénient d'exiger des bacs spéciaux.

IV. — AUTRICHE-HONGRIE.

Fort peu de chose sur notre sujet.

Une brochure intitulée « Le Service des Ingénieurs sanitaires en Hongrie » et une carte qui est annexée nous font savoir cependant que la Hongrie a depuis 1870 fait de nombreux travaux d'adduction d'eau et d'évacuation des eaux usées, et qu'elle a organisé un service spécial pour ce genre de travaux. Fin 1898, on ne compte pas moins de 244 distributions d'eau, de 900 puits artésiens et de 1500 puits forés récents : le grand nombre des puits artésiens et forés qui trouvent l'eau souterraine à d'assez faibles profondeurs sous la plaine hongroise eût été un sujet bien intéressant pour une étude géologique et hydrologique d'ensemble.

La ville d'*Iglau* (Moravie) a trouvé le moyen d'améliorer sérieusement la température (trop chaude l'été et trop froide l'hiver) de l'eau d'étang-réservoir qui l'abreuve, en la prenant au fond d'une fosse (*Kühlschacht*) de 17^m,30 de profondeur creusée dans l'angle du réservoir, en arrière du barrage : l'eau est ensuite filtrée dans des bassins couverts.

Le filtre Delphin de formes diverses (bouteille se remplissant d'elle-même quand elle est plongée dans l'eau) constitué par une pierre artificielle poreuse appelée « syénite ».

A signaler enfin le système « Koprophor » (brevet Hartwich) à récipients échangeables et fermés pour l'enlèvement et le transport des immondices : il y en a de toutes les formes, il y en a sur deux roues, à bras, et d'autres disposés pour se mettre facilement sur wagon, bateau ou camion ordinaire.

V. — ITALIE.

C'est un des pays qui ont fait les plus grands progrès au point de vue de l'hygiène dans ces derniers temps.

Comme étude d'ensemble, une série de planches montre la situation de chacune des provinces italiennes au point de vue des eaux de boisson, et sur les cartes la situation de chaque commune est figurée par des signes. On y voit la fraction de la population de chaque province

qui est alimentée par des puits, des citernes avec ou sans filtre, des sources amenées du dehors ou nées sur place, des eaux superficielles filtrées ou non ; on y voit aussi que, sur 8262 communes, il y en a 3360 qui, en 1898, avaient fait des adductions d'eau.

Les villes de *Rome*, *Turin*, *Milan*, *Palerme* montrent des photographies de leurs installations de désinfection et de leurs laboratoires bactériologiques.

Milan expose, dans un ouvrage très détaillé de MM. les Ingénieurs municipaux Maserà et Poggi, le plan et le système des nouveaux égouts qu'elle construit : la ville est partagée en quatre zones correspondant aux quatre collecteurs ; on adopte le tout à l'égout unitaire et on développe l'épuration par voie d'épandage commencée depuis si longtemps dans les plaines du Milanais, mais on conserve les nombreux cours d'eau existants pour l'écoulement direct des eaux de pluie.

L'assainissement de Naples, œuvre du professeur Pagliani, mérite aussi grande attention.

Rappelons qu'en 1889, la Compagnie Générale des eaux pour l'étranger a exposé les distributions d'eau de Venise, Naples, Bergame, Vérone et la Spezzia.

VI. — PORTUGAL.

La ville de Porto avait montré en 1889 son adduction d'eau : on ne voit guère cette année que des appareils de désinfection (rendus trop nécessaires par l'apparition de la peste).

VII. — PRINCIPAUTÉ DE MONACO.

Donne de bons exemples à la France sa voisine. Avec une adduction d'eau filtrée dite « de la Vésubie », elle possède le tout à l'égout dans quatre collecteurs allant se déverser dans la mer en des points convenables. (Pour le collecteur de la Condamine, on relève les eaux au moyen d'éjecteurs hydropneumatiques système Shone pour les envoyer dans la baie de Fontvieille et débarrasser le port de Monaco).

Enfin, on vient d'installer quatre cellules Horsfall pour incinérer les gadoues.

VIII. — SUISSE.

Petit pays également très avancé pour l'hygiène.

Une carte d'ensemble montre le plan de défense de la Confédération contre une invasion de choléra ou de peste, avec sa ceinture de laboratoires bactériologiques, de stations d'examen, d'isolement et de désinfection.

Une autre nous montre la répartition de la mortalité par fièvre typhoïde entre les cantons. Il n'est pas de pays où la fièvre typhoïde soit devenue aussi rare : de 0,48 0/00 en 1876, la mortalité typhique est tombée à 0,098 en 1898 ; la mortalité générale était respectivement pour ces deux années de 24,3 et 18,9 0/00.

La ville de *Zurich* expose les résultats de ses filtres à sable couverts qui réduisent à au-dessous de 100 par cm^3 le nombre des germes de l'eau brute.

Elle expose aussi un modèle de ses fours à incinérer les gadoues ; son exemple à ce sujet va être imité par Genève.

IX. — BELGIQUE.

Nous avons regretté que la ville de Bruxelles n'ait pas réédité sa très intéressante exposition de 1897 (captation des eaux souterraines et jeu des serremments, puits du système Putzeys pour la captation des eaux dans les sables bouillants, service des égouts, projet d'usine à incinérer les gadoues).

La Compagnie intercommunale des eaux de l'agglomération bruxelloise expose sa notice sur la dérivation des sources du Bocq, notice déjà parue dans les *Annales des Travaux publics* de Belgique et dans le journal *la Technologie sanitaire*.

La ville de *Spa* expose son plan de distribution d'eau (captée au milieu d'une forêt) et de canalisation d'égouts.

On connaît le procédé Bergé pour la stérilisation des eaux par le peroxyde de chlore (essais d'Ostende) et sa combinaison avec les procédés Howaston pour l'épuration du *sewage*.

X. — PAYS-BAS.

Nous y voyons la répartition du choléra de 1832 à 1867 ; puis une carte détaillée montre d'une façon saisissante l'invasion et la répar-

tition de l'épidémie de 1892 (importé de Hambourg et d'Anvers par bateau et par chemin de fer, le choléra s'est propagé par l'eau de boisson, principalement dans les îles et polders).

La ville d'*Amsterdam* expose le plan de ses installations sanitaires.

Rotterdam donne le résultat de la filtration des eaux de la Meuse dans ses 25 bassins filtrants : l'eau après son passage dans deux bassins de décantation a de 3 000 à 6 000 germes par cm³ et à sa sortie des filtres elle n'en a pas plus que de 70 à 100.

Enfin, il y a un modèle du système Liernur pour l'évacuation des matières fécales des villes, système qui est né en Hollande et a été appliqué récemment à Trouville.

XI. — SUÈDE.

La ville de *Stockholm* fait connaître par des diagrammes les résultats obtenus par son service des eaux, et notamment les effets du filtrage dans les bassins à sable, découverts (avec 30 photographies de microbes des eaux).

Gothembourg montre l'application d'une idée ingénieuse, bien développée dans la brochure de M. l'ingénieur Richert « les Eaux souterraines artificielles ». Elle consiste à renforcer artificiellement une nappe souterraine naturelle, en amenant des eaux superficielles, (prélevées ici à la rivière Goeta elf) dans des bassins d'infiltration, d'où elles gagnent la nappe en s'épurant au travers des terrains traversés : on capte ensuite la nappe renforcée par des puits ou galeries, comme d'ordinaire.

XII. — RUSSIE.

Quelques appareils seulement :

Le filtre électrolytique de Polotz, colonne de sable à travers laquelle on fait passer un courant électrique pour produire de l'ozone ;

La canalisation pneumatique Solodouchine, pour l'assainissement des villes : les matières sont entraînées, puis séchées à 120° et transformées en poudrette.

Le fourneau pour combustion des matières fécales, de Katchourine ;

La garde-ropes Otowck, à fermeture automatique, contenant une

poudre désodorisante et absorbante faite de mousse d'arbre et appelée « towck ».

XIII. — ÉTATS-UNIS.

Pas d'exposition d'ensemble non plus, l'hygiène n'étant pas centralisée et dépendant de chaque État particulier. Mais on trouve de nombreux renseignements sur les eaux et les égouts dans les volumineux bulletins, les cartes et les graphiques émanant des bureaux d'hygiène des États, dans les « Annual Reports of Geological Survey of United States » « part Hydrography » et précédemment « Irrigations », dans les « Annual Reports of Chief of Engineers », dans les nombreux ouvrages des villes, à commencer par le magnifique ouvrage de M. Wegmann « Water supply of the City of New-York », etc.

Il faudrait un siècle pour parcourir tous les ouvrages qui sont exposés dans la section des États-Unis et témoignent ainsi de l'activité colossale des Américains : heureusement que nous connaissions déjà la plupart d'entre eux en ce qui regarde notre sujet.

Après la lecture de cette énumération rapidement descriptive, on n'est, croyons-nous, ni clairement ni complètement édifié sur l'état actuel de cette partie de la science hygiénique que nous étudions : les objets exposés, quel que soit leur mérite intrinsèque, sont trop particuliers et trop épars, les manques et les vides sont trop nombreux et trop considérables pour qu'on puisse bien voir la série complète des résultats obtenus et des procédés mis en œuvre par les Ingénieurs sanitaires des différents pays ⁽¹⁾. Heureusement nos études antérieures,

(1) C'est presque dans les mêmes termes que s'exprimait M. Huet en 1867 dans son rapport sur les mêmes questions à cette Exposition déjà ancienne : il avait été conduit comme nous à étendre le cadre de son mémoire bien au delà des quelques travaux et objets exposés, et c'est ainsi qu'il rendit compte de l'alimentation en eau et de l'assainissement des capitales à cette époque, bien que Londres, Berlin, Vienne, New-York, etc... n'eussent rien envoyé à l'Exposition à ce sujet.

Disons encore qu'en 1878 et 1889 on avait les mêmes lacunes : toujours abondance de filtres, baignoires, tuyaux et autres appareils industriels, mais pénurie de Villes montrant leurs travaux et leurs projets. Nous avons indiqué ci-dessus, en passant, la plupart des villes qui avaient exposé en 1889 ; nous reconnaissons qu'en 1900, l'Exposition est plus complète, mais c'est grâce évidemment à la participation si large de l'hygiène allemande.

les données de la bibliographie et nos relations cordiales avec de nombreux collègues (que nous remercions tous ici en bloc pour les renseignements qu'ils ont bien voulu nous fournir) nous ont permis de suppléer aux lacunes — au moins dans une certaine mesure — et de nous faire une idée générale plus précise. Aussi, au lieu de nous borner à décrire individuellement et isolément les choses vues à l'Exposition, avons-nous pensé qu'il serait plus utile et plus intéressant de passer en revue successivement les différentes subdivisions des questions dont il s'agit, pour signaler, à l'occasion de chacune d'elles, les derniers progrès réalisés, les points qui peuvent à ce jour être regardés comme scientifiquement établis, ceux qui restent à étudier ou à préciser, etc. Bien que nous en suivions l'ordre, ce n'est donc pas un traité didactique que nous entendons écrire (nous n'en aurions pas le temps et d'ailleurs des Maîtres plus autorisés que nous l'ont déjà fait) : aussi en donnant en quelque sorte le bilan ou l'acquis de l'hygiène urbaine à l'aube du nouveau siècle, entendons-nous passer très rapidement sur les choses déjà connues depuis longtemps et ne nous arrêter que sur les conquêtes des 15 ou 20 dernières années, ce qui nous permettra de revenir en détail aux parties de l'Exposition de 1900 qui constituent de véritables nouveautés.

Notre premier chapitre sera consacré à l'alimentation des Villes en eau potable, et le second à leur assainissement.

CHAPITRE PREMIER

Alimentation en eau

§ 1. — Provenance de l'eau.

C'est à la pluie — il est banal de le répéter — que l'homme emprunte l'eau dont il a besoin. Mais il peut prendre l'eau résultant des précipitations atmosphériques à l'une quelconque des étapes successives qu'elle doit parcourir pour retourner à l'Océan; il peut la recueillir dès sa chute en l'emmagasinant et la conservant dans des *citernes*; il peut s'adresser à la fraction qui ruisselle à la surface du sol, en puisant à même aux fleuves, rivières, lacs, étangs, etc.; enfin, il peut recourir aux eaux qui se sont infiltrées dans le sol, soit en les captant à leur émergence (*sources*), soit en allant les chercher dans leurs gîtes souterrains (*nappes*). Nous allons passer en revue ces trois provenances.

1° Eau de pluie : Citernes.

Lors de sa chute, l'eau de pluie (ou de neige) est généralement très pure (c'est-à-dire très pauvre en germes) et très peu minéralisée: elle pourrait donc servir à la boisson de l'homme, si elle se maintenait en cet état et si, en raison même de l'absence de sels, elle n'était désagréable à son palais. Mais, outre qu'il est difficile de recueillir de grandes masses d'eau de pluie d'une manière convenable (elles entraînent en effet toutes les poussières et impuretés qui séjournent sur les toits et autres surfaces de réception), il est plus difficile encore de conserver ces masses, c'est-à-dire d'y empêcher la pullulation de petits animaux, de plantes inférieures et de bactéries qui corrompent l'eau et lui donnent un goût et une odeur insupportables. Aussi les peuples civilisés n'ont-ils recours aux citernes que dans des cas exceptionnels, pour des bâtiments isolés ou dans des régions privées de tout autre moyen de se procurer de l'eau potable: cette solution est donc restée très rare pour les villes d'Europe.

Il n'en est pas de même pour les villes d'Orient : Carthage, Jérusalem, Constantine, etc., avaient ou ont encore des citernes vastes et profondes où l'eau se garde fraîche. Les citernes-filtres de Venise étaient classiques, avant que l'eau de la nouvelle distribution (décrite par la *Revue technique de l'Exposition de 1889*) (1) y ait remplacé l'eau de pluie. Elles étaient constituées (fig. 1) par un bassin tronc-conique, à parois

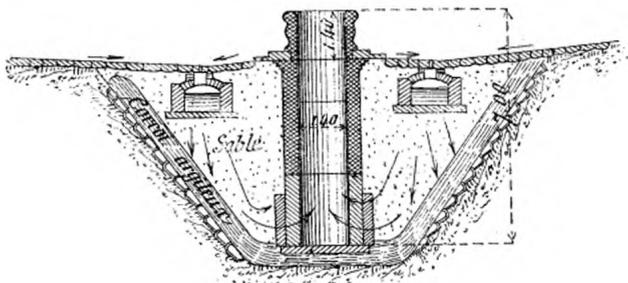


Fig. 1. — Coupe d'une ancienne citerne-filtre de Venise.

étanches, rempli de sable, au milieu duquel s'enfonçait un puits en briques, couronné à sa partie supérieure par une margelle en saillie : l'eau de pluie tombée aux bords sur des surfaces pavées et convenablement inclinées était recueillie dans un petit canal périphérique, d'où elle pénétrait dans le sable et gagnait en se filtrant le fond du puits ; il paraît qu'elle n'était pas fraîche, ce qui se comprend vu le peu de profondeur du tout. Les Ingénieurs de l'Ouest Algérien ont imité Venise, en installant des citernes-filtres semblables loin des centres habités.

Si nous citons le cas de Venise, c'est qu'il met en application une idée qui pourrait être utilisée dans l'avenir, *l'association du filtre ou, si l'on veut, de l'appareil stérilisateur à la citerne ou au réservoir d'emmagasinement*. Aujourd'hui que les opérations de filtration et de stérilisation sont mieux connues, ne serait-il pas possible, soit de conserver stérile l'eau de pluie emmagasinée, soit tout au moins de la stériliser et de lui enlever tout mauvais goût au moment même et au fur et à mesure de sa distribution ? On peut tout d'abord prendre une précaution qui a déjà été recommandée, c'est-à-dire ne recevoir que de l'eau pure (soit qu'on rejette les premières portions de l'averse qui ont lavé les toits et les caniveaux, soit qu'on fasse passer l'eau par un filtre préalable) ; puis, une fois dans la citerne, on devrait lui appliquer un

(1) 1^{re} Partie, Tome I, p. 411.

traitement capable de l'empêcher de se corrompre : ainsi l'addition de faibles quantités de peroxyde de chlore, de permanganate de chaux ou autre substance du même genre, le brassage répété de temps en temps avec de l'air chargé d'ozone, le passage d'effluves électriques à haute tension seraient peut être capables de résoudre le problème.

Bref, il y a là un sujet de recherches pour les inventeurs et une application possible des plus récents procédés de stérilisation : on ne voit pas *a priori* pourquoi l'eau de pluie conservée dans des bassins couverts et profonds serait moins utilisable que celle qui a ruisselé et qu'on retient par des barrages dans des réservoirs à ciel ouvert. Or l'appoint des eaux de pluie qui tombent sur les toits d'une grande ville ne serait pas tout à fait négligeable, ainsi que l'ont montré il y a longtemps déjà Parkes et Fonsagrives : ce dernier auteur évaluait, en 1866, à raison de 152 m² de toiture en moyenne par maison, à 5 millions de m³ (soit 13 700 m³ par jour) la pluie tombant annuellement sur les toits de Paris.

2° Eau souterraine, Sources et Nappes.

GÉNÉRALITÉS. — L'eau qui s'infiltré dans le sol se charge, soit à sa surface, soit dans ses premières couches, d'un grand nombre de germes et d'impuretés de toutes sortes. Heureusement, les couches plus profondes deviennent rapidement aseptiques, et (sauf le cas de fissures béantes) jouent vis-à-vis de l'eau qui les traverse le rôle d'un filtre. Ce filtre est d'autant plus efficace que les pores sont plus fins, et c'est ainsi qu'à une certaine profondeur (4 à 6 m pour du sable) l'eau a pu récupérer sa pureté primitive et se trouver dès lors apte à satisfaire aux besoins de l'homme : ajoutons que durant son contact avec les couches du sol elle se *minéralise*, ce qui lui donne des qualités de *palatibilité*.

L'eau ne descend pas indéfiniment : elle rencontre plus ou moins vite une couche imperméable qui l'arrête et la retient dans les pores ou fissures du terrain perméable sus-jacent ; c'est cette collection qu'on appelle « nappe ». L'eau d'une nappe ne reste pas immobile : le *toit* de la couche imperméable qui lui sert de base étant généralement incliné dans un sens ou dans un autre, le liquide glisse suivant la pente, avec une vitesse plus ou moins grande (cette vitesse dépend, d'une part, de la pente elle-même, et d'autre part, des résistances à l'écoulement provenant du frottement contre les parois des pores et canaux souterrains parcourus). Ce cheminement peut se poursuivre sur des longueurs énor

mes, et on est loin d'en connaître toujours l'aboutissement, lequel n'est autre parfois que l'affleurement terminal des couches dans les profondes fosses océaniques (affleurement par lequel doivent se faire des échanges entre l'eau de mer et l'eau souterraine); mais il arrive souvent aussi qu'il est interrompu, soit par suite de la configuration de la surface dont le niveau permet une réapparition de l'eau à l'air libre, soit par la rencontre de cassures : ces dernières peuvent, ou bien permettre à l'eau de remonter grâce à sa pression hydrostatique, ou bien — ce qui paraît plus fréquent — la faire descendre plus bas, en lui donnant accès à d'autres couches perméables plus profondes.

Il existe d'ordinaire en effet une série de nappes superposées, et on peut dire qu'en pratique toutes les couches perméables de l'écorce du globe sont aquifères à leur base, l'alimentation des nappes inférieures se faisant tant par les affleurements (parfois lointains) des couches constitutives, que par des communications (par cassures ou par déversement) avec les nappes supérieures. De toutes ces nappes, qui sont sous nos pieds, il est tout naturel de distinguer la plus rapprochée de nous, qu'on appelle à volonté *première nappe*, *nappe superficielle*, *nappe phréatique*, *nappe des puits* : c'est évidemment celle à laquelle l'homme a le plus de facilité de puiser et par suite à laquelle il s'adresse de temps immémorial; mais elle a l'inconvénient inverse, c'est d'être la plus facile à polluer et par suite la plus dangereuse pour la santé. Quant aux nappes profondes, ce n'est guère que tout récemment que l'homme, grâce aux progrès de l'art du sondeur et du mineur, a appris à les atteindre. Parmi elles, il faut accorder une mention spéciale à celles qui sont douées d'une forte pression hydrostatique capable de faire remonter l'eau — quand elle trouve issue par un forage ou une fissure — soit jusqu'à la surface, soit du moins jusqu'à son voisinage. Ces nappes sont dites *artésiennes*, ou encore *captives* (parce qu'elles sont généralement enfermées entre deux couches imperméables et remplissent sous pression tout l'espace qui les sépare).

Nous avons vu que les nappes donnaient souvent lieu à des émissions naturelles : ce sont les *sources*. Ces émissions sont sous la dépendance 1° des cassures, failles et fissures qui servent de véritables conduites, pour diriger le mouvement des eaux; 2° des rapports entre le niveau et la topographie de la couche imperméable formant le fond de la nappe et le niveau et la topographie de la surface du sol aux points correspondants. On arrive ainsi à classer les sources en trois catégories.

a) Les sources filoniennes ou diaclasiennes, qui se font grâce à des cassures par lesquelles l'eau remonte des profondeurs à la manière d'un filon. Ces sources sont le plus souvent jaillissantes et constituent l'immense majorité des sources thermo-minérales. La fig. 2 (d'après

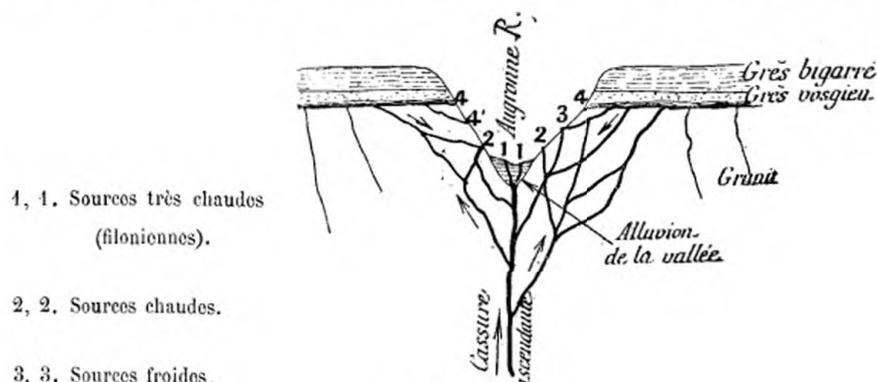


Fig. 2 a. — Coupe.

- 1, 1. Sources très chaudes (filoniennes).
 2, 2. Sources chaudes.
 3, 3. Sources froides.
 4, 4. Sources froides (par déversement aux affleurements).
 4'. Source froide (par déversement d'une cassure).

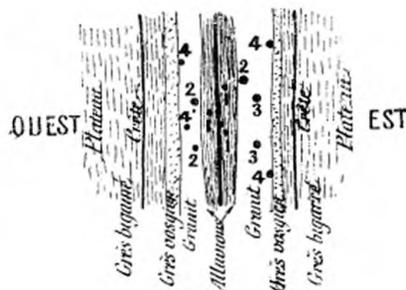


Fig. 2 b. — Plan.

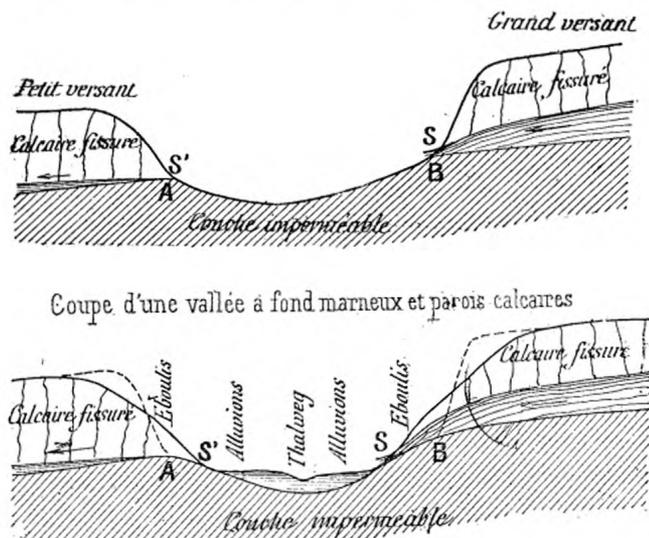
Fig. 2. — Exemple de sources filoniennes (thermales) et de déversement. Coupe et Plan schématiques de la vallée de Plombières.

M. Jutier) montre l'exemple de Plombières, ainsi que le mélange qui se fait entre les eaux thermales et les eaux des nappes superficielles du grès et qui explique les différences de température des sources à différentes hauteurs : la même figure fait comprendre le mode de production des sources de déversement.

b) Les sources de déversement. — Elles se produisent de deux manières : soit (ce qui est le cas le plus fréquent dans les terrains primitifs) au débouché sur les versants des cassures horizontales ou descendantes de la roche, soit aux affleurements à flanc de coteau des couches imperméables et par suite des nappes qu'elles retiennent au-dessus d'elles (sources d'affleurement).

C'est le plus souvent la formation des vallées (vallées d'érosion ou vallées de fracture), qui a mis au jour les fissures drainantes et les af-

affleurements des couches aquifères : aussi les sources de déversement naissent-elles d'ordinaire sur les flancs des vallées et vallons, à des hauteurs qui dépendent précisément de celles des affleurements eux-mêmes (voir fig. 2, 3 et 4). Toutefois, si le toit de la couche imperméable a une certaine inclinaison (qui ne soit pas exactement parallèle à



Le même schéma, en tenant compte des éboulis et des alluvions

Fig. 3. — Sources de déversement (effet de l'inclinaison des couches).

celle de la vallée) il est clair que les deux versants se trouvent dans des conditions très inégales, l'un, le *grand versant*, étant plus favorisé que le *petit versant* (fig. 3 et 4). Disons encore que dans le cas où les terrains perméables sont des terrains fissurés régissant sur de grandes étendues, une fissure peut drainer un vaste territoire (qui dès lors n'a pas de sources) et amener à son abouchement au jour une énorme quantité d'eau : c'est ce genre de source qu'on qualifie — d'après un exemple célèbre — de *vaclusiennes*.

c) Les *sources d'émergence* ou *sources de thalweg*. — Elles se produisent toutes les fois que la surface hydrostatique d'une nappe s'élève librement au-dessus de la surface du sol : l'eau émerge alors au contact des deux surfaces, quelle que soit d'ailleurs la situation du support imperméable de la nappe. C'est le cas des nappes d'alluvion qui accompagnent généralement les cours d'eau, et le cas des nappes dont le support

impermeable se tient en contre-bas de la surface du sol (fig. 5). Les sources de ce genre restent dans le fond des vallées, et comme elles traduisent le niveau supérieur de la nappe, elles s'assèchent successivement, en commençant par les plus élevées, lorsque ce niveau vient à s'abaisser.

Quant à la localisation des sources, il est bien évident tout d'abord qu'elle se fait sans aucune loi et tout à fait irrégulièrement pour les sources de la première catégorie, lesquelles se distribuent au hasard de l'emplacement des cassures adductrices. Il n'en est pas de même pour les autres : elles se placent le plus souvent suivant des *lignes* ou *lieux de sources* qu'il est facile de reconnaître. Les points d'émission sont déterminés, d'une part par l'allure de la surface dont les dépressions (vallées et vallons) attirent les eaux et, d'autre part, par la configuration de la couche imperméable, dont les dépressions (gouttières synclinales, cuvettes, etc.) collectent à leur tour les eaux souterraines et préparent leur issue en masse.

L'importance du volume débité dépend précisément de cette collecte préalable et de l'étendue de la portion de nappe dont

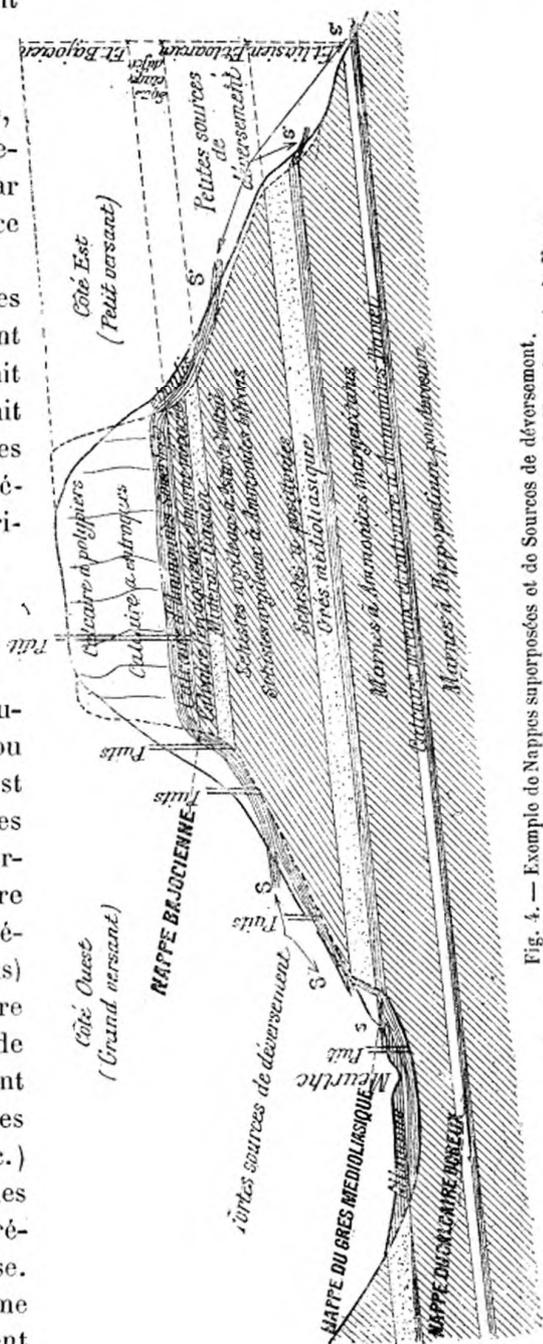


Fig. 4. — Exemple de Nappes surposées et de Sources de déversement. Coupe schématique de l'Est à l'Ouest du plateau de Maltzville et de la vallée de Meurthe, près de Nancy.

les filets sont ainsi attirés à la source : cette étendue est appelée le

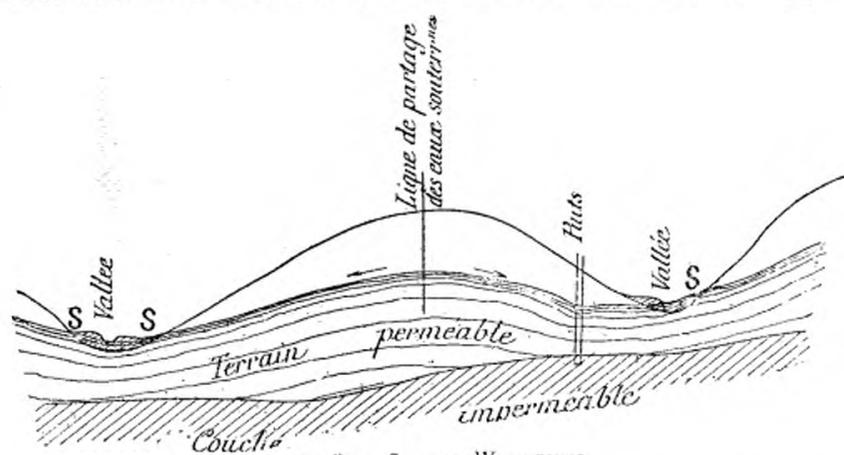


fig. 5. — Sources d'émergence.

bassin alimentaire de la source, et ce bassin a des limites souter-

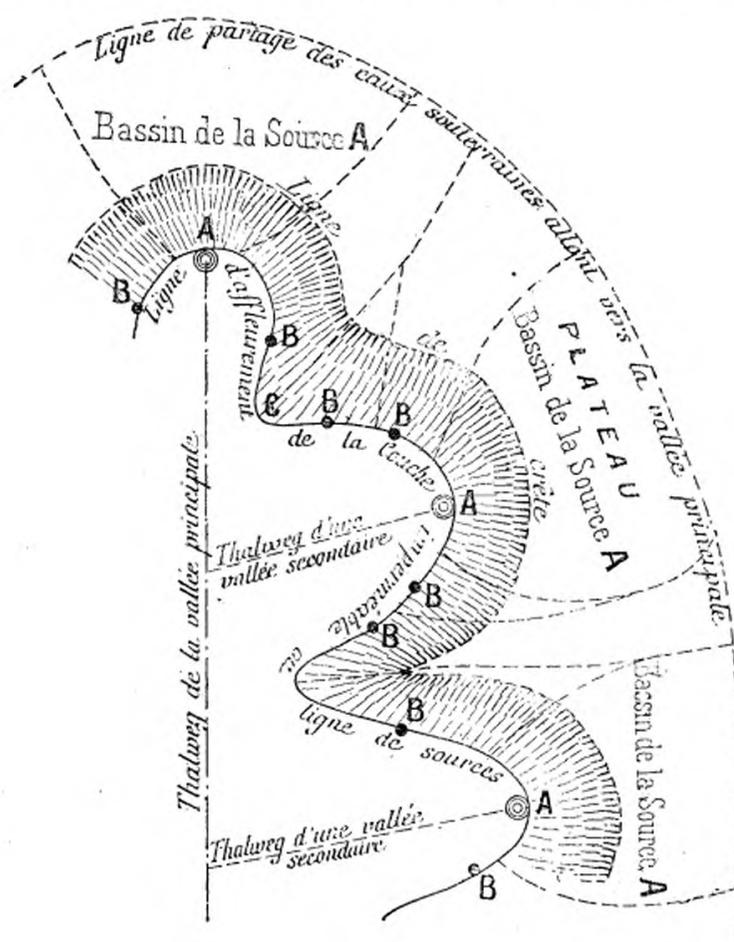


Fig. 6. — Configuration en plan d'une ligne de sources et de leurs bassins alimentaires (d'après Bolgrand).

raines analogues (mais sans coïncidence forcée) aux lignes de partage

des bassins des cours d'eau superficiels. Les points les plus reculés du fond des vallons étant d'ordinaire les points où l'issue doit se faire le plus facilement et où les filets convergent le mieux, les sources les plus fortes seront en AAA (fig. 6); en B, B, B, on pourra encore avoir des sources, mais plus faibles, tandis qu'aux points C, où viennent se terminer les avancements des contreforts, il n'y en aura pas.

Nous devons encore dire un mot du phénomène très fréquent de la *déviatio*n des sources. La déviation peut se faire par reflux vers l'amont, soit quand l'eau rencontre avant son issue un placage imperméable tel

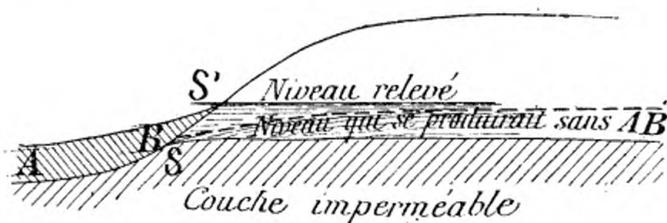


Fig. 7. — Relèvement d'une source par rencontre à son émergence d'un placage imperméable.

que AB (fig. 7) derrière lequel elle élève son niveau jusqu'à déborder au-dessus du sommet de ce placage, en S' au lieu de S, soit quand elle est arrêtée comme par un barrage par la paroi imperméable qu'une faille dresse devant elle et qu'elle profite de la faille pour remonter au jour: exemple des eaux minérales de la vallée de Saratoga, Etat de New-

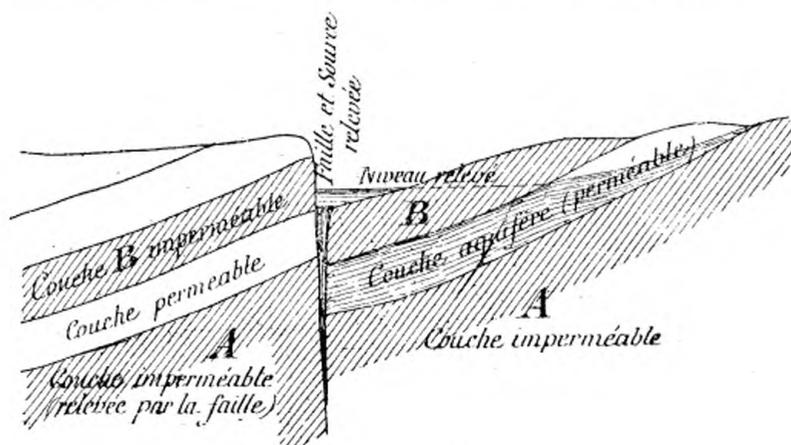


Fig. 8. — Relèvement des eaux par une faille (eaux minérales de la vallée de Saratoga), d'après Chandler.

York (fig. 8) et exemple de la fontaine de Nimes (fig. 9). Mais la déviation se fait le plus souvent vers l'aval par suite de la présence des *éboulis* et des *alluvions*, c'est-à-dire de masses solides qui se sont déposées

Cette considération du trajet des sources sous les éboulis et les alluvions est très importante au point de vue hygiénique. Dans ce trajet, l'eau est, en effet, à faible profondeur, et elle se trouve par suite très exposée à recevoir des particules terreuses capables de la troubler et des infiltrations d'eaux superficielles contaminées : le fait est d'autant plus à craindre que c'est généralement sur les alluvions et les éboulis qui tapissent le fond des vallées et la base des coteaux que l'homme élève ses habitations et dépose par suite les produits de la vie animale,

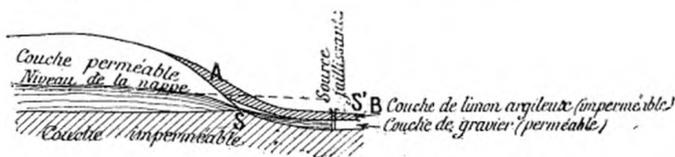


Fig. 10. — Abaissement et jaillissement d'une source (glissant sous un manteau imperméable).

industrielle, etc. De là ce précepte que nous croyons avoir été le premier à énoncer il y a quelques années : *pour tout approvisionnement d'eau potable, supprimer ou tout au moins protéger le trajet des sources sous les éboulis et alluvions, et remonter autant que possible les captations jusqu'au niveau des sources géologiques, c'est-à-dire jusqu'aux affleurements des terrains en place.*

ETUDE HYDRO-GÉOLOGIQUE D'UNE RÉGION. — Après ces généralités que nous avons écourtées autant que possible, mais qui nous paraissent indispensables (ces principes ne sont pas d'ailleurs très anciens puisqu'ils ne remontent qu'aux Paramelle, aux Belgrand, aux Daubrée, etc.), voyons par quelles études et quelles recherches un pays, une ville qui veulent s'alimenter en eau doivent commencer.

Tout d'abord, il serait logique, avant d'y recourir, de connaître toutes les ressources de la région : la reconnaissance des sources existantes et la détermination des nappes devraient donc précéder leur utilisation. Il est loin d'en être toujours ainsi, et on peut déclarer que bien souvent jusqu'ici on s'est adressé pour faire une adduction d'eau aux sources paraissant les plus fortes ou les plus rapprochées, sans se donner la peine de cataloguer les autres richesses du pays, ni même parfois d'étudier suffisamment le régime et la qualité des sources qu'on captait. Il faut dire d'ailleurs que la détermination complète des accumulations d'eau qui se trouvent dans le sol d'une région est un problème difficile et complexe : pour le résoudre il faudrait connaître non seulement la nature et la situation respective des couches géologiques, mais encore

leur topographie souterraine, les plis, les failles, les dislocations qui les affectent. Or si, pour quelques pays d'Europe, on possède assez bien la constitution géologique, on est loin de connaître aussi bien la *tectonique*. On comprend donc pourquoi l'*hydro-géologie* est encore une science dans l'enfance. Cette science ne doit pas d'ailleurs se borner à la recherche des eaux souterraines et à l'évaluation approximative de leur abondance ; elle doit encore permettre d'apprécier au moins sommairement leur composition et leur qualité : en un mot elle doit faire connaître non seulement la constitution du filtre que forment les terrains naturels, mais encore son fonctionnement et sa valeur. Ainsi compris, le rôle du géologue dans les questions d'adduction d'eau est très important, et c'est évidemment lui qui doit entrer le premier en scène.

Pour l'étude d'une région, l'hydro-géologie a-t-elle des procédés, a-t-elle une méthode ? Les procédés sont au nombre de trois :

1° L'étude et la reconnaissance des sources : nous entendons par là le travail détaillé qui consiste, pour chaque source, à examiner son emplacement et son niveau, à les comparer aux affleurements des terrains de manière à déterminer sa provenance géologique et, s'il y a lieu, sa déviation, enfin à établir son régime, — ce qui ne peut se faire comme on sait qu'en suivant la source par une série de jaugeages pendant plusieurs saisons et même plusieurs années ;

2° L'étude des puits, forages, sondages ainsi que des mines de la région. Chaque puits est — qu'on nous permette l'expression — comme une lunette braquée vers l'intérieur : il faut donc en profiter pour regarder. Un puits ordinaire (première nappe), s'il est bien fait, devant descendre jusqu'à la couche imperméable doit renseigner à la fois sur le niveau de l'eau et sur le niveau du toit de cette couche : les forages (artésiens ou non), les sondages et les données fournies par l'exploitation des mines révèlent les niveaux d'eau profonds et donnent sur eux des renseignements plus ou moins complets, mais toujours très importants (d'autant qu'ils sont plus rares) ;

3° L'exécution de galeries de recherche, de forages et de sondages nouveaux, placés en des points convenablement choisis pour procurer des renseignements qui manquent totalement ou compléter et préciser ceux qu'on possède déjà ; en matière de puits artésiens, les forages de recherche réalisent la tentative même de captation, mais en outre leurs résultats sont très précieux pour permettre d'apprécier les chances de réussite d'autres forages voisins.

Les procédés pour l'exécution des sondages relèvent de l'art des mines ; quoiqu'ils aient reçu dans ce dernier quart de siècle des applications et des perfectionnements nombreux, nous n'en dirons que quelques mots, et nous renverrons pour le surplus aux traités spéciaux tels que « Guide du Sondeur » de Degousée et Laurent, ou de Lippmann ; « Outils et procédés de sondage » de la maison Paulin Arrault ; le « Handbuch der Tiefbohrkunde » de M. Tecklenburg (6 vol., Leipzig, 1886-1896), enfin les traités d'exploitation des mines en général. On peut du reste voir à l'Exposition les nombreux et ingénieux appareils des spécialistes.

Pour les profondeurs ne dépassant pas 12 à 15 m, nous recommanderons pour les recherches hydrologiques soit la sonde portative de MM. Rutot et Van den Broeck (qui est utilisée par les services géologiques de la Belgique, de la Grande-Bretagne et du Portugal), soit le matériel de forage des puits dits abyssins (ou encore tubulaires, instantanés, de Norton) ; ce dernier procédé a l'avantage de renseigner immédiatement, non seulement sur la présence de l'eau, mais encore sur son abondance ; de plus il permet de descendre jusqu'à une trentaine de mètres dans des terrains faciles. Pour des profondeurs de 20 jusqu'à 100 et même 150 m, on peut opérer à bras d'homme avec l'aide de treuils et cabestans et au moyen d'appareils simples tels que les numéros 1 à 4 de la maison Arrault.

Pour des profondeurs plus grandes, il faut recourir à une force mécanique puissante et à une des méthodes suivantes :

Méthodes de sondage	a) Par percussion.	Avec tiges rigides et pleines.	En métal : 1 ^o Méthode ordinaire.
			En bois : 2 ^o Méthode canadienne.
		Avec tige non rigide.	3 ^o Sondage à la corde.
		Avec tiges rigides, mais creuses et par injection d'eau.	4 ^o Procédé Fauvelle perfectionné par Raky.
	b) Par rotation.	5 ^o Sondage au diamant.	

1^o La *méthode ordinaire* a reçu divers perfectionnements de détail : coulisses d'Oeynhausien, de Kind, à baïonnette, joint Kind et joint Dru à pression d'eau, les arrache-tubes, les accrocheurs, etc.

2^o La *méthode canadienne* ne diffère guère de la précédente qu'en ce que les tiges sont en bois rapidement dégrossis, et que l'engin extérieur est semblable à celui du sondage à la corde.

3^o Le *sondage à la corde* a pris naissance en Pensylvanie, et depuis la découverte de la première source de pétrole en 1859 a servi à faire des milliers de forages industriels en Amérique ; c'est aussi le plus usité pour les recherches d'eaux profondes ou artésiennes, qui se sont multipliées dans ces dernières années aux États-Unis. Il a l'avantage d'être rapide (on ne perd pas de temps pour le dévissage et le revissage successif des rallonges de la tige), de n'exiger que deux hommes pour la manœuvre, et d'avoir un matériel peu encombrant et facile à transporter dans des contrées éloignées ; ainsi la maison Gould et Austin, de Chicago, et la Compagnie du Pierce Well Excavator ont des appareils tout prêts pour des profondeurs de 100 à 450 m, appareils que deux chevaux peuvent emmener au complet.

Le procédé anglais de Mather et Platt diffère de l'américain par l'emploi d'un câble plat et d'un dispositif automatique pour le changement d'orientation de la lame du trépan.

4^o *Procédés Fauvelle et Raky*. — L'injection d'eau fut imaginée par Fauvelle en 1846, près de Perpignan ; repris par les Allemands (Fauk, Przibilla, Winter,

Zobel et Kœbrich), le procédé fut grandement perfectionné et sa portée fut fortement augmentée par l'adaptation d'appareils à chute libre; de plus, on y appliqua — surtout en Amérique — la rotation. En Danemark, cette méthode est appelée méthode d'Aalborg.

Tout récemment, M. Antoine Raky a trouvé le moyen, par des dispositions très ingénieuses, de se passer de tout appareil de chute libre et d'éviter quand même les ruptures de tiges; le curage par le courant d'eau devient réellement continu et on arrive à une vitesse de 0^m,60 à 1^m,00 par heure. Il a seulement l'inconvénient — qui peut être grave quand on cherche de l'eau — d'exiger une grande dépense d'eau, surtout quand on rencontre des terrains fissurés et absorbants; le même inconvénient existe aussi bien pour le sondage au diamant, qui peut d'ailleurs succéder facilement en cas de besoin au procédé Raky.

5° *Sondage au diamant.* — Il utilise l'idée de Fauvelle (curage par injection d'eau), mais emploie comme moyen de forage la rotation d'une couronne de diamant, imaginée par Leschot en 1862 (on pouvait voir une première perforatrice de ce système à l'Exposition de 1867). Grâce à cela, le procédé a une portée pratique pour ainsi dire illimitée, et on a pu au sondage de Paruschowitz, en Silésie, descendre à 2003^m,34. — Ce sont les Américains Bullock, Pleasant et Shelley qui ont donné la forme définitive à la méthode; les Anglais ont changé la machinerie. En Australie, sous le nom de procédé Davis, on a remplacé tout récemment la couronne de diamant par une couronne en acier, à dents pointues et alternativement déjetées à l'intérieur et à l'extérieur; on a bien réussi, mais dans les roches très dures il faut revenir au diamant. — Nous ne pouvons bien entendu parler ici de tous les appareils inventés pour l'élargissement du trou, l'extraction de la carotte, etc., non plus que des appareils d'avancement (types des Compagnies américaines Diamond Drill and Machine Co, American Diamond Rock Drill Co, Bullock Manufacturing Co, Sullivan Machinery Co, — de la Compagnie anglaise Diamond Rock-boring Co, — de Kœbrich en Allemagne, etc.)

Supposons maintenant que nous ayons sous la main : 1° une carte géologique aussi détaillée que possible de la région; 2° une bonne carte hypsométrique (autant que possible à la même échelle), sur laquelle on a reporté l'emplacement de toutes les sources, puits et sondages existants ou forés spécialement; 3° un tableau de ces points d'eau donnant pour chacun d'eux tous les renseignements obtenus. On cherchera alors par la pensée à réunir, pour en constituer une surface (voisine d'un plan), le niveau de l'eau N, N', N'' (fig. 11) à tous les puits voisins P, P', P'' (niveau dont on a la cote en retranchant la profondeur du puits jusqu'à l'eau de l'altitude du sol à l'orifice), et cette surface légèrement infléchie vers la vallée devra comprendre les sources S. De même, si le niveau B, B', B'' du toit de la couche imperméable, support de la nappe, peut être reconnu dans le fond des puits, on aura en combinant ces données avec la reconnaissance des affleurements A une bonne idée de la position et de l'allure de ce support, en sorte que la nappe sera déterminée sur une certaine étendue par ses plans supérieur et inférieur. En cheminant ensuite à droite et à gauche et se laissant guider (sauf raison contraire) par le sentiment de la continuité, on

suivra la nappe dans toute son étendue, jusqu'à ses limites naturelles, coïncidant soit avec les limites du terrain géologique, soit avec un accident, faille, cassure, etc.

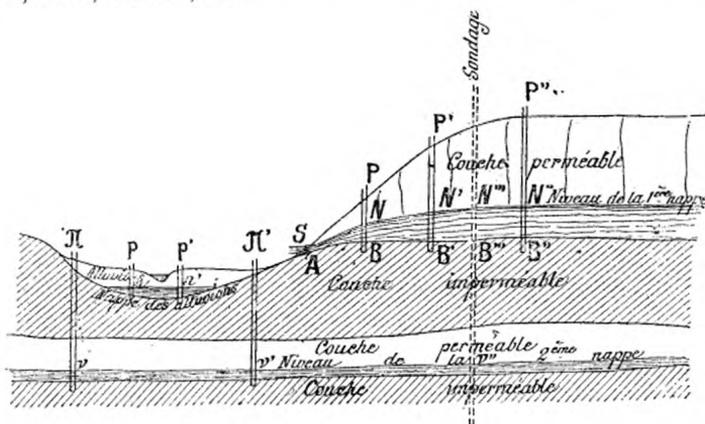


Fig. 11. — Détermination des Nappes.

Il est clair que les choses ne vont pas toujours aussi simplement et que bien des causes d'erreur peuvent tromper l'observateur, notamment aux confins de deux *territoires hydrologiques*. Ainsi dans le cas de la fig. 11, on se tromperait grossièrement si l'on rattachait à la nappe S, N, N', N'' le niveau des puits p, p' , forés dans les alluvions, ou celui des puits π, π' qui ont dû s'adresser à la deuxième nappe (leur emplacement ne leur ayant permis de rencontrer ni la première, ni celle des alluvions). Toutefois, avec un peu d'habitude et de sagacité, on arrive souvent à débrouiller les difficultés : ainsi l'énorme différence d'altitude entre les points v et v' et les points N, N', N''..., n, n' , ne permettra de rattacher les premiers ni à l'un, ni à l'autre des deux niveaux d'eau déterminés par les seconds ; l'existence ou l'exécution d'un sondage profond dans le voisinage achèvera de faire connaître la deuxième nappe. On peut tirer également un secours sérieux des analyses chimiques pour distinguer les eaux de deux nappes voisines : nous verrons plus loin que chaque nappe a pour ainsi dire sa *composition normale*, et il est évident qu'une eau dont la composition en différerait notablement ne pourrait lui être rattachée ; du moins serait-on averti par là d'une cause de perturbation à rechercher. (Ainsi, si l'eau des puits p, p' des alluvions a 8° hydrotimétriques, alors que celle de S, P, P' qui sort de calcaires fissurés en a 30°, on pensera immédiatement à une différence d'origine).

Les différents niveaux d'eau d'une région une fois reconnus, comment leur donner des noms ? — On ne peut les désigner (sauf tout à fait localement) par leur ordre de superposition, puisque la première nappe en un endroit devient la seconde en un autre, puis la troisième, etc., et réciproquement ; mais comme une nappe est engendrée par la conjonction de deux assises géologiques, l'une perméable et l'autre imperméable, il paraît tout naturel de la désigner par les noms réunis des deux assises génératrices — ce qui a d'ailleurs l'avantage de préciser pour tout le monde la place qu'elle occupe dans l'écorce de la région considérée. Ainsi, il règne en France, en Angleterre et ailleurs une grande nappe au contact du calcaire bajocien J_{iv} , et des marnes supraliasiques du toarcien t^b : n'est-il pas tout indiqué de la nommer *nappe toarco-bajocienne* et de la représenter par le symbole $\left(\frac{J_{iv}}{t^b}\right)$? Si la nappe, au lieu de séparer deux étages, n'est constituée que par deux assises innommées d'un même étage, on pourra tout au moins indiquer sa situation approximative par les mots *infra*, *medio*, *supra* en avant du nom de l'étage : ainsi, en Meurthe-et-Moselle, il existe une grande nappe entre la base marneuse t_{11} de l'étage conchylien et sa partie supérieure t_1 calcaire, nappe que nous avons nommée *mé-dioconchylienne* $\left(\frac{t_1}{t_{11}}\right)$ tandis que nous appelions *nappes supraconchyliennes* deux petits niveaux d'eau situés sur de petits lits de marne intercalés dans le sommet du muschelkalk calcaire t_1 .

Cependant certains auteurs — et non des moins récents — ont nié la légitimité des désignations géologiques pour les nappes, et cela pour les raisons suivantes : en premier lieu, les assises de même âge et de même nom sont loin de se ressembler toujours d'une région à l'autre (une couche sableuse ici est argileuse là et partant imperméable, en sorte que le niveau d'eau qu'elle contenait au premier endroit n'existe pas dans le second, un calcaire fissuré au voisinage de la surface ne l'est plus dans la profondeur, etc.) ; en second lieu, une nappe peut occuper plusieurs assises superposées, ou encore un niveau d'eau qui paraît continu peut passer d'une couche perméable à une autre couche perméable très différente. Ces faits sont exacts : la qualité des couches géologiques d'un même étage au point de vue de la perméabilité est très variable, et on ne peut pas conclure *a priori* d'une région à une autre ; il faut donc soigneusement se garder de *généraliser*. Mais, de même qu'en médecine la variabilité des symptômes d'une ma-

ladie sur les divers individus n'empêche pas de lui donner un nom, de même la diversité de composition d'un même étage géologique ne doit pas empêcher de lui rapporter les nappes qu'il contient et que sans cela il serait impossible de repérer. Les terrains d'un même groupe ont du reste, où qu'ils se trouvent, un ensemble de caractères communs, d'où dérivent également des ressemblances en quelque sorte de famille entre leurs nappes souterraines, et il est important précisément de posséder ces vues d'ensemble pour faire de bonnes applications aux cas particuliers. Nous persistons donc — tout en prévenant contre toute idée de généralisation inconsidérée — à proposer pour la monographie hydrologique d'une région de désigner les nappes par leur horizon géologique, comme il a été dit ci-dessus.

Reste une dernière question : comment pourra-t-on apprécier la *puissance* d'une nappe, c'est-à-dire l'importance des ressources liquides qu'elle renferme ? — La chose est souvent difficile et il faut se contenter bien des fois d'une simple probabilité. L'abondance et la multiplicité des sources (nous n'insistons pas sur les moyens bien connus de les jauger) qui sortent d'une nappe donnent un premier renseignement sur son alimentation. La hauteur d'eau dans les puits (v. fig. 11, p. 31) est un autre indice, mais il peut être trompeur, car il arrive qu'un puits plonge dans une cuvette et que la hauteur d'eau n'indique dès lors qu'une réserve. Le vrai moyen est donc dans l'expérimentation, c'est-à-dire dans des essais d'épuisement : si en tirant d'un puits un certain volume d'eau on ne parvient pas à abaisser le niveau, c'est que l'alimentation de la nappe est supérieure à ce volume ; mais on comprend que pour avoir quelque certitude il faille prolonger les épuisements assez longtemps et que le procédé puisse dès lors être très coûteux. Enfin si l'on a déterminé la zone alimentaire de la nappe (c'est-à-dire en général l'étendue des affleurements de la couche perméable), et si l'on connaît bien la pluviométrie de la région (chose dont l'hydrologue doit toujours se préoccuper), on pourra également se faire une idée de la quantité d'eau qui s'infiltré dans le sol pour gagner la nappe souterraine : cette idée se précisera davantage si, par une étude d'hydrologie superficielle, on peut se rendre compte du volume d'eau soustrait à l'infiltration par le ruissellement et l'évaporation.

Exemple des régions étudiées.

Malheureusement, peu de pays ont été jusqu'ici sérieusement étudiés au point de vue qui nous occupe : les études et les coupes géologi-

ques abondent, mais on a bien souvent négligé d'y indiquer la place, — pourtant si grande, — que tient l'eau, les géologues de profession ayant fait alors comme des anatomistes qui disséqueraient admirablement une région, mais négligeraient les artères et les veines qui l'irriguent. Espérons qu'à l'avenir la géologie deviendra *hydrologique* : c'est un des meilleurs moyens qu'elle ait de devenir *utilitaire*.

BELGIQUE.

Les Sociétés de Géologie l'ont d'ailleurs compris : dès sa fondation, la Société belge de Géologie s'intitulait « Société de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie », et de fait, depuis 1887, elle a consacré de nombreuses séances et de nombreux mémoires à l'hydrologie souterraine de la Belgique, à l'examen des projets de distribution d'eau, etc. (Voir les *Bulletins* de cette Société). En 1888, M. Verstraeten formulait comme suit le programme de l'étude hydrologique à faire pour son pays :

PROGRAMME D'UNE ÉTUDE HYDROLOGIQUE DE LA BELGIQUE.

« 1^o Déterminer comment et en quelles quantités les pluies tombent sur nos régions ;

2^o Quelles proportions s'en écoulent à la surface et quelles proportions pénètrent en terre ;

3^o Ce que deviennent les eaux qui ont passé en sous-sol : comment elles y circulent et s'y rassemblent pour former des couches aquifères plus ou moins puissantes, plus ou moins étendues, libres ou forcées ;

4^o Quelles élaborations, quelles altérations et quelles pollutions peuvent subir les eaux dans leurs parcours souterrains ;

5^o Comment, en quelles quantités et avec quelles qualités plus ou moins variables, selon les périodes climatériques ou autres, elles se dégagent des terrains et reviennent au jour ? Quels sont le débit et les caractères des cours d'eau : fleuves, rivières et ruisseaux, ainsi produits ;

6^o Quelle est l'histoire des modifications et des altérations des eaux courantes dans le passé ; quels sont les usages qui les caractérisent, le parti qu'on en tire encore, etc. ;

7^o Quels sont l'origine, le débit, la nature, les propriétés et les variations de nos eaux et de nos sources minérales et quelles sont celles dont l'art médical ou l'industrie pourrait utilement tirer parti. »

On se souvient que ce programme, soumis par MM. les docteurs Félix et Poskin au Congrès international d'Hydrologie de Paris, en 1889, a obtenu l'adhésion unanime des membres du Congrès. Un vœu

fut également émis pour demander l'adjonction au programme des Facultés des Sciences d'un Cours d'Hydrologie générale. Ce vœu est resté platonique en Belgique comme en France ; mais depuis lors, la science et l'activité de savants tels que MM. Dupont, François, Hans, Moulan, Putzeys, Rome, Rutot, Van den Broeck, Verstraeten, Walin ont permis de se faire une bonne idée de l'hydrologie souterraine de bien des parties de la Belgique ; nous souhaitons que l'un d'eux ne tarde pas à réunir dans une étude d'ensemble tous ces documents encore épars. Nous dirons quelques mots des nappes de la Belgique en parlant de celles du Nord de la France.

FRANCE.

Les auteurs de la carte géologique de France se sont préoccupés des niveaux d'eau et ont indiqué les principaux, mais très sommairement et comme en courant. — La Société géologique de France vient de décider qu'elle consacrerait un certain nombre de séances à la géologie appliquée, et pas plus tard que le 11 juin 1900, une première conférence d'hydrologie « Sur le captage et la protection des sources d'eaux potables » y était donnée par M. Léon Janet. La Société géologique du Nord, voisine de la Belgique, n'avait pas attendu si longtemps pour s'occuper des eaux souterraines ; c'est dans ses *Annales* que M. le professeur Gosselet a publié en 1888 ses remarquables « Leçons sur les nappes aquifères du Nord de la France », une étude sur les puits artésiens dans les Flandres, enfin une étude toute récente de l'alimentation en eau des villes et industries du Nord.

Chacun sait que le bassin de la Seine a été étudié par Belgrand. Son ouvrage de 1872 : « La Seine : études hydrologiques », est la première monographie du genre et elle est admirable, — ce qui ne veut pas dire que tout ce qu'a dit Belgrand soit exact. Bien que la plus grande partie de l'œuvre soit consacrée aux cours d'eau, l'étude des sources y tient une large place, et on trouve pour la première fois, croyons-nous, une idée nette des relations entre la nature des terrains traversés et la composition chimique (Belgrand disait la pureté) des eaux. Il reste toutefois à compléter la reconnaissance des nappes souterraines en place, à voir quelles ressources on pourrait tirer de leur profondeur, à étudier la valeur filtrante des couches et la qualité bactériologique de leurs eaux ; la Commission nommée l'an dernier par M. le Préfet de la Seine et dont M. Janet est le principal géologue a déjà

commencé et continuera sans doute à éclairer ces points encore obscurs.

Nous nous trouvons maintenant dans l'obligation, malgré les règles de la modestie, de citer la monographie des nappes aquifères et des sources du département de Meurthe-et-Moselle qu'après plusieurs années d'études et de recherches nous avons publiée en 1897 sous le titre : « Les Eaux potables et leur rôle hygiénique en Meurthe-et-Moselle ». Nous avons appliqué aussi soigneusement que possible la méthode que nous avons précisément décrite ci-dessus, et nous avons pu déterminer les nappes et les lignes de sources des terrains compris en Lorraine entre le grès vosgien et l'oolithe supérieure. (Nous reconnaissons que notre tâche a été facilitée par la régularité des assises de la région de l'Est, assises empilées comme on sait sur le bord de la grande cuvette que forme le bassin parisien). Beaucoup de personnes ont bien voulu nous dire à ce moment combien il serait désirable que tous les départements français fussent aussi documentés que l'est maintenant le nôtre : malheureusement aucune monographie du même genre n'a encore paru ; mais nous savons que MM. les Ingénieurs en chef Debaube et Monet en préparent de semblables pour l'Oise et pour la Marne, et nous nous réjouissons d'autant plus de lire le résultat de leurs études que les terrains de ces départements forment la suite de notre vers Paris, et qu'on aura ainsi des bases très sérieuses pour l'hydrologie générale du bassin entier.

Depuis 1897, nous avons fait en compagnie de notre ami, M. Villain, ingénieur des mines à Nancy, un assez grand nombre d'excursions hydro-géologiques dans la région du Nord-Est de la France et jusque dans la Haute-Saône vers le Sud, dans le Grand-Duché de Luxembourg et en Belgique. De plus, ayant habité quatre ans la Provence, nous avons rappelé nos souvenirs hydrologiques sur ce pays, et nous avons eu la bonne fortune (en réponse à quelques demandes de renseignements) de recevoir de notre ami M. Torcapel, géologue très distingué d'Avignon, une étude manuscrite très intéressante sur l'hydrologie du Sud-Est ; M. Torcapel a publié d'ailleurs une charmante petite monographie des environs (les « garrigues ») de Nîmes et du bassin d'alimentation de la Fontaine. Cette extension de nos connaissances nous enhardit à essayer de donner aux lecteurs de la *Revue Technique* une esquisse schématique des principales nappes aquifères de France, ou si l'on veut une vue d'ensemble des propriétés hydrologiques des terrains si variés qui constituent le sol français.

Comme la plupart des géologues, nous irons des terrains les plus anciens vers les plus récents ; mais il ne faudra pas oublier que les premières nappes signalées deviennent les plus profondes quand les terrains s'empilent suivant leur âge, et qu'un sondage les rencontrerait par suite dans l'ordre inverse de notre énumération.

I. — TERRAINS PRIMITIFS OU ARCHÉENS ET TERRAINS VOLCANIQUES.

Ces terrains (gneiss, granit, trapp, basalte, etc.) sont généralement imperméables, et les fissures y sont petites, peu étendues vers la profondeur, et sans communication entre elles. Les sources, produites à l'abouchement de ces fissures sur les flancs ou dans le fond des vallons, sont dès lors nombreuses, mais faibles. Il n'y a donc pas de nappes à proprement parler : on trouve cependant de petites nappes souterraines dans le fond des vallées, lequel est rempli par les sables (arènes) et autres produits détritiques provenant de la décomposition des roches feldspathiques et reposant sur le rocher ; ces sables forment réservoir d'eau, et on peut les drainer, ainsi qu'on l'a fait pour l'alimentation des villes de Limoges, Rennes, Lorient et Quimper.

Ces terrains règnent dans le plateau Central et le Morvan, la presque île Armoricaïne, la Corse et les massifs montagneux des Alpes, des Pyrénées et des Vosges. Quand ils sont recouverts par des terrains sédimentaires perméables, il existe généralement une nappe sur le terrain primitif.

II. — TERRAINS PRIMAIRES OU PALÉOZOÏQUES.

1° Précambrien, Cambrien et Silurien.

D'après une étude détaillée qu'à faite récemment notre collègue et ami M. l'ingénieur Michel, d'une grande région tout autour de Nantes, ces terrains extrêmement schisteux et compacts sont presque absolument imperméables dans le Maine, la Vendée et une partie de la Bretagne ; de plus, les quelques eaux profondes du silurien conservent un goût d'argile désagréable. Aussi la ville de Nantes, pour avoir de l'eau de source convenable et en quantité suffisante, sera-t-elle obligée de recourir au massif de granulite qui règne au Sud-Est, de Cholet à Bressuire.

Dans le reste de l'Armorique, dans les Cévennes, les Pyrénées et les Ardennes il en est de même en général. Dans le Cotentin, d'épaisses

couches calcaires s'intercalent dans les *phyllades de Saint-Lô* et contiennent de l'eau, quand elles ne sont pas protégées contre les infiltrations par une couche schisteuse supérieure ; il en est de même des bancs calcaires et dolomitiques cambriens aux environs de Granville. Les grès siluriens, tels que le grès armoricain, le grès de May, le grès de Domfront sont tellement compacts qu'ils touchent au quartzite ; ils se comportent dès lors au point de vue aquifère quand ils sont épais comme les roches granitiques ; toutefois ils sont souvent subdivisés en bancs minces par des couches schisteuses. Dans les Pyrénées seulement, le sommet de la formation devient plus calcaire (calcaires à *Cardiola*) et peut contenir une nappe.

2° Dévonien, Carbonifère et Permien.

a) *Ardenne et bassin franco-belge.* — Le dévonien et le carbonifère règnent surtout dans le grand massif de l'Ardenne et dans le bassin houiller franco-belge qui s'appuie sur son flanc Nord-Ouest. La question des eaux souterraines est liée intimement à celle des plissements (ridement de l'Ardenne) qu'a subis ce massif vers la fin de l'époque silurienne ; les plis ont formé une série de creux courant parallèlement dans lesquels les couches dévoniennes et carbonifères se sont emboîtées en conservant la même forme. Comme ces couches contiennent deux puissantes assises calcaires, le calcaire dévonien et le calcaire carbonifère, et que ces calcaires très fissurés (il y a parfois des bétouires et entonnoirs) laissent descendre l'eau jusqu'à leur base, il résulte

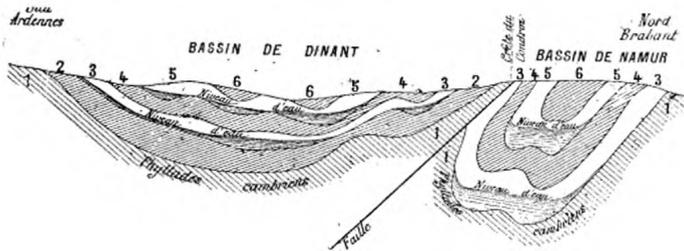


Fig. 12. — Coupe transversale de l'Ardenne (Bassin de Dinant et de Namur), d'après Gossolot.

- 1, 1. Phyllades cambriens ;
- 2, 2. Schistes, grès et psammites du dévonien inférieur ;
- 3, 3. Calcaires de Couvin, de Givet et de Frasne (aquifère) ;
- 4, 4. Schistes de Matagne, schistes de la Famenne et psammites du Condroz ;
- 5, 5. Calcaire carbonifère (aquifère) ;
- 6, 6. Terrain houiller.

Tableau de la Composition des Terrains Dévonien et Carbonifère dans l'Ardenne

TERRAINS	ÉTAGES	ASSISES	PERMÉABILITÉ	ÉPAISSEUR	NIVEAUX D'EAU
				MOYENNE mètres	
CARBONIFÈRE	Houiller . . .	Psammites et Schistes houillers avec interposition des couches de houille Schistes ampéliteux	imp. imp.	à Mons 2900 25	Les psammites et le grès houiller sont assez souvent perméables et aquifères.
	Dinantien (Anthracifère ou Culm)	Calcaire Visé Calcaire de Waulsort. Calcaire de Tournai	fissuré	250 à 650	Grand niveau et réservoir d'eau à la base du calcaire carbonifère.
	Famennien . . .	Calcaire d'Etrœungt Schistes de la Famenne et psammites du Condroz	fissuré imp. imp.	100 à 500 50	Niveau d'eau à la base.
	Frasnien . . .	Calcaire de Frasne et marbre rouge de Flandre	fissuré	50	Niveau d'eau à la base.
	Givétien . . .	Calcaire de Givet	fissuré	400	Grand niveau et réservoir d'eau à la base.
	Eifélien . . .	Calcaire de Couvin Schistes à calcéoles Grauwacke d'Hierges	fissuré imp.	0 à 550 50 à 450	Niveau d'eau à la base.
DÉVONIEN . . .	Coblentzien . .	Schistes rouges de Vireux et poudingue de Burnot Grès et grauwacke d'Anor, de Montigny et de Vireux	imp.	1400 à 2800	
	Gédinnien . . .	Schistes rouges et psammites de Fooz. Schistes de Mondrepuits et phyllades de Braux Poudingue de Fépin et arkose de Weismes	imp.	800 à 1650	

de là que cette eau doit s'accumuler dans le fond des synclinaux calcaires, puis glisser lentement suivant la pente longitudinale de ces thalwegs souterrains. Si maintenant une vallée ou une faille vient recouper ces synclinaux calcaires, il est clair qu'elle donnera naissance à des sources abondantes : ainsi prennent naissance les sources des vallées encaissées du Condroz (calcaire dévonien), les sources de la région de Modave dans la vallée du Hoyoux (calcaire carbonifère), etc. L'eau souterraine est donc plutôt *localisée* dans une série de creux, qu'uniformément répartie en forme de nappe continue.

La coupe transversale des bassins de Dinant et de Namur (fig. 12, p. 38) ainsi que le tableau (p. 39) montrent la composition des couches et la place qu'occupe l'eau.

OBSERVATIONS. — Les grès et grauwackes du coblentzien sont métamorphiques et constituent des roches voisines de l'arkose ; ils ne sont pas perméables, mais se comportent comme les terrains granitiques, l'eau se trouvant soit dans les fissures, soit dans les arènes provenant de la désagrégation des grès et poudingues.

La partie supérieure du terrain houiller et le permien manquent complètement dans l'Ardenne et le bassin franco-belge.

b) Boulonnais. — Le bas Boulonnais est une extension de l'Ardenne : les terrains y affleurent par leurs tranches qui forment ainsi des bandes étroites. Le dévonien inférieur manque ; le givétien est représenté par le calcaire de Blacourt, et celui-ci est séparé du calcaire de Ferques (analogue de celui de Frasne) par les schistes de Beaulieu. Le calcaire carbonifère (séparé du calcaire de Ferques par les schistes du famennien) comprend la dolomie de Hure, le calcaire du Haut-Banc, le calcaire Napoléon, et le calcaire à *Productus giganteus* qui correspondent tous les quatre au sous-étage de Visé. Le terrain houiller est toujours schisteux.

c) Armorique. — On trouve diverses bandes appartenant au dévonien dans le Cotentin, le Maine, la Bretagne et l'Anjou ; elles se rattachent au coblentzien et la base en est toujours schisteuse, tandis que le dessus est calcaire (calcaire de Néhou, de Chassegrain, de Visé, d'Angers, calcaire à *Athyris undata*, etc.). Ces calcaires contiennent de l'eau arrêtée par les schistes inférieurs.

Le carbonifère forme les trois bassins principaux de Châteaulin, de

Quimper et de Laval : les calcaires de Sablé, de Changé, de Bourgon et de Laval représentent le sous-étage de Visé et sont aquifères.

d) Lambeaux carbonifères et permien autour du Plateau central.
— Nous ne savons rien de ces lambeaux, si ce n'est que le dinantien n'y a pas pris un développement calcaire semblable à celui du Nord. L'ensemble est donc à peu près complètement imperméable.

Quant aux lambeaux de permien qu'on trouve dans l'Autunois, le Morvan, le Bourbonnais, le Limousin, les environs de Lodève, etc., après une base schisteuse et par suite imperméable, on trouve généralement une assise supérieure puissante de grès rouges fins : ces grès sont poreux, mais assez faiblement et ne donnent naissance qu'à de petites sources.

Ajoutons en terminant que, comme le primitif, le primaire sert généralement de base à une nappe quand il est surmonté par un terrain plus récent qui soit perméable.

III. — TERRAINS SECONDAIRES (Trias, Jurassique et Crétacé).

C'est dans l'Est de la France que l'on trouve la série la plus régulière de ces terrains ; c'est une alternance d'assises calcaires, argileuses et gréseuses qui s'emboîtent dans la grande cuvette formant le bassin de Paris et s'adossant aux Vosges et aux Faucilles. Comme toujours les nappes aquifères règnent à la base des bancs de grès et de calcaire, sur les marnes imperméables ; la pente étant généralement orientée vers Paris, les nappes plongent comme les couches et gagnent en profondeur en allant vers l'Ouest : de là le caractère artésien que prennent plusieurs d'entre elles en certains points.

Pour indiquer l'emplacement le plus habituel des niveaux d'eau, nous avons dressé le Tableau ci-après qui s'applique aux régions de la Lorraine et de la Champagne. Nous donnons également trois coupes schématiques : la première (fig. 13) n'est que la reproduction simplifiée de celle que nous avons donnée en 1897, des terrains et des nappes de Meurthe-et-Moselle (pour des détails plus complets, nous ne pouvons que renvoyer à notre ouvrage déjà cité) ; la seconde (fig. 14) montre l'infra-crétacé dans la Haute-Marne aux environs de Vassy (coupe du SSE au NNO de Brousseval à Eclaron, empruntée pour les données géologiques à M. Cornuel) ; la dernière (fig. 15) est une coupe de l'Est

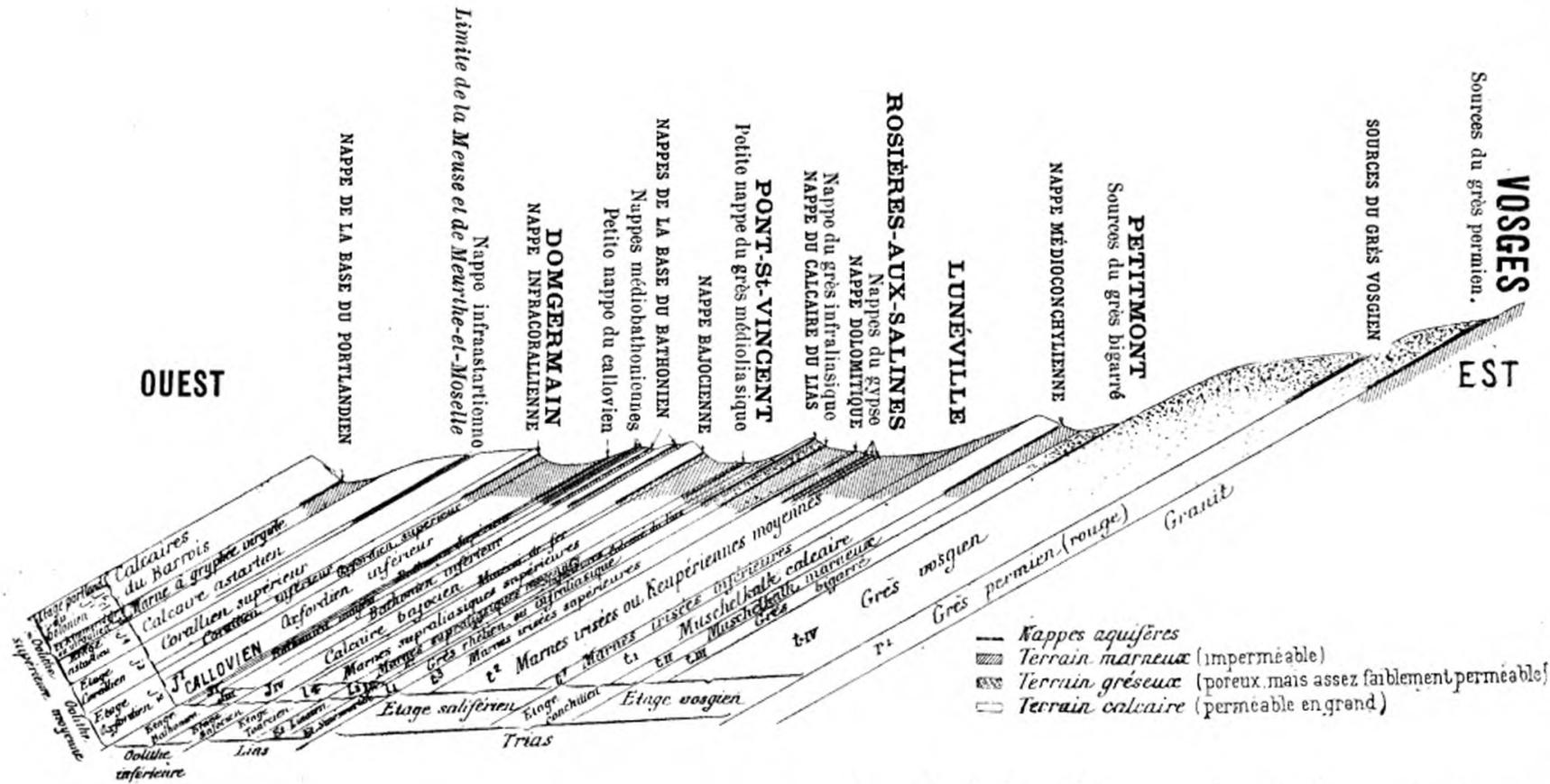


Fig. 13. — Coupo schématique des terrains triasique et jurassique de l'Est de la France, et de leurs nappes aquifères.

Tableau des Terrains secondaires et de leurs nappes aquifères dans la partie Est du bassin de Paris (V. les coupes fig. 13, 14 et 15).

TERRAINS	ÉTAGES	ASSISES	Notations de la carte géologique	Perméabilité	ÉPAISSEUR MOYENNE	NIVEAUX D'EAU		
1	2	3	4	5	6	7		
CRÉTACÉ	SUPÉRIEUR	Danien	Marnes à rognons de Meudon et calcaire pisolithique	c ⁸	fiss.	m 15 à 35	Cet étage manque souvent.	
		Sénonien	Craie à baculites. — Craie de Meudon.	c ⁷	fiss.	40 à 120	Grande nappe sur une couche d'argile à la base (cette nappe peut être artésienne).	
			Craie à micraster cor-anguinum					
		Turonien	Craie à micraster cor-testudinarium	c ⁶	fiss.	50 à 70	Plusieurs nappes sur des bancs de marne. Nappe importante à la base du turonien.	
			Craie à holaster planus					
	Cénomanién	Marnes à ostracées et sables du Perche.	c ⁵	imp.	0 à 20	Grande nappe à la base de la craie glauconieuse sur une couche de marne surmontant la gaize.		
		Craie glauconieuse, craie de Rouen.	c ⁴	fiss.	20 à 60			
	INFÉRIEUR	Albien	Gaize de l'Argonne	c ³	un peu perm.	25 à 100	Petites sources dans les vallons de la gaize.	
			Argile du Gault	c ²	imp.	6 à 30	Cavités qui laissent passer l'eau dans les sables verts.	
		Aptien	Sables verts	c ¹	perm.	5 à 20	Nappe (artésienne entre c ₁ et c ₂) des sables verts.	
Barrémien (ou Urgonien)	Argile à plicatules et marnes à ostrea aquila	c ₁	imp.	8 à 10	Nappe dans le calcaire à			
	Argiles ostréennes et argiles panachées	c ₁₁₁ et c ₁₁	imp.	2 à 20				
JURASSIQUE	OOLITHE	Portlandien	Calcaires du Barrois	j ⁶ et j ⁷	fiss.	90 à 100	Nappe importante.	
		Kimméridgien	Marne à gryphée virgule	j ⁵	imp.	80		
		Astartien	Calcaire lithographique et marnes à ostrea deltoïde.	j ⁴	fiss.	50	Petites nappes à la base sur des bancs argileux.	
		Corallien	Calcaire	j ³	fiss.	115 à 150	Petites nappes au sommet sur des bancs de marne.	
		Oxfordien	Argiles et marnes	j ²	imp.	110 à 160	Grande nappe infracorallienne.	
	LIAS	MOYENNE	Callovien	Calcaires calloviens	j ¹	fiss.	5 à 10	Petite nappe.
			Bathonien	Bathonien supérieur (marne)	j ₁	imp.	10 à 15	
		INFÉRIÈRE	Bathonien	Bathonien moyen	j ₁₁	fiss.	15 à 25	Petites nappes dans des bancs de calcaire peu épais. Deux nappes importantes sur des bancs de marne, l'un à la base, l'autre au-dessus.
				Calcaires et marnes du Bathonien inférieur	j ₁₁₁	fiss.	30 à 80	
			Bajocien	Calcaire bajocien	j _{iv}	fiss.	35 à 90	Grande nappe à la base du bajocien.
Toarcien	Marnes supraliasiques supérieures	l ³	imp.	70 à 150				
TRIAS	LIAS	Liasien	Marnes supraliasiques inférieures et moyennes	l ²	imp.	40 à 50	Deux petits niveaux d'eau dans le calcaire ocreux et le grès médio-liasique.	
		Sinemurien	Calcaire du lias (à gryphées)	l ¹	fiss.	10 à 20	Nappe à la base sur la marne de Levallois.	
	TRIAS	Sinemurien	Grès infraliasique ou rhétien	l ¹	perm.	20 à 50	Petite nappe à la base.	
			Marnes irisées supérieures	t ³	imp.	45 à 70	Nappe dolomitique, dans un banc de calcaire dolomitique à la base.	
		Saliférien (ou Keuper)	Marnes irisées moyennes	t ²	imp.	70 à 200	Plusieurs petites nappes au niveau du gypse.	
TRIAS	Conchylien	Marnes irisées inférieures	t ¹	imp.	30 à 40			
		Muschelkalk calcaire	t ₄	fiss.	80	Petites nappes au sommet. Nappe médioconchylienne.		
	Vosgien	Muschelkalk marneux	t ₁₁	imp.	40 à 70			
TRIAS	Vosgien	Grès bigarré	t ₁₁₁	semi-perm.	30 à 50	Sources nombreuses.		
		Grès vosgien	t _{iv}	perm.	300 à 400	Nappe à la base du grès vosgien.		

OBSERVATIONS. — 1° *Trias*. Dans le Sud-Est de la France, les marnes irisées contiennent plusieurs bancs gréseux qui retiennent l'eau et donnent naissance à de petites sources, assez stables. Dans l'arrondissement du Vigan et dans l'Aveyron, ces marnes arrêtent ces eaux qui ont traversé le lias et le jurassique presque entièrement calcaires et donnent lieu à de grosses sources (source des Fons, d'Arre, de la Fouzette au pied du causse de Blandas). Les calcaires magnésiens du muschelkalk, où ils existent, sont très aquifères.

2° *Lias*. — Dans le Grand-Duché de Luxembourg (golfe) et le Luxembourg belge, les facies gréseux et sableux prennent une grande importance. Le grès de Luxembourg s'intercale ainsi avec une puissance de 60 m entre deux couches de calcaires marneux : comme il est poreux et surtout fissuré, il assure à sa base un magnifique niveau d'eau. Il en est de même pour le grès de Virton sur la marne de Strassen, dans la province belge.

On trouve le lias en beaucoup d'autres points de la France : la bordure du massif armoricain et du plateau central, en Bourgogne, en Normandie, dans le Jura, dans le bassin du Rhône et les Alpes occidentales. Il a à peu près partout le même caractère : le calcaire à gryphées arquées est un niveau d'eau général, mais le charmouthien et le toarcien sont d'ordinaire imperméables.

3° *Oolithe*. — Les caractères de l'oolithe sont également assez constants dans les nombreuses régions où règne ce terrain, régions qu'il serait trop long d'énumérer et qui dessinent comme on sait une double boucle autour du pôle tertiaire du bassin de Paris et du pôle volcanogranitique du massif central.

Toutefois, dans les Alpes, le bathonien et le bajocien prennent souvent le facies schisteux et deviennent dès lors imperméables. Dans le bassin du Rhône, le Jura et l'Aquitaine, c'est le kimméridgien qui au lieu d'être argileux devient calcaire et laisse traverser l'eau jusqu'aux marnes oxfordiennes.

4° *Crétacé*. — Le crétacé occupe de très grandes étendues non seulement à l'Est, mais encore au Nord et à l'Ouest (un peu moins au Sud) du bassin de Paris, — puis une large bande s'étendant de l'embouchure de la Charente jusqu'au Lot —, une autre bande plus étroite sur le flanc Nord des Pyrénées, enfin un très grand espace sur le revers

Ouest des Alpes jusqu'au Rhône, avec prolongements dans l'Ardèche, le Gard et l'Hérault.

a) Dans le Nord de la France, le crétacé inférieur n'est pas plus développé que dans l'Est : il ne renferme guère qu'un niveau d'eau qui est dans les sables verts du gault. Le crétacé supérieur y est au contraire fort étendu et riche en nappes. M. Gosselet reconnaît les suivantes :

CRÉTACÉ SUPÉRIEUR	Sénonien	}	Nappe de la craie proprement dite. (La craie a été fendillée et cassée et forme réservoir d'eau ; cette nappe gêne beaucoup les exploitations houillères. Sous l'argile de Louvil elle peut devenir artésienne).
			Nappe du Tun : aux environs de Lille, il y a deux couches de tun, séparées par quelques mètres de craie sableuse, et une nappe à la base de chaque tun.
	Turonien	}	Nappes de la craie à <i>Cornus</i> . (Plusieurs nappes aquifères sur des bancs de marne).
			Nappe des marlettes. (Dans la craie à <i>Terebratulina gracilis</i> , sur les dièves. Nappe très riche et très constante, donnant naissance à de nombreuses sources).
Cénomaniens	}	Nappe des marnes blanches à <i>Belemnites plenus</i> (quand ces marnes sont calcaires, comme à la Capelle, Nouvion, Guise).	

b) En Belgique, le hervien (sénonien) contient à la base une couche d'argile, très importante au point de vue aquifère : cette couche empêche l'eau de descendre dans le terrain houiller et constitue une nappe dans la craie (alimentation de la ville de Liège). Notons que les couches crétacées et tertiaires de la moyenne et de la basse Belgique plongent toutes régulièrement vers le Nord-Nord-Ouest avec une pente de 5 m par kilomètre : les nappes ont donc leur écoulement dans le même sens.

c) En Champagne, on connaît les *sommes*, sources de déversement provenant de la craie sénonienne. Quant à l'infra-crétacé, il ne donne que des petites sources.

d) Dans le Sud-Est de la France, c'est au contraire le crétacé inférieur qui prend un grand développement, et comme il devient très calcaire (urgonien), il donne naissance à de grandes nappes et à de grosses sources. La fontaine de Vaucluse, étudiée par notre regretté Maître M. Marius Bouvier, et par son successeur M. Dyrion, en est le type : elle écoulait les eaux souterraines d'un bassin de 1 650 km², renfermant 79 avens reconnus (voir une coupe en long de ce bassin d'après M. Dyrion, fig. 16). La fontaine de Nîmes (voir fig. 9, p. 26), celles d'Eure, de Tavel, de Gourdagne, de Bourg-Saint-

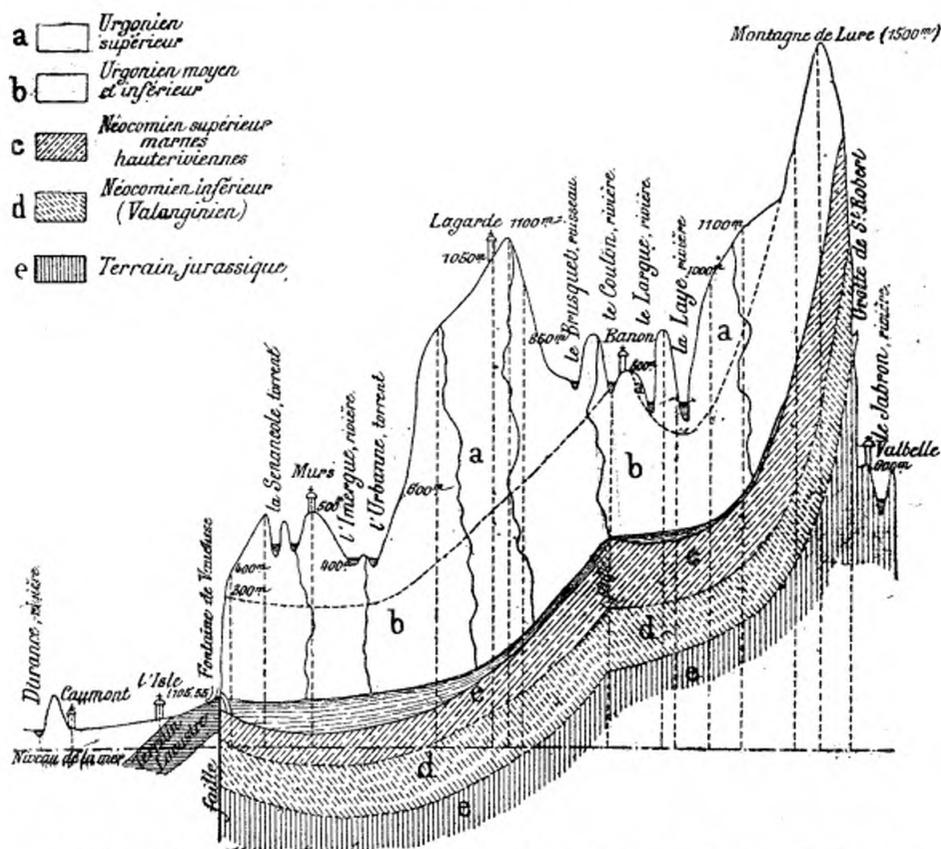


Fig. 46. — Coupe en long (de Sisteron à Avignon) du bassin de la Fontaine de Vaucluse (d'après Dyrion).

Andéol, etc., sont de même nature. Voici, d'après M. Torcapel, les quatre niveaux d'eau du néocomien et de l'urgonien aux environs de Nîmes.

	Aptien	Marnes aptiennes (impermeables)
Urgonien	Bouzerien ép ^r 500 ^m	1 ^{er} Niveau d'eau. Calcaires rocheux Couches marneuses coralligènes à <i>Chama ammona</i>
	Barutélien ép ^r 320 ^m	2 ^{ème} Niveau d'eau Marnes et calcaires marneux à <i>Ammonites difficiles</i> (imp.)
	Cruasien ép ^r 150 ^m	3 ^{ème} Niveau d'eau Calcaires rocheux à <i>Ammonites cruasensis</i>
Néocomien	Hauteriviens ép ^r 400 ^m	4 ^{ème} Niveau d'eau. Calcaire marneux à <i>Croceras Duvali</i> (imp.)
	Valanginien ép ^r 100 ^m	Marnes et calcaires marneux à <i>Ammonites radiatus</i> Marnes à <i>Belemnites lotus</i> (imp.)

Les calcaires, grès et sables glauconieux de l'albien sont perméables

et donnent naissance à de nombreuses sources dans le Gard (Campagnac, Blanzac, Salzac, etc. etc.)

Le crétacé supérieur de la Provence contient également plusieurs niveaux d'eau. Les grès ferrugineux et calcaires marno-gréseux sont un peu perméables et donnent de nombreuses sources, mais petites. Les *calcaires à hippurites*, grès et calcaires gréseux du turonien et du sénonien renferment plusieurs nappes, sur les couches argileuses intercalées, notamment une nappe importante sur les sables et argiles réfractaires à *Ostrca columba* (sources de Saint-Victor des Oules, de Sabran, de Bagnols, etc.) —; enfin, les calcaires et marnes de Rognac, de Fuveau et de Piolenc (danien) forment un ensemble perméable. (Les couches lignitifères du bassin de Fuveau, dans la vallée de l'Arc, entre Aix et Marseille, contiennent des eaux abondantes qui gênent beaucoup l'exploitation des mines).

e) Nous ne savons rien du supra-crétacé de l'Aquitaine, si ce n'est qu'il est essentiellement calcaire et doit dès lors être aquifère à sa base et aux différentes hauteurs où s'interposent des couches de marne.

IV. — TERRAINS TERTIAIRES.

(EOCÈNE, OLIGOCÈNE, MIOCÈNE, PLIOCÈNE, .

Les terrains tertiaires, alternance de couches relativement minces de sable, d'argile et de calcaire, sont beaucoup plus variables de composition d'un lieu à un autre que les terrains plus anciens. Il est donc difficile d'en donner une description d'ensemble, mais il sera bon de se rappeler que les sables étant généralement désagrégés, sont toujours très perméables, et que les calcaires étant en bancs peu épais laissent d'ordinaire passer l'eau comme au travers d'un crible : l'importance des nappes dépend surtout, bien entendu, de l'étendue des affleurements du terrain perméable.

a) *Bassin de Paris*. — Le bassin de Paris est classique. En voici la description schématique (voir Tableau p. 51) :

OBSERVATIONS. — En raison de l'étendue de leurs affleurements et de leur épaisseur relativement grande aux environs de Paris, les sables du Soissonnais sur l'argile plastique d'une part, les sables de Fontaine-

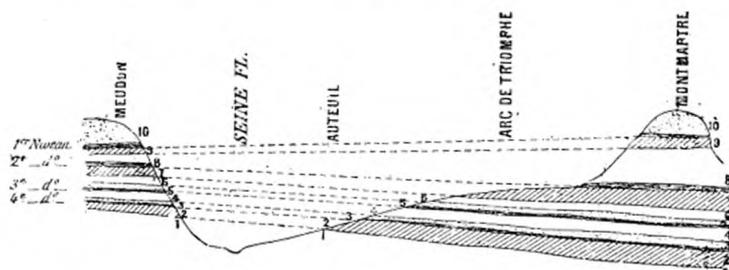


Fig. 17. — Diagramme des couches tertiaires et des nappes aquifères sous Paris.

- 1, 1, 1. — Craie et calcaire pisolithique (crétacé);
- 2, 2, 2. — Argile plastique (sparnasien);
- 3, 3, 3. — Sables du Soissonnais (ypresien). — 4^e niveau d'eau;
- 4, 4, 4. — Calcaire grossier (lutétien);
- 5, 5, 5. — Sables de Beauchamp } — 3^e niveau d'eau;
- 6, 6, 6. — Calcaire de Saint-Ouen } (bartonien)
- 7, 7, 7. — Marnes à *Pholadomya ludensis* } (ludion); — 2^e niveau d'eau;
- 8, 8, 8. — Gypse
- 9, 9, 9. — Glaises vertes;
- 10, 10. — Sables de Fontainebleau. — 1^{er} niveau d'eau.

bleau sur la marne à huîtres de la base ou plus souvent sur les glaises vertes d'autre part, donnent naissance à deux grandes nappes aquifères, dont l'eau, filtrée par les sables, doit être de tous points excellente. On pourrait certainement, en choisissant des points convenables, saigner ces nappes par de belles captations souterraines : c'est ce que songe à faire la ville de Compiègne.

La surface de la Brie, occupée par les meulrières et marnes (travertin moyen) est généralement imperméable et présente de nombreuses mares. Il en est de même de la grande forêt d'Orléans (argile à silex du burdigalien). Ces régions sont donc l'opposé de la grande forêt de Fontainebleau qui ne contient pas d'eau à la surface, le sol laissant tout pénétrer dans la profondeur.

b) Nord de la France et Belgique. — M. Gosselet, pour le Nord, indique les nappes suivantes, en allant de haut en bas :

Nappe des sables de Diest (pliocène), sur une couche d'argile à *Pecten corneus*;

Nappe des sables de Cassel, sur l'argile de Flandre (base de l'ypresien);

Nappe des sables de Mons-en-Pévèle (sables nummulitiques);

Tableau des Terrains tertiaires et de leurs nappes aquifères dans le bassin de Paris (Voir la coupe sous Paris fig. 17).

TERRAINS	ÉTAGES	ASSISES	Notation de la carte géologique	Perméabilité	Épaisseur moyenne	NIVEAUX D'EAU																		
EOCÈNE	OLIGOCÈNE				m.																			
					MIOCÈNE PLOCÈNE		Sicilien . . .	Sables de Saint-Prest	p^1	perm.	2 à 10	Peu développé dans le bassin de Paris : ne fait que couronner quelques coteaux.												
							Astien . . .	Sables à nassa du Cotentin	»	perm.	5 à 6													
							Plaisancien . . .	Faluns de la Dixmerie	p_1	perm.	5 à 20													
					MIOCÈNE PLOCÈNE		MIOCÈNE PLOCÈNE					Petite nappe sur un lit de marne.												
													Tortonien . . .	Faluns de l'Anjou	»	perm.	5							
													Helvétien . . .	Faluns de la Touraine	m^3	perm.	20							
														Sables et argiles de la Sologne	m^2	perm.	10 à 40	Nappe dans les sables de la Sologne sur la couche de marne.						
													Burdigalien . . .	Marnes de l'Orléanais	m^1	imp.	2 à 10							
														Sables de l'Orléanais		perm.	10 à 20	Manque parfois.						
													Aquitaniens (calcaire de Beauce)	Calcaire à hélices de l'Orléanais		perm.	20	Petite nappe dans les calcaires supérieurs.						
														Mollasse du Gâtinais		imp.	5 à 15							
													EOCÈNE	OLIGOCÈNE					L'eau traverse cette assise : vallées sèches.					
																				morency	Calcaire à limnées, meulrières de Montmorency	m_4	perm.	20 à 30
																					Sables de Fontainebleau		perm.	40 à 60
Stampien . . .	Marnes à huîtres	m_{11}	imp.	2 à 10		Manque } Grande nappe, soit sur les marnes à huîtres, soit sur les glaises vertes (1 ^{er} niv. sous Paris).																		
	Sannoisien . . .	Calcaire lacustre (travertin moyen) de la Brie	e^5	variab.	1 à 5																			
EOCÈNE	OLIGOCÈNE					Très peu épais près de Paris : petit niveau d'eau sur e^4 (manque parfois).																		
							Glaives vertes		e^4	imp.	4 à 5													
								Ludien . . .	Gypse (travertin de Champigny)	e^3	perm.	10 à 20												
							Marnes à Pholadomya ludensis			imp.	5 à 35													
							Bartonien . . .	Calcaire lacustre (travertin) de St-Ouen	e^2	peru.	10 à 20	L'eau traverse cette assise : vallées sèches.												
								(Wemmélien) Sables de Beauchamp	e^1	perm.	15 à 45													
							Lutétien . . .	Calcaire grossier } et caillasses	Calc. lacustre à cérites	e_1	imp.	12 à 15								Nappe dans les sables de Beauchamp (3 ^e niveau sous Paris).				
									Calc. marin à miliolites	e_{11}	perm.	8 à 10												
							EOCÈNE	OLIGOCÈNE					Nappe sur une couche d'argile brune au sommet de e_{11} .											
														Yprésien . . .	Sables nummulitiques } Sables de Cuise ou sables du Soissonnais } Sables d'Aizy	e_{111}	perm.	35 à 50						
															Argile plastique	e_{1r}	imp.	10 à 50						
														Sparnacien . . .	Sables de Rilly		perm.	12	Nappe importante à la base de l'étage sur une couche d'argile (argile de Louvil).					
Thanétien . . .	Sables de Bracheux	e_v	perm.	10 à 12																				
EOCÈNE	OLIGOCÈNE					10																		
							Sables et grès de Jonchery																	

Nappe des sables landéniens sur l'argile de Louvil, nappe importante, (il y a parfois plusieurs nappes sur des bancs argileux intermédiaires).

Aux environs de Bruxelles, l'yprésien argileux à sa base repose soit directement sur les schistes primaires, soit sur la craie, soit plus souvent sur le landénien. Les sables yprésiens sont surmontés par les sables bruxelliens (lutétien) et lédiens (bartonien) qui sont perméables (la nappe arrêtée par l'argile yprésienne peut occuper en hauteur les sables bruxelliens); puis on trouve l'argile de la base de l'asschien (ludien) et au-dessus les sables asschiens et tongriens qui contiennent une seconde nappe (voir fig. 18).

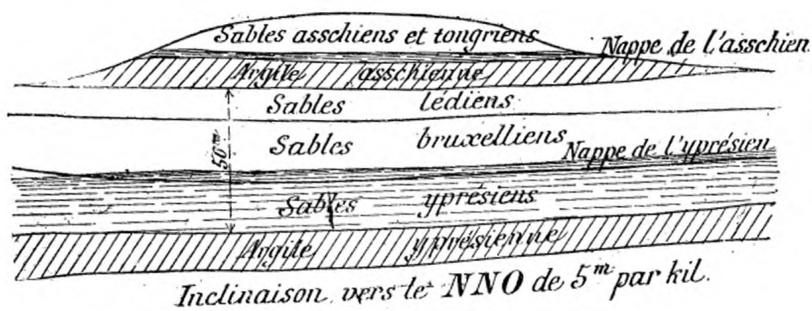


Fig. 18. — Coupe d'une colline des environs de Bruxelles.

Aux environs d'Anvers, le lédien et l'asschien deviennent plus épais : les sables lédiens ont 38 à 40 m, l'argile asschienne 45 m, le sable asschien 20 à 25 m ; il est surmonté par l'argile de Boom (40 m) qui appartient à l'oligocène moyen (rupélien) et est naturellement imperméable.

c) *Sud-Est de la France.* — (En grande partie d'après M. Torcapel : note inédite). — L'éocène inférieur y est surtout calcaire : calcaires lacustres inférieurs. Leur ensemble est perméable jusqu'à la base constituée par l'étage rutilant lequel est argileux (argiles rutilantes de Vitrolles) et imperméable : il y a donc là un beau niveau d'eau. L'éocène moyen et supérieur est représenté pour le bartonien par des marnes argileuses grises ou rouges et des sables bariolés (sables d'Apt) qui sont imperméables, et pour le ludien par des calcaires et marnes à paléotherium qui sont perméables et donnent des sources soit sur des couches de marne, soit surtout sur les couches sous-jacentes du bartonien.

Dans les Alpes, on distingue l'éocène nummulitique et le *flysch* : le

terrain nummulitique formé de grès et de calcaires est essentiellement perméable, mais le flysch schisteux qui les surmonte arrête les eaux. De là naturellement deux nappes, l'une à la base du tertiaire, l'autre au-dessus du flysch.

Dans les Corbières et le Languedoc, au-dessus des argiles rutilantes qui couronnent le *garumnien*, l'éocène débute par les calcaires lacustres à physes et les couches nummulitiques, puis on trouve les calcaires marins à miliolites et à alvéolines : le tout forme un ensemble perméable avec principal niveau d'eau à la base. Au-dessus, les marnes à *Operculina granulosa* (lutétien) arrêtent les eaux, qui tombent sur les grès de Carcassonne et d'Issel (bartonien) et sur les poudingues de Palassou (ludien), et forment un second niveau important.

L'*Oligocène* dans le Sud-Est est peu perméable, étant très marneux ; il y a cependant quelques niveaux d'eau dans les bancs calcaires ou gréseux, surtout à la base de l'étage tongrien, mais l'eau en est souvent chargée de sulfate de chaux ou même franchement minérale (sources d'Euzet, des Fumades dans le Gard, de Villemus, de Vacqueyras, de Montbrun dans Vaucluse).

Miocène. — La mollasse calcaire de l'étage burdigalien (pierre de Beaucaire et de Saint-Restitut) est trop compacte pour être bien perméable, et elle ne donne que de petites sources (mais assez nombreuses) sur les marnes sableuses qui sont le plus souvent à sa base. — Les sables et grès dits *safre* en Provence (étage helvétien) sont également très compacts et forment une masse à peu près imperméable ; la surface seule se délite et absorbe une certaine quantité d'eau : toutefois quand les grès se développent, ils forment réservoir d'eau.

Au-dessus, le tortonien comprend à la base les marnes de Cabrières totalement imperméables, puis la mollasse de Cucuron qui est perméable, mais, étant peu épaisse, ne renferme qu'un petit niveau d'eau.

Les étages pontien et sarmatien (marnes à *Helix christoli*, limons et conglomérats à hipparion) sont imperméables.

Pliocène. — Les marnes subapennines du plaisancien, totalement imperméables supportent dans le Gard des sables astiens, qui forment à leur base un beau niveau de sources, à débit assez constant (sources de Bellegarde, de Jonquières, de Clausonne, de Meynes, etc.).

d) *Sud-Ouest de la France*. — Il reste le grand bassin tertiaire de l'Aquitaine, qui s'étend entre la bande supra-crétacée précédem-

ment signalée et le pied des Pyrénées. Malheureusement nous ne connaissons la géologie de cette région que par les livres et il serait téméraire de bâtir d'après cela — *a priori* — son hydrologie souterraine. Disons seulement que l'éocène est surtout calcaire, avec interposition de quelques couches argileuses qui doivent arrêter les eaux (marnes de Bos d'Arros, argiles de Blaye); que l'oligocène, très étendu, est plus généralement argileux avec quelques bancs calcaires, naturellement aquifères (calcaires de Civrac et de Castillon, calcaire à astéries et calcaires de l'Agenais). Que le miocène est composé de faluns et de mollasses généralement perméables; qu'enfin le pliocène est représenté par l'important dépôt du *sable des Landes*, caractérisé par un banc d'*alios*, c'est-à-dire par la présence à faible profondeur d'une couche dure et imperméable, formée de grains quartzeux agglutinés par des matières organiques et par un ciment d'oxyde de fer hydraté. Cet alios a de 0^m,40 à 0^m,50 d'épaisseur et est à environ 0^m,50 de la surface: en dessous la couche de sable blanc est épaisse et, comme l'alios est souvent fissuré, elle est aquifère. (Tout le monde connaît les beaux travaux d'assainissement entrepris sous l'impulsion donnée par M. Chamberlent, en vertu de la loi du 17 juin 1857. Non seulement, M. Chamberlent a appris aux populations à écouler les eaux stagnantes à la surface, mais il leur a appris à capter aussi de bonne eau potable, en descendant des puits filtrants à 4 ou 5 m de profondeur dans le sable blanc au-dessous de l'alios, et en empêchant par une bonne maçonnerie et un bon corroi les eaux de surface d'y accéder).

V. — TERRAINS QUATERNAIRES.

Le quaternaire en France n'est guère représenté, outre les dunes côtières, que par les alluvions anciennes formant des terrasses au-dessus du fond des vallées, et par les alluvions récentes remplissant ce fond. Ces alluvions (graviers, sables et limon) sont perméables, et si elles reposent sur un terrain ancien imperméable, elles forment réservoir d'eau; la nappe ainsi constituée donne naissance à de nombreuses sources, en même temps qu'elle alimente des puits en nombre incalculable et les galeries captantes de nombreuses villes. L'eau en est d'ordinaire peu minéralisée.

Il est clair que si les alluvions reposent sur des terrains perméables ou fissurés, elles ne peuvent plus fournir de sources, l'eau descendant plus profondément.

Quant aux dunes, l'eau s'infiltré facilement dans le sable ; elle s'arrête souvent, en partie du moins, sur les petites couches d'argile qui sont à la base des monticules, et y forment des sources et des nappes ou les localités du littoral vont puiser.

ANGLETERRE.

Nous ne connaissons pour l'Angleterre que le beau volume de Ch. de Rance « The Water Supply of England and Wales » de 1882. Comme l'ouvrage de Belgrand, il contient surtout des données relatives aux cours d'eau ; on y trouve toutefois une bonne carte hydro-géologique qui divise les terrains en 4 classes (imperméables, partiellement poreux, poreux, perméables), et si on la compare à une carte géologique on trouve que l'auteur regarde comme imperméables en général les terrains primitifs et primaires (silurien et dévonien) et le lias, comme partiellement poreux le carbonifère, comme poreux le keuper et les terrains tertiaires, enfin comme perméables le permien, les grès du trias, les calcaires conchylien, jurassique et crétacé. Il indique en somme les niveaux d'eau suivants qu'il est intéressant de comparer avec ceux qui correspondent en France, et il donne la dureté moyenne des eaux qui en sortent :

TERRAINS	ÉTAGES AQUIFÈRES	Degrés de dureté moyenne	
		Anglais	Français
Primitif . .	Sources du granit et du gneiss.	3,0	4,3
Silurien . .	Sources des bancs calcaires	6,8	9,7
Dévonien . .	Old red sandstone (vieux grès rouge), puits artésien	3,6	5,1
Carbonifère .	Mountain limestone (calcaire carbonifère), sources	17,4	24,8
	Yoredale and Millstone grits (grès houiller), sources et puits profonds	14,9	21,3
	Coal measures (puits profonds).	35,7	51,0
Permien . .	Magnesian limestone (calcaire magnésien), puits profonds	43,8	62,6
Trias . . .	New red sandstone (nouveau grès rouge), puits et sources	17,9	25,6
Lias . . .	Peu perméable (quelques sources qui sont dures)	»	»
Oolithe . .	Calcaires oolitiques } Sources	24,4	34,9
	(très aquifères) } puits profonds (non pollués).	20,6	29,4
Crétacé . .	Inférieur : Lower et upper green sand (grès vert supérieur et inférieur), sources	20,2	28,9
	Supérieur : craie (puits profonds)	27,7	39,6
Eocène . .	Sables de Thanet (thanétien), puits profonds . .	22,0	31,7
	Sables de Bagshot (lutétien et bartonien), sources .	3,8	5,4

L'ouvrage contient encore de nombreux renseignements sur l'alimentation en eau des villes d'Angleterre, des détails intéressants sur les puits artésiens, etc. Il se termine par un chapitre sur la propagation des maladies épidémiques par l'eau de boisson, chapitre qui serait évidemment à revoir aujourd'hui avec les lumières de la bactériologie.

ALLEMAGNE.

S'il y a de nombreuses monographies pour décrire l'alimentation des villes, nous n'avons pas trouvé d'autre étude d'ensemble des nappes aquifères d'une région que celle que le Gouvernement d'Alsace-Lorraine vient d'exposer à Paris, sous le titre : « Die geologische Grundlage der Wasserversorgung von Elsass-Lothringen » (avec un aperçu sur les conditions hygiéniques des diverses installations). Cette étude est l'œuvre de MM. les D^{rs} van Werveke et Schumacher, géologues officiels, et de M. le Medizinalrath Krieger; elle fera l'objet d'une publication qui sera plus détaillée que les coupes et dessins exposés, mais qui malheureusement n'est pas encore parue. Nous ne pouvons résister au plaisir de citer une page de l'introduction que M. Krieger a bien voulu nous adresser :

On admet généralement de nos jours que, de même que l'examen d'une eau destinée à une conduite est à confier aux chimistes et aux bactériologistes, l'appréciation de sa valeur au point de vue de l'hygiène regarde les médecins compétents; on reconnaît que la captation des eaux, l'exécution des conduites et des distributeurs n'est possible que par des personnes possédant des connaissances techniques spéciales, et l'on semble ignorer que seuls les géologues sont à même de se prononcer sur nombre de questions d'une importance fort considérable. Sera-t-il possible de trouver de l'eau, quelle en sera la composition, de quelles quantités pourra-t-on disposer, un tarissement précoce est-il à craindre, la quantité de l'eau restera-t-elle la même?, telles sont les questions qu'eux seuls peuvent résoudre.

On n'ignore plus que non seulement l'existence des nappes d'eau souterraines et leurs cours, mais encore leur composition est en rapport direct avec la formation géologique des parties en question de la croûte terrestre. La géologie, utilisant au point de vue scientifique les phénomènes de formation de sources, les découvertes de nappes d'eau souterraines et la connaissance des lois qui régissent leur cours, permet d'appliquer l'expérience acquise ainsi en d'autres circonstances, où les conditions géologiques sont identiques ou semblables.

On eût renoncé à toute tentative aussi coûteuse qu'inutile de recherches de sources, si l'on avait pris en considération la formation du sol où l'on opérait. La tentative d'une ville d'Alsace en est un exemple frappant. Il y a quelques années, on fit creuser, sur les conseils d'un soi-disant homme compétent, une galerie dans la grauwacke, essai que tout géologue au courant des conditions géologiques de la contrée devait condamner d'avance: il faut ajouter qu'on s'y décida contrairement à l'avis d'un géologue officiel.

Si l'on a accordé jusqu'ici si rarement l'importance qu'elles méritent aux con-

ditions géologiques dans les questions de captation d'eau, c'est qu'en Alsace-Lorraine, pas plus que dans le reste de l'Allemagne, *il n'existe de recueil des observations offrant de l'intérêt à ce sujet.*

Le présent travail se propose de combler cette lacune quant à l'Alsace-Lorraine: il doit démontrer les différentes origines des sources et nappes d'eau souterraines et avant tout leur rapport avec la structure géologique du pays.

Les cartes exposées représentent une série de coupes géologiques et font voir par différents exemples comment la question d'approvisionnement d'eau peut être résolue ou est à résoudre encore en tenant compte de la formation géologique du sol: une série de types de systèmes défectueux ou avantageux mettent en lumière le côté hygiénique de la question.

Les coupes géologiques exposées sont les suivantes :

(Échelles : longueur 1 : 100 000; hauteur 1 : 25 000).

a. Coupe géologique du Sud au Nord des Vosges et de la Haardt passant par le ballon de Soultz et les sommets de grès des Vosges moyennes.

b. Coupe géologique du Sud au Nord des Vosges moyennes passant par le Brézouard.

c. Coupe géologique des Vosges moyennes et de la plaine du Rhin.

d. Coupe géologique de la Haardt et du plateau lorrain.

Les niveaux d'eau ont été relevés par les auteurs et ils ont été mis en évidence par l'exemple d'un grand nombre de localités qui en tirent leur alimentation; il est curieux de les comparer avec ceux que nous avons déterminés nous-même pour Meurthe-et-Moselle.

TERRAINS PRIMITIFS. — Sources dans le granit et le gneiss (Sainte-Marie-aux-Mines).

CARBONIFÈRE INFÉRIEUR. — Galerie infructueuse de Thann dans la grauwacke.

TRIAS. — 1^o *Eaux abondantes du grès vosgien*: alimentation de Forbach, Ribeauvillé, Riquewihr, Lutzelbourg, Eschbourg, et projet d'alimentation de Sarreguemines (en remplacement d'un projet de puits artésiens dans le muschelkalk).

2^o *Muschelkalk*. — Niveau dans les couches à terebratula du wellenkalk, (Drulingen), et niveau principal à la limite des bancs calcaires du muschelkalk moyen avec les marnes de l'inférieur (Durstel): *c'est notre nappe médioconchylienne*.

3^o *Keuper*. — Quelques niveaux dans la zone salifère (nappes du gypse) et niveau principal dans le grès de Stutzart et la dolomie moyenne (Dettwiler, St-Médard).

LIAS. — Surtout marneux, très pauvre en eau souterraine.

OOLITHE INFÉRIEURE. — Grand niveau à la base du dogger (bajocien) — Faille de Gorze — sources de déversement.

Deux niveaux (nos deux nappes infrabathonniennes) dans la grande oolithe (plateau de Gravelotte et de Montois, bassin de Bouxwiller).

DILUVIEN. — Nappes des vallées de la Moselle et du Rhin.

On voit pour terminer des exemples typiques de fontaines mal captées, et de puits contaminés par des infiltrations d'eaux de surface, de purins, etc.

HONGRIE.

La plaine hongroise, où l'on a foré, comme nous l'avons dit, de nombreux puits artésiens et autres est bien connue en ce qui regarde ses ressources en eaux souterraines. D'après une coupe de puits artésien qu'a bien voulu nous envoyer M. le Conseiller technique Kalman de Farkass, nous voyons que ces puits descendent à près de 300 m, traversant les marnes à cyrènes (oligocène) et les marnes de Bude (éocène supérieur) avant de rencontrer les couches aquifères des sables nummulitiques.

BOSNIE ET HERZÉGOVINE.

M. Ballif, dans son ouvrage « Wasserbauten in Bosnien und der Hercegovina » décrit un grand nombre de sources de ces pays et donne des détails sur la manière de les trouver et de les capter. Il existe encore dans ces régions d'assez nombreuses adductions d'eau (faites à la manière orientale) qui datent de l'occupation turque, mais l'activité des ingénieurs austro-hongrois vient d'en installer un grand nombre de nouvelles.

SUÈDE ET NORVÈGE.

M. Richert nous apprend que les pays scandinaves sont très mal partagés en nappes souterraines et cela ne saurait nous surprendre puisque l'on sait qu'ils sont exclusivement composés de roches primitives, avec quelques lambeaux de terrains primaires. Nous laisserons un instant la parole à M. Richert :

« Dans les pays scandinaves, les conditions hydrologiques sont en général si défavorables, qu'il est fréquemment impossible de pourvoir aux besoins d'une ville de quelques milliers d'habitants. La raison de ce désavantage est due à la géologie particulière des pays en question. Nous manquons totalement de ces vallées fluviales larges et horizontales du continent, remplies de puissantes couches de sables aquifères. Partout où la roche ne perce pas à la surface, celle-ci est fréquemment recouverte d'argile ou de gravier de moraine dur et comprimé presque imperméable. A l'époque glaciaire, où nos plus hautes sommités étaient enfouies sous la glace, tous les lits de sable formés dans les périodes antérieures furent enlevés et conduits à la Baltique ou sur les plaines de l'Allemagne du Nord. Après la fonte de la glace, une grande partie du pays

fut abaissée à deux reprises sous les eaux de la mer, et ces submersions, avec les relèvements qui les suivirent, entraînent le lavage des masses de moraines et leur triage en sable ou en argile, dont la dernière se présente par conséquent soit à la surface, soit intercalée entre des couches de sable tant anciennes que récentes. On rencontre des districts de plusieurs milliers de kilomètres carrés où la surface ne se compose que de roche, de gravier, de moraine ou d'argile, et où par conséquent il ne pénètre dans le sol qu'une partie inappréciable d'eau tombante. Si donc toutes les couches de sable d'une certaine profondeur font simultanément défaut, toute question de nappe souterraine doit être abandonnée sans retour.

Il peut arriver par contre que, quoique le district d'infiltration soit insuffisant et la nappe souterraine insignifiante, les conditions souterraines sont favorables en elles-mêmes. Dans plus d'une vallée, on rencontre sous la couverture d'argile un lit profond de sable stratifié ou même de gros gravier. Le résultat de l'exploration hydrologique sera, il est vrai, négatif en ceci que la nappe souterraine est insuffisante par suite de l'absence d'infiltration, mais il a été démontré du même coup que, dans des conditions favorables d'infiltration, l'eau souterraine serait en état de fournir un afflux d'eau bien plus grand. Loin de perdre courage, il faudra, dans ce cas, plutôt raisonner comme suit : La quantité de l'infiltration étant seule insuffisante, que l'ingénieur vienne en aide à la nature en établissant une *infiltration artificielle* ».

Nous reviendrons sur cette question au prochain chapitre.

Ajoutons que le célèbre explorateur Nordenskiöld, désirant obtenir de l'eau douce pour des stations de pilotes sur les côtes ou dans des îlots granitiques, a décidé le gouvernement à tenter des sondages dans ces conditions, et que sur 50 puits descendus à 32 m environ, un seul a échoué, l'eau remontant dans les autres assez près de la surface pour être utilisée par une pompe à main. Sa théorie est basée sur ce qu'il existerait à cette profondeur (qui correspond à celle de la température constante du sol) une fente horizontale, produite dans les roches très compactes par les mouvements dus aux différences de température diurnes et annuelles de l'écorce : cette fente serait d'ordinaire remplie d'eau douce.

ITALIE.

Nous ne connaissons que quelques monographies de régions peu étendues. Dans son traité « *Ingegneria sanitaria* » qui est en cours de publication, M. Spataro donne comme exemple l'étude hydrographique d'une partie des bassins du Liri et du Volturno ; une des coupes géologiques, montrant l'origine de la source Capo Volturno, ressemble tout à fait à notre fig. 16, p. 48) relative à la fontaine de Vaucluse.

PORTUGAL.

M. le D^r Paul Choffat, géologue à la direction des Travaux publics à Lisbonne, vient d'écrire dans le n° 3 de 1900 de la *Zeitschrift für*

Gewaesserkunde une étude sur les eaux souterraines et les sources du Portugal : il avait déjà écrit des notices sur les puits artésiens du même pays, — sur la composition des eaux de Lisbonne et ses rapports avec leur origine géologique, — sur la provenance géologique des sources minéro-thermales des aires mésozoïques du Portugal.

Nous voyons par les travaux de cet auteur que les sources du granite sont généralement de nature filonienne, — que celles des calcaires jurassiques ont le caractère vaclusien (un bel exemple de source à parcours souterrain est celle de l'Alviella, qui naît à une certaine distance du pied d'un grand massif calcaire, au point où l'eau souterraine vient buter contre la faille de Minde) — qu'enfin les sables du tertiaire marin des environs de Lisbonne et du pliocène sont très aquifères et très propres à alimenter des puits artésiens : un assez grand nombre y ont été creusés et ont réussi.

ÉTATS-UNIS.

C'est certainement le pays qui a fait dans ces derniers temps le plus d'efforts et le plus de progrès dans cette science si récente de l'hydrogéologie. Les Américains ont criblé le sol de leur immense territoire d'une quantité innombrable de puits et de sondages pour rechercher le pétrole, le gaz et l'eau ; les géologues ont profité de toutes ces recherches pour déterminer la constitution du sous-sol des États de l'Union et la plupart d'entre eux n'ont pas oublié les nappes aquifères. Au point de vue qui nous occupe, nous trouvons dans les publications du Geological Survey notamment les belles monographies suivantes :

- 1889-90 — *The arid lands : artesian irrigation on the great plains*, — par J.-W. Powell, directeur du Geological Survey.
 1890-91 — *Hydrography of the arid regions*, — par Newell.
 Id. — *Report upon location and survey of reservoir sites*, — par Thompson.
 1891-95 — *The public lands and their water supp'y*, — par Newell.
 Id. — *Water resources of a portion of the great plains*, — par Robert Hay.
 1895-96 — *Water resources of Illinois*, — par Leverett.
 Id. — *The underground waters of Arkansas valley*, — par Gilbert.
 1896-97 — *Water resources of Indiana and Ohio*, — par Leverett.
 1897-98 — *The rock waters of Ohio*, — par Orton.
 Id. — *Geology and water resources of Nebraska*, — par Darton.

On voit que plusieurs États sont déjà bien connus (l'étude des cours d'eau, lacs, réservoirs, etc., va d'ailleurs encore plus vite), et que d'ici peu d'années le sous-sol des États-Unis, peuplés d'hier, sera mieux décrit et repéré que celui de la vieille Europe.

nant ci-dessous une idée sommaire de l'hydrologie souterraine des États-Unis.

Le territoire de l'Union est une immense cuvette comprise entre deux massifs de terrains primitifs formant les chaînes des Alleghanys et des Apalaches à l'Est, celles des Montagnes Rocheuses, de la Sierra Nevada et de la Sierra de la Côte à l'Ouest (les terrains primitifs apparaissent encore au Sud et à l'Ouest du lac Supérieur). Dans cette cuvette se sont déposés : les terrains primaires ou paléozoïques qui — le carbonifère principalement — y ont pris un très grand développement, surtout dans la moitié Est ; le trias et le jurassique, qui n'affleurent en quelque sorte que par leur tranche et forment des bandes étroites, parallèles aux grandes croupes montagneuses ; le crétacé, qui règne sur d'immenses étendues au pied et à l'Est des Montagnes Rocheuses ; les terrains tertiaires également assez étendus, surtout au Sud-Est ; enfin le quaternaire qui, au Sud, forme les rivages du golfe du Mexique et au Nord, sous le nom de « drift glaciaire », couvre de grands espaces occupés autrefois par des glaciers. Les terrains constituant le bord Est de la cuvette ont subi des plissements qui y ont dessiné une série de synclinaux et d'anticlinaux allongés du Nord-Est au Sud-Ouest, suivant la direction générale des Alleghanys : naturellement les synclinaux ont une grande importance pour drainer les eaux souterraines. Quant aux terrains voisins des Montagnes Rocheuses, ils ont été disloqués et fracturés sans loi reconnaissable.

Les deux coupes, fig. 19 et 20, p. 61, tracées en croix sur la cuvette, montrent les principales formations et les principales nappes des États-Unis : elles font bien comprendre par l'emboîtement des couches comment les nappes de cette cuvette ont si facilement le caractère artésien. La première coupe, fig. 19, est dirigée du Nord au Sud, de Buffalo à Pittsburg au travers des États de New-York et de Pensylvanie (elle montre les terrains paléozoïques) ; la seconde, fig. 20, est dirigée perpendiculairement à la première, c'est-à-dire de l'Ouest à l'Est, au travers de l'État de Nebraska, des Montagnes Rocheuses à Omaha (elle montre surtout le crétacé et le tertiaire).

I. — TERRAINS PRIMITIFS.

Rien de particulier ; toujours de nombreuses sources, situées dans le fond des vallons, aux abouchements des cassures ou dans les arènes.

II. — TERRAINS PRIMAIRES.

1° *Cambrien.*

Nous n'avons rien trouvé sur les eaux contenues dans ce terrain qui règne surtout au Sud du lac Supérieur ; mais formé en grande partie de schistes et de quartzites, il doit être fort peu perméable. Cependant l'étage *keweenawien* (qui surmonte le *huronien*) renferme des grès et des conglomérats rouges qui ont parfois d'énormes épaisseurs et doivent contenir de l'eau ; ces épaisseurs mêmes la rendent inaccessible en profondeur. Le grès de *Postdam* (qui, à la limite avec le *silurien*, repose d'ordinaire sur les *gneiss archéens*) contient aussi une nappe qui devient en général très profonde.

2° *Silurien, dévonien, carbonifère et permien (voir le Tableau de la p. 61).*

OBSERVATIONS. — 1) *Silurien.* — La puissance des assises siluriennes varie beaucoup avec les endroits. Ainsi les calcaires de *Trenton* et du *Niagara*, qui donnent deux niveaux d'eau, ont des épaisseurs six ou huit fois plus fortes dans la région des *Apalaches* qu'à l'Ouest de cette chaîne ; de plus ils y sont bien plus sableux ou même argileux que dans le *Missouri* et l'*Illinois* où ils sont à peu près entièrement calcaires.

2) *Dévonien.* — De composition assez constante, excepté sur la côte orientale où prédominent les grès et conglomérats de *Gaspé*.

3) *Carbonifère.* — Il est très variable de puissance et de composition. Le calcaire, intercalé en couches minces et par suite peu aquifères dans les coal measures de la *Pensylvanie*, de la *Virginie* et du *Tennessee* devient plus épais dans l'*Illinois*, l'*Indiana* et le *Kentucky* ; puis augmentant toujours au fur et à mesure que les couches de houille diminuent et disparaissent, il occupe presque toute la hauteur du terrain dans le *Missouri* et le *Nebraska*. C'est pourquoi dans la coupe du *Nebraska*, fig. 20, p. 61, on ne voit plus le carbonifère représenté que par une seule couche calcaire (*Wabaunsee formation* et *Cottonwood limestone*), à laquelle se réunit le calcaire permien. Cette couche est très aquifère et donne naissance à de nombreux puits artésiens.

Dans l'*Ohio*, le carbonifère inférieur qui comprend les schistes et grès de *Bedford* et de *Berea*, les schistes de *Cuyahoga* et le grès de *Logan* sous le nom de « *Waverly group* » est très pauvre en eau ; l'assise supérieure (grès de *Logan*) forme seule un petit niveau. En revanche les

2°. — Silurien, dévonien, carbonifère et permien.

Tableau donnant la composition approximative de ces terrains et la situation des nappes aquifères dans les États de New-York, de Pensylvanie et d'Ohio. (Voir la coupe fig. 19, p. 61).

TERRAINS	ÉTAGES	ASSISES	PERMÉABILITÉ	ÉPAISSEUR MOYENNE	NIVEAUX D'EAU	
CARBONIFÈRE	Houiller . . .	Upper barren coal Measures	imp.	200	Dans ces couches, il y a un grand nombre de petites nappes, produites par l'alternance de très nombreuses assises de grès, de conglomérats et de calcaires avec des schistes imperméables. L'ensemble est en somme pauvre en eau dans la profondeur.	
		Upper productive coal Measures	imp.	65		
		Lower barren coal Measures	imp.	170		
		Lower productive coal Measures	imp.	80		
	Anthracifère (Culm)	Famennien . . .	Conglomérat de Pottsville (de Sharon et de Massillon) et de Pocono	perm.	80 à 100	Couches très aquifères. Niveau d'eau.
			Grès et Conglomérats et Schistes	perm.	600	
DÉVONIEN	Frasnien . . .	Grès rouge de Catskill	perm.	1000	Plusieurs niveaux séparés par des couches schisteuses. Niveau d'eau dans les grès médians. Un niveau d'eau (artésien) dans les grès, sur les schistes.	
		Schistes et grès de Chemung	variable	450		
	Givétien et Eifélien	Coblentzien . . .	Schistes et grès de Portage	variable	300 à 400	
			Schistes dévoniens : étage d'Hamilton	imp.	360	
	Gédinnien . . .	Gothlandien . . .	Calcaire cornifère (supérieur de Helderberg) et grès d'Oriskany	perm.	10 à 30	Petit niveau d'eau, souvent artésien. Niveau d'eau.
			Calcaire inférieur de Helderberg	fissuré	50 à 100	
SILURIEN	Gothlandien . . .	Calcaire d'Onondaga (et calcaire hydraulique)	fissuré	10 à 300	Beau niveau d'eau : alimente beaucoup de localités. Niveau d'eau (parcours souterrain dans le calcaire caverneux).	
		Schistes et calcaire du Niagara } Schistes	fissuré	50 à 120		
	Ordovicien . . .	Gothlandien . . .	Calcaire et grès de Clinton	perm.	7 à 50	Beau niveau d'eau et belle ligne de sources. L'eau des sources est bonne, celle des puits artésiens souvent minéralisée.
			Schistes et grès de Medina	imp.	10 à 50	
Ordovicien . . .	Gothlandien . . .	Calcaires de Cincinnati et schistes d'Hudson river	imp.	100 à 275	Niveau d'eau, souvent artésien : eau généralement très minéralisée.	
		Schistes d'Utica	imp.	0 à 100		
Ordovicien . . .	Gothlandien . . .	Calcaire de Trenton	fissuré	100 à 200	Niveau d'eau, souvent artésien : eau généralement très minéralisée.	
		Grès calcifère de New-York et calcaire de Chazy	perm. et fiss.	»		Niveau d'eau.

couches « Conglomerate coal measures » sont très aquifères, tandis que les coal measures proprement dites (carbonifère supérieur) le sont fort peu, vu le peu d'épaisseur des bancs calcaires ou gréseux intercalés.

Dans l'Illinois, le carbonifère inférieur est déjà devenu beaucoup plus calcaire (calcaires de Kinderhook, de Burlington, de Keokuk, de St-Louis et de Chester) et par suite beaucoup plus aquifère ; le calcaire de St-Louis très fissuré et très caverneux donne notamment naissance à de grosses sources, apparemment vaclusiennes.

Dans le Colorado, le carbonifère, puissant d'environ 1 400 m, est presque exclusivement calcaire et gréseux et donnerait lieu à des émissions d'eau abondantes, si la pluie tombait elle-même plus copieusement sur la région ; à la base, on trouve le calcaire rouge dit du « Red Wall », au milieu le grès rougeâtre d'Aubrey, enfin au sommet le calcaire d'Aubrey.

4) *Permien*. — Dans la région des Apalaches, il est seulement représenté par sa base, soit un conglomérat recouvert par une puissante assise de marnes rouges qui le rend imperméable. Comme on l'a vu, il devient calcaire et parfois gréseux plus à l'Ouest, vers le Nebraska ; toutefois dans la région du grand Cañon du Colorado, il est représenté par des couches argileuses et gypsifères, rouges ou brunes, qui sont naturellement tout à fait imperméables.

III. — TRIAS ET JURASSIQUE.

Nous n'avons pas trouvé de renseignements sur les eaux contenues dans ces terrains ; ils sont cependant puissants en épaisseur, mais peu développés en surface. Contre le versant oriental des Montagnes Rocheuses, on trouve, après une assise de grès rouge triasique qui peut être aquifère, des bancs de marnes et d'argiles bariolées qui donnent à l'ensemble un caractère de grande imperméabilité.

OBSERVATIONS. — 1° *Crétacé*. L'infra-crétacé manque dans notre coupe ; il existe dans le Maryland et la Virginie sous le nom de « couches de Potomac » (assises lignitifères, en général imperméables), et dans le Texas et l'Arkansas sous le nom de « couches de Trinity » (leur partie supérieure contient des sables blancs qui sont aquifères).

La série de Comanche (cénomanién) manque aussi dans la coupe.

Tableau donnant la composition approximative de ces terrains et la situation des nappes aquifères, dans l'État de Nebraska.
(Voir la coupe fig. 20, p. 61.)

TERRAINS	ÉTAGES	ASSISES	PERMÉABILITÉ	ÉPAISSEUR MOYENNE	NIVEAUX D'EAU	
TERTIAIRE.	Pliocène . . .	Ogallala formation (grès et sables) . .	perm.	m 30 à 100	Niveau d'eau général.	
	Miocène. . .	Arikaree formation (sables)	perm.	100	Nappe constante à la base ; souvent plusieurs nappes dans l'intérieur de la formation.	
			Gering formation (sables et grès)	perm.	20 à 50	Niveau d'eau, mais peu utilisé.
	Oligocène . .	White river group	Brule clay	imp. mais fiss.	300	Niveau d'eau.
			Chadron formation	perm.		
Danien . . .	Groupe de Laramie (grès et schistes) . .		»	»	Manque dans le Nebraska, très développé dans le Wyoming, l'Utah et le Colorado.	
CRÉTACÉ .	Sénonien . . .	Groupe de Montana	Fox Hill (clay et shale)	imp.	150	Manque dans le Nebraska .
		Fort Pierre clay		imp.	230	
		Groupe de Colorado	Calcaire de Niobrara	fissuré	70	Petite nappe .
	Cénomanién . .	Schistes de Benton		imp.	250	Niveau d'eau artésien, très important (la pression va en diminuant vers l'Est).
Grès de Dakota		perm.	130			
JURA-TRIAS			imp.			

Dans le Texas et au Colorado, elle est représentée par de puissantes assises calcaires, naturellement aquifères.

Le groupe de Laramie, là où il existe, est lignitifère, avec prédominance des schistes qui alternent avec des bancs de grès ; c'est dire que si les bancs gréseux contiennent un peu d'eau, l'ensemble a plutôt le caractère imperméable.

2° *Tertiaire*. — L'éocène manque encore dans notre coupe. Dans le New-Jersey, le Maryland et la Virginie, il est presque exclusivement marneux et par suite imperméable ; dans la Caroline, la Georgie, l'Alabama et le Texas, la partie inférieure (qui devient lignitifère) reste imperméable, mais la partie supérieure contient des sables et plus haut encore des calcaires qui alternent avec des argiles et forment autant de nappes. Il règne encore une grande surface de dépôts éocènes lacustres, dans la partie des Montagnes Rocheuses comprise entre le Wyoming et le New-Mexico, mais nous n'avons rien trouvé sur son hydrologie souterraine.

Nous ne savons rien non plus sur le miocène (formation de Chipola et formation de Chesapeake) qui règne sur les côtes atlantiques. Dans le Nevada et le Wyoming (étages de Fort-Bridger et de Truckee), il renferme surtout des grès et des calcaires perméables.

Le pliocène est généralement perméable ; mais parfois des bancs d'argile le subdivisent et donnent plusieurs nappes. On lui rapporte le manteau d'argile jaune (*plains marl*) qui règne sur de grandes étendues dans les vastes plaines de l'Ouest, en recouvrant le grès tertiaire ; ce manteau ne laisse filtrer l'eau que très lentement vers la profondeur.

V. — QUATERNAIRE.

Le quaternaire comprend :

1° Les alluvions des grands fleuves, généralement sableuses et perméables et contenant la nappe souterraine de la vallée.

2° Le lœss, ou limon sablo-argileux, qui ne laisse filtrer l'eau que très lentement.

3° Les dunes (*sand hills*), des bords de la mer ou des déserts très perméables.

4° Le drift glaciaire. — On connaît l'immense étendue de l'*arica drift* du Nord des États-Unis ; l'épaisseur de ce manteau varie de 2 à 50 m et plus (30 m en moyenne) et sa perméabilité est très variable. Il

se compose d'une formation d'argile à blocs, le *boulder-clay*, où des blocs erratiques de diverses dimensions sont disséminés dans une argile jaune à la surface et bleue en dessous. Ce *boulder-clay* renferme souvent des lentilles de sable et gravier qui sont aquifères et peuvent alimenter des puits, mais il est plus souvent rendu imperméable par des couches argileuses telles que celles qui sont nommées *beeswax-clay* et *hardpan*. Toutefois au bas du drift se trouve généralement une couche de gravier qui est aquifère et assez souvent artésienne ; enfin à certains endroits, il y a encore entre ce gravier et la roche ancienne une autre couche de gravier aggloméré dit « cemented gravel ».

Les sources sont d'ordinaire nombreuses, mais petites à la surface du drift. Les puits doivent descendre presque toujours jusqu'au gravier de la base et par conséquent atteindre la roche ancienne. Les conditions aquifères de cette nappe souterraine en chaque point dépendent en grande partie de la topographie qu'avait la surface du terrain avant que les dépôts glaciaires ne l'aient recouverte ; les eaux s'accumulent en effet dans les anciennes vallées et l'on comprend facilement comment, si elles viennent d'assez haut dans la vallée, elles peuvent être artésiennes. Il faut donc bien connaître cette topographie pour fixer l'emplacement des puits à ouvrir.

3° Eau de surface ou de ruissellement.

Il est rare qu'une grande ville trouve dans son voisinage immédiat une quantité d'eau souterraine capable de défrayer tous ses besoins : les nappes sont souvent peu propices et les sources trop peu nombreuses ou trop éloignées. Or le fleuve est là qui roule ses eaux au travers de la ville, ou bien un grand lac est à bonne portée qui contient une immense réserve naturelle : il est donc tout indiqué de recourir à l'un ou à l'autre, au moins pour cette partie de la provision d'eau qui est destinée au lavage, à l'arrosage, aux besoins industriels, etc., et non à la boisson. Pour l'eau de boisson, il n'est plus permis aujourd'hui, en présence des connaissances hygiéniques, de recourir aux eaux qui ont ruisselé, et par suite entraîné avec elles toutes sortes de germes et d'impuretés, sans recourir à une opération qui les en débarrasse, la *filtration*.

De là deux systèmes : ou bien s'adresser toujours aux sources et nappes souterraines, en raison de leurs qualités de pureté, de fraîcheur de palatibilité, etc., pour l'eau destinée à la boisson, et s'adresser pour

l'autre au fleuve ou lac le plus voisin ; ou bien demander tout aux eaux de ruissellement, sauf à en filtrer une partie.

C'est dans les deux cas *la double distribution*, et on peut dire qu'elle s'impose toutes les fois qu'une ville ne veut ou ne peut se procurer assez d'eau *pure* pour tous les usages : en d'autres termes, si vous n'avez qu'une seule eau, *bonne à tout faire*, qu'elle soit de première catégorie, c'est-à-dire *immaculée et immaculable* ; ou si vous devez recourir à deux catégories, que celle de deuxième catégorie soit entièrement séparée de la première, en sorte qu'il ne puisse y avoir ni mélange, ni erreur possible. Quant au système qui consisterait à ne distribuer qu'une eau de deuxième catégorie, en invitant les habitants à filtrer chez eux individuellement la part qu'ils doivent consacrer à la boisson, il doit être absolument condamné, pour la raison qu'on ne peut compter aucunement que cette filtration à domicile sera faite — surtout dans les milieux ouvriers, — et sera bien faite : les filtres grands ou petits, sont des appareils délicats et dont le fonctionnement a besoin de la surveillance constante d'un service bactériologique, surveillance qu'il est impossible de demander aux particuliers.

Les ressources d'une région en eau de surface sont beaucoup plus faciles à connaître que les ressources en eau souterraine. C'est ici l'affaire de l'*hydrologie superficielle*, science qu'on peut subdiviser en deux parties : la *potamologie* qui étudie les cours d'eau, et la *limnologie* qui étudie les lacs et étangs. Les moyens d'investigation sont relativement commodes : ce sont des levés de plan et nivellement, qui donnent les sections, pentes et profils, — des mesures de vitesse par flotteurs, moulinets de Woltmann, tubes de Pitot etc. — des mesures de hauteur d'eau par échelles hydrométriques, fluviographes etc., — enfin des mesures directes de débit par déversoirs ou autres procédés de jaugeage. Tout cela est bien connu et nous n'insisterons pas : rappelons seulement qu'au point de vue qui nous occupe ce sont les niveaux et les débits d'étiage qu'il importe de bien déterminer, l'attention devant toujours être portée sur les minima.

L'hydrologie superficielle a fait des progrès rapides dans le demi-siècle qui vient de s'écouler. L'Italie, patrie d'hydrauliciens, tels que Cassini, Castelli, Torricelli, Venturi, Tadini, Lombardini etc., avait commencé et pouvait publier à l'Exposition de 1878 une magnifique monographie de tous ses bassins fluviaux. — En France, nous savons déjà comment Belgrand montra l'exemple et la méthode : après la Seine, les grands fleuves et de nombreuses rivières ont été étudiés (voir sur-

tout les *Annales des Ponts et Chaussées*), pendant que MM. Ritter, Kleitz, Lemoine, imaginaient de nouvelles méthodes et que MM. Dupuit, Darcy et Bazin donnaient à l'hydraulique de nouvelles formules. — En Angleterre nous connaissons déjà le beau livre de M. de Rance. — En Allemagne, dès 1889, un grand savant, M. Honsell, publiait une splendide étude sur le Rhin et ses affluents : « *Der Rheinstrom und seine wichtigsten Nebenflüsse* », étude qui d'ailleurs se continue par des observations et des publications fréquentes. Ce travail a été imité — mais non surpassé — pour l'Oder en 1896, et l'an dernier pour l'Elbe et la Vistule, en sorte que l'Allemagne possède aujourd'hui les monographies de ses grands fleuves. — En Russie, l'immense Volga a fait l'objet de nombreuses recherches, et à leur occasion M. Rykatschew esquissait, il y a quelques années, une nouvelle méthode pour établir les relations entre les pluies et les hauteurs d'eau subséquentes des cours d'eau. — L'Autriche a son bureau hydrographique très bien documenté, dirigé par le savant M. Lauda ⁽¹⁾. — La Suisse en 1896 et 1898 réunissait en deux beaux volumes tous les renseignements hydrographiques des bassins du Rhin et du Rhône. — Enfin aux États-Unis, le Geological Survey a entrepris depuis 1888 de jauger tous les cours d'eau, d'étudier leur régime, de déterminer les emplacements propices à l'établissement de réservoirs etc. : c'est là une tâche colossale, mais les résultats qu'ils ont déjà acquis en hydrologie, tant souterraine que superficielle, font penser que les Américains en seront bientôt venus à bout.

Les lacs n'ont pas été oubliés. M. Forel avait donné l'exemple pour le lac de Genève ; notre ami M. Delebecque publiait, en 1898, son bel ouvrage : « *Les lacs français* » ; les lacs italiens ont été bien étudiés par MM. Marinelli, Gavazzi, d'Agostini, puis M. Fantoli (« *Sul regime idraulico dei laghi* » 1897), MM. Destalozza et Valentini (« *Sistemazione del deflusso del lago di Como* » 1899) etc. ; en Angleterre, on trouve les ouvrages de Mill et Murray ; en Allemagne, ceux de Geistbeck, Halbfass, Ule, etc ; en Autriche, avec l'ancien maître Friedrich Simony, on trouve des savants tels que MM. Penck, Müllner, Richter (« *Atlas der österreichischen Alpenseen* » 1895 et 1897) ; (« *Die Seen des Salzkammerguts* » 1896), etc. On a également étudié la température de l'eau des lacs aux différentes profondeurs, la faune et la flore, etc. Bref, on est facilement documenté quand on veut s'adresser pour l'alimentation aux eaux de surface.

(1) L'Exposition de ce bureau à Paris était très remarquable.

§ 2. — Choix et captation de l'eau.

I. — CHOIX DE L'EAU.

Le géologue et l'hydrologue ont fait leur œuvre et ont fait connaître les ressources disponibles *en quantité* : il faut maintenant apprécier *la qualité* des eaux des diverses provenances (afin de pouvoir écarter celles qui sont ou peuvent devenir mauvaises ou douteuses), et, bien que l'étude géologique ait déjà dû donner des notions précieuses sur ce point, c'est principalement là le rôle du chimiste et du bactériologiste.

Nous renverrons au § 5 « Contrôle de la qualité de l'eau » la question de l'examen qualitatif des eaux et de l'interprétation des analyses ; nous parlerons également à ce moment des procédés d'expérimentation directe pour reconnaître la pollution des sources et puits par des causes plus ou moins éloignées. Mais nous devons nous élever ici contre une habitude qui tend quelque peu — par négligence sans doute — à se généraliser en France : c'est celle qui consiste à juger d'une eau sur *une seule* analyse chimique et bactériologique. On fait un prélèvement à une époque quelconque, on trouve l'eau bonne comme minéralisation et comme teneur en bactéries, et tout est dit : on dort sur ses deux oreilles — jusqu'à ce que, quelques mois ou quelques années après l'adduction, une violente épidémie démontre que si l'eau était bonne au moment de l'analyse unique, elle a cessé de l'être à d'autres moments. Ce n'est donc pas une analyse qu'il faut, c'est une série d'analyses faites en différentes saisons, avant et surtout après les grandes averses (nous croyons avoir montré que ce sont elles qui font principalement pénétrer dans les nappes les germes déposés à la surface) : en un mot le service du contrôle régulier et permanent de la qualité des eaux (dont nous parlerons plus loin) doit fonctionner non seulement après l'adduction, mais encore avant, puisque c'est lui qui doit éclairer le choix à faire des eaux à distribuer.

Ce sera donc uniquement entre les eaux qui auront résisté à cette suite d'analyses et dont la pureté aura ainsi été reconnue inviolable que la Ville aura à choisir pour son eau de boisson ; il est clair qu'on n'aura pas de telles exigences pour une eau qui ne devrait servir qu'au lavage ou à l'industrie. Alors, — mais alors seulement — les ingénieurs et les financiers interviendront pour comparer les diverses solutions qui

pourront rester en présence : ils mettront en parallèle leurs avantages et leurs inconvénients, leur coût de premier établissement, d'entretien et d'exploitation, la manière plus ou moins complète dont chacune d'elles satisferait aux besoins à desservir etc. ; bref, on prendra une détermination en toute connaissance de cause, et on dressera enfin un projet définitif, soit qu'on s'adresse à une seule catégorie d'eau, soit qu'on admette la double distribution. Bien souvent d'ailleurs la question n'est plus entière : une ville a déjà de l'eau de boisson convenable, mais elle n'en a pas assez pour les autres besoins, (dans ce cas on aura à hésiter entre l'augmentation des disponibilités en eau pure ou l'installation d'une nouvelle distribution séparée en eau de rivière) ; ou inversement, une autre ville a de l'eau en abondance, mais elle n'est ni suffisamment fraîche, ni suffisamment pure pour la boisson (dans ce cas, elle aura à opter entre la recherche d'eau de sources ou de nappes souterraines, et la filtration d'une partie de son eau existante, ce qui aboutira toujours à la double distribution).

Nous avons omis de dire un mot de la quotité des besoins à satisfaire. C'est que ces besoins, varient en effet avec chaque ville : celle-ci, qui renferme de nombreuses industries, des jardins vastes et étendus, qui a le Tout à l'Egout, etc., aura besoin d'une quantité d'eau de lavage énorme ; celle-là au contraire qui reçoit à la saison une grande affluence de visiteurs doit surtout disposer d'une grande quantité d'eau de boisson. En général, nous pensons avec beaucoup d'auteurs que pour une ville de plus de 50 000 habitants, un volume moyen de 250 lit., (50 lit. d'eau de boisson et 200 lit. d'eau de lavage en cas de double distribution), par tête et par jour doit suffire ; pour des localités moindres, on peut descendre à 150 et même 100 lit. (Rappelons une règle commode pour la pratique : c'est que pour avoir 150 lit. par tête et par jour, il faut que le débit disponible par minute soit égal au dixième du nombre des habitants).

Il est clair qu'en supputant le nombre des habitants on doit largement tenir compte de l'avenir. Il ne faut pas oublier non plus que la consommation n'est pas la même en toute saison : on a trouvé en Allemagne que la consommation diurne maximum (en été) atteignait 1 fois $1/2$ la consommation annuelle moyenne, et dès lors il faut pouvoir disposer en été d'un débit ainsi majoré. (A Nancy, ville de 100 000 âmes qui a le Tout à l'Egout et possède des jardins, des industries assez nombreuses et une forte garnison, on a consommé pendant les deux dernières années où l'eau arrivait en abondance et en quelque sorte à

toute demande, les cubes journaliers de 25 000 m³ l'hiver et de 35 000 m³ l'été.)

II. — CAPTATION ET PRISE DE L'EAU.

Le choix de l'eau à distribuer étant fait, on va mettre la main à l'œuvre et commencer par détourner cette eau de son cours naturel : le mot de *captation* s'applique d'ordinaire aux sources et aux nappes souterraines, celui de *dérivation* ou de *prise* aux eaux de surface.

1° **Captation des eaux souterraines.**

Il y a lieu de distinguer suivant que cette captation se fait à faible ou à grande profondeur. Dans le premier cas rentrent les procédés suivants : captage des sources, drainages, puits ordinaires ; dans le second les puits ou forages profonds, les puits artésiens, les galeries de mine ou galeries captantes.

A). — *Captation à faible profondeur.*

a) *Captage des sources.* — Jusqu'à ces dernières années, capter une source c'était simplement collecter les filets d'eau au point où ils apparaissent : aujourd'hui, c'est en outre isoler complètement l'eau de la source de toute eau étrangère, eau de surface ou eau insuffisamment filtrée, de manière à ne recueillir que le produit de la nappe elle-même. Ce principe, que nous avons défendu jadis, n'a plus besoin de l'être et paraît reconnu officiellement : tout ingénieur doit se doubler d'un hygiéniste quand il s'agit de captation d'eau.

Nous ne pouvons mieux faire que de citer à ce sujet les paroles mêmes de M. Léon Janet dans sa belle conférence du 11 juin 1900, à la Société Géologique de France : elles expriment absolument ce que nous pensions depuis longtemps :

« J'arrive maintenant aux questions de *captage* et de *protection* des sources.

« Le *captage* d'une source d'eau potable a pour but essentiel de la mettre à l'abri de toutes les contaminations pouvant se produire au voisinage du point d'émergence, et spécialement dans le trajet que l'eau effectue entre le gisement géologique de la nappe et la surface du sol. Il faut donc obtenir de l'eau provenant uniquement de la nappe souterraine, sans la laisser se mélanger, ni avec les eaux de ruisselle-

ment en cas de grande pluie, ni avec les eaux suspectes de nappes plus rapprochées de la surface.

« La *protection* d'une source d'eau potable est une œuvre beaucoup plus complexe. Elle consiste à éviter la contamination de l'eau de la nappe au point où celle-ci quitte son gisement géologique pour gagner la surface du sol.

« Étudions d'abord la question du *captage*.

« C'est une question qui est presque toujours laissée de côté; lorsqu'il s'agit d'utiliser une source, on se borne à prendre l'eau telle qu'elle sort du sol; lorsqu'on a bien nettoyé le bassin de la source et lorsqu'on l'a entouré d'un pavillon fermé, on croit avoir pris toutes les précautions possibles. En réalité, l'eau ainsi prise est recueillie, elle n'est pas captée.

« Ces principes surannés ont eu pour eux, il est vrai, la haute autorité de Belgrand, qui estimait qu'il était mauvais de toucher aux sources, et qu'il suffisait pour éviter toute contamination de tenir, autant que possible, le niveau des sources au-dessus de celui des eaux voisines.

« La précaution est certainement excellente, mais en admettant qu'elle puisse être prise en temps ordinaire, elle ne peut plus, bien souvent, être observée dans les périodes pluvieuses; elle ne donne, d'ailleurs à elle seule, que des garanties tout à fait insuffisantes.

« Ce qui fait que cette question de captage des eaux potables a été tellement négligée jusqu'à ce jour, c'est qu'on n'a presque jamais, pour la résoudre, fait appel à la science géologique. On comprend cependant qu'elle seule peut fournir la solution du problème, en indiquant la position des terrains contenant la nappe souterraine qui alimente la source.

« En réalité, jusqu'à ce jour, la question de *captage* n'a été étudiée que pour les eaux minérales, en raison de ce que la réglementation existante rend obligatoire, en cette matière, l'intervention des ingénieurs du corps des Mines.

« L'ouvrage de notre confrère M. de Launay sur « La recherche, le captage et l'aménagement des sources thermo-minérales » (1), donne tous les renseignements utiles sur les divers procédés qui ont été appliqués pour capter les eaux minérales.

« Ce que je demande tout simplement c'est qu'on emploie pour les eaux potables des méthodes analogues à celles qu'on a suivies depuis longtemps pour les eaux minérales. Le besoin s'en fait d'autant plus

(1) Paris, 1899, chez Baudry.

sentir que, si l'usage d'une eau minérale comme boisson est souvent exceptionnel pour un individu déterminé, celui d'une eau potable est absolument courant; l'obligation de ne livrer à la consommation publique qu'une eau absolument saine est donc plus impérieuse encore pour les eaux ordinaires que pour les eaux minérales.

« Les remarquables résultats obtenus par un captage bien étudié des eaux minérales montrent qu'il y a tout autant à attendre d'un captage rationnel des eaux potables. Chaque fois, en effet, que l'on a amélioré l'ouvrage de captage d'une source minérale, on a diminué les variations dans le débit, dans la composition, dans la température.

« C'est que les eaux minérales, dans la troisième partie de leur circuit souterrain, c'est-à-dire dans le trajet qu'elles effectuent entre le gisement géologique de la nappe souterraine qui les alimente et le point d'émergence, se mélangent, dans une proportion variable, avec des eaux plus superficielles.

« Sans doute, pour une eau potable, les variations seront plus difficiles à saisir. La nappe alimentant la source à capter se trouve à une profondeur généralement faible, et la composition chimique de l'eau qu'elle fournit peut se rapprocher beaucoup de celle des eaux tout à fait superficielles avec lesquelles elle se mélange. De plus, ces eaux superficielles n'entrent, la plupart du temps, sauf à la suite de fortes averses, que pour une très faible proportion dans le débit total de la source. Il en résulte que, en ne faisant que des analyses chimiques, on trouvera des compositions très analogues, avant et après le captage d'une source d'eau potable. Mais par contre l'analyse bactériologique doit fournir des résultats très différents.

« Il est vrai que, lorsqu'il s'agit de l'utilisation d'une eau potable, le but n'est plus d'obtenir une eau ayant constamment la même composition chimique, mais de fournir une eau fraîche, ayant une proportion modérée de sels minéraux, contenant peu de matières organiques et exempte de microbes pathogènes. Mais on comprend sans peine que, si l'on ne prend pas des mesures pour empêcher les eaux de ruissellement d'arriver dans le bassin de la source, soit directement, soit après un très faible parcours souterrain, on sera exposé à avoir des contaminations graves.

« Dès lors, toutes les fois qu'on se trouve en présence d'une source d'eau potable, le captage doit avoir pour but de supprimer toute possibilité de contamination dans la partie du circuit souterrain, comprise entre la nappe géologique et le point d'émergence, c'est-à-dire d'aller

chercher l'eau à une profondeur telle que le mélange avec des eaux plus superficielles devienne impossible, ce qu'on obtiendra généralement en prenant l'eau dans son gisement géologique et l'amenant au jour par un conduit imperméable.

« Considérons, par exemple, une source d'affleurement émergeant à

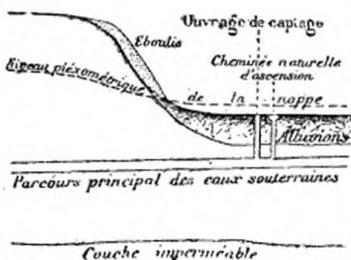


Fig. 21.
Captage d'une source d'affleurement.

flanc de coteau (fig. 21). La plupart du temps, le sous-sol géologique est recouvert, sur les pentes, d'éboulis meubles à travers lesquels l'eau de la source circule avant d'arriver au jour, en sorte que le point d'émergence est sensiblement plus bas que la surface supérieure de l'assise imperméable qui retient la nappe alimentant la source. Les éboulis sont formés souvent de couches parallèles à la pente du terrain, et il peut y circuler, surtout après les averses, des eaux qui viendront se mélanger avec celles de la nappe souterraine, en les contaminant gravement. Dès lors, un ouvrage rationnel de captage doit simplement comprendre une galerie horizontale dont la base se trouve à la partie supérieure de la couche imperméable retenant la nappe.

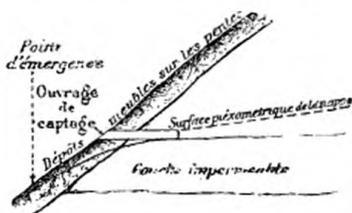


Fig. 22.
Captage d'une source de thalweg.

« Si nous prenons une source de thalweg (fig. 22), l'eau se fera jour généralement à travers une couche d'alluvions garnissant le thalweg, et il faudra aller la chercher, par un forage tubé, ou un puits vertical cimenté, jusqu'à son gisement géologique.

« Les nappes qui alimentent ces sources de thalweg se trouvent très fréquemment dans des calcaires fissurés. Il existe alors, dans ces calcaires, une zone de parcours principal des eaux souterraines, où celles-ci, dissolvant le calcaire, ont fini par former de grandes cavernes. Si une de ces cavernes vient à s'effondrer dans le thalweg, il s'établit, par la cheminée, une communication entre la nappe souterraine, et la surface du sol, et comme la nappe souterraine libre, sous les plateaux, est captive sous la vallée, l'eau jaillit à la surface du sol en donnant une source. Il peut arriver, toutefois, que le puits entrepris pour opérer le captage ne rencontre pas de fissure; en ce cas, on doit le compléter

par une galerie partant de la base du puits, et poussée perpendiculairement à la direction des principales fissures.

« On comprend de suite, d'après les deux figures schématiques ci-dessus, qu'on peut généralement capter une source d'affleurement plus haut que son point d'émergence, mais qu'on ne peut augmenter son débit, tandis que, pour une source de thalweg, à la seule condition qu'elle ne constitue pas l'unique exutoire d'une nappe souterraine, le débit peut être beaucoup augmenté en abaissant le plan d'eau dans l'ouvrage de captage. Il est vrai que cet abaissement ne doit être effectué qu'avec les plus grandes précautions, car si le niveau, dans l'ouvrage de captage, est inférieur à celui des eaux superficielles voisines, il est à craindre que celles-ci ne s'infiltrent à travers les alluvions jusqu'au gisement géologique de la nappe et gagnent l'ouvrage de captage après un parcours insuffisant pour les épurer d'une manière complète. Dans tous les cas, même lorsque le plan d'eau, dans l'ouvrage de captage, est tenu au-dessus du niveau des eaux voisines, il est bon d'obturer les canaux naturels d'émergence, au moyen d'un corroi d'argile.

« La simple application de ces principes a permis, tout récemment, d'utiliser pour l'alimentation publique certaines sources jaillissant au milieu de marais tourbeux, à travers une épaisseur considérable d'alluvions, et se trouvant dans des conditions si défavorables que le Comité consultatif d'hygiène avait cru devoir proposer de les écarter.

« On pourrait objecter que cette méthode occasionnera des dépenses considérables et conduira certaines municipalités à renoncer à l'adduction des sources, et à continuer à utiliser les eaux de rivière d'une qualité bien inférieure à celle d'eaux de sources, même mal captées.

« Je répondrai que, dans le cas d'une source d'affleurement, où il n'y a pas d'épuisement à assurer, la dépense est toujours faible, et que, dans le cas d'une source de thalweg, le captage peut souvent s'effectuer à peu de frais au moyen de forages tubés. C'est seulement dans le cas où, l'emploi de forages venant à échouer, par suite du trop grand écartement des fissures de la roche aquifère, il faut recourir à des puits et à des galeries, que la nécessité d'un épuisement important, ou de l'emploi soit de l'air comprimé, soit de la congélation, entraîne des dépenses pouvant atteindre un chiffre très élevé ».

Nous estimons, comme M. Janet, qu'il faut prendre pour la captation des sources d'eau potable les mêmes précautions et par suite les mêmes méthodes et procédés que pour la captation des eaux minérales.

Ne pouvant citer tout le chapitre de l'ouvrage de M. de Launay sur

Tableau des procédés généraux de captage, employés suivant le mode d'émergence des sources thermales.

	MODES D'ÉMERGENCE.		PROCÉDÉS EMPLOYÉS. — EXEMPLES.	
I. Sources filoniennes arrivant de la profondeur par une fracture quelconque.	1 ^o Cas où la fissure hydrothermale (griffon en roche compacte) est à la surface, ou à une profondeur assez faible sous les terrains meubles, pour qu'on puisse l'atteindre directement par une excavation restreinte. (Entre ce cas et le suivant, il existe tous les intermédiaires, en sorte que les méthodes du second cas peuvent être également employées dans le premier).	<p>a) Griffon dans une dépression d'une plaine, une vallée assez large ou un plateau; aucun ravin plus profond n'existe au voisinage.</p> <p>b) Griffon au fond d'un ravin encaissé; aucun point plus bas n'existe au voisinage.</p> <p>c) Griffon dans un vallon latéral à une plus grande vallée, formant un point bas au voisinage, ou au pied d'un coteau.</p>	<p>Captage par fosses, excavations, petits puits, tubes ascensionnels, ou courts trous de sonde.</p> <p>a) Captage en roche dure dans une fosse murillée ou dans un simple cuvelage en bois, avec pompage au besoin. (Bourbon-l'Archambault, Géléznovodsk, Schinznach, Maizières). Captage en terrain perméable par tranchées et puits (Aulus), ou par enceintes successives (Euzot, Saint-Gervais). Captage en terrain marneux, dans une enceinte de maçonnerie fondée sur pilotis (Géléznovodsk). Emploi de trous de sonde pour des sources gazeuses (Vals, Alet). b) Captage dans une fosse, avec dispositifs spéciaux, parfois avec application de la pression hydrostatique (Plaefers). Emploi de trous de sonde pour des sources gazeuses (Chatelguyon). c) Captage dans une fosse murillée, avec précautions spéciales pour éviter la fuite à l'aval (Evaux, Nérès). Captage par un réservoir appliqué au coteau (sources froides de Géléznovodsk).</p>	
	2 ^o Griffon en roche compacte, à une profondeur telle qu'on peut l'atteindre par puits, sondages verticaux, galerie de mines, travers-bancs, sondages horizontaux.	<p>a) Griffon en profondeur sur un plateau ou dans une large vallée; griffon dans un terrain fissuré donnant un éparpillement en veines à la surface.</p> <p>b) Griffon à flanc de coteau, pouvant être recouvert par des terrains meubles, ou masqué par une épaisseur de roche massive.</p>	<p>Captage par puits et sondages.</p> <p>Captage par galeries de mines, travers-bancs, sondages horizontaux, etc.</p>	<p>1^o Griffon atteint par puits (puits divers à Vichy). 2^o Griffon capté par puits d'isolement, entourant un tube ascensionnel (Vittel, Contrexéville, Fumades). 3^o Griffon formé de fissures multiples, atteint par sondage (la Bourboule). 1^o Galeries de drainage avec puits (Uriage). 2^o Travers-bancs allant recouvrir le griffon (St-Jeandu-Gard, Plaefers, Cauterets). 3^o Travers-bancs, parfois accompagné de galeries de drainage en direction (Plombières, Lamalou, Géléznovodsk, Pouzzolos).</p>
	3 ^o Griffon en roche compacte, impossible à atteindre directement parce qu'il est recouvert par des terrains meubles ou par une nappe d'eau, ou impossible à fixer parce qu'il est dans un terrain trop fissuré.	<p>a) Cas d'une vallée étroite.</p> <p>b) Cas d'une large vallée d'alluvions.</p> <p>c) Cas d'une source à flanc de coteau.</p> <p>d) Cas d'une source dans un lac.</p>	<p>Captage par le jeu des pressions (Emploi accessoire des enceintes successives).</p>	<p>a) Emploi d'une couverture en béton ou d'une nappe d'eau (Plaefers, Plombières, Bourbonne, Evaux, Barèges). b) Emploi de la pression hydrostatique d'une nappe d'eau (Ussat). Emploi des enceintes successives (Euzot, Saint-Gervais, La Motte-les-Bains). c) Réseau de galeries avec emploi de la pression hydrostatique (Baguères-de-Luchon). d) Captage par cuvelage, avec utilisation de la pression hydrostatique (Enghien).</p>
II. Sources interstratifiées ou profondes dans une couche perméable ou fissurée.	<p>1^o Cas d'une strate perméable</p> <p>2^o Cas d'une strate fissurée</p>	<p>Captage par puits ou sondages.</p> <p>Captage par puits ou sondages avec précautions spéciales.</p>	<p>(Vichy, St-Yorre, Vals, Géléznovodsk, Essentouky, etc.) (Pougues, Vittel, Contrexéville, Fumades).</p>	

cette question, nous croyons bien faire, pour les lecteurs qui n'auraient pas cet ouvrage sous la main, de reproduire au moins le tableau résumé qu'il en donne lui-même.

M. Janet ne s'est pas contenté de proclamer le principe : il l'a appliqué lui-même aux sources du Loing et du Lunain récemment dérivées par la Ville de Paris. Or, si le travail était relativement facile pour les sources de Chaintréauville, de la Joie et de Villemer, il n'en était pas de même pour les autres sources du groupe ; mais on nous saura gré de laisser encore une fois la parole à M. Janet lui-même.

« Certaines des sources à capter dans les vallées du Loing et du Lunain se faisaient jour à travers un épais manteau d'alluvions et jaillissaient au milieu de terrains marécageux, inondés parfois par les crues des rivières. Il paraissait si difficile de les mettre à l'abri des contaminations que le Comité consultatif d'hygiène avait conclu à leur abandon. Cependant la nécessité d'augmenter rapidement le volume d'eau de source disponible avait fait autoriser leur adduction.

« Le service des Eaux de la ville de Paris, reconnaissant les difficultés du problème, nous a demandé notre avis au sujet du mode de captage à appliquer ; les travaux d'exécution sont actuellement en cours.

« Les sources en question forment deux groupes, celles des Bignons de Bourron et du Sel dans la vallée du Loing, et celles de Saint-Thomas et des Bignons du Coignet dans la vallée du Lunain.

« Les vallées du Loing et du Lunain au droit de ces sources, ont été creusées dans la craie blanche (*étage sénonien*), et dans les assises tertiaires, constituées principalement, en partant de la base, par des argiles accompagnées de conglomérats atteignant une grande épaisseur près de Nemours, mais très réduits à Montigny-sur-Loing (*étage sparnacien*), puis par des travertins siliceux bréchiformes, parfois marneux et tendres, mais le plus souvent très durs, puissants d'environ 30 m, surmontés par des calcaires *sannoisiens*, exploités sous le nom de pierre de Souppes ou de Château-Landon.

« Les travertins siliceux intercalés entre les étages *sparnacien* et *sannoisien* avaient, jusqu'à présent, été, à cause de leur aspect lithologique, considérés comme ludiens ; mais la découverte que nous avons faite en 1899 de fossiles (*Limnæa longiscata*, *Planorbis gonio-basis*), dans un banc se trouvant à 10 m au-dessus de l'argile *sparnacienne*, a montré que les 20 ou 25 m de calcaires siliceux et marneux se trouvant au-dessus devaient seuls être maintenus dans le *ludien*,

et que les calcaires existant au-dessous représentaient le *bartonien* seul, ou associé au *lutétien*.

« Ces assises géologiques, à peu près horizontales, se relèvent cependant nettement vers l'est.

« Les alluvions sont constituées, à la base, par un diluvium pléistocène, composé de sables plus ou moins grossiers et de graviers roulés dont les éléments comprennent des silex de la craie très nombreux, quelques fragments de grès de Fontainebleau, et de calcaires siliceux *ludiens* ou *sannoisiens*. On trouve, dans le diluvium de la vallée du Loing, de gros blocs de conglomérat *sparnacien* de Nemours.

« Le diluvium pléistocène est recouvert par une couche de tourbe d'âge relativement très récent. Il repose sur une couche de craie jaune remaniée au-dessous de laquelle on trouve la craie sénonienne en place.

« Les eaux des sources qui nous occupent circulent dans des diaclases de la craie sénonienne et se font jour à travers la craie remaniée et les alluvions.

« Le bassin d'alimentation de ces sources est inconnu. On a dit que certaines sources de la vallée du Lunain n'étaient que les réapparitions des pertes de la rivière supérieure, mais le fait ainsi présenté paraît inexact et tout ce que l'on peut avancer avec quelque vraisemblance, c'est que les pertes de la rivière du Lunain contribuent, dans une certaine mesure, à alimenter la nappe de la craie donnant naissance à ces sources. Aucune perte n'a été, à notre connaissance, signalée dans la vallée du Loing.

« C'est à dessein que nous employons le mot nappe, bien que cette craie soit imperméable quand elle est compacte, car les diaclases sont si rapprochées les unes des autres qu'il est rare qu'un puits d'eau potable d'un mètre de diamètre n'en rencontre pas.

« Un bon captage devait consister nécessairement, à notre avis, à aller chercher les eaux dans la craie, et à les amener au jour par des conduits tubés ou cimentés dans la traversée des alluvions et de la craie remaniée, de manière à les garantir rigoureusement contre le contact des eaux circulant dans les graviers, qui peuvent être souillées par mélange avec les eaux du Loing ou du Lunain, ou avec les eaux très contaminées des marais au milieu desquels jaillissent des sources, ou enfin avec les eaux pluviales tombant dans le voisinage. La présence de la couche de tourbe existant à la surface du sol ne peut donner qu'une garantie incomplète; on ne la trouve d'ailleurs pas toujours au fond des marais voisins des sources.

« Nous allons examiner succinctement ce qui a été fait pour les diverses sources.

Source du Sel.

« C'est une petite source située dans la vallée du Loing, sur le territoire de la commune de Bourron, donnant une vingtaine de litres à la seconde.

« Deux sondages d'essai de 8 cm de diamètre ont été d'abord entrepris pour reconnaître le terrain ; nous donnons la coupe des terrains rencontrés par l'un d'eux :

Cote du terrain (53 ^m ,46).	
Tourbe	3,30
Sables et graviers.	2,60
Sable argileux.	0,20
Sables et graviers	1,95
Sable fin	2,75
Craie jaune remaniée.	7,30
Craie blanche avec silex.	6,25
Profondeur totale.	<u>24,35</u>

« A la profondeur de 13^m,80 le sondage a donné de l'eau jaillissante. Le jaillissement a continué jusqu'à la fin du sondage.

« L'épaisseur des alluvions est ici de 10^m,80.

« Un second sondage d'essai ayant rencontré les terrains analogues et donné également de l'eau jaillissante, il a paru rationnel d'essayer d'effectuer le captage au moyen de forages tubés de 0^m,20 de diamètre.

« Sept forages semblables ont été pratiqués au voisinage de chacune des émergences et descendus jusqu'à 22 m de profondeur. Ils ont tous donné de l'eau jaillissante. Le volume d'eau disponible paraît atteindre environ 30 lit. à la seconde, alors que les jaugeages effectués sur la source n'avaient fait ressortir qu'un volume de 20 lit.

Source des Bignons de Bourron.

« Elle se trouve à quelques centaines de mètres de la source du Sel, dans une situation géologique analogue. Son débit était de 20 lit. à la seconde. Un forage de 0^m,08 de diamètre, pratiqué au voisinage, a donné les résultats suivants :

Cote du terrain (54 ^m ,56).	
Tourbe	3,80
Sable fin	1,50
Sables et graviers.	3,70
Graviers	0,65
Sables et graviers.	1,45
Craie jaune remaniée à la partie supérieure.	7,90
Craie blanche avec silex.	9,15
Profondeur totale.	28,15

« A la profondeur de 12^m,60 le sondage a donné de l'eau jaillissante. Le jaillissement a continué jusqu'à la fin.

« Un autre sondage, entrepris à côté du premier, rencontra des terrains analogues, mais fut poussé jusqu'à 36 m de profondeur sans donner d'eau jaillissante.

« Les diaclases de la craie paraissant dès lors moins rapprochées que pour la source du Sel, on résolut d'opérer le captage au moyen d'un puits de grande section, devant, au besoin, être complété par des galeries horizontales pratiquées dans la craie, perpendiculairement à la direction des cassures.

« Ce puits de 3 m de diamètre intérieur fut descendu, avec les plus grandes difficultés, jusqu'à la profondeur de 7 m. Le volume d'eau à épuiser était de 150 lit. à la seconde environ. A partir de ce moment, l'afflux des sables par-dessous le rouet devint tel que celui-ci ne descendit plus, quelque fût le cube de déblais extrait. On résolut alors d'abandonner ce puits qui n'aurait pu être continué que par l'emploi de l'air comprimé ou de la congélation et d'essayer de faire le captage par des forages de 0^m,20 de diamètre, comme à la source du Sel. Ces travaux sont en cours d'exécution actuellement (mars 1900). Un de ces forages a rencontré à la profondeur de 23^m,60, dans la craie blanche à silex, une large diaclase d'où l'eau a jailli en abondance. — Le débit de ce forage est de 20 lit. à la seconde.

Source de Saint-Thomas.

« Elle se trouve dans la vallée du Lunain, à quelques kilomètres en amont de son confluent avec le Loing. Son débit était de 180 lit. à la seconde.

« Quatre sondages pratiqués autour du bassin de la source ont montré que l'épaisseur des alluvions n'était que de 4 à 5 m.

« Il a été décidé de faire le captage au moyen d'un puits de 3 m de

diamètre intérieur, placé dans le bassin même de la source. Ce puits, descendu jusqu'à 8^m,70 de profondeur, a rencontré une large fissure de la craie remplie de silex d'où l'eau s'échappait en abondance. L'épuisement était d'environ 200 lit. à la seconde.

« Les terrains traversés ont été les suivants :

Cote du sol (56 ^m ,94).	
Tourbe	1,90
Sables et graviers	2,10
Craie jaune remaniée à la partie supérieure	1,95
Craie blanche avec silex	<u>2,75</u>
Profondeur totale	8,70

Source des Bignons du Coignet.

« Elle se trouve à quelques centaines de mètres en amont de la précédente ; son débit était de 90 lit. par seconde.

« Six sondages pratiqués autour du bassin de la source ont indiqué une épaisseur d'alluvions variant de 4 à 6 m.

« Le captage a été fait comme à Saint-Thomas par un puits qui a rencontré dans la craie une large fissure d'où l'eau jaillissait abondamment. L'épuisement était d'environ 120 lit. à la seconde.

« Les terrains traversés ont été les suivants :

Cote du sol (57 ^m ,80).	
Tourbe	1,90
Sables et graviers	3,50
Craie jaune remaniée à la partie supérieure	5,05
Craie blanche compacte	<u>1,65</u>
Profondeur totale	12,10

« Pour éviter, autant que possible, les communications entre la nappe de la craie et la nappe des alluvions, les anciennes émergences ont été bouchées par un corroi d'argile. »

On sait que malheureusement les mêmes précautions n'ont pas été prises pour les captations des sources de l'Avre, de la Vanne et de la Dhuis. Pour l'Avre, voici encore les conclusions de l'enquête hydrogéologique faite l'an dernier par M. Janet :

« 1^o La nappe qui donne naissance aux sources de l'Avre se trouve dans la craie turonienne ;

« 2^o Elle est alimentée à la fois par l'infiltration lente des eaux pluviales sur les plateaux et par l'engouffrement des eaux de l'Avre supérieure et de ses affluents dans les bétouires ;

« 3° Les vallées supérieures des rivières ne doivent leur imperméabilité qu'à une mince couche d'alluvions modernes; les pertes commencent lorsque les rivières arrivent en un point où cette couche n'existe plus;

« 4° Les eaux circulent souterrainement dans un réseau de diaclases de la craie turonienne très rapprochées les unes des autres;

« 5° Là où passent d'importants courants souterrains, les diaclases ont été élargies et transformées en cavernes;

« 6° Dans les points où les cavernes de la craie sont arrivées au contact avec des poches d'argile à silex, des effondrements se sont produits, établissant ainsi une communication directe entre la surface du sol et la nappe souterraine;

« 7° Les effondrements donnent lieu à des émergences lorsque leur bord est plus bas que le niveau piézométrique de la nappe; ils absorbent au contraire l'eau qui peut leur arriver lorsque leur bord est plus élevé que le niveau piézométrique de la nappe;

« 8° Il peut y avoir des points d'absorption et d'émergence sans effondrements, la communication entre la surface du sol et la nappe s'effectuant à travers l'argile à silex, qui est parfois perméable, puis par les diaclases de la craie ».

En ce qui concerne l'amélioration de la qualité des eaux amenées dans l'aqueduc de la ville de Paris, M. Janet indique les mesures suivantes :

« A. — Il y aurait lieu d'éliminer de l'aqueduc les eaux recueillies dans les alluvions et l'argile à silex et de n'y admettre que des eaux captées au-dessous de ces terrains et amenées au jour par un canal imperméable;

« B. — Les ouvrages actuels laissent, à notre avis, les eaux exposées, lors des périodes pluvieuses, à des contaminations dans leur trajet entre la nappe souterraine et la surface du sol. Il serait nécessaire d'entreprendre pour chaque source des forages tubés ou un puits cimenté à grande section pénétrant jusque dans la craie;

« C. — Toutes les arrivées accessoires d'eau et toutes les barbacanes de l'aqueduc recueillant l'eau dans les alluvions ou l'argile à silex devraient être supprimées;

« D. — Enfin, la question de la protection de la qualité de l'eau de la nappe, arrivant aux ouvrages de captage, reste à l'étude et ne pourra être traitée complètement qu'après un long délai ».

Pour la Vanne, les efforts de M. le professeur Thoinot (voir plusieurs articles dans les *Annales d'Hygiène Publique*, depuis 1894), l'exemple de l'épidémie de 1894 développée en même temps à Sens et à Paris dans le réseau de distribution des eaux de la Vanne, l'enquête récente de M. le Dr A. J. Martin sur le rôle de ces eaux notamment dans l'épidémie de 1899, l'examen fait sur place l'an dernier par M. Le Couppey, paraissent avoir démontré qu'une partie des eaux captées a une origine douteuse et est sujette à se contaminer : les drains de Chigy, des Pâtures, du Maroy, de Flacy et les sources Gaudin et du Miroir paraissent surtout exposés à fournir des eaux trop superficielles ou mal filtrées. Il semble donc que la Ville de Paris ait à faire une re-

vision de ses captages, en se basant plus strictement sur le principe des captations profondes et bien protégées.

Il en est d'ailleurs ainsi pour beaucoup d'autres villes, et le nombre des épidémies de fièvre typhoïde dues à des captations défectueuses de sources ne se compte plus : celle de Maidstone, en septembre 1897, est devenue classique. Nous croyons avoir démontré que la plupart des épidémies de fièvre typhoïde de Nancy ont été dues aux défauts de la captation des anciennes sources, dont les *bouges* se sont trouvés entourés d'habitations et par suite d'immondices de toutes sortes, contre lesquelles une faible épaisseur d'éboulis ne pouvait évidemment les protéger. Nous en avons conclu que les sources naissant dans l'intérieur des agglomérations devraient en général être proscrites de l'alimentation.

Ceci nous amène à la question de la *protection* des sources, mais nous en parlerons en même temps que de la protection des nappes et des autres eaux dans un paragraphe spécial. Disons seulement ici que, de toute évidence, les villes doivent acquérir autour des réceptacles, chambres et autres ouvrages de captage, une certaine surface de terrain, dont l'accès soit ainsi interdit au public et à la malveillance : plus le captage aura été fait profondément et convenablement, moins cette nécessité sera impérieuse et moins le périmètre à défendre pourra être étendu.

Quant à la nature même des travaux à exécuter pour bien capter une source, il n'y a rien de nouveau à apprendre aux Ingénieurs. Ce sont toujours des enchambremens, des bouts de galeries souterraines, des drains, des puits, etc. Le tout est de bien savoir les emplacer et en général de les pousser assez avant dans les terrains en place. On trouve des exemples nombreux d'ouvrages de captage, dans l'ouvrage d'Otto Lueger : « Die Wasserversorgung der Staedte, 1892. » On cite aussi généralement les ouvrages de captation des sources de la « Hochquellenwasserleitung » de Vienne, des sources de la prairie Urcioli pour Naples (voir la *Revue technique de l'Exposition de 1889*, 7^{me} partie, T. I, p. 97), etc.

b) Drainages. — Nous réserverons le nom de drainage à des travaux de captage d'une nappe souterraine faits au moyen de tranchées creusées à ciel ouvert : dans le fond de ces tranchées on installe un drain, c'est-à-dire un conduit capable d'attirer et d'écouler les eaux. Il résulte de cette définition que les drainages ne peuvent s'adresser qu'à

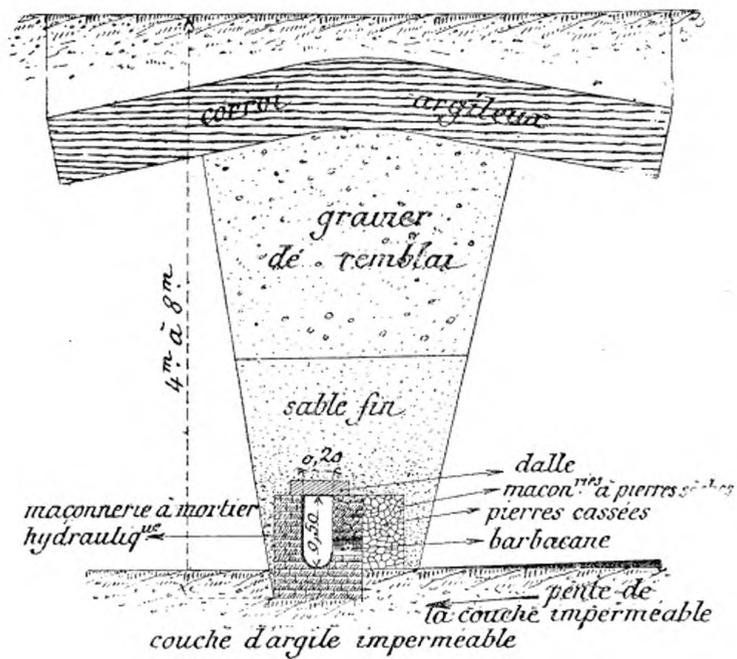


Fig. 23 a. — Petit drain.

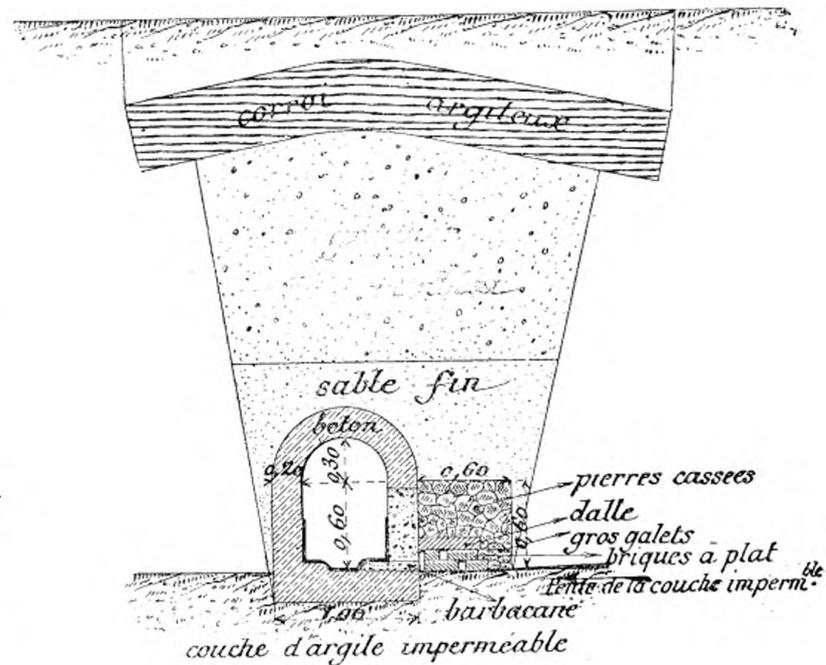


Fig. 23 b. — Grand drain.

Fig. 23. — Coupe de drains sur une couche imperméable.

une nappe peu profonde, puisqu'il est difficile de descendre par un fossé à ciel ouvert au-dessous de 6 à 7 m ; or, les nappes trop voisines de la surface ne sont pas généralement à recommander (d'après Fränkel et d'autres auteurs allemands, il faudrait au moins de 4 à 6 m d'épaisseur de sable fin pour arrêter tous les germes de l'eau, et tous les terrains sont loin d'être du sable fin). De plus il faut presque toujours opérer sur des étendues considérables pour recueillir un volume sérieux, et le système est dès lors peu pratique pour une grande ville. Cependant il est des cas où l'on ne peut faire autrement. On doit alors multiplier les précautions pour assurer la meilleure filtration possible, et surtout pour écarter du périmètre drainé toutes les causes de pollution ; c'est le cas de recourir à une protection sérieuse. (Rappelons qu'un assez grand nombre de villes anglaises, suivant les idées de MM. Ward et Chadwyck, ont eu recours aux drainages : Leeds, Ayr, Paisley, Sandgate, Rugby, Farnham, etc.).

On a généralement à drainer dans le cas où une couche de terrain meuble (alluvions, gravier, arène granitique, etc.) repose sur une couche argileuse ou sur la roche non décomposée et imperméable. Dans le premier cas, on doit enfoncer le pied du drain dans l'argile et laisser sa tête dans la couche perméable ; on établit ensuite, en avant des barbacanes, un petit filtre en sable ou en galets, et on recouvre toute la

fouille d'un corroi empêchant l'introduction directe des eaux de surface : on est ainsi assuré de ne prendre que les eaux du fond de la nappe. Les fig. 23 a, b, c, représentent en deux grandeurs des drains de ce genre que nous avons exécutés à plusieurs reprises pour des communes de Meurthe-et-Moselle : l'opération pourrait être simplifiée si

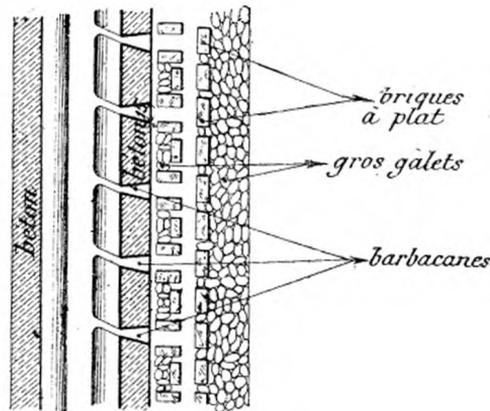


Fig. 23 c. — Plan du grand drain (v. fig. 23 b).

l'on possédait des *tuyaux fenêtrés*, c'est-à-dire munis vers leur tiers supérieur d'orifices espacés de distance en distance, tuyaux qu'il n'y aurait qu'à descendre dans le fond de la fouille ; mais nous ne connaissons pas de constructeurs qui fabriquent soit en fonte, soit en béton,

grès ou poterie des tuyaux de ce genre. Il est bien entendu que si le toit de la couche imperméable présente une inclinaison, on devra placer le drain au bas de la pente et rendre étanche la paroi d'aval ; on aura intérêt parfois à transformer cette paroi en un véritable barrage souterrain, capable de relever le plan d'eau à l'amont.

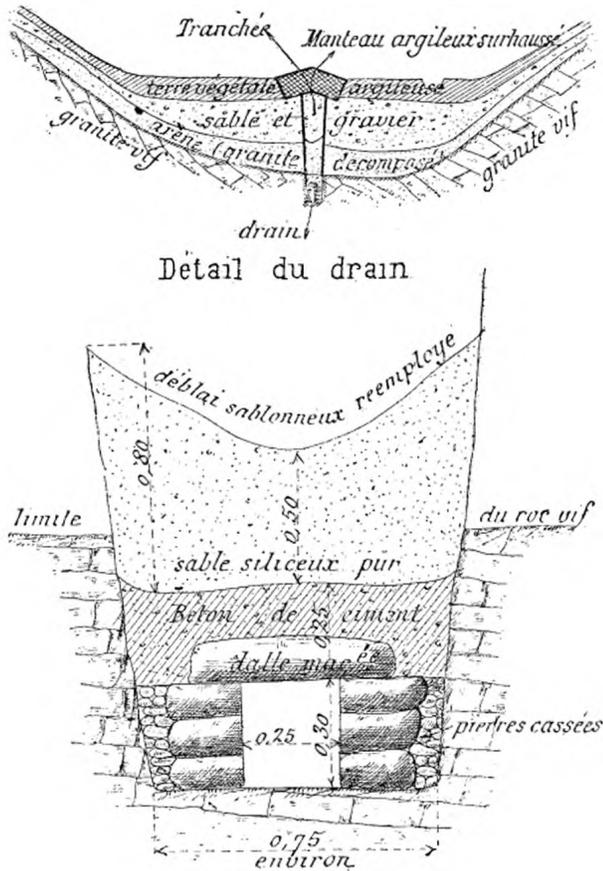
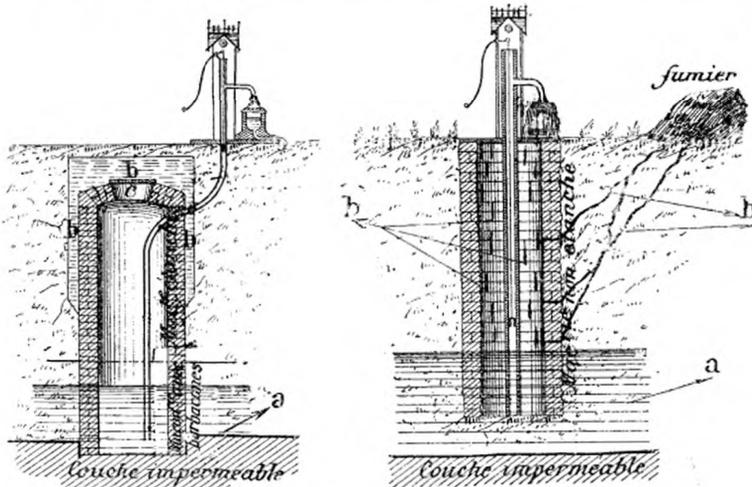


Fig. 24. — Drainage dans les terrains granitiques! (d'après M. Considère).

Pour ce qui est des drainages dans les terrains granitiques, nous ne pouvons que renvoyer au remarquable mémoire de M. Considère : « Captages d'eau de Quimper », inséré aux *Annales des Ponts et Chaussées* de 1896. La fig. 24 suffira à montrer aux lecteurs qui n'ont pas cet article sous les yeux quelles sont les précautions prises pour empêcher l'accès des eaux de surface dans les drains et ne capter

que l'eau qui circule dans les fissures de la partie supérieure du roc vif.

c) *Puits*. — Nous appellerons *puits ordinaires* les puits de forme habituelle qui s'adressent à la première nappe, généralement peu distante de la surface. C'est un moyen de puisage connu de temps immémorial et les puits sont innombrables, mais combien y en a-t-il de bons ? L'exemple de la fig. 25 emprunté au professeur Gaertner



a. — Couche aquifère.
b. — Corroi argileux.
c. — Trou d'homme.
Exemple d'un bon puits.

a. — Couche aquifère.
bbb. — Pénétration d'eaux contaminées.

Exemple d'un mauvais puits.

Fig. 25.

(d'Iéna) montre aux yeux ce qu'il faut rechercher et ce qu'il faut éviter : un bon puits doit en premier lieu descendre et s'encaster dans la couche imperméable (de manière à prendre l'eau du fond et non celle du dessus de la nappe souterraine) ; en second lieu, il doit être dans l'impossibilité *absolue* de recevoir des infiltrations d'eau de surface, d'eaux ménagères, industrielles, etc., de purin, d'urine, de fosse d'aisances, etc. On arrive à ce résultat en rendant le puits étanche sur toute la partie située au-dessus du fond de la nappe et en le couvrant (ce qui peut se faire soit au moyen du corroi argileux indiqué par M. Gaertner, soit au moyen d'une bonne maçonnerie bien cimentée, débordant le sol sous forme de margelle), ainsi qu'en éloignant du puits toute cause de souillure. Il faut également éviter que l'ustensile de puisage

sage ne souille l'eau, ainsi le seau vulgaire doit être généralement remplacé par la pompe.

Malheureusement, on a rarement pris ces précautions, et dans la plupart des villages le puits est entre le fumier et la fosse d'aisances, comme s'il était chargé de ramener à l'organisme humain toutes les immondices dont on devrait avoir hâte et soin de se débarrasser. [Au moment même où nous écrivons ces lignes (1), 40 cas de fièvre typhoïde viennent d'éclater brusquement dans une même compagnie d'un régiment d'infanterie de Nancy : cette compagnie, en passant dans un village du voisinage avait bu dans un puits presque à sec placé — tout naturellement près d'un fumier — sur le bord de la route ; le reste de la garnison ne compte pas un seul cas. Et les exemples aussi typiques abondent !]. Quant aux puits de l'intérieur des villes, ils sont tous condamnés en principe, la nappe souterraine étant contaminée en grand sous les villes. La chimie seule (par l'étude de la proportion des chlorures) avait permis à Ritter dès 1879 (analyse de 313 puits de Nancy) de le démontrer ; la bactériologie est venue à la rescousse, et l'exemple de nombreuses villes étudiées sous ce rapport (Dorpat, Munich, Berlin, Brême, Budapest, Breslau, etc.) permet d'affirmer que la nappe des puits ne contient qu'une dilution d'urine, une vraie lessive de ville, suivant l'expression allemande (*Stadtlauge*), absolument inutilisable pour la boisson.

Nous serons moins sévère pour les puits tubulaires (*Rohrbrunnen*) ou puits abyssiniens, imaginés par l'Américain Norton lors de la guerre de Sécession et utilisés avec succès dans l'expédition des Anglais en Abyssinie en 1867-1868. Le tube n'étant perforé que dans sa partie inférieure ne prend que l'eau profonde, et il n'y a guère possibilité d'infiltration pour les eaux de surface : si donc à l'endroit du forage la nappe est pure, le puits réunira d'excellentes conditions hygiéniques.

Une application intéressante des puits tubulaires a été réalisée il y a une vingtaine d'années par la ville de Francfort-sur-le-Mein. Pour venir en aide à sa distribution d'eau des sources du Spessart et du Vogelsberg, elle a établi dans la nappe souterraine de la plaine du Mein et du Rhin une série de quatorze groupes de dix forages verticaux par groupe : les tubes ont 50 mm de diamètre, 7 m de hauteur totale et plongent dans la nappe aquifère par une crépine spéciale de 3 ou 4 mm. Chaque groupe est muni d'une conduite d'aspiration de 80 mm établie

(1) Octobre 1900.

à 1^m,50 au-dessus du niveau de la nappe et reliant la tête des tubes ; ces conduites aboutissent aux pompes. En outre, à titre de secours, on a établi sept grands forages de 600 mm de diamètre. Le système a pu donner 6000 m³ d'eau par jour ; mais on peut se demander s'il est vraiment plus avantageux que des puits filtrants de grande dimension.

[Nous ne parlerons pas ici des calculs théoriques auxquels on s'est livré pour apprécier la dépression produite par un puits ou une galerie et par les épuisements qu'on y fait sur une nappe aquifère. La question a été bien étudiée dans ces derniers temps, — mais bien entendu en supposant le terrain perméable et homogène — par M. Forchheimer, de Gratz, qui a donné en 1886 une théorie nouvelle de la circulation des eaux en terrain perméable (mais en supposant horizontale la couche imperméable sous-jacente) ; par M. Lembke qui a publié dans la revue russe « *L'Ingénieur* » un exposé d'ensemble de la captation des eaux par puits et galeries (voir la traduction dans la *Revue universelle des Mines* 1888) ; par M. Fossa-Mancini dans l'*Ingegneria civile* de Turin (1889 et 1892) ; ces deux articles ont été reproduits dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (1890 et 1893). M. Spataro dans son « *Ingegneria Sanitaria* » donne également des théories du même genre. Enfin, notre ami M. Brouhon, de Liège, vient de publier une note intéressante sur la question dans les *Annales des Travaux publics de Belgique* (juin 1900). Malheureusement, en pratique, on est loin d'avoir des terrains homogènes bien connus, et il est difficile à notre avis de compter sur un calcul quelconque.]

B). — Captations à grande profondeur.

Les nappes profondes ont pour l'hygiéniste l'avantage d'être d'ordinaire bien protégées et c'est là qu'on a le plus de chances de trouver l'eau dans sa pureté la plus parfaite : elles doivent donc être recommandées, d'autant plus que l'eau y a en outre une grande fixité de composition et de température. En revanche, elle est parfois trop minéralisée pour être utilisable pour la boisson, et il faut reconnaître que les procédés de captation — nous allons dire d'extraction comme pour un minerai — sont souvent onéreux. Ces procédés sont : les puits profonds, les forages et les galeries de mines que nous appelons spécialement galeries captantes.

a) *Puits profonds, forages et sondages, puits artésiens.* — L'eau des nappes profondes est sous pression ou non. Dans le second cas, lorsqu'on l'atteint par un trou vertical, elle y reste au niveau même où on l'a rencontrée; dans le premier, elle s'élève à une certaine hauteur dans le trou et parfois même déborde ou jaillit par l'orifice. Dans le sens vulgaire, on n'appelle *puits artésiens* que ceux qui débordent, mais il semble que scientifiquement on doive donner ce nom à tout puits qui rencontre de l'eau sous pression, c'est-à-dire de l'eau qui s'élève au-dessus du niveau où on l'a trouvée, et cela sans qu'il soit besoin qu'elle arrive à la surface; il n'y a là, en effet, qu'une question de degré. Soit h la hauteur piézométrique, c'est-à-dire celle où la pression de l'eau en un point lui permettrait de s'élever au-dessus du niveau souterrain habituel de la nappe, et soit h' la hauteur de la surface du sol en ce point au-dessus du même niveau: si $h = 0$ on n'aura qu'un puits ordinaire, mais si $h > 0$ on aura à notre sens un puits artésien qui débordera ou non suivant que l'on aura $h \geq h'$ ou $h < h'$, c'est-à-dire suivant que le rapport $\frac{h}{h'}$ sera ≥ 1 ou < 1 . Nous proposons d'appeler *degré d'artésianisme* précisément ce rapport $\frac{h}{h'}$ qui fait connaître d'un seul coup la caractéristique du puits.

La théorie des puits artésiens est bien connue, ce qui n'empêche pas qu'il soit très difficile de savoir si en forant en un point donné on a chance de trouver une eau qui s'élève jusqu'à la surface, ou du moins s'en rapproche assez pour pouvoir être utilisée. La pression de l'eau souterraine dépend de deux facteurs; d'une part du niveau des affleurements par lesquels l'eau s'infiltré pour former la nappe (affleurements qu'il est possible à la rigueur par une étude géologique convenable de reconnaître), d'autre part des résistances que l'eau rencontre dans son cheminement souterrain, résistances qui *usent* en quelque sorte la pression hydrostatique par le frottement des filets contre les parois des interstices traversés, mais qu'il est à peu près impossible d'apprécier autrement que par l'expérience et l'exemple de couches analogues (1).

(1) En théorie, on aurait à appliquer le théorème de Bernouilli à un filet souterrain et on écrirait en un point quelconque du trajet :

$$Z + \frac{p}{\pi} + \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{\pi} \int_0^s \frac{R}{\omega} ds = \text{constante},$$

où Z est la cote d'altitude au-dessus d'un plan de comparaison (niveau de la mer par exemple);

π le poids spécifique du liquide;

v la vitesse du filet au point considéré (le terme $\frac{v^2}{2g}$ reste généralement négli-

Dès lors pour que le débordement se produise, il faut non seulement que les affleurements de la nappe aquifère soient à un niveau supérieur à la surface du sol au point foré, mais encore que la perte de charge dans l'intervalle n'atteigne pas la différence de ces deux niveaux, et c'est là précisément le point difficile à prévoir.

Quoi qu'il en soit, si l'on ne veut pas tout livrer au hasard, on ne pourra évidemment projeter un puits artésien ou simplement un forage profond que si on connaît suffisamment les nappes qu'on a sous les pieds et leur allure, et cela ne peut être préjugé que par la géologie, comme il a été dit au paragraphe précédent. Mais si l'on a reconnu la présence d'une ou plusieurs nappes convenables, c'est-à-dire alimentées puissamment par des affleurements de couches perméables situés à altitude suffisante, si notamment ces nappes sont enfermées entre des couches imperméables qui les maintiennent sous pression, si de plus on a l'exemple de réussites dans les mêmes couches ou du moins dans des couches semblables, on pourra tenter un premier essai sur un emplacement choisi aussi avantageusement que possible, et l'on ne devra pas, à notre avis, regarder comme un insuccès complet le cas où au lieu de l'eau jaillissante espérée on aurait de l'eau en abondance, mais restant un peu en dessous de la surface ; on en serait quitte alors pour recourir à une élévation mécanique suppléant à l'insuffisance de la pression naturelle.

Quant à l'ouverture de nouveaux puits dans une région qui en possède déjà, il faut être très prudent et s'éloigner suffisamment des anciens ; car si tous les forages puisent à la même nappe et que celle-ci ait un débit limité, il est clair que les nouveaux puits influenceront les premiers et qu'on n'aura au total que peu gagné. Au reste, nous ne pouvons mieux faire que de citer les règles que donnent MM. Kuss et Fèvre, dans leur « Traité de l'exploitation des mines » (encore en cours de publication) : elles sont au nombre de six :

geable dans la présente question) ;

p sa pression, en sorte que $\frac{p}{\pi}$ est la hauteur piézométrique ;

R la résistance due au frottement par unité de longueur ;

ω la section du filet ;

s son trajet depuis l'affleurement originaire de la nappe jusqu'au point considéré.

Le terme $\frac{1}{\pi} \int_0^s \frac{R}{\omega} ds$ représente la perte de charge due au frottement, et l'on voit qu'en dehors des conditions initiales exprimées par la constante, la hauteur $\frac{p}{\pi}$ à laquelle l'eau s'élèvera au-dessus du sol dépend à la fois de ce terme et de la cote d'altitude Z du lieu du forage.

« 1° Le niveau piézométrique en un point donné, c'est-à-dire le niveau statique auquel se tient l'eau dans le puits supposé prolongé par un tube d'une longueur suffisante pour que l'écoulement n'ait pas lieu, est indépendant du diamètre.

« 2° Le débit d'un puits artésien augmente avec le diamètre, mais dans un rapport moindre que celui des sections, et d'ailleurs impossible à calculer à l'avance.

« 3° Le débit augmente également à mesure que l'on abaisse l'orifice d'écoulement ou que l'on prend l'eau plus près de la surface du sol, mais sans que l'on puisse non plus calculer cette augmentation.

« 4° Le niveau piézométrique ainsi que le débit s'élèvent quand on vient à tuber un puits qui ne l'était pas.

« 5° Deux puits voisins s'influencent, et chacun d'eux ne donne qu'une partie du débit qu'il aurait s'il était seul. La somme de leurs débits tend, à mesure qu'ils sont plus rapprochés, à se réduire à ce que fournirait un puits unique ayant une section égale à la somme de leurs sections.

« 6° Le débit des puits voisins de la mer peut varier selon le cours des marées (la nappe ayant généralement son débouché sous la mer). »

Les lecteurs désireux d'avoir des formules pour le calcul du débit des puits artésiens — calcul à notre avis toujours hypothétique — voudront bien se reporter :

1° A la note de M. Michal insérée aux *Annales des Ponts et Chaussées* de 1866;
 2° Aux deux articles publiés, tout récemment dans la *Technologie Sanitaire*, numéros du 15 septembre 1899 et du 15 février 1900, par M. G. Démétriades, à l'occasion de la distribution d'eau de la ville de Salonique : on sait que cette ville, sur les conseils de M. E. Putzeys, a foré dans la plaine située à l'Ouest de la ville, dix puits artésiens jaillissants, qui depuis 1892 ont débité d'une manière continue 5 000 m³ d'eau par jour.

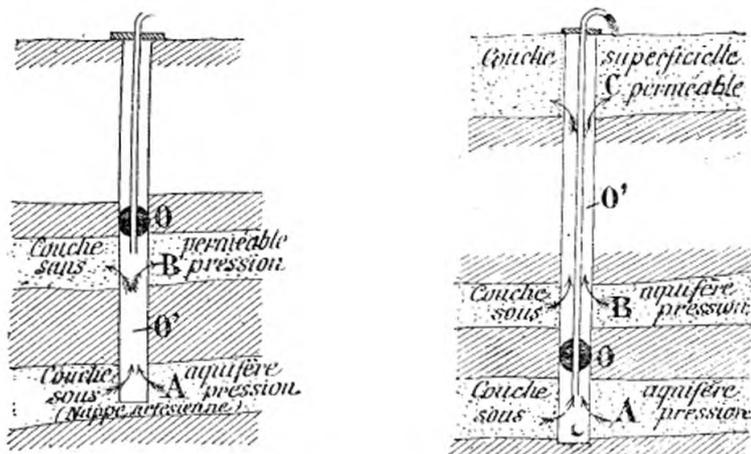
Nous devons citer également un article très intéressant de M. T. C. Chamberlin : « Requisite and qualifying conditions of artesian Wells » dans le 5^e « Report » du *Geological Survey*.

Voici suivant cet Auteur les conditions requises pour avoir un puits artésien débordant :

- 1° Une couche perméable permettant l'entrée et le passage de l'eau;
- 2° Une couche étanche par dessous pour empêcher l'eau de descendre plus bas;
- 3° Une couche imperméable par dessus, afin que l'eau conserve la pression qu'elle doit aux affleurements originaires (*fountain-head*);
- 4° Une inclinaison de ces couches, telle que le lieu de pénétration de l'eau soit plus élevé que la surface du puits;
- 5° Des conditions climatiques et une exposition convenables pour que les affleurements de la couche perméable puissent recevoir une quantité de pluie suffisante;
- 6° L'impossibilité pour l'eau de trouver un moyen de s'échapper à un niveau plus bas que l'orifice du puits.

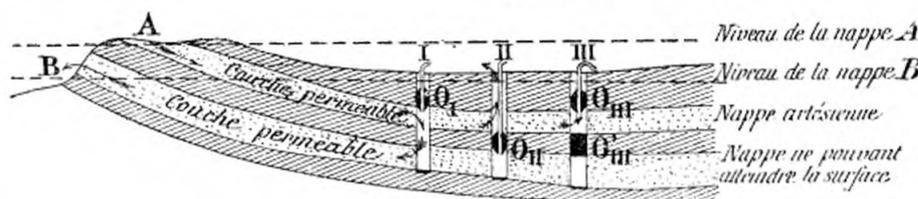
Au sujet de cette dernière condition, les trois fig. 26 sont assez suggestives pour montrer les chances d'insuccès qui résultent de la présence

d'une couche perméable située à un niveau supérieur et contenant une nappe sans pression.



I. — Exemple d'un essai infructueux, l'eau passant dans la couche B sans monter par le tube: il suffirait pour y remédier de reporter l'obturateur de O en O' entre les deux couches A et B.

II. — Exemple d'un essai qui a réussi pour la nappe A, mais a perdu le produit de la nappe B, qui se perd dans la couche C: on aurait le produit des deux nappes si on reportait l'obturateur en O au-dessus de la couche B.



III. — Exemple de trois puits artésiens: I et II, mauvais; III, réussi. La nappe A peut seule remonter jusqu'à la surface: le puits I permet aux eaux de A de s'écouler par B, le puits II ne permet pas aux eaux de A de passer par le tube; seul le puits III, grâce à l'obturation en O_{III}, permet le jaillissement par tube.

Fig. 26. — Exemples de puits artésiens réussis ou infructueux (d'après M. Chamberlin).

L'Auteur énumère ensuite les différentes causes auxquelles on doit rapporter la diminution progressive du débit qu'on observe bien souvent pour les puits artésiens. Ces causes sont:

1^o Diminution de la pression des gaz qui (surtout dans les régions du pétrole et du gaz naturel) agissent sur la nappe;

2^o Diminution de la charge résultant des épuisements et du fait que l'équilibre étant rompu entre les apports et l'écoulement souterrain, le niveau de la nappe aux affleurements doit s'abaisser et suivre davantage les variations de la pluie;

3^o Augmentation des fuites;

4^o Obstruction de l'orifice;

5^o Défauts du tubage.

Enfin M. Chamberlin nous apprend encore que le coût ordinaire des forages en Amérique est de 2 à 3 dollars par pied pour les 1 000 premiers pieds, 1/2 dollar en plus par pied de 1 000 à 1 500 pieds et encore pareille majoration de 1 500 à 2 000 pieds (1).

(1) 1 pied = 305 mm.

Quant aux procédés de forage, nous les connaissons déjà (voir au § 1), il faut seulement, pour les puits artésiens, prendre de très grandes précautions pour le tubage qui, ici, joue un grand rôle notamment en ce qui regarde l'isolement de l'eau profonde d'avec celle des nappes plus superficielles. On est conduit d'ordinaire à adopter, outre le tubage ordinaire, un tube spécial dit tube d'ascension, dont l'étanchéité à la base à son point de pénétration de la nappe utile doit naturellement être assurée : ce tube se fait le plus souvent en cuivre rouge, afin que sa conservation soit mieux assurée.

Nous devons toutefois signaler spécialement, parmi les forages profonds, les difficultés que présentent ceux qui doivent descendre et puiser l'eau dans les sables très fins, sables bouillants. Les ingénieurs allemands Smreker (Mannheim), Sonne et Simons (Nuremberg) et l'ingénieur hollandais Van Hasselt ont employé dans ce cas des appareils assez semblables : ils consistent essentiellement à avoir deux tubes emboîtés l'un dans l'autre et séparés par un espace rempli de cailloux ou de pierres cassées ; les deux tubes sont naturellement perforés (le plus grand porte un fond fermé), en sorte que l'eau passe par les trous et que le sable est arrêté par les cailloux intermédiaires. Malheureusement le sable très fin arrive encore à passer et, de plus, la rouille a vite fait de détruire les tôles des tubes si elles sont minces.

On sait comment M. Lippmann a résolu la difficulté à Rambouillet au moyen de son *cuvelage filtrant*. Ce cuvelage est un tubage spécial de forme hexagonale (0^m,40 de diamètre) dans lequel sont ménagées des alvéoles logeant des plaques en matière poreuse : on descend ce cuvelage dans l'intérieur d'un tubage de retenue ordinaire, descendu lui-même préalablement dans les sables aquifères jusqu'au niveau jugé convenable ; puis on retire le tubage et on met ainsi en contact les sables et les plaques poreuses qui laissent passer l'eau tout en retenant le sable fin. Il paraît toutefois que, soit encrassement des plaques, soit diminution de pression de la nappe, soit toute autre cause, le débit des puits de Rambouillet va malheureusement en diminuant.

Au lieu des plaques poreuses de M. Lippmann, M. Cottancin a proposé des *briques filtrantes*, faites de béton maigre et comprenant des vides, sortes de cellules filtrantes qui se remplissent de sable et laissent passer l'eau : ces briques s'intercalent au milieu des briques creuses en ciment armé du même inventeur (1).

(1) Voir *Revue technique de l'Exposition universelle de 1900*, 1^{re} Partie ; T. II, p. 164.

A l'Exposition de Bruxelles en 1897, M. E. Putzeys avait exposé un modèle de puits filtrant du même genre que le puits Lippmann : ici le passage de l'eau séparée du sable doit se faire entre des lames de verre juxtaposées en paquets ; ces paquets serrés isolément dans des cadres forment autant d'éléments du filtre et ces éléments sont réunis sur un tronçon de cuvelage polygonal en fonte (fig. 27). On superpose plusieurs tronçons pour constituer la partie inférieure, filtrante, du puits ; la partie supérieure, étanche, est formée d'un tubage cylindrique en tôle qu'on enfonce d'abord pour y descendre la partie filtrante, et qu'on relèverait ensuite suffisamment pour raccorder sa base au sommet de cette dernière. Nous n'avons pas entendu dire que ce système ait déjà fonctionné, mais des expériences minutieuses de l'auteur, il résulterait que le passage de l'eau entre les lames se fait bien et sans sable, sous une pression même minime. (On voyait aussi à la même Exposition un modèle à mi-grandeur d'un puits de 4 m de diamètre, entièrement cuvelé en fonte et pouvant se diviser en deux compartiments étanches ; il était proposé par M. G. Lambert pour aller puiser l'eau de la craie à Bruxelles même, à 100 m de profondeur ; mais il ne nous paraît présenter rien de bien différent des puits cuvelés qu'on utilise dans les mines).

Les exemples de villes s'alimentant au moyen de puits profonds ou artésiens sont encore rares en France, mais ils sont assez nombreux à l'étranger. Nous ne rappellerons pas les histoires si caractéristiques, mais bien connues, des puits artésiens de Paris (puits de Grenelle et de Passy, puits inachevés de la Butte-aux-Cailles et de la place Hébert). — Versailles pompe aujourd'hui d'excellente eau à des puits creusés profondément dans la craie près de Marly. Tours possède onze puits artésiens descendant à 120 ou 150 m, dans les sables verts ; Rochefort a un puits qui, à 816^m,30, a donné 2 lit. à la seconde. Le Nord de la France et la Belgique possèdent un assez grand nombre de puits artésiens, mais ils ne servent pas à l'alimentation de localités importantes.

Dans l'Est, les récents sondages faits dans le bassin de Briey-Longwy pour la recherche de minerai de fer ont donné quelques émissions artésiennes, et nous avons émis l'idée que certains villages voisins devraient en profiter. Le gouvernement allemand a fait, paraît-il, une proposition de ce genre à un groupe de villages du plateau de Fontoy.

En Angleterre, on peut citer Birmingham, qui ne reçoit pas moins de 8300000 gallons, soit 38000 m³, par jour de quatre puits artésiens,

foncés de 120 à 400 pieds de profondeur dans le *new red sandstone* ;

Lamelle
en verre,
isolée

25 lamelles
réunies
en paquet

Lamelles dans
leur alvéole

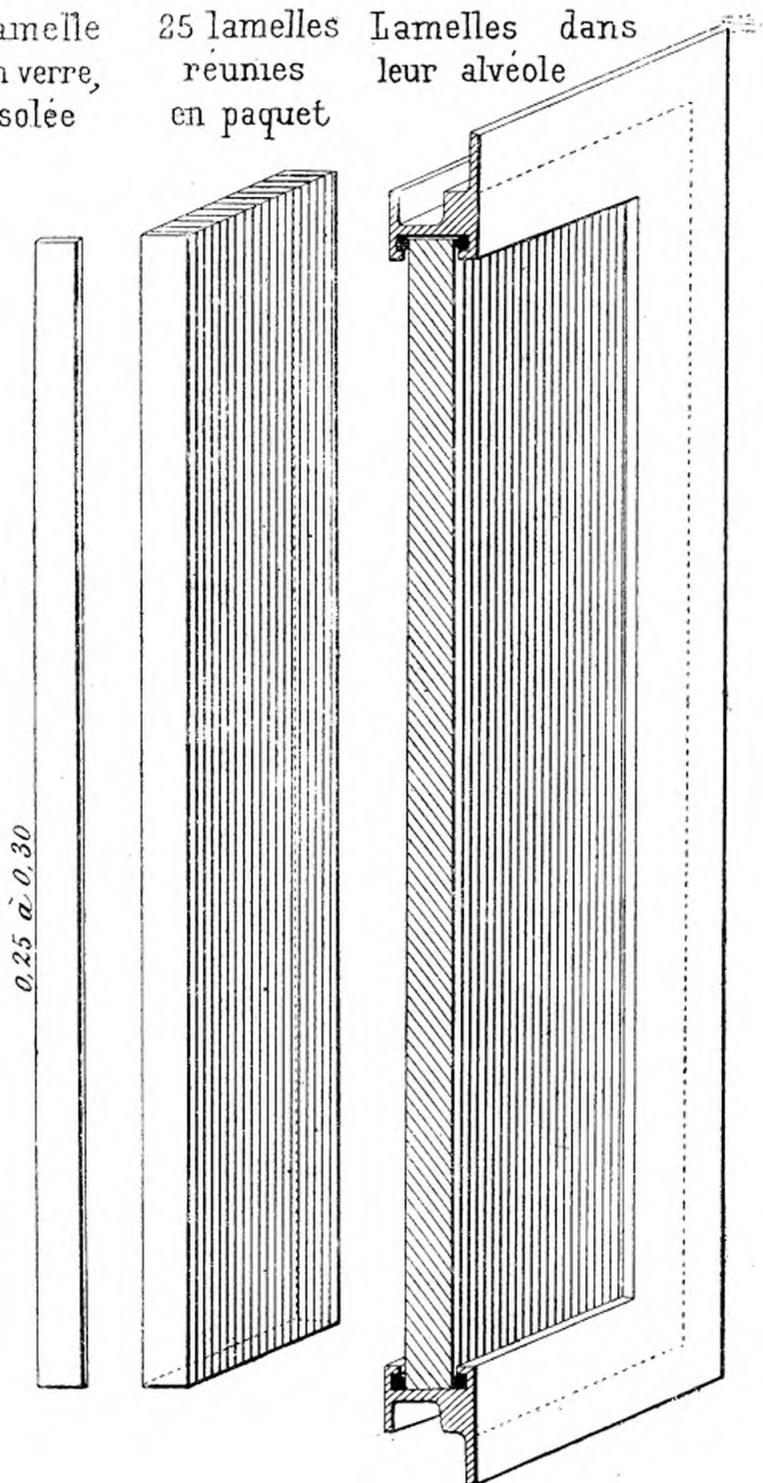


Fig. 27 a. — Détails de la partie filtrante.

Fig. 27. — Puits-tube avec appareil filtrant (système Putzeys) pour captation d'eau dans les sables bouillants.

Liverpool, Bristol tirent également de grandes quantités d'eau de puits profonds atteignant la même nappe, mais ces villes sont obligées de

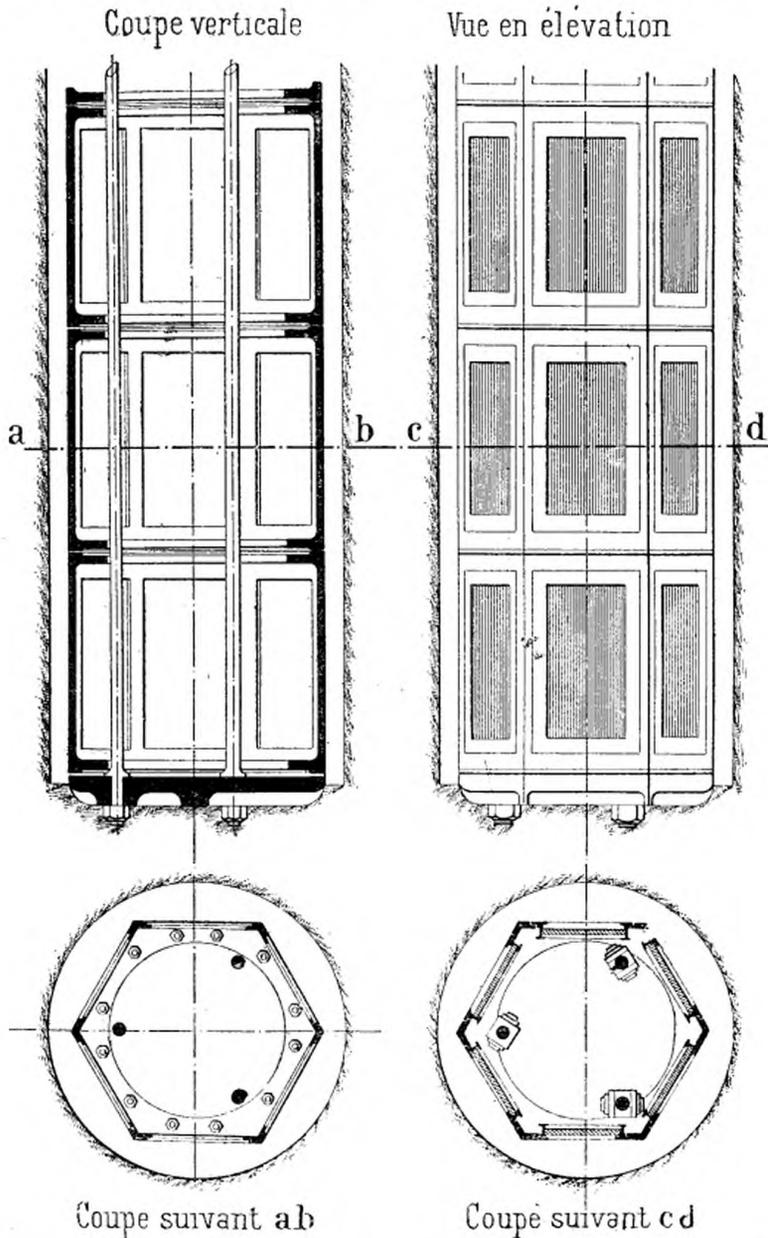


Fig. 27 b. — Puits-tube avec appareil filtrant (système Putzeys) pour captation d'eau dans les sables bouillants.

pomper. Certains quartiers de Londres ont des puits profonds dans la craie qui donnent aussi beaucoup d'eau.

En Italie, on peut citer Ferrare (qui tire 1 500 m³ par jour des sept puits artésiens de Castel-Franco), Venise, Mantoue, etc.

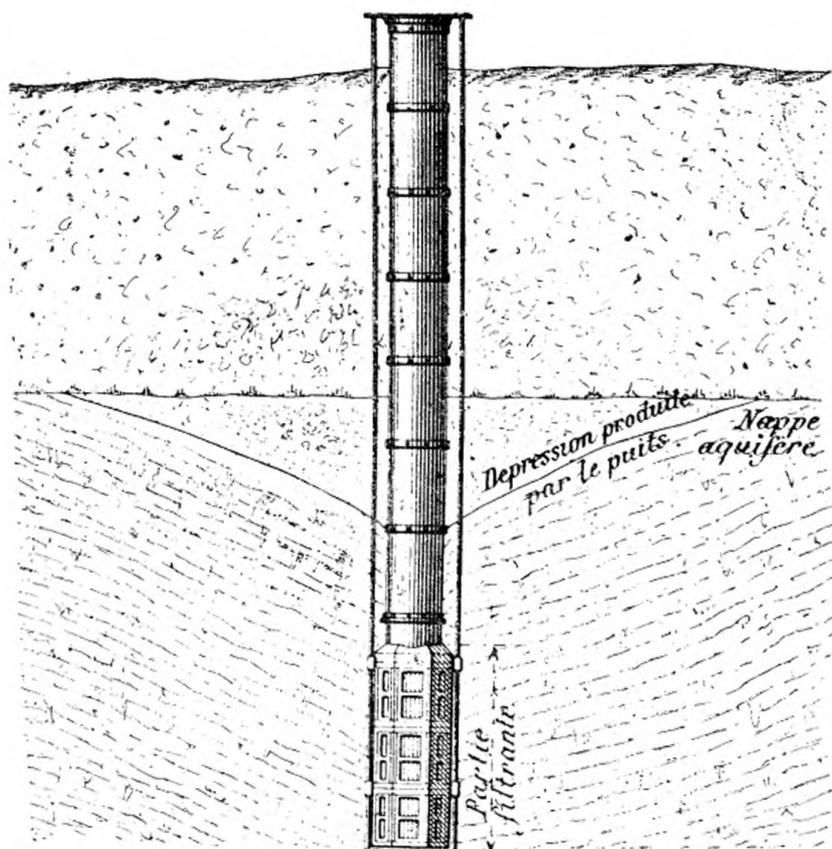


Fig. 27 c. — Vue d'ensemble d'un puits-tube (système Putzeys) pour captation d'eau dans les sables bouillants.

Nous avons déjà cité Salonique, les 900 puits artésiens et 1 500 puits forés de la plaine hongroise, les puits artésiens du Portugal. Personne n'ignore les services immenses que les forages artésiens rendent en Algérie et dans le Sahara; les noms de MM. Desvaux, Laurent, Jus, Lehaut et Rolland sont liés à cette magnifique application, qui ne comprenait pas moins en 1889 de 625 puits donnant 240 000 lit. à la minute (400 puits dans la province de Constantine seule). (Les sondages ont généralement de 40 à 100 m de profondeur; on les fait de 0^m,25 à 0^m,30 de diamètre et ils coûtent de 5 à 10 000 fr. l'un).

Enfin, comme nous le savons déjà, le territoire des États-Unis a été depuis 1886 littéralement criblé de forages (on ne compte pas moins de 300 puits artésiens autour de Denver !). Nous connaissons combien la grande cuvette américaine est propice à la formation des nappes artésiennes ; les eaux que le sondeur en tire ne servent pas seulement à l'alimentation de nombreuses localités, mais encore comme en Algérie aux irrigations et à l'agriculture : au milieu des plaines arides, elles créent des oasis et ramènent ainsi la vie en plein désert.

b) *Galeries de mines, galeries captantes.* — Ce procédé va chercher le *minerai d'hydrogène* (qu'on nous permette cette expression typique) dans son gîte en place ; il va saigner la nappe au cœur. Il doit avoir la préférence sur les puits et sondages dans certains cas où ceux-ci ne pourraient réussir que s'ils étaient par trop multipliés ; ainsi comme dans les calcaires fissurés, une nappe n'est parfois qu'une série de filets coulant dans des fissures assez espacées l'une de l'autre, et il est clair alors qu'un sondage risque de tomber entre deux fissures dans le roc compact et de ne rien donner, tandis qu'une galerie recoupant transversalement tous les filets collectera toute l'eau sur son trajet. Les deux procédés, puits et galeries, peuvent d'ailleurs se combiner ; du fond d'un puits, on peut faire partir des galeries dans telle ou telle direction pour aller chercher l'eau qu'on suppose passer dans un synclinal voisin ou qu'on rencontre dans des fissures successives. De plus, si la galerie principale ne peut faire sortir l'eau au jour directement, il faudra évidemment la munir d'un puits dans lequel on pompera ; c'est en somme un appareil d'*exhaure*.

L'étude d'un projet de galeries souterraines pour une captation importante n'est pas une petite affaire. Il faut de toute évidence repérer soigneusement la nappe à saigner, et pour cela déterminer non seulement le niveau supérieur de l'eau, mais aussi le niveau du toit de la couche imperméable qui lui sert de support ; c'est en effet sur ce toit, les pieds dans la couche imperméable et la tête dans la couche aquifère, que la galerie devra en principe être établie et se développer. L'inclinaison du toit imperméable est aussi de toute première importance à connaître, car c'est au bas de la pente qu'il faudra naturellement s'installer. Bref, par l'étude des affleurements, des mines de la région, des puits existants, etc., on réunira toutes les données possibles sur la topographie souterraine ; on les complétera ensuite par un certain nombre de sondages, placés en des points convenablement choisis pour

achever de s'éclairer, et ce ne sera qu'après cela qu'on se risquera à proposer un tracé et un niveau pour la future galerie. Du reste, l'exemple des rares captations de cette nature déjà existantes est bien nécessaire à consulter quand on prend la responsabilité d'une pareille entreprise; c'est ce que nous avons dû faire, de concert avec notre ami M. l'Ingénieur des mines Villain, avant de projeter la captation d'eau souterraine actuellement en cours d'exécution à Nancy; nous en profiterons pour donner ici quelques détails sur les travaux de ce genre.

L'application du creusement des galeries de mines à la captation et à la conduite des eaux, n'est pas une chose nouvelle. Le percement du fameux aqueduc de Siloé, à Jérusalem, galerie de 1533 m de longueur, remonterait au temps d'Ezéchias; les Phéniciens et les Grecs en Asie mineure avaient aussi des galeries creusées dans le roc (une de 1200 m à Samos située sous l'Acropole, et où on a ramené l'eau après vingt-quatre siècles, une à Mycènes, amenant l'eau de la fontaine Pénéia), etc., etc. Enfin une note très intéressante de M. Bykovski, insérée au *Journal des Ingénieurs Russes*, Août 1898, nous apprend que dans la Perse, l'Afghanistan, la Chine même, on se sert de temps immémorial du procédé de captation dit des « *kiaris* », procédé que les Ingénieurs russes ont précisément repris pour doter d'eau potable les localités et les gares de Transcaucasie (beaucoup de gares du Transcaspien).

Un *kiaris* se compose essentiellement d'une galerie ABC (fig. 28), pénétrant dans une couche aquifère et écoulant, par son orifice A, l'eau qu'elle a drainée dans cette couche par sa partie captante BC. La galerie a d'ordinaire 0^m,64 de large sur 1^m,07 de hauteur de manière à permettre juste le passage d'un homme accroupi. On en connaît qui ont ainsi un développement de 56 verstes (le verste = 1^m,066); la pente varie de 0,002 à 0,005. Le tracé est très variable comme direction: les anciens étaient obligés de creuser de nombreux puits PPP pour se guider, et ils reliaient ces puits entre eux par le bas. Le *kiaris* est rarement revêtu, mais dans les endroits ébouleux on faisait une seconde galerie faisant

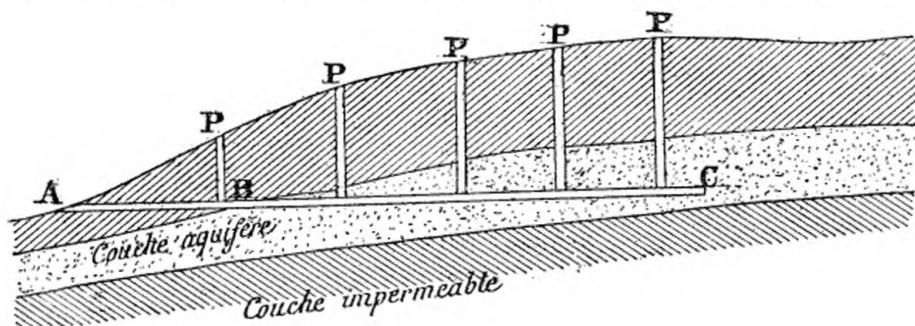


Fig. 28. — Coupe en long d'un *kiaris* persan (d'après M. Bykovski).

un contour et suppléant la première en cas d'éboulement ou réciproquement (suivent alors des détails sur les outils et procédés un peu primitifs des maîtres persans). Tout nouvellement (1894) la ville d'Askhabad a fait une captation de ce genre: la partie captante de la galerie a 540 m, la partie adductrice environ le double, et il n'y a pas moins de 71 puits (dont la profondeur heureusement ne dépasse pas 20 m) sur le trajet; on a dû revêtir au moyen d'anneaux en poterie une longueur de 400 m de galerie qui était peu solide. La dépense n'a été que de 5 700 roubles pour le *kiaris*.

trouva orienté vers l'idée d'une captation souterraine par le fait que la ville tirait déjà de l'eau d'anciennes galeries de mines appelées *arènes*, galeries qui s'étaient trouvées asséchées par suite des perturbations apportées au régime de la nappe par les exploitations houillères. Quoiqu'il en soit, après avoir relevé soigneusement le niveau de tous les puits du plateau de la Hesbaye, il en dressa une carte hydrographique avec courbes de niveau de la surface supérieure de la nappe, et montra qu'on pouvait saigner cette nappe par les galeries qui ont été exécutées.

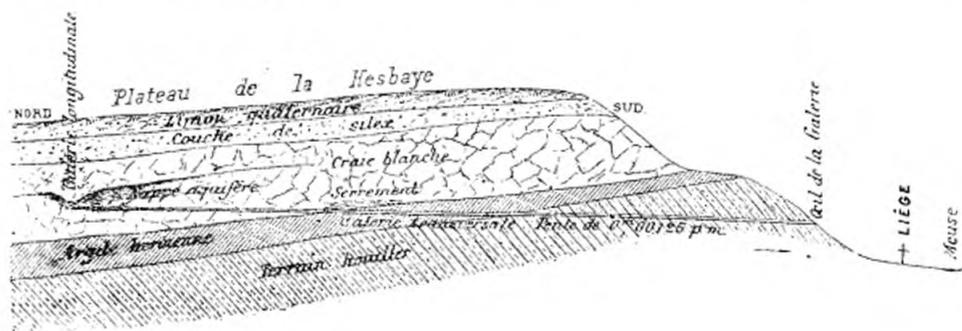


Fig. 30. — Coupe suivant la galerie transversale du plateau de la Hesbaye, à Liège.

Le plateau de la Hesbaye (voir la carte, fig. 29 et la coupe, fig. 30) s'étendant entre la vallée de la Meuse au Sud et à l'Est et la vallée du Geer au Nord, a son soubassement constitué par le terrain houiller, lequel est recouvert uniformément sur toute son étendue par une couche d'argile de 5 à 16 m d'épaisseur, dite argile hervienne; celle-ci est surmontée à son tour, par un massif de 20 à 30 m de puissance, de craie blanche fissurée que recouvrent des couches de silex, quelques lambeaux de sable tongrien et enfin une couche de limon quaternaire. Comme il est facile de le comprendre, les eaux pluviales descendent jusqu'au toit de l'argile hervienne qui les arrête et forment dans les fissures de la craie une nappe importante; mais les couches sont inclinées vers le Nord-Nord-Ouest, c'est-à-dire vers le Geer et à l'opposé de Liège, suivant une pente d'environ 5 m par kilomètre, en sorte qu'il ne se fait que de faibles émissions d'eau vers la Meuse et que les courbes de niveau de la nappe se traçant parallèlement au grand axe du plateau, en plongeant vers le Nord et en présentant une crête ou du moins un très petit versant au bord Sud, au-dessus de la ville.

Dans ces conditions, Dumont proposa d'aborder la nappe par une galerie normale à la direction de ses courbes de niveau, ouverte dans le pied du coteau tourné vers Liège et formé par le terrain houiller, puis traversant ce terrain et ensuite l'argile hervienne avant de pénétrer dans la craie, c'est-à-dire de rencontrer l'eau et de devenir captante; de son extrémité, une seconde galerie perpendiculaire à la première et captante, celle-ci, sur toute sa longueur, devait s'étendre à l'Est et à l'Ouest, en suivant presque une courbe de niveau, de manière à recueillir l'eau de la zone située au sud de son emplacement et à l'arrêter dans son cheminement souterrain vers le Nord. Les deux galeries forment ainsi un T; mais il semble qu'on puisse reprocher à ce projet d'avoir placé la branche horizontale à un niveau trop élevé au-dessus du fond de la nappe, ce qui doit lui faire manquer une partie des eaux en temps de sécheresse et a beaucoup gêné en tout cas pour le prolongement de la galerie Ouest exécuté plus tard. Cet inconvénient est toutefois diminué par le fonctionnement du serrement établi sur la galerie transversale au point où elle devient captante, serrement qui a pour effet de retenir dans le sol, en temps d'eaux abondantes, l'excès du volume qui viendrait sur les besoins à desservir.

5 500 m³ en mai 1875. Le travail ainsi défini avait été mis en adjudication pour la somme de 625 000 francs; la galerie transversale seule a été murillée jusqu'à la rencontre de la craie (soit sur 2800 m); ailleurs les galeries ne l'ont été que dans les parties où la craie ne paraissait pas assez solide. La galerie a 1^m,80 de hauteur sur 4 m à 1^m,20 de large.

Dès 1875, la ville de Liège, ayant de nouveaux besoins, songea à allonger la branche Ouest du T de plus de 5 kil., de manière à en tirer 5 000 m³ de plus par jour; ce travail ne fut exécuté que vers 1887 et 1888, et il réussit très bien comme le premier. La ville tire depuis lors en moyenne 14 000 m³ par jour de ses 12 à 13 kil. de galeries captantes, ce qui donne un peu plus d'un mètre cube par jour et par mètre de galerie utile; les ingénieurs belges évaluent la surface drainée en la déterminant par un sillon qui aurait 2 kil. de large tout le long des galeries (le sillon est dissymétrique et beaucoup plus étalé du côté Sud que du côté Nord), ce qui donnerait environ 3 000 hectares et environ 5 m³ par hectare et par jour.

Toutefois la persistance d'années sèches successives a sensiblement réduit, en 1899 et en 1900, la venue d'eau des galeries, et après avoir totalement épuisé la réserve accumulée derrière les serremments pendant les années 1895 à 1897, on est descendu cet été (1900) à 11 000 m³ par jour. Les besoins de la ville (170 000 habitants) augmentant toujours, M. l'ingénieur Brouhon, du service des eaux a étudié et fait adopter un projet d'extension du système de captage dont il a bien voulu nous donner connaissance et dont on jugera facilement par les fig. 29 et 31.

Comme il n'est plus possible de prolonger la galerie Ouest, dont la tête est arrivée trop haut dans la nappe, et peut être même au-dessus d'elle, (ce qui résulte évidemment du fait que la galerie de Dumont a été placée à un niveau trop élevé, alors qu'il eût mieux valu la mettre en dessous, ou tout au plus sur le toit de l'argile hervienne), M. Brouhon a songé à capter les eaux d'un étage inférieur de la nappe, c'est-à-dire celles qui tombent sur une bande située au Nord de la galerie et non drainée par elle, augmentées de celles qui fuient entre la galerie et le toit de l'argile hervienne. Si l'on supposait une deuxième galerie parallèle à la première et distante de 2 kil., il est clair qu'elle réaliserait cette captation, mais qu'il faudrait remonter l'eau de la différence de niveau entre les deux étages, pour pouvoir la rejeter dans la galerie transversale et l'écouler: c'est en somme ce que veut faire M. Brouhon, avec cette différence, qu'il procéderait par puits captants, jalonnant le trajet de la deuxième galerie. Pour le moment, il propose seulement la création:

1° D'un puits principal captant, plongeant de 27 m dans la nappe et garni d'un cuvelage en fonte avec des orifices de captage: il serait prolongé au fond par un tube abyssinien;

2° D'une galerie captante, formant un carré de 100 m de côté au delà du puits principal;

3° D'un puits de service accolé à ce dernier, et parfaitement étanche pour loger la pompe élévatoire;

4° D'une galerie de communication pour amener les eaux relevées, dans la galerie transversale existante.

La dépense est évaluée à 280 000 francs, mais il nous semble que les frais d'épuisement dépasseront notablement les 17 000 francs prévus.

On espère obtenir ainsi un supplément de 6 000 m³ par jour qui suffira pendant longtemps: ultérieurement on pourra songer à faire un tronçon de galerie parallèle à la première, et aboutissant au puits captant, enfin plus tard encore les autres puits captants indiqués sur la carte.

Nous devons ajouter que l'eau de Liège, régulièrement analysée par M. le Professeur Malvoz, a toujours été trouvée pour ainsi dire aseptique.

Galeries captantes d'Aix-la-Chapelle et de Wiesbaden. — Nous savons aussi qu'à l'exemple de Liège, Aix-la-Chapelle a recueilli des eaux d'alimentation par des

galeries percées dans le calcaire carbonifère, et que Wiesbaden a également fait des galeries captantes dans les quartzites et phylloles du Münzberg (voir Frühling : « Wasserversorgung und Entwässerung der Städte », 1893).

Nous devons à M. le Directeur des eaux d'Aix-la-Chapelle des documents intéressants : il en résulte qu'une première galerie de 2348 m de long (1^m,50 de large sur 2 m de haut) a été établie, de 1874 à 1880, partie dans les schistes et partie dans le calcaire carbonifère très aquifère des environs d'Eich; un puits fut fait sur le trajet à Eich. Cette galerie donna au début 6700 m³ par jour, mais le débit diminua d'un tiers (après la vidange des réserves souterraines), et il fallut songer à de nouvelles recherches. De 1885 à 1888, on installa une nouvelle captation souterraine au sud de la première, à la lisière Sud d'une bande de calcaire carbonifère, voisine d'une bande plus large de schistes dévoniens supérieurs (pauvres en eau); le choix de cet emplacement fut déterminé par la présence d'une cassure à grand rejet, qui doit drainer puissamment les eaux du calcaire, en sorte que des puits de mine aux environs avaient été noyés et abandonnés. Deux tronçons de galerie assez courts débouchent dans le puits de Brandenburg (un second puits et de nouvelles pompes ont été ajoutés en 1892 et 1894), d'où l'eau est élevée mécaniquement, à raison de 7 à 8000 m³ par jour. Alors que le tronçon Nord démerge le calcaire carbonifère (bande de Nüthem), le tronçon Sud s'arrête dans les schistes dévoniens; mais on songe à le prolonger vers le Sud-Est, où à 4 kil. environ il rencontrerait et pénétrerait ensuite une bande de calcaire dévonien (Eifelkalk) qui doit être également aquifère.

Quant à Wiesbaden, le premier projet de captation souterraine des eaux du Taunus est dû au célèbre géologue Carl Koch; la galerie, longue de 2900 m, a été forée à la main, ce qui n'a pas demandé moins de 14 ans (de 1875 à 1889). Ses 950 premiers mètres, ouverts dans les terrains plus anciens que le dévonien, ne donnent presque pas d'eau (ainsi que l'avait prévu Koch); mais le reste fournit environ 3000 m³ par jour d'eau extraite des cassures nombreuses des quartzites et grès dévoniens; deux portes de retenue forment serremments. Nous apprenons à l'instant (novembre 1900) que la ville a entrepris dans ces derniers temps deux nouvelles galeries : l'une, à la Fasanerie, qui a déjà 1900 m de long et l'autre au-dessus de Rambach qui en a 500. On y emploie les perforatrices hydrauliques et électriques, et on obtient un avancement de 3 m à 3^m,50 par jour; les résultats de ces deux galeries en eau captée sont satisfaisants.

Galerie et puits du Ragas, à Toulon. — On sait qu'une Société s'était constituée à Toulon pour creuser une galerie de 900 m allant chercher les eaux du puits naturel du Ragas : ce puits recueillait naturellement une partie des eaux de la nappe provenant des plateaux calcaires qui dominent la ville.

L'affaire a été reprise par la Compagnie générale des Eaux, qui distribue actuellement cette eau; c'est plutôt l'adduction souterraine d'une source vaclusienne qu'une captation souterraine par galerie proprement dite.

Galeries captantes de Bruxelles. — Nous connaissons déjà (fig. 18, p. 52), les sables dans lesquels sont établies ces galeries; elles sont en pleine nappe, la hauteur de la couche aquifère n'ayant pas permis de les asseoir sur l'argile yprésienne. Les plans et des modèles de galerie et de serremments préparés par l'éminent ingénieur en chef M. Putzeys, figuraient à l'Exposition de Bruxelles de 1897. Le type de la galerie murillée est très semblable à celui que, d'après cet exemple même et celui de Liège, nous avons nous même adopté pour Nancy (fig. 35, p. 114), avec cette différence que la cuvette inférieure a un radier courbe, et que pour constituer ce radier, il n'y a que trois pièces au lieu de cinq; nous avons été conduits à faire ces légers changements ainsi qu'à raccourcir à 0^m,40 la longueur des pièces, afin d'en diminuer le poids (très gênant pour les manœuvres à faire dans une galerie étroite) et d'éviter la complication peu utile

de la courbure de la cuvette. Le béton des pièces du radier est composé de 450 kilogr. de ciment de Portland, $0\text{m}^3,20$ de sable et 1 m^3 de gravier. — Le reste des galeries est en briques et a $0\text{m},18$ d'épaisseur; craignant d'assez fortes poussées dans les marnes liasiques, nous avons porté cette épaisseur à $0\text{m},22$ à Nancy.

Bruxelles a deux systèmes de captation :

1^o Système du Hain. — Il y avait d'abord des sources, les unes hautes (cote 92 à 120), les autres basses relevées par les machines de Braine-l'Alleud. Mais ces sources, captées au début de l'exploitation, donnèrent lieu à de sérieux mécomptes lors des sécheresses, et on résolut d'aller les capter à grande profondeur au moyen de galeries, dont le champ d'action s'étendant à grande distance augmente fortement les venues d'eau. La galerie d'Ophain est la plus importante et mesure 4 kil. Ces galeries sont commandées aujourd'hui par des *serrements* ou écluses souterraines qui régularisent les débits et permettent aux époques de faible consommation ou de fortes pluies de réaliser l'emmagasinement dans le sol — c'est-à-dire dans un réservoir souterrain naturel où les eaux gardent toute leur pureté et toute leur fraîcheur, — de volumes d'eau considérables qui servent d'appoint précieux au moment des sécheresses. (Voir fig. 31.)

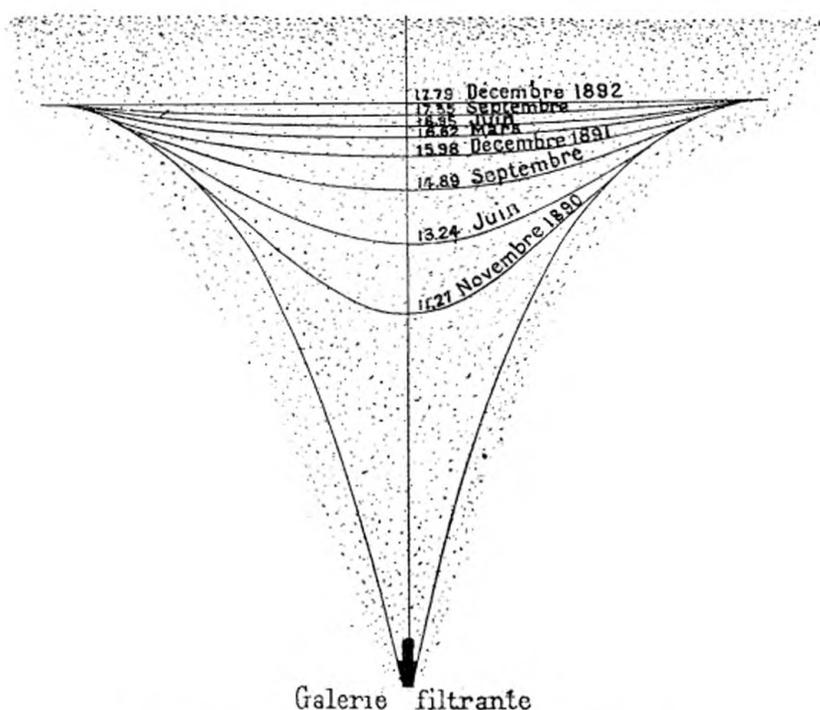


Fig. 32. — Effet d'un serrement sur le niveau de la nappe. Relèvement du niveau dans le puits 21 de la galerie d'Ophain (Bruxelles).

2^o Système de la forêt de Soignes. — Commencées en 1876, sous le bois de la Cambre par M. Verstraëten, les galeries se sont développées ensuite sous la forêt de Soignes, et se développeraient sans doute encore, si la scission qui s'est faite dans ces dernières années, entre Bruxelles et les communes suburbaines, n'avait changé la situation.

Actuellement, la ville tire $37\ 000\text{ m}^3$ par jour de ses galeries souterraines, soit à raison de 4 à 5 m^3 par hectare drainé ou encore de 4 m^3 environ, par mètre courant de galerie : il y a donc en tout plus de 30 kil. de galeries. Le prix de



- - - - Les lignes en traits et points représentent les courbes de niveau du mur de la couche inférieure du minerai de fer. (Toit des marnes supraliasiques).
 Les cotes soulignées indiquent les points de ce niveau relevés par les sondages ou l'exploitation des mines.
 ——— Trace indiquant le 1^{er} projet présenté, ou projet de Villers.

- - - - Tracé d'un 2^{ème} projet. (Projet de Boudonville).
 Les cotes précédées du mot eau sont celles du plan d'eau des puits et sources.
 ——— Trait indiquant la limite des concessions de mines.
 ——— Courbes de niveau superficielles.
 // ← Parties des mines en exploitation par défilages ou galeries

Echelle de $\frac{1}{55000}$

revient à varié suivant les circonstances de 100 à 500 francs par mètre : dans les dernières années, en raison des épuisements considérables (3 000 m³ par jour à 54 m de hauteur) qu'il fallait faire et de l'instabilité des sables mouvants, l'avancement était très difficile et on aurait eu sans doute avantage à employer le *bouclier*.

A la tête aval de la galerie de la forêt de Soignes, il y a naturellement un serrement régulateur de la prise d'eau. Il est formé d'un massif de béton de ciment et de maçonnerie de briques de forme rectangulaire, ayant 2^m,50 de large, 5^m,50 de hauteur et 10 m de longueur ; des retours de 2^m,50 d'épaisseur et 5^m,50 de hauteur, complètent cette sorte de mur-barrage. A l'aval et à l'amont se trouve un puits donnant accès à une chambre : la prise d'eau se fait dans la chambre amont au moyen d'une conduite en fonte noyée dans le massif de béton, et débouchant dans le radier de la chambre de départ ; bien entendu, des vannes permettent d'intercepter ou de modérer à volonté la venue d'eau des galeries. Les deux puits sont reliés par une petite galerie établie au-dessus du niveau maximum auquel la nappe peut s'élever (afin qu'on puisse l'utiliser à toute époque).

D'autres serremments existent sur le trajet des galeries captantes : ils sont beaucoup plus longs que le précédent, M. Putzeys ayant montré qu'on peut pratiquer des serremments dans les sables bouillants sans que l'eau les contourne, mais qu'il faut pour cela leur donner une grande longueur (40, 50 et même 100 m), de manière que l'eau surélevée rencontre assez de résistance. Pour le même motif, aucune surface de maçonnerie n'est laissée lisse ou continue, toutes les surfaces sont à redans et à picotage ; enfin, toujours pour augmenter la garantie contre les infiltrations, on a fait des injections de ciment dans la masse sableuse environnant les serremments, afin de la transformer en une sorte de béton maigre enchevêtré.

Projet en cours d'exécution à Nancy. — En 1898, la ville de Nancy, a décidé pour se procurer de l'eau de boisson fraîche et pure, d'imiter Liège et de s'adresser aux réserves souterraines d'une grande forêt qui domine la ville à l'Ouest, la forêt de Haye. C'est le calcaire oolithique (bajocien et bathonien), qui, surmontant les marnes supraliasiques et séparé d'elles par la formation ferrugineuse (minerai de fer de la Lorraine) constitue le grand plateau de Haye, entre les vallées de la Meurthe et de la Moselle. Ce calcaire absorbe les eaux pluviales, et elles s'arrêtent, soit sur les marnes supraliasiques très épaisses (alors la formation ferrugineuse est inondée), soit sur une couche de 3 à 5 m d'épaisseur de marne micacée qui se trouve généralement au-dessus de la couche supérieure du minerai ; nous avons constaté que l'eau pouvait aussi rester enfermée dans la formation ferrugineuse elle-même, et y présenter dès lors tous les caractères d'une nappe artésienne.

Les couches plongent vers le Nord-Ouest, c'est-à-dire à l'opposé de la ville avec une inclinaison de 17 à 18 m par kil. ; on se trouve donc dans la même situation qu'à Liège. Toutefois, pour orienter un projet, il fallait préalablement étudier de près l'allure et le niveau de la nappe et de son support : c'est ce qu'il nous a été possible de faire relativement vite, grâce aux renseignements nombreux qui nous ont été fournis d'une part par l'exploitation des mines de fer échelonnées le long de la bordure du plateau, d'autre part par les nombreux puits et sondages forés par les industriels en pleine forêt ; ces puits ont du reste rencontré presque tous de l'eau en abondance.

Ces données précieuses nous ont permis de déterminer en un grand nombre de points le toit de la marne supraliasique, et ensuite de tracer approximativement d'après ces points les courbes de niveau de ce toit (voir la carte fig. 33). Ajoutons que des failles étaient déjà signalées par les géologues, et que l'une d'elles, allant de Ludres à Clairlieu, nous intéresse tout spécialement.

Ce travail préliminaire une fois fait, il devenait facile de tracer les galeries à

proposer. En premier lieu, la ville ayant besoin d'eau à une cote aussi élevée

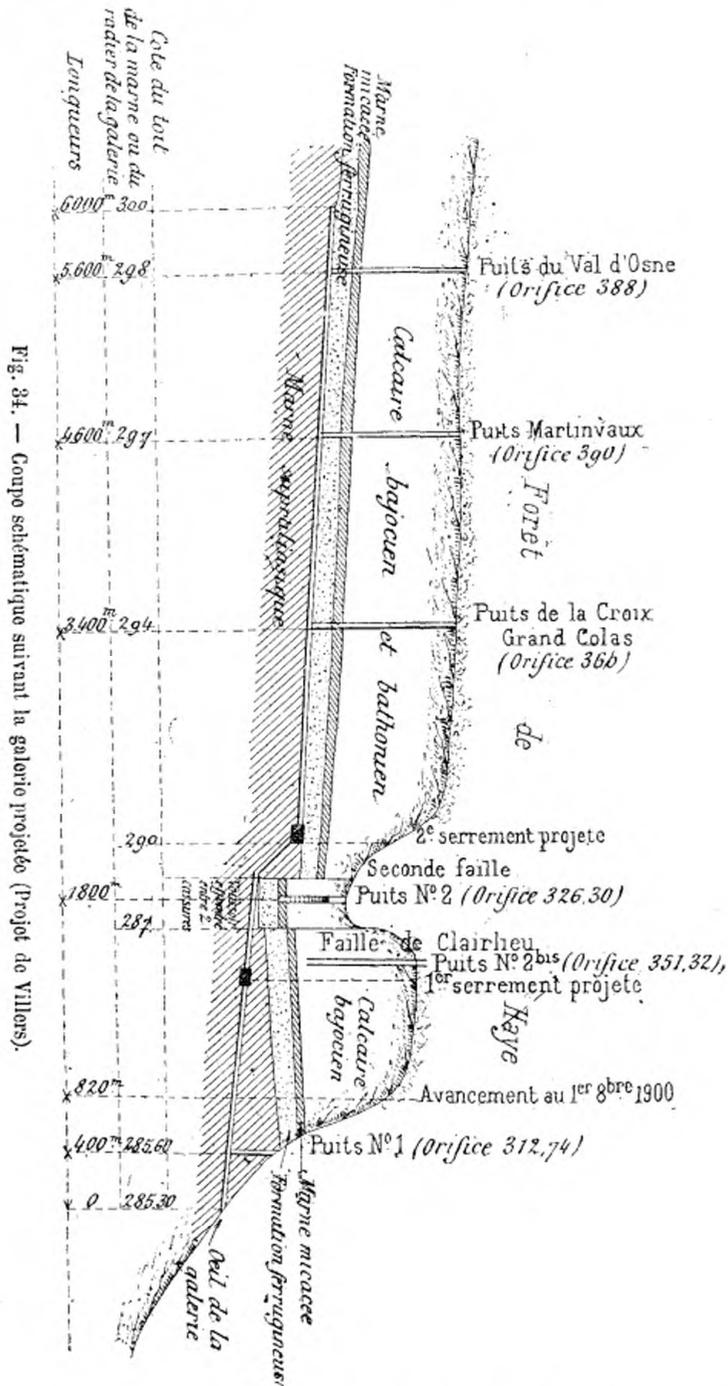


Fig. 34. — Coupe schématique suivant la galerie projetée (Projet de Villers).

que possible pour desservir ses quartiers hauts, il fallait drainer la région Sud-Est de la forêt, région qui forme la partie supérieure du plan incliné sou-

terrain: une galerie de 6 kil. de longueur, partant du vallon de Villers pour se diriger d'abord à l'Ouest, puis pour suivre une courbe de niveau de la marne supraliasique entre 290 et 300 était dès lors indiquée, comme devant former en quelque sorte l'étage supérieur de la captation (issue de l'eau à la cote 285,30). Un étage inférieur serait réalisé par le tracé pointillé, lequel forme un véritable T, dont la branche transversale viendrait sortir dans le vallon de Boudouville, vers la cote 220, et dont la branche longitudinale se développerait le long de la courbe 230. Le projet haut, dit de Villers, fig. 34, drainerait 900 hectares, le second dit de Boudouville en drainerait 4 500, ce qui, en comptant sur le quart de la pluie annuelle et en déduisant les émissions d'eau existantes, permettrait d'espérer 4 à 5 000 m³ par jour pour le premier et 15 000 m³ au moins pour le second projet.

La ville ne s'occupe pour le moment que du projet de Villers (en attendant qu'une convention soit passée avec les sociétés minières, qui ont détourné les anciennes eaux du vallon de Boudouville, pour leur faire entreprendre, à titre de restitution des eaux, une première fraction du projet de Boudouville). Les travaux ont été attaqués dès le mois de mai 1898. Au premier octobre 1900, la galerie, creusée entièrement dans la marne supraliasique avec l'aide de perforatrices électriques, est arrivée à 820 m de l'œil et donne une quantité d'eau,

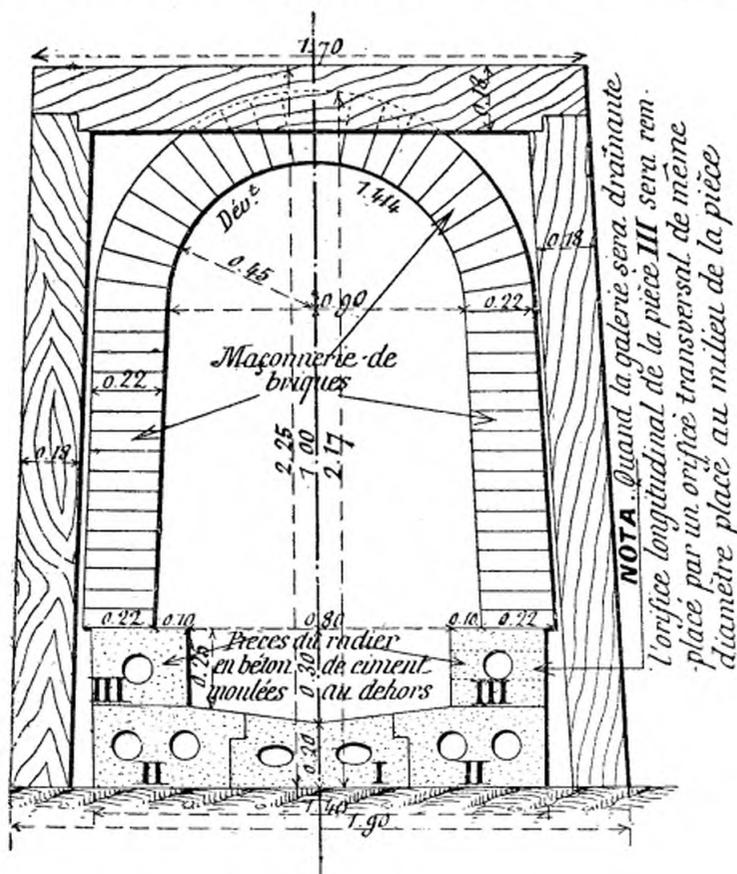


Fig. 35 a. — Type de galerie dans les parties murillées.

Fig. 35. — Galerie de captation des eaux de la forêt de Haye.

qui a varié de 400 à 400 lit. à la minute. Cette eau ne paraît venir que de fissures avoisinant la bordure, et plus on avance, plus il semble que la couche de marne de 8 à 10 m d'épaisseur qui sépare la galerie de la formation ferrugi-

neuse devienne étanche (au moment voulu des montages perceront cette couche et feront descendre l'eau dans la galerie).

La tentative faite pour armer le puits de Clairlieu (n° 2), et en faire la tête d'une double attaque a échoué, par le fait que lorsque le puits arrivé à 32^m,50 de profondeur a touché au minerai, l'eau a jailli et est remontée de 20 m se tenant ainsi à 43 m de la surface. Ce fait joint à la reconnaissance de la cote du minerai, nous a conduits à penser qu'en ce point, on se trouvait sur un voussoir enfoncé entre deux failles et qu'il devait passer dès lors une véritable rivière souterraine dans cet espace. Craignant de ne pouvoir l'épuiser, les Ingénieurs se

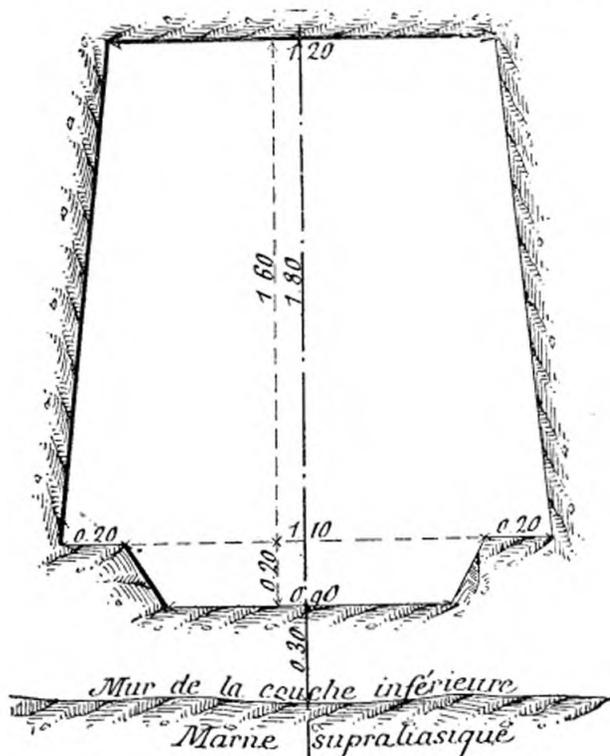


Fig. 35 b. — Type de la galerie non murillée (dans la couche inférieure du minerai).

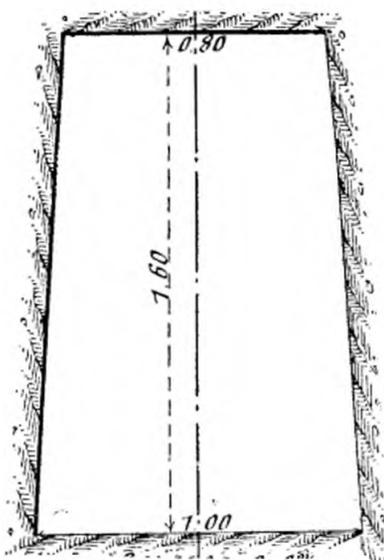


Fig. 35 c. — Montage de moins de 400 m de longueur, et ayant une pente qui pourra aller jusqu'à 45°.

Fig. 35. — Galeries de captation des eaux de la forêt de Haye.

sont décidés à se reporter à 250 m à l'aval, dans les terrains en place, à y faire un nouveau puits et à l'armer de pompes d'épuisement pouvant débiter 3 à 4 000 m³ par jour; ce puits (n° 2 bis) est arrivé à ce jour aux marnes micacées et on y installe les pompes, de manière à les tenir prêtes à épuiser lorsqu'on percera la couche marneuse et qu'on touchera au minerai qui doit contenir l'eau sous pression. L'avenir nous dira ce qu'il faut penser des espérances qu'a fait concevoir la reconnaissance d'une nappe puissante et ascendante à Clairlieu; mais, notre future galerie devant percer pour ainsi dire de part en part la montagne entre les vallées de la Meurthe et de la Moselle et devant se tenir toujours en dessous ou au bas de la nappe, il ne paraît pas possible que l'eau pluviale tombée sur toute la partie amont de la forêt lui échappe.

Les types de la galerie et le mode de construction sont indiqués fig. 35 et nous en avons déjà parlé à propos de Bruxelles. Le coût du mètre courant murillé, dans les marnes liasiques, revient à 150 francs en chiffre rond. Nous

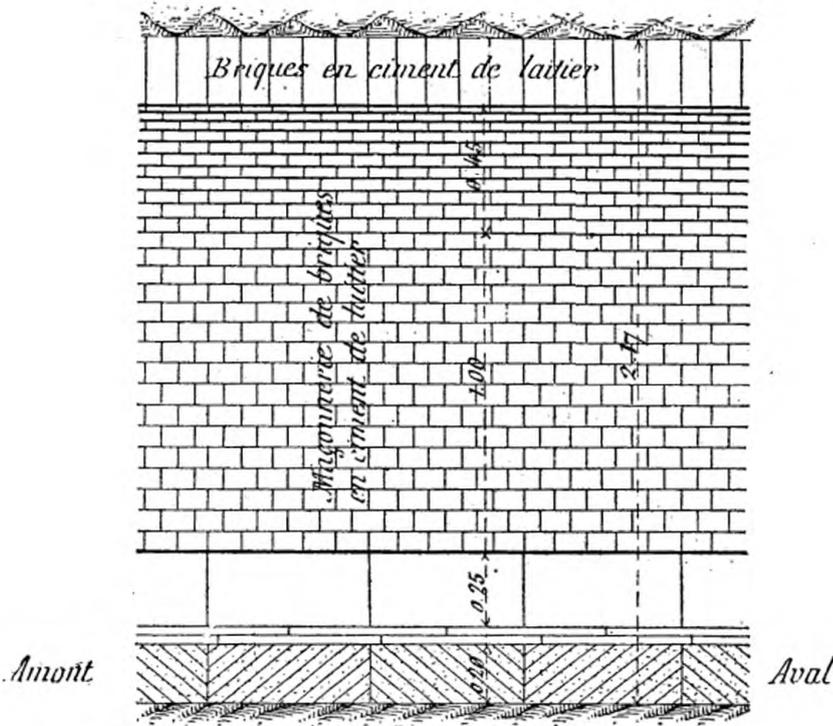


Fig. 33 d. — Coupe longitudinale suivant l'axe de la galerie murillée.

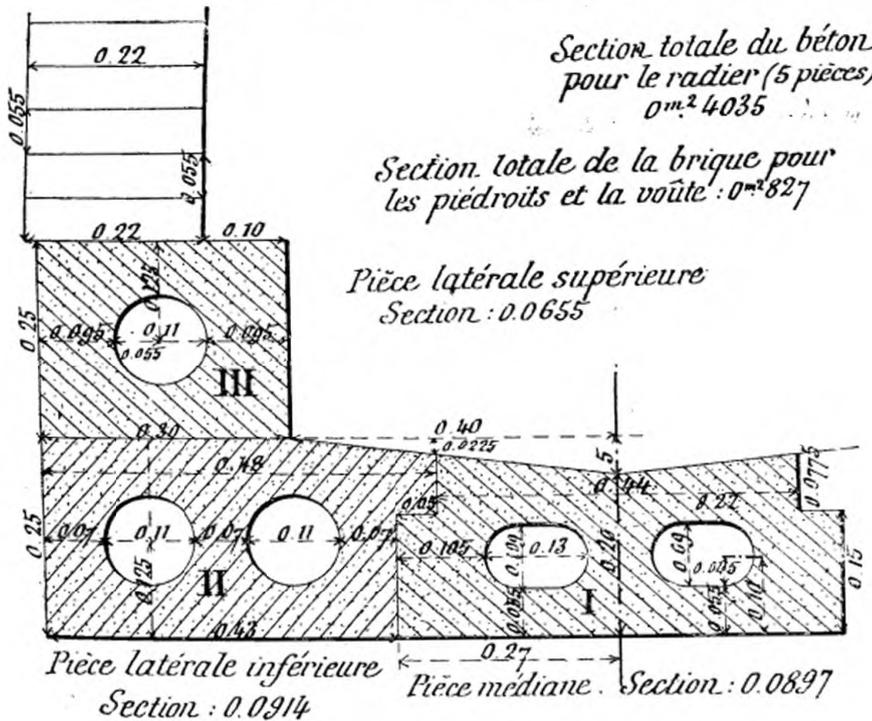


Fig. 35 e. — Coupe.

Fig. 35. — Galeries de captation des eaux de la forêt de Haye.

espérons qu'il s'abaissera de beaucoup quand la galerie sera établie dans la couche inférieure du minéral.

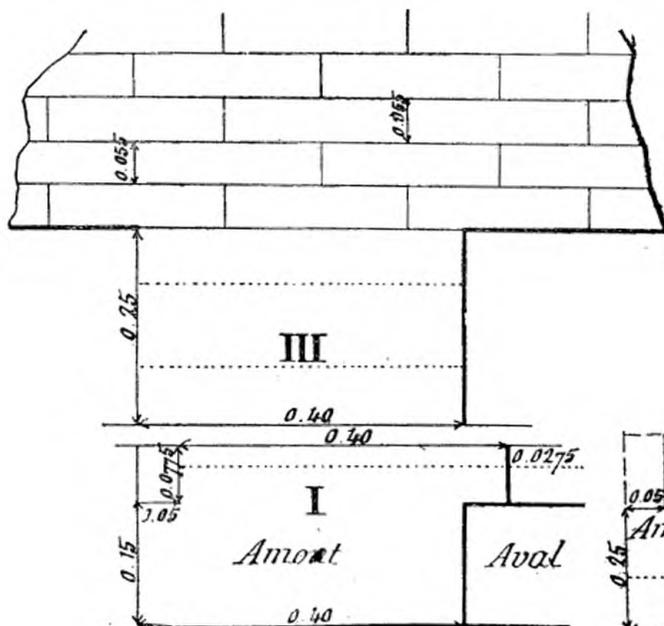


Fig. 33 f. — Coupe latérale.

Fig. 35.
Galeries de captation
des eaux
de la forêt de Hayo.

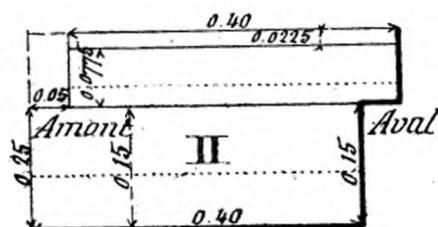


Fig. 33 g. — Vue latérale de la pièce latérale inférieure du radior.

Autres projets. — La ville de Luxembourg se refusant — pour des raisons d'un ordre extra-technique — à amener de belles sources situées à 3 ou 4 kilomètres au Nord de la ville, nous lui avons indiqué, M. Villain et nous, une solution consistant à creuser une galerie souterraine de 2 à 3 kil. de longueur à la base du grès de Luxembourg, dans la direction Est-Ouest, sous une belle forêt appartenant à la ville et nommée le Baumbusch. Un sondage fait en pleine forêt sur le trajet de la galerie en question a révélé une nappe de 10 m de puissance (il est vrai qu'un autre sondage fait près de la bordure n'a pas trouvé d'eau malgré la présence de belles sources à très faible distance, mais nous soupçonnions l'existence d'une faille en cet endroit et le sondage a dû tomber sur la lèvres surélevée de la cassure). La ville n'a pas encore pris de décision au sujet de ce projet.

La ville de Compiègne, ayant présenté récemment un projet d'adduction de sources émergeant du calcaire grossier supérieur, à Duvy, s'est vu retourner ce projet avec avis que les eaux des sables de Cuise (sables du Soissonnais) seraient beaucoup plus sûres comme qualité. MM. Supervielle et Pellier ont alors proposé à la ville de créer eux-mêmes des galeries captantes à la base des sables de Cuise en les faisant déboucher dans le fond du vallon de Saint-Nicolas-de-Courson; ils espèrent drainer un synclinal qui serait abondamment alimenté sous la croupe de 24 kil. de largeur séparant les bassins de l'Automne et du rû de Vandy (les briques armées et les briques filtrantes de M. Cottancin seraient utilisées dans la construction des galeries). Il nous semble que ce projet peut réussir, mais qu'il aurait grand besoin d'être appuyé sur un certain nombre de sondages à faire dans le périmètre à drainer.

M. Bechmann avait proposé également un projet de captation souterraine dans des sables à la ville de Jassy qui n'a encore rien fait à ce jour.

On trouvera dans les *Bulletins de la Société belge de Géologie*, 1889,

1893, etc., l'exposé et surtout la critique de divers projets de galeries souterraines pour l'alimentation de l'agglomération bruxelloise (projets de M. Verstraete, de MM. Leborgne et Pagnoul, de M. Lambert); ces projets n'ont aucune chance d'être désormais pris en considération.

Enfin, nous apprenons au dernier moment que M. Emile Moreau propose à la ville de Lille l'exécution d'une galerie souterraine à la base de la craie, cette galerie aurait 10 kil. de développement et 40 puits intermédiaires et l'auteur du projet espère qu'elle pourrait donner 50 000 m³ par jour; nous craignons d'après l'expérience des galeries existantes qu'il ne se fasse de fortes illusions sur le rendement à attendre. — Nous avons également entendu parler de projets du même genre pour Paris et la banlieue, mais ces projets nous paraissent beaucoup trop vagues pour qu'on puisse les prendre en sérieuse considération.

2° Dérivation des eaux de surface.

A). *Prise d'eau dans les rivières, lacs, étangs, barrages-réservoirs.*

Les travaux à faire pour prendre à une rivière l'eau d'alimentation d'une ville ne diffèrent pas essentiellement de ceux qu'on fait d'ordinaire pour dériver l'eau nécessaire aux irrigations ou à la marche des usines hydrauliques. Il y a tous les degrés, depuis un simple tuyau de prise, jusqu'au détournement complet de la rivière par un barrage fixe, ou encore son emmagasinement à l'amont par un barrage-réservoir. Ce dernier cas a lieu lorsque les débits d'étiage des cours d'eau sont insuffisants comme volume et qu'il faut dès lors pour les augmenter mettre en réserve le surplus des périodes de hautes eaux; mais les réservoirs de ce genre ne diffèrent pas de ceux que les constructeurs de canaux établissent d'ordinaire pour les besoins de la navigation, ou encore des retenues faites en vue de l'irrigation.

Il n'y a donc de spécial à la question qui nous occupe que les précautions particulières qu'il convient de prendre en vue d'assurer à l'eau la plus grande pureté et la température la plus uniforme qu'il soit possible. Il faut naturellement s'éloigner de toute cause de pollution, des points où débouchent les égouts et les canivaux, des lavoirs, etc. Il faut se placer en plein courant, comme on le fait à Saint-Louis (Etats-Unis) où la prise d'eau se fait au milieu même du Mississippi par l'intermédiaire d'une véritable pile de pont, — ou encore à Buenos-Ayres, où on a élevé une tour carrée à 1 600 m de la rive, en plein lit du Rio de la Plata. Il faut enfin protéger la prise contre l'entrée des corps flottants et autres impuretés de grandes dimensions, ce qui se fait au moyen de grilles, crépines et autres appareils appropriés. Nous parlerons dans un autre chapitre du phénomène de l'autopurification de l'eau des cours d'eau: c'est grâce à ce fait providentiel que l'on peut encore utiliser les rivières pour l'alimentation, après qu'elles ont traversé

quelque centre populeux ; mais il faut bien entendu qu'on s'éloigne suffisamment pour que la purification ait pu se faire.

Pour les lacs, il a été démontré que l'influence du déversement des égouts d'une ville est plus persistante et plus étendue que pour un fleuve, ce qui tient sans doute à l'absence du brassage (qui facilite tant la destruction et l'oxydation des germes). Ainsi Chicago, qui avant 1892 prenait son eau à quelques centaines de pieds seulement de la rive du lac Michigan, a dû reporter sa prise à quatre milles plus en avant dans le lac (voir la description des travaux dans *Engineering Record*, mai et juin 1898) : de ce fait, le nombre de morts par fièvre typhoïde est passé de 1790, pour l'année 1892, à 712 pour 1893, et cependant, d'après Kinnicott, l'effet du sewage se fait parfois sentir encore jusqu'à la nouvelle prise (les faubourgs de Lake View, de Hyde Park et de Town of Lake qui prennent leur eau à moindre distance sont restés bien plus affectés que Chicago par la fièvre typhoïde). — Les villes d'Erié et de Cleveland, qui puisent dans le lac Erié, ont une eau qui se sent sérieusement du débouché des égouts : à Cleveland l'eau sent parfois le pétrole, résultat des déversements des Stantard oil works dans les égouts. — En Europe, on a constaté de même combien il était sage au point de vue hygiénique d'éloigner les prises vers le large. Dunant a trouvé au lac de Genève 38 bactéries par cm^3 au milieu du lac et 150 000 près de la rive, et la ville de Genève a dû reporter en 1884 — à la suite d'une sévère épidémie de fièvre typhoïde — sa prise d'eau à 1 500 m dans le lac, sur le Banc du Travers. Une série d'analyses faites par M. Léon Massol (voir son « Étude bactériologique des eaux de Genève », 1894) prouva que la prise sur la barre du Banc du Travers n'était encore ni assez profonde (3 m seulement), ni assez éloignée : par certains vents, la vase du fond était remuée par les vagues et le nombre des bactéries augmentait notablement. La Ville se décida en 1893 à reporter la prise à 1000 m encore plus au large et à l'établir à 9 m de profondeur.

On sait aussi que Zurich, après une épidémie typhique en 1880, à établi une prise plus avancée de 200 m dans le lac voisin, ce qui ne l'empêche pas en outre de filtrer soigneusement l'eau.

Une autre raison pour faire prendre l'eau des lacs au large et dans la profondeur, c'est la question de température. Il résulte des deux graphiques que nous reproduisons (fig. 36), l'un d'après le professeur Simony pour des lacs des Alpes, l'autre d'après Desmond Fitz-Gerald, pour le lac Cochituate (dans lequel s'alimente la ville de Boston), que

ce n'est qu'à 15 ou 20 m de profondeur que la température de l'eau d'un lac reste à peu près constante: encore faut-il que les apports des rivières

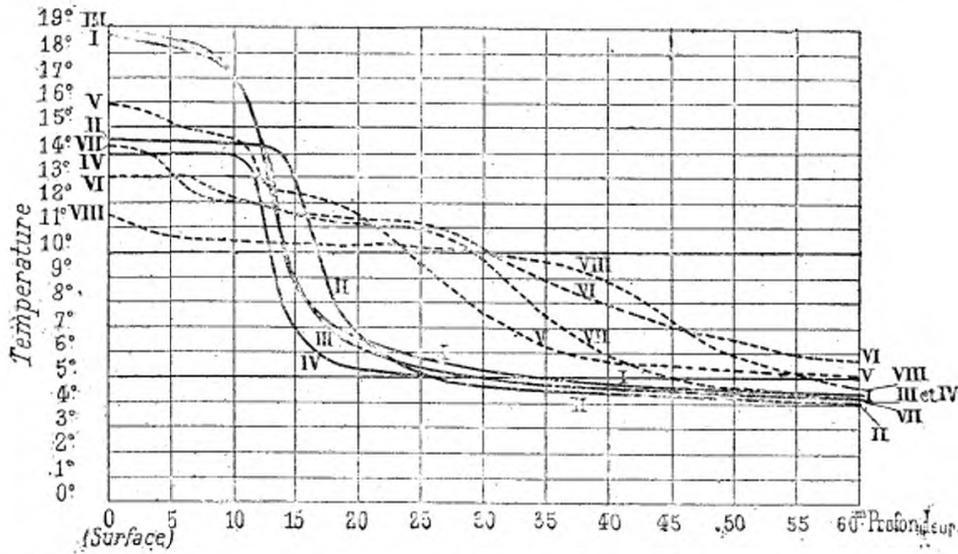


Fig. 36 a. — Variation de la température de l'eau des lacs des Alpes avec la profondeur (d'après Simony).

Courbes I, II, III et IV (traits pleins): lacs Altorsee et Mondsee recevant peu d'apports.

Courbes V, VI, VII et VIII (traits pointillés): lacs de Gmunden et de Hallstatt, recevant beaucoup d'apports.

(Chaque courbe représente la température de l'eau prélevée au même moment aux différentes profondeurs).

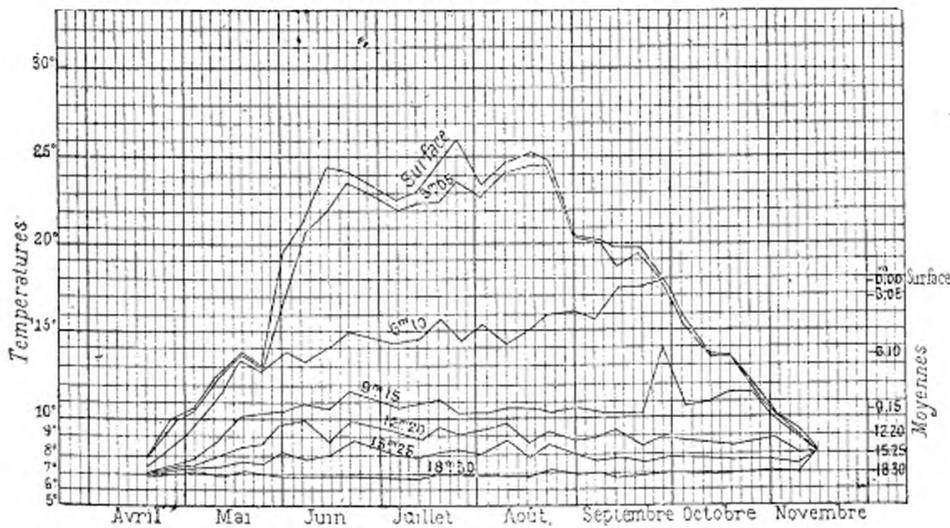


Fig. 36 b. — Variation de la température du lac Cochituate aux différentes profondeurs, pendant l'été 1892 (d'après Fitz-Gerald).

dans ce lac soient relativement faibles, sans quoi la constance n'est obtenue que vers une quarantaine de mètres. Sans descendre aussi bas, on

peut du moins se rapprocher de ces chiffres, et on se rappelle que c'est d'après ce principe que la ville d'Iglau a amélioré la température de sa prise d'eau dans le Rœhrenteich (voir *Introduction*, page 11). Quant à l'eau des rivières, tout le monde sait que sa température varie beaucoup d'une saison à l'autre, et c'est assurément un très gros inconvénient des alimentations en eau fluviale, inconvénient auquel il ne paraît pas facile de remédier. (Ne pourrait-on cependant imaginer dans ce but de faire passer cette eau, par exemple à sa sortie du réservoir de distribution en ville, dans les espaces libres d'une batterie de tubes convenablement espacés l'un de l'autre, et dans lesquels on ferait circuler l'été un liquide refroidi, l'hiver un liquide réchauffé ? Il semble que ce soit une simple question de dimension et d'espacement des tubes, et de rapport entre le degré à obtenir, la température du liquide agissant et celle de l'eau à modifier ; mais nous ne connaissons aucune tentative dans ce sens).

Les *lacs artificiels*, créés par les barrages qu'on établit transversalement à une vallée, sont dans des conditions analogues aux lacs naturels : toutefois l'on est conduit à installer la prise d'eau, en même temps que les autres ouvrages régulateurs, dans le corps même du barrage ; c'est d'ailleurs contre la paroi amont de la digue que se trouve d'ordinaire la plus grande profondeur. Au point de vue hygiénique, on doit recommander, avant le remplissage d'un réservoir nouveau, de bien débarrasser le sol qui va être inondé de toutes les plantations et même de toutes les herbes et du gazon : en juillet 1895, à la mise en service du réservoir M (faisant partie du nouveau système des eaux du Croton pour la ville de New-York, et rempli à peine depuis un an), on perçut une odeur très désagréable que l'eau avait prise par suite de la décomposition du gazon laissé dans le fond du réservoir. De même, la présence ou l'établissement subséquent de villages et de maisons le long des rives du lac artificiel est un danger permanent de pollution (c'est encore le cas pour le lac du Croton). Bref, ce qu'il faut rechercher, c'est l'absence dans l'eau de toute matière organique d'origine animale ou végétale : cette matière organique favorise énormément le développement des germes, et elle est à redouter bien plus que le manque de profondeur (qu'on accusait autrefois, alors qu'il est démontré aujourd'hui que des bassins profonds de quelques pieds seulement gardent l'eau d'une manière convenable, pourvu qu'on les ait nettoyés primitivement à fond et qu'on les entretienne bien). Nous estimons d'ailleurs que même quand on a pris les plus grandes précautions, il faut encore

filtrer, comme toute eau de surface, l'eau des barrages-réservoirs qui doit servir à la boisson.

Nous ne pouvons naturellement citer ici les villes si nombreuses qui s'alimentent en eau de surface, filtrée ou non. En France, ces villes peuvent encore se compter (surtout en dehors de la banlieue de Paris) ; mais en Angleterre et en Allemagne, l'emploi des eaux de rivières filtrées est presque la règle. Aux États-Unis, où l'on a couru d'abord au plus pressé, on a puisé directement aux rivières et on a construit des lacs artificiels sans filtrer ; mais aujourd'hui les Américains, reconnaissant l'importance de la chose, se mettent à installer des filtres sur leurs aqueducs et au pied de leurs réservoirs. Le nombre des barrages-réservoirs construits depuis trente ans aux États-Unis, soit pour l'alimentation, soit pour l'irrigation, est considérable, et le Geological Survey étudie avec soin tous les emplacements propices à l'établissement de ces ouvrages ; il y a des digues de toute sorte et de toute hauteur, et des capacités de toute importance, jusqu'à celle du réservoir de Tonto basin sur la rivière Arizona qui atteint, avec une digue de 200 pieds de hauteur, 1260 millions de mètres cubes (le barrage d'Assouan en construction sur le Nil se rapprochera de ce chiffre puisqu'il doit emmagasiner 1063 millions de mètres cubes).

La rupture récente de quelques grands barrages [barrage du South Fork Etats-Unis), détruit le 31 mai 1889, barrage de Walnut Grove, détruit le 22 février 1890 (également aux Etats-Unis), barrage de Bouzey, détruit le 27 avril 1895, barrage d'Austin (Texas) détruit le 7 avril 1900], a appelé l'attention sur le mode de construction de ces ouvrages. Pour les lecteurs désireux d'étudier cette question, nous citerons les mémoires ci-dessous :

En 1892 à l'occasion du 5^e Congrès de Navigation intérieure :

MM. Bouvier. — Les réservoirs dans le Midi de la France.

Cadart. — Les réservoirs dans le département de la Haute-Marne.

Fontaine. — Les réservoirs d'alimentation (canal du Centre et canal de Bourgogne).

de Llaurado. — Réservoirs établis en Espagne.

de Horschelmann. — Des principaux réservoirs établis en Russie.

Barois. — Des réservoirs dans les Indes anglaises.

En 1893 *Nazzari.* — Acque potabili del Grande Serbatoio di Sassari.

En 1895 *M. A. Dumas.* — Etude sur les barrages réservoirs (in *Génie civil*).

En 1895 *Sclavo.* — Esame dell'acqua potabile di Cagliari (in *Rivista d'Igiene*).

En 1896 *Brotzu.* — Sull'acqua potabile di Cagliari (*Annali d'Igiene sperim.*).

En 1896 *Maurice Lévy.* — Considérations sur la construction des grands barrages (in *Bulletin de l'Hydraulique agricole*).

En 1897-98 *D. Schuyler.* — Reservoirs for irrigation (in *Geological Survey, Etats-Unis*).

Dans les *Annales des ponts et chaussées*, une série de Mémoires :

En 1895 *MM. Le Rond.* — Note sur les barrages en maçonnerie.

En 1897 *Pelletreau.* — Mémoire sur les profils des barrages en maçonnerie.

- rie envisagés dans leurs rapports possibles avec les sous-pressions.
- En 1897 *Maurice Lévy*. — Note sur les diverses manières d'appliquer la règle du trapèze au calcul de la stabilité des barrages en maçonnerie.
- En 1898 *Barbet*. — Note sur le calcul des barrages en maçonnerie.
- En 1899 *Barbet*. — Note sur les conditions de résistance des barrages en maçonnerie.

Enfin nous signalerons un ouvrage qui ne fait que paraître : « Der Thal-sperrrenbau » (avec une description des ouvrages existants de tous les pays, des ouvrages rompus, etc., etc.), par l'Inspecteur des Mines *P. Siegler* (librairie A. Seydel, à Berlin).

B). *Prise d'eau dans les berges des cours d'eau ; galeries et puits filtrants ; filtration naturelle ; eaux souterraines artificielles.*

C'est d'Aubuisson qui imagina, en 1825-1828, à Toulouse, de prendre l'eau non pas dans la Garonne, mais dans les graviers de la rive, de manière à obtenir une eau exempte des impuretés et des troubles de la rivière. Son exemple a été imité en beaucoup d'endroits, et plus spécialement en France, où le nombre des *galeries filtrantes* est considérable. Dans ces derniers temps on a parfois préféré aux galeries continues une série de puits isolés dits *puits filtrants*.

Belgrand remarqua dans un certain nombre de galeries une différence notable entre la composition chimique, la température des eaux captées et celles de la rivière même ; il en conclut que l'eau recueillie par une galerie provenait principalement de la nappe souterraine, alimentée par le déversement des nappes des coteaux, et on fut tenté après lui de généraliser cette idée. Or, en pareil sujet, il n'y a pas de règle générale, mais seulement un certain nombre de cas particuliers, très variables entre eux, et qu'il faut par suite étudier isolément. Tout ce qu'on peut dire, c'est que la constitution de la nappe souterraine du thalweg dépend de la nature géologique des coteaux : ceux-ci sont-ils imperméables, il n'y a pas d'eau d'infiltration qui en vienne pour rejoindre souterrainement le thalweg ; sont-ils au contraire perméables alors que le fond de la vallée est imperméable, il se forme par suite un déversement souterrain plus ou moins important, dont le produit gagne les graviers du thalweg et s'y mêle en proportion variable avec l'eau venant de la rivière. Précisément à Toulouse, notre collègue, M. Quintin, a démontré récemment que les galeries, ainsi que les puits de Braqueville, captaient presque exclusivement l'eau de la Garonne, pas-

sant à travers le gravier séparant les puits de la rivière. De notre côté, nous croyons avoir prouvé péremptoirement en 1897 que l'eau dite de Moselle, à Nancy, provient bien dans la galerie de Messein de l'eau de la rivière, qui, relevée par un barrage, filtre au travers d'une tranche de terrain graveleux de 25 à 30 m de largeur. Au contraire, à Pont-à-Mousson, la galerie paraît recevoir tout au moins une forte proportion d'eau des coteaux, en sorte que sa température et son degré hydrotimétrique diffèrent notablement des mêmes éléments dans l'eau de la Moselle : cette opposition remarquable entre deux galeries situées le long d'une même rivière, à moins de 70 km. de distance, s'explique facilement pour nous par ce fait qu'à Messein les coteaux sont imperméables (marnes du lias), tandis qu'à Pont-à-Mousson ils sont formés par le calcaire bajocien, dont la base contient une belle nappe se déversant dans les alluvions de la vallée. Il paraît également certain qu'à Carcassonne, Montauban, Béziers, Lyon, l'eau des galeries vient bien des rivières : bref, de la règle de Belgrand, il ne reste rien.

Quoiqu'il en soit, une galerie filtrante, comme d'ailleurs un puits filtrant, recueille des eaux qui ont fait un certain trajet dans les canalicules souterrains que les grains de sable et de gravier laissent entre eux : c'est dans ce trajet même que le liquide abandonne les particules terreuses et aussi les microbes qu'il tenait en suspension, en deux mots qu'il se *clarifie* et se *filtre*, et c'est ce qu'on a appelé la *filtration naturelle*. Quelle est la valeur de cette filtration au point de vue microbien ? — Pour nous elle est variable suivant les conditions et dépend des éléments suivants :

1° De la nature, c'est-à-dire principalement de la finesse et de l'homogénéité du sable et du gravier traversés ;

2° De l'épaisseur de la tranche filtrante ;

3° De la vitesse de la filtration, et par suite de la pression ou différence de niveau entre le plan d'eau de la rivière ou le dessus de la nappe souterraine et la galerie : cette vitesse doit évidemment rester modérée ;

4° Enfin, du nombre des germes de l'eau brute elle-même ; la tranche filtrante n'arrêtant qu'une fraction du nombre de ces germes, il est clair qu'il y a tout intérêt à opérer sur de l'eau aussi peu chargée que possible en bactéries, et c'est pour cette raison que, pour une galerie comme pour une prise directe, il faut rechercher les points de son cours où la rivière est le moins contaminée ou le mieux épurée.

Les études sur la teneur bactériologique des eaux fournies par les

galeries filtrantes sont encore peu nombreuses. — A Lyon, le Dr Roux a montré que l'eau des anciennes galeries était très peu chargée en germes, mais le Rhône est lui-même très pur, en sorte qu'il n'y a guère qu'une réduction de 10 à 1 (127 germes par centimètre cube dans le Rhône et 15 dans l'eau de la galerie). Pour suppléer aux galeries, on a creusé récemment de nombreux puits de 5 à 6 m de profondeur dans une partie submersible ; ceux de ces puits qui furent mis les premiers en service donnèrent, par les crues submergeant le terre-plein, de l'eau trouble et renfermant un assez grand nombre de germes ; mais M. Résal les fit couvrir d'un corroi argileux très soigné de 2 m d'épaisseur, s'étendant à au moins 20 m tout autour de chaque puits (de manière à ce que l'eau soit obligée de traverser au moins 20 m de gravier avant d'arriver au puits), et ces inconvénients cessèrent. Cela prouve que si le gravier de Lyon filtre bien avec 20 m d'épaisseur, une tranche de 6 m est insuffisante.

A Toulouse, MM Brouardel et Ogier ont trouvé, le 21 mars 1890, 1600 et 900 germes par cm^3 dans l'eau de la Ville (au Château d'eau et au Capitole), alors qu'il y en avait 3 400 dans la Garonne après son confluent avec l'Ariège. Le 7 décembre 1893, le Dr Guiraud trouve 4 000 germes dans la rivière et 700 en ville ; le 29 janvier 1894, il y aurait eu 14 000 germes à la Garonne, 400 dans un puits de Braqueville et 300 dans la galerie de Portet. Bref, toujours d'après le Dr Guiraud, l'eau de la canalisation aurait en moyenne 150 à 200 germes pendant les périodes de sécheresse, mais plusieurs milliers pendant les périodes de hautes eaux.

A Nancy, nous suivons avec M. le professeur Macé, depuis bientôt cinq ans, les eaux captées à Messein, ainsi que parallèlement les eaux de la rivière. En temps normal la réduction est de 10 ou 12 à 1 (il y a de 400 à 1 000 germes dans la Moselle et de 40 à 80 dans celle de la galerie) ; mais en temps de crue le nombre des germes croît très vite dans les deux eaux, puis il se produit un à-coup au moment où le pré de la ville se trouve submergé et où la filtration ne se fait plus que par une tranche verticale de 2 à 3 m ; à ce moment la rivière atteignait 30 à 40 000 germes, tandis que l'eau de la galerie s'élevait à 10 000 et même 13 000. On comprend pourquoi nous demandons à la ville de rendre son pré insubmersible ; nous espérons que dans deux ans cette grosse opération sera terminée.

Ces exemples suffisent pour montrer que la filtration naturelle n'est pas parfaite, qu'elle a besoin d'être surveillée — tout comme la filtra-

tion artificielle, et enfin qu'il faut prendre de grandes précautions dans le choix de l'emplacement et l'installation des galeries et puits filtrants ; en particulier, il paraît clair que l'emplacement de ces ouvrages doit être autant que possible insubmersible, ou que tout au moins leur pourtour doit être rendu insubmersible dans un rayon convenable. Il semble qu'il serait possible d'améliorer la valeur filtrante d'une galerie ou d'un puits en remplaçant la tranche filtrante naturelle, quand elle est de qualité défectueuse, par une tranche artificiellement rapportée de sable fin, sable qu'on pourrait d'ailleurs changer ultérieurement quand il serait sale et encrassé : nous ne connaissons pas d'expérience qui ait été tentée dans ce sens ; cette voie rapprocherait d'ailleurs de plus en plus la filtration naturelle de l'artificielle que nous étudierons dans le paragraphe suivant, avec cette différence qu'elle se ferait *horizontalement*. Nous devons citer toutefois l'essai intéressant, qui a été fait à Nantes il y a une dizaine d'années, d'un puits-filtrant spécial imaginé par M. Lefort : il ne s'agissait rien moins que d'installer en pleine rivière des puits entourés chacun d'un véritable îlot artificiel de 10 m de rayon minimum, constitué par du sable fin rapporté, et maintenu par un perré. Les études bactériologiques faites en 1890-91 sur le puits de ce genre installé dans l'île Beaulieu ont montré que ce système ne donnait pas non plus de l'eau aseptique ; le nombre des germes de la Loire variant entre 3 000 et 61 000, le puits en donna de 73 à 1 080 par m³, et l'effet filtrant varia de 150 à 17 (et même 4 dans une expérience) pour 1. Il semble difficile d'installer et de maintenir des puits semblables dans le lit des grands fleuves (1), et on se demande si la solution adoptée à Budapest n'est pas en somme plus simple : on sait qu'on a foncé pour cette ville, dans le Danube, de grands puits maçonnés, étanches, recevant seulement à leur partie inférieure l'eau filtrant dans le fond du lit, sous une couche naturelle de 4 à 6 m de gravier, et collectée par des tubes fenêtrés aboutissant à chaque puits.

Reste une dernière difficulté à résoudre avec les galeries captantes. Chacun sait que celles qui ont été installées depuis quelque 20, 30 ou 40 ans, ont vu leur débit décroître, pendant que d'ordinaire les besoins allaient en s'accroissant progressivement. Soit donc l'une ou l'autre de ces deux raisons, soit toutes deux réunies, il a fallu généralement chercher à augmenter le produit des galeries et on a été conduit dans ce but à les prolonger successivement. A Nancy, le débit de la galerie

(1) C'est ce qui fit rejeter le système par le Comité consultatif d'Hygiène publique (mars 1896).

est allé nettement en diminuant depuis l'origine, ce qui tient bien certainement à l'encrassement de la berge et du fond du lit de la Moselle ; on a constaté en outre un minimum qui se produit chaque hiver au moment des plus gros froids et qui est dû sans doute tant au resserrement des pores du sol refroidi qu'à la plus grande densité du liquide filtrant. Si le plan d'eau de la rivière n'était pas relevé par un barrage et rendu par suite invariable, il est probable qu'il y aurait un second minimum correspondant à l'étiage, c'est-à-dire à la fin de l'été, et résultant de l'abaissement du plan d'eau ; ces deux minima ont été constatés à Toulouse.

Mais on se lasse de prolonger une galerie à plusieurs reprises, et on a dû chercher autre chose. C'est alors que la plupart des Ingénieurs ont eu recours aux puits filtrants, et il faut reconnaître que ces puits ont sur les galeries les avantages suivants : plus grande facilité de fondation et d'épuisement, — possibilité de faire un essai peu coûteux et de transformer cet essai, s'il réussit, en puits définitif, — grande facilité d'abandon d'un puits isolé quand il est hors de service et de son remplacement par un nouveau à creuser dans le voisinage. — A Lyon, dès 1886, on creusait cinq puits près de l'usine de Saint-Clair, et en 1896 M. Résal faisait encore creuser trente-huit puits filtrants sur la rive gauche, de manière à doubler le volume disponible. — A Toulouse, après différentes vicissitudes qu'il serait trop long de rappeler, on ajouta en 1892 à la galerie de Portet trois puits creusés à 30 m de la berge, un peu à l'aval du dernier drain, et ces puits en 1893 ont fourni au minimum 4 200 m³ par jour. L'année suivante, on établit trois nouveaux puits dans le ramier de Braqueville, et à titre d'exemple d'une batterie de puits filtrants, nous donnons, fig. 37, le projet par lequel M. Quintin propose d'installer quatorze puits filtrants à Braqueville ; ces puits, distants entre eux de 70 m et éloignés de 30 m de la rive, seraient descendus jusqu'au tuf et leur produit pompé par des machines serait rejeté dans la conduite d'amenée des eaux de Portet. La dépense prévue pour le groupe entier, y compris les machines, serait de 420 000 francs, et on espère en retirer 20 000 m³ par jour.

A Nancy, nous avons eu recours l'an dernier à un autre procédé ; on avait déjà prolongé deux fois la galerie de Messein (dont la longueur a été ainsi portée de 340 m à 610 m), et malgré quelques récents dragages en rivière, on n'avait plus guère que 18 à 19 000 m³ par jour en hiver et 26 à 27 000 en été. C'est alors, ayant remarqué que la paroi

d'arrière de la galerie, bien que munie de barbicanes, ne produisait

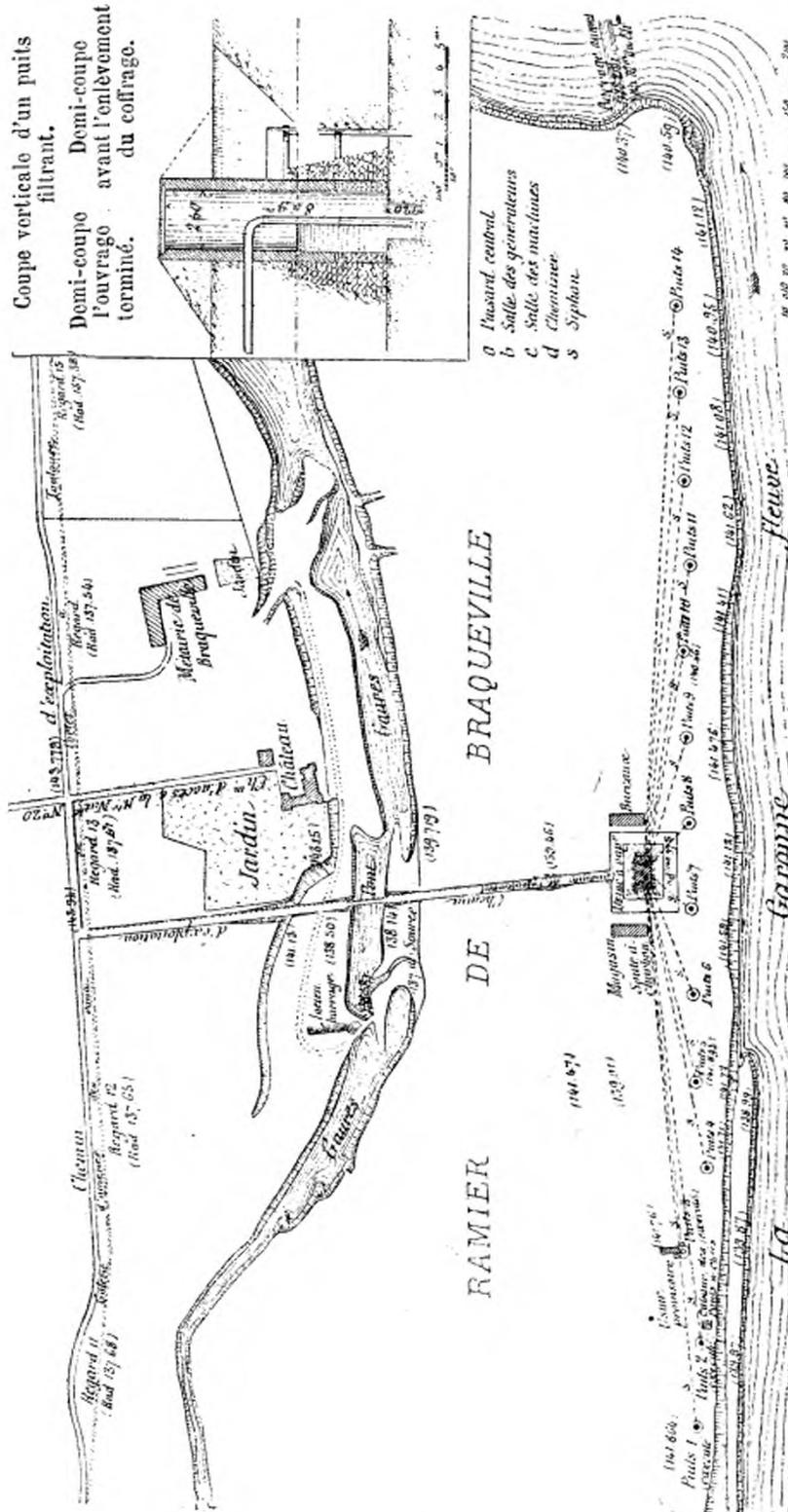


Fig. 37. — Projet d'augmentation du débit des ouvrages de captation le long de la Garonne à Toulouse.

Installation d'une batterie de puits filtrants, à Braqueville (d'après M. Quintin).

rien, que nous avons eu l'idée de faire débiter cette paroi comme celle

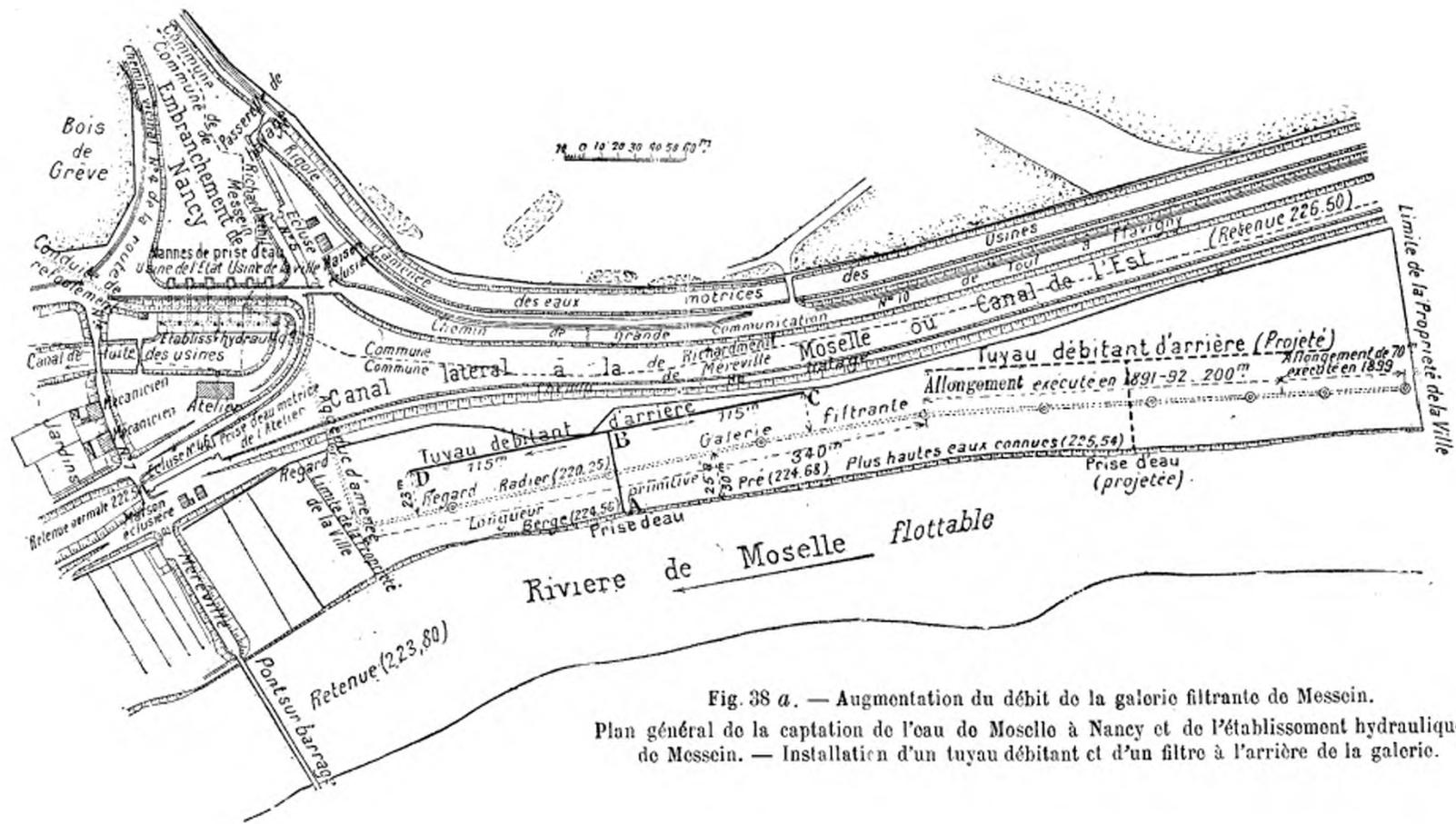


Fig. 38 a. — Augmentation du débit de la galerie filtrante de Messin.
 Plan général de la captation de l'eau de Moselle à Nancy et de l'établissement hydraulique de Messin. — Installation d'un tuyau débitant et d'un filtre à l'arrière de la galerie.

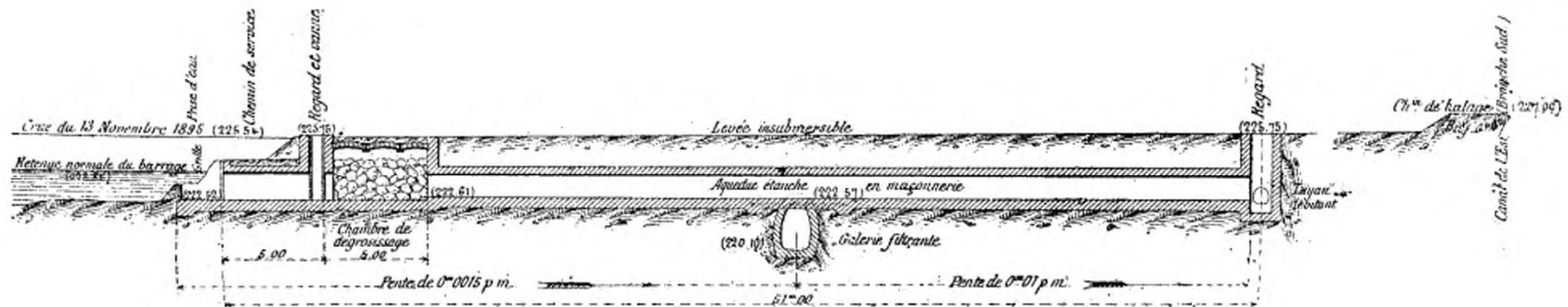


Fig. 38 b. — Coupe suivant l'aqueduc de prise AB (fig. 38 a).

dérivation qui aurait longé le pied du canal de l'Est, en se tenant à 25 ou 30 m de la galerie ainsi enfermée dans une île ; mais les difficultés et les dangers de ce système en temps de crue nous ont conduit à remplacer la dérivation par un simple aqueduc débitant (au moyen de deux lignes de barbicanes superposées), établi dans le sol du pré de la ville, parallèlement et à 22 ou 23 m de la face arrière de la galerie et en contre haut de son niveau ; le tuyau débitant devait être alimenté par une ou plusieurs prises à faire en rivière, et par des aqueducs d'aménée transversaux parfaitement étanches, passant sur la tête de la galerie.

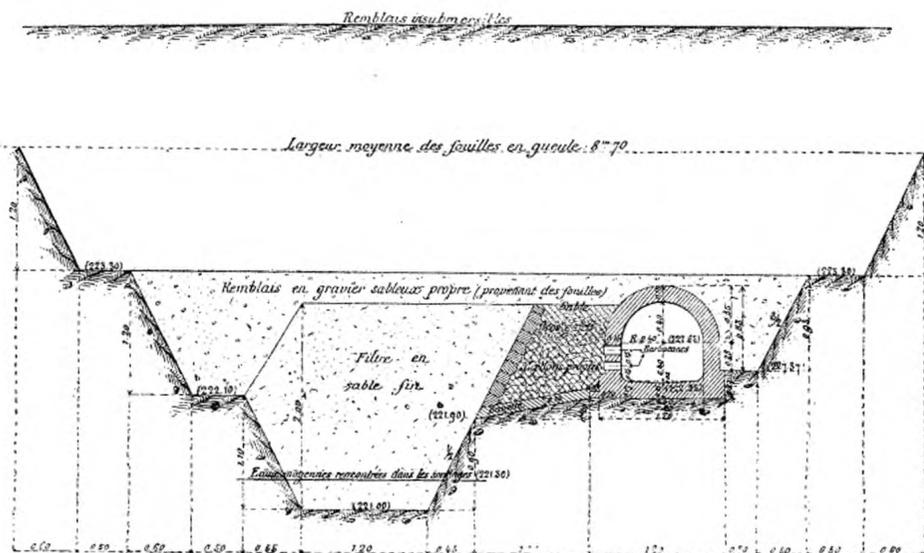


Fig. 38 d. — Détail du tuyau débitant et du filtre arrière (Coupe transversale).

Les fig. 38 a, b, c, d montrent comment notre idée a été réalisée pour une première moitié en 1899. L'eau de la rivière prise en A par les moyens ordinaires passe d'abord par un compartiment carré de 5 m de côté rempli de gros galets et jouant le rôle de dégrossisseur (pour arrêter les vases) ; elle est ensuite conduite par l'aqueduc étanche et très soigné AB jusqu'au regard B, d'où partent avec une pente en sens inverse les deux branches BC et BD de 115 m chacune du tuyau débitant d'arrière. L'eau sortant par la double ligne de barbicanes de ce tuyau rencontre avant d'entrer dans le sol un filtre composé d'abord d'une épaisseur de 1^m, 10 de gros moellons bien lavés, puis d'une tranche de sable fin

rapporté, de 2 m d'épaisseur moyenne, descendu dans une fouille aussi profonde qu'on a pu le faire sans épuiser ; elle a ensuite une vingtaine de mètres de terrain naturel à traverser avant de gagner la galerie. Nous estimons donc que cette eau présente au moins les mêmes garanties comme filtration que celle qui vient par la paroi d'avant ; de fait, depuis que le filtre arrière est en service les analyses bactériologiques répétées chaque quinzaine n'ont indiqué aucune différence, et tout cet été le nombre de germes a oscillé aux environs de 40 seulement. Remarquons encore que nous aurons la possibilité plus tard, quand un certain encrassement se sera produit, de faire changer les moellons et le sable du filtre arrière, qui se trouvera ainsi renouvelé sans grande dépense.

Le résultat obtenu par ce travail a été considérable et permet d'ajourner l'exécution de la seconde moitié de notre projet. Les machines sont loin de pouvoir comme l'an dernier affamer la galerie, et nous avons calculé que cet été on aurait pu tirer 50 000 m³ par jour en maintenant la retenue à son niveau normal ; en abaissant cette retenue de 0^m,30, on pouvait encore monter 36 000 m³, soit la limite de puissance des pompes.

Ce que nous avons fait à Messein n'est en somme qu'un renforcement artificiel de la nappe souterraine, combiné de manière à soumettre l'eau amenée à la filtration naturelle. C'est la même idée que Thiem avait voulu appliquer à Stralsund en 1888, avec cette différence qu'il proposait de fabriquer de toutes pièces une nappe souterraine en faisant infiltrer l'eau d'un lac dans des bassins ouverts en terrain sablonneux ; l'eau devait être reprise après un certain parcours dans les sables par des puits et un pompage. Le projet de Thiem n'a pas été adopté à Stralsund, mais une installation de ce genre a été faite par le même ingénieur à Essen-sur-la-Ruhr et donne satisfaction. — Nous voyons à l'instant (*Engineering Record* du 25 août 1900) que la ville de White Plains (États-Unis) a renforcé d'une manière analogue l'alimentation des trois puits dans lesquels elle pompait ; ayant barré une vallée voisine, elle a amené l'eau du lac artificiel par un tuyau dans un puits absorbant creusé à très courte distance des trois puits d'aspiration.

La ville de Chemnitz, qui avait foncé 39 puits dans la berge droite de la Zwœnitz, ayant vu le débit de ces puits devenir tout à fait insuffisant, a également eu recours récemment à un renforcement artificiel de la nappe souterraine. On a d'abord creusé, de l'autre côté de la ligne des puits, un canal d'infiltration, ouvert dans le gravier de la vallée, et dé-

rivant l'eau de la rivière un peu à l'amont : le rendement des puits fut bien augmenté, mais soit que le canal ait été trop voisin des puits, soit que le gravier de la vallée n'ait pas une puissance ou une qualité suffisante, soit que l'eau de la rivière soit trop boueuse, l'eau obtenue était ferrugineuse, d'odeur désagréable et chargée de germes. On eut alors l'idée de répandre l'eau du canal sur la prairie, à la manière des irrigations ordinaires ou encore de l'épandage à l'eau d'égout, et cela à raison de 1 000 à 1 300 m³ par hectare et par jour, et — soit action des premières couches du sol et de la végétation herbacée, soit simplement l'effet d'un trajet plus ralenti et plus long au travers du sable et d'une couche argileuse superficielle, — on obtint dans les puits de l'eau de bonne qualité : on installa même une élévation mécanique pour relever l'eau dans une portion trop élevée de la prairie à irriguer. Malheureusement l'hiver on ne peut irriguer et il faut revenir au canal d'infiltration : la ville a du reste installé trois filtres à sable couverts.

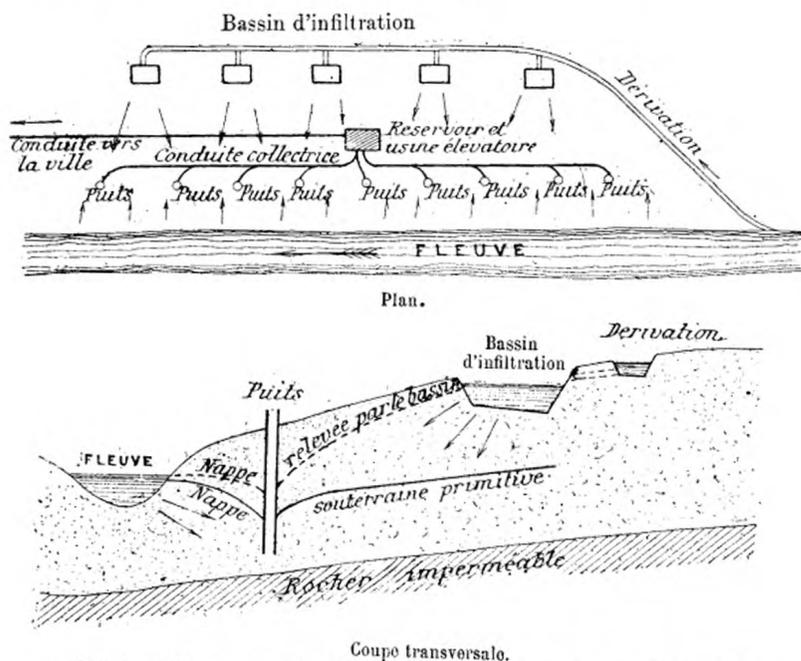


Fig. 39. — Eaux souterraines artificielles (bassins d'infiltration et puits filtrants).

Mais c'est en Suède, suivant M. Richert dont nous avons déjà cité l'intéressante brochure (voir p. 14), que l'application de l'idée de Thiem serait fréquemment et facilement réalisable, à cause de la nature

sablonneuse d'une grande étendue de terrains. La fig. 39 représente théoriquement le système ; une dérivation de la rivière amène l'eau à flanc de coteau dans des bassins ouverts dans le sable. Le fond d'un bassin d'infiltration étant placé plus haut que le niveau naturel de la nappe souterraine, la première eau qui y arrive percole librement à travers le fond, ce qui provoque une élévation du niveau de la nappe et conduit à l'établissement d'un régime de filtrage continu. Mais des vases se déposent dans le bassin, obstruent les canalicules du sol et augmentent progressivement la résistance à l'infiltration, en sorte que l'eau du bassin s'élève de plus en plus ; quand la surélévation atteint un certain maximum, le moment est venu de curer le bassin. Après qu'on a enlevé la première couche de sable et qu'on l'a remplacé par du sable neuf et pur — tout comme dans un filtre artificiel — la filtration reprend comme auparavant. Le produit des infiltrations est recueilli au pied du coteau par une galerie ou mieux par une batterie de puits filtrants qui, comme dans la figure, peuvent déjà tirer une partie de leur alimentation de la rivière voisine.

Deux belles applications ont déjà été faites, toutes deux dans des circonstances un peu spéciales. A Uddevalla (côtes de l'Ouest), on a profité de la présence d'une véritable poche de sable dans un terrain

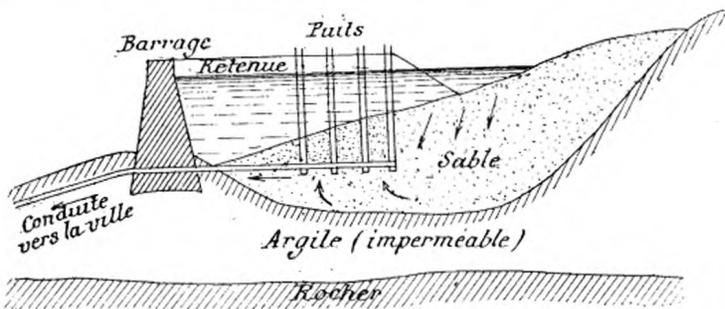


Fig. 40. — Réservoir formant bassin d'infiltration à Uddevalla (d'après M. Richert).

argileux pour faire jouer à un réservoir le rôle de filtre (fig. 40) ; l'eau retenue par le barrage au-dessus du sable pénètre dans sa masse et y est captée par des puits, accessibles depuis une levée établie diamétralement dans le bassin ; la surface d'infiltration doit être curée une fois par an. A Gothembourg, ainsi qu'on a pu le voir à l'Exposition, c'est une véritable nappe artésienne qu'on a renforcée par l'infiltration artificielle. Cette nappe, qui existe sous le Goeta elf (voir fig. 41) est comprise dans une couche de sable interposée entre le rocher et une

couche d'argile imperméable ; l'eau naturelle y contenait 200 milligrammes de chlore et 4 milligrammes d'ammoniaque par litre. En 1898, on eut l'idée, après des expériences favorables, d'alimenter la nappe

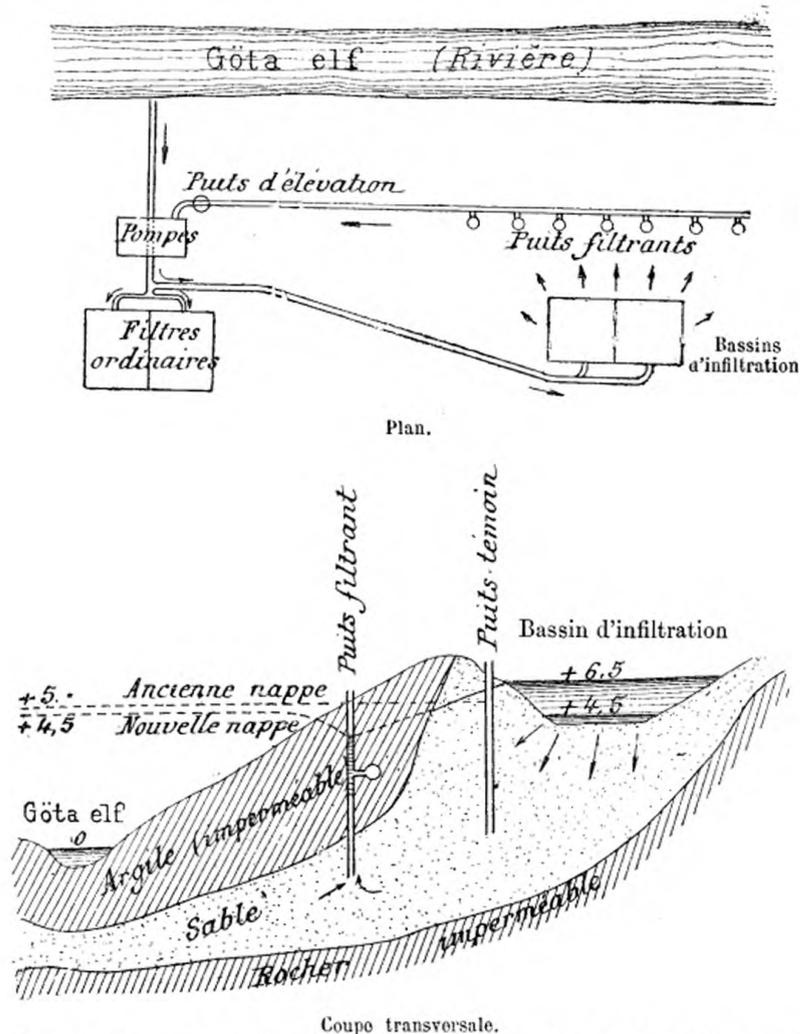


Fig. 44. — Renforcement et amélioration d'une nappe artésienne à Gothembourg (d'après Richert).

et de corriger du même coup sa qualité, en déversant dans des bassins d'infiltration creusés dans le sable l'eau de la rivière (qu'on filtrait primitivement dans des filtres artificiels ordinaires) ; à 200 m à l'aval des bassins, l'eau est recueillie par vingt puits tubulaires et se rend par la gravité à un puits d'élevation voisin du bâtiment des pompes. On tire ainsi 6 500 m³ par jour d'une eau d'une pureté parfaite, et n'ayant plus

que 90 milligrammes de chlore et 0^m^{gr},6 d'ammoniaque; il y a une dilution de la nappe par l'eau d'infiltration.

Ces exemples montrent que la *filtration naturelle*, ainsi conduite et perfectionnée, peut remplacer avantageusement dans certains cas la filtration artificielle.

§ 3. — Amélioration de l'eau naturelle.

L'amélioration qu'il convient de faire subir aux eaux naturelles — surtout aux eaux de surface — avant de les distribuer comprend les opérations suivantes :

I. — *La clarification* qui a pour but de rendre l'eau limpide, en en séparant les particules en suspension;

II. — *La filtration* ou *stérilisation*, qui doit la rendre *aseptique* c'est-à-dire pure de tout germe;

III. — *L'épuration* ou mieux *correction*, qui a pour but de modifier la composition chimique et de la rendre propre aux usages domestiques ou industriels;

IV. — *L'aération*, nécessaire quand l'eau ne contient pas assez d'oxygène dissous;

V. — *La réfrigération et le réchauffement*, qui corrigeraient les températures trop chaudes ou trop froides. Nous avons déjà dit précédemment quelques mots à ce sujet, et comme en définitive il n'a été fait que fort peu de tentatives dans ce sens pour des masses d'eau aussi importantes que celles qui sont nécessaires à l'alimentation des villes, nous n'en parlerons plus.

I. — CLARIFICATION.

On a confondu longtemps la clarification avec la filtration, et Simpson en appliquant, en 1828, le filtre à sable aux eaux de Londres, ne songeait qu'à clarifier : en réalité, il faisait de l'asepsie (au moins partielle) sans le savoir. Les anciens filtres à charbon (fontaines marchandes de Paris) ne faisaient non plus que de la clarification : on devra désormais réserver le nom de filtre aux appareils qui empêchent le passage des microbes. La clarification est donc loin de suffire pour rendre une eau trouble et impure, bonne pour la boisson : elle ne doit être envisagée que comme une opération préliminaire, un *dégrossissage* capable de

débarrasser l'eau des impuretés visibles et de faciliter ainsi la tâche aux filtres fins.

Un procédé très simple de clarification en grand est la *décantation* : il ne fait qu'imiter la nature qui, par le fait de la *sédimentation*, maintient claire l'eau des grandes vasques en repos, comme les lacs. La création de lacs artificiels par les barrages-réservoirs est donc non seulement un procédé d'emmagasinement, mais encore de clarification : aussi en a-t-on installé spécialement en vue de ce second but, comme par exemple le bassin de Saint-Christophe pour décanter les eaux de la Durance destinées à l'alimentation de Marseille (les dispositions techniques de ce bel ouvrage sont trop connues pour que nous les rappelions ici) (1). Généralement on fait précéder les filtres à sable par des bassins de dépôt (*settling basins*), qui font précisément de la décantation ; d'autres fois, on ralentit la vitesse de l'eau en lui faisant, grâce à des chicanes et à des crêtes de déversoirs, parcourir une série de compartiments, etc., etc. (Le clarificateur Panafieu qui était exposé en 1895 à l'Exposition d'hygiène rentre dans cette catégorie. C'est une succession de dix bassins, avec déversement d'un bassin dans le suivant, au moyen d'une gouttière faisant descendre l'eau jusqu'au bord de ce dernier).

On obtient également une clarification et un dégrossissage en faisant parcourir à l'eau les espaces plus ou moins contournés que laissent entre eux des moellons ou des galets ; les particules en suspension s'accrochent aux parois et au fond de ces espaces. Nous avons installé (voir fig. 38, p. 126) une chambre de dégrossissage de ce genre en tête de la prise d'eau pour le tuyau débitant d'arrière de Messein, dont nous avons parlé au § 2. Les *couloirs dégrossisseurs* de M. A. Puech, reposent également sur le même principe ; la fig. 42 en fait comprendre les dispositions, et nous laissons d'ailleurs pour les décrire la parole à l'inventeur.

« L'appareil dégrossisseur peut être constitué par un ou plusieurs bassins appelés aussi couloirs. La fig. 42 représente exactement les trois couloirs qui fonctionnent dans notre usine du Moulin-Gau, près Mazamet.

« Ces couloirs sont rectangulaires, juxtaposés, d'une dimension égale, 22 m de long sur 2 m de large. Un mur crépi au ciment

(1) Voir le *Bulletin de la Société scientifique et industrielle de Marseille* (1881, 4^e trim.) Les eaux de la Durance contiennent fréquemment 1 kg. et plus de limon par m³.

entoure tout l'ouvrage qui est presque au ras du sol. La profondeur est

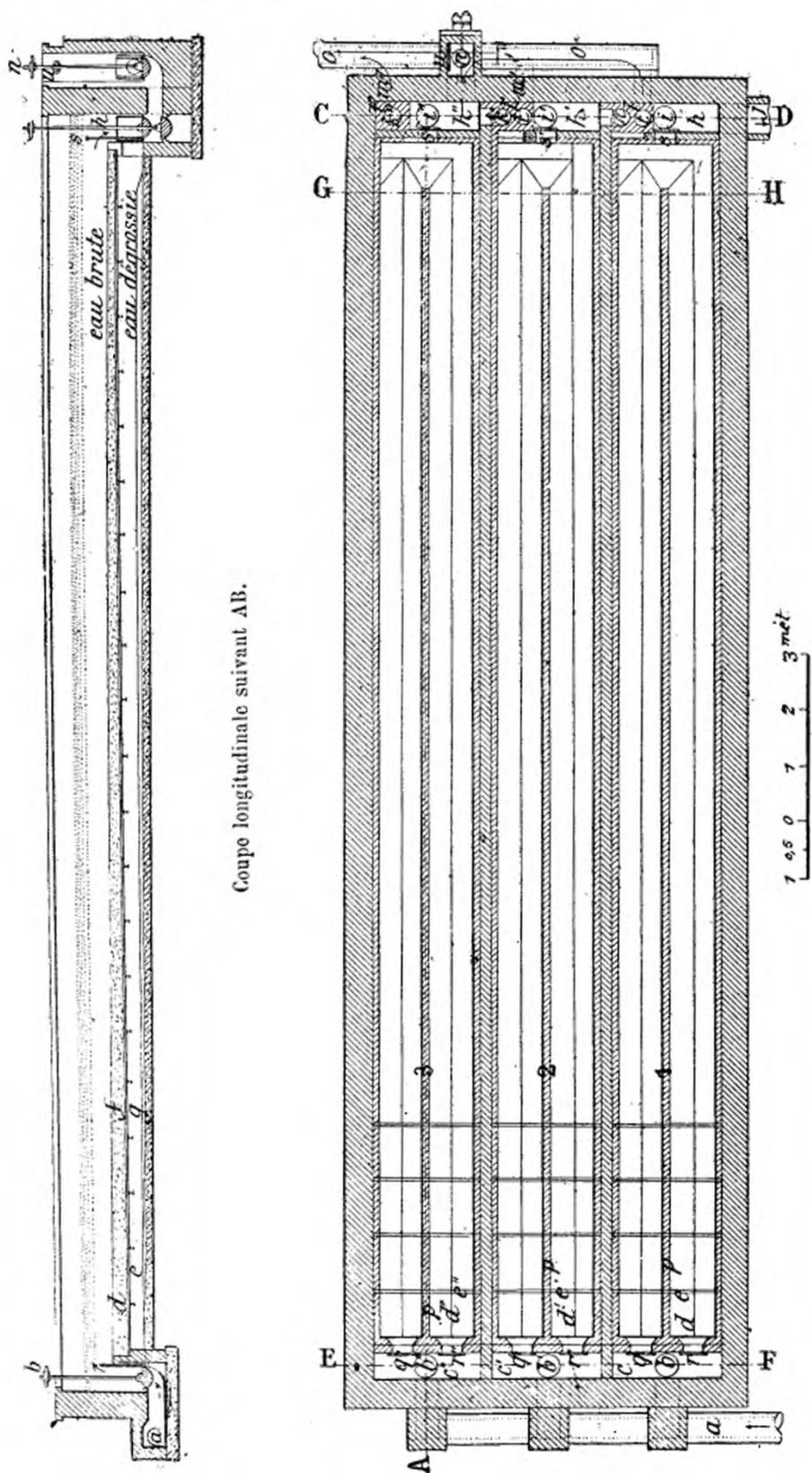


Fig. 42 a. — Filtrés dégrossisseurs, système Armand Puech.

de 1^m,80. Le fond est cimenté. Deux cloisons en briques, cimentées également, séparent les bassins en les rendant indépendants.

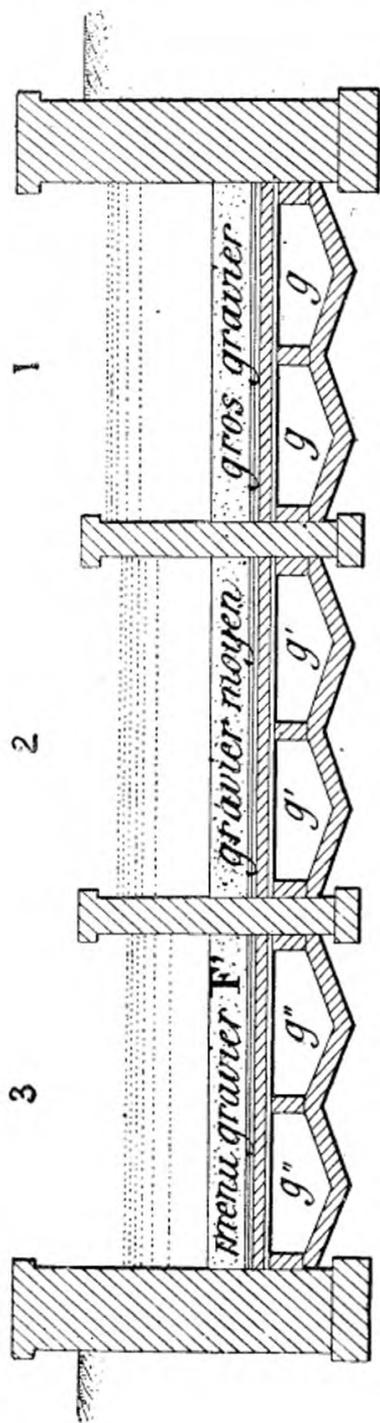


Fig. 42 b — Filtrés dégrossisseurs, système Armand Pucb. — Coupe transversale suivant GH (fig. 42 a). — Echelle de 0^m,02 pour 1^m 00.

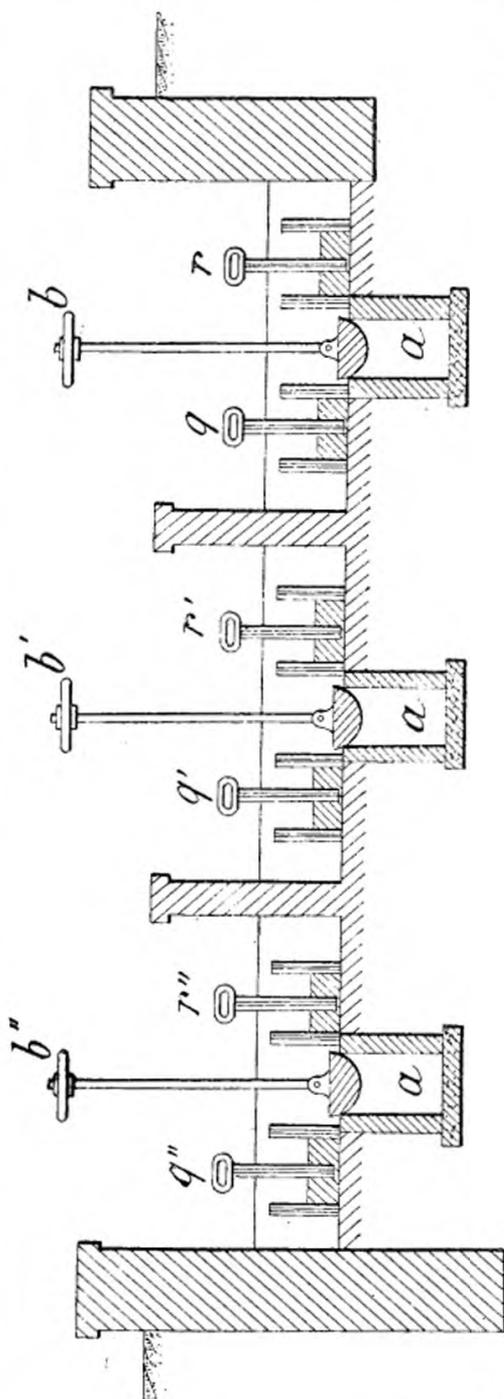


Fig. 42 c. — Filtrés dégrossisseurs, système Armand Pucb. — Coupe transversale suivant EF (fig. 42 a). — Echelle de 0^m,02 pour 1^m,00.

« Des tôles perforées qui ont 1 × 2 m et 4 mm d'épaisseur sont posées de niveau, à côté les unes des autres, mais indépendantes. Elles

forment comme un plancher à jour sur toute l'étendue des trois couloirs. Ce plancher reçoit une couche de gravier dont on voit une coupe longitudinale et une coupe transversale. L'épaisseur est de 0,35 à l'amont pour se réduire à 0,20 à l'aval, ce qui détermine une pente totale sur le gravier de 0,15.

« La perforation de ces tôles n'est pas la même d'un couloir à l'autre. La grosseur des graviers contenus dans chacun diffère également. C'est ainsi que le couloir 1 est garni de tôles à trous ronds de 10 mm de diamètre qui supportent du gravier criblé de 12 à 15 mm de diamètre. Le couloir 2 a des tôles à trous ronds de 8 mm qui supportent du gravier criblé de 10 mm. Quant au couloir 3, les trous de ses tôles sont oblongs \ominus et ont 4 mm de large sur 12 mm de long. Le gravier criblé est ici de 6 à 8 mm.

« Sous ces tôles, le double fond décrit une pente dans la même direction, mais plus forte, 0,25.

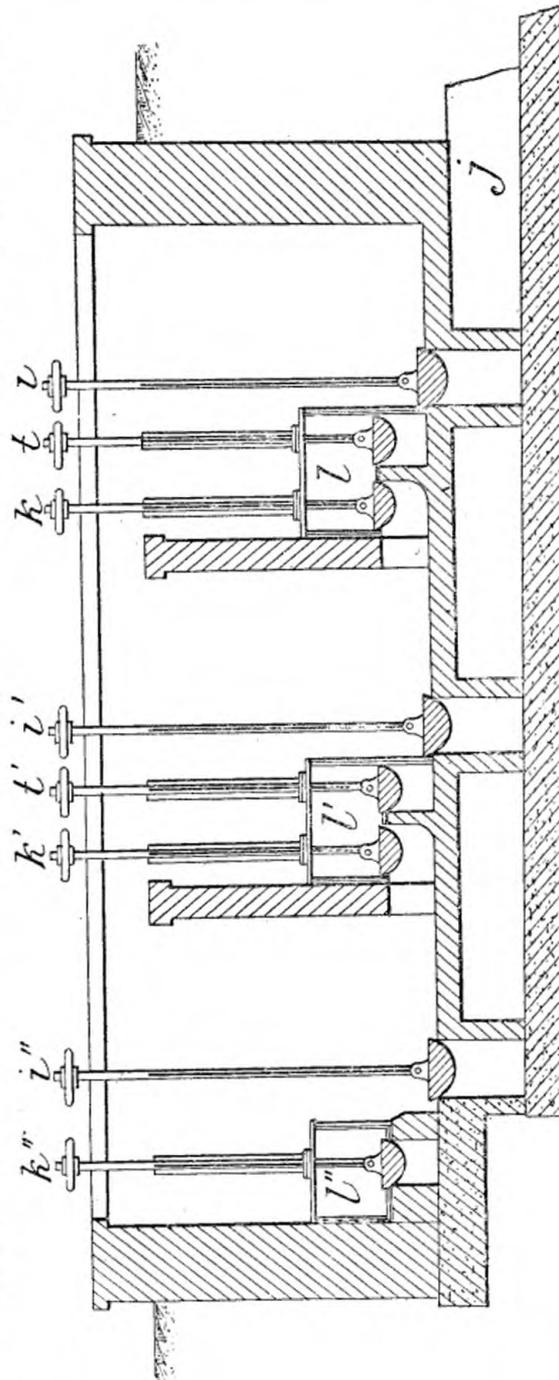


Fig. 42 I. — Filtres dégrossisseurs, système Armand Pucch. — Coupe transversale suivant CD (fig. 42 a). — Echelle de 0m,02 pour 1m,00.

« Vers l'aval, nous remarquons des cuvettes où se trouvent des vannes destinées à laisser passer l'eau des faux-fonds, lors des nettoyages. Nous remarquons aussi des clapets de vidange donnant accès à un aqueduc et enfin des boîtes en fonte.

« Ces boîtes, fixées sur un côté des cuvettes, ne sont libres, c'est-à-dire ouvertes, que du côté des doubles-fonds, par où elles reçoivent l'eau ayant traversé les couches. Leur dessus et les trois autres côtés sont absolument fermés de manière à empêcher l'eau dégrossie de se mêler à l'eau brute qui remplit tout le haut des couloirs et les cuvettes. Quant au fond, il peut être ouvert ou fermé à volonté par des clapets.

« Ces clapets permettent diverses combinaisons, soit pour faire communiquer le couloir 1 et le couloir 2, soit pour faire communiquer 1 et 3, soit pour envoyer l'eau dégrossie par le 1 directement aux bassins à sable.

« La boîte du couloir 3 n'a pas la même importance, puisque ce couloir est le dernier, mais elle offre l'avantage de pouvoir recevoir un second clapet si on est amené, par la nature de l'eau ou les besoins du service, à ajouter un quatrième couloir.

« Nos appareils ainsi décrits, nous allons les faire travailler.

« L'eau brute admise dans la cuvette d'amont du couloir 1 envahit la couche de gros gravier, la traverse, remplit le double fond et vient se déverser dans la cuvette d'aval. Quand le niveau est suffisamment monté dans le couloir 1, on met celui-ci en communication avec le couloir 2.

« L'eau pénètre dans la cuvette d'aval, atteint la couche du gravier moyen, la traverse et, après avoir rempli le double fond, monte au niveau voulu.

« Aussitôt, on ouvre la communication avec le 3. L'eau pénètre dans la cuvette d'aval, puis sur la couche de gravier fin et dans le double fond. Quand le niveau est établi, on amène l'eau dégrossie trois fois dans un conduit vers les filtres définitifs.

« Que s'est-il passé dans ces divers trajets? A travers les larges mailles du gros gravier, l'eau brute a abandonné dans les premiers couloirs les plus grosses impuretés : corps flottants, feuilles d'arbres, brins d'herbes, détritiques quelconques.

« Dans le second couloir, où les interstices sont plus serrés, elle aura laissé des matières plus ténues.

« Arrivée au troisième, le plus fin limon sera resté engagé entre les grains du menu gravier.

« Comme on le voit, nos couloirs viennent d'accomplir une opération méthodique, tout à fait rationnelle. Chacun aura fourni un travail utile en rapport avec sa constitution propre et, par ce fait même, aura préparé le liquide pour l'appareil suivant, de façon à permettre à celui-ci de produire son maximum de rendement.

« Aussi les résultats comme débit sont-ils surprenants. Chaque mètre carré de couloir peut fournir 90 m³ dans les 24 heures et cela couramment, d'une façon entièrement pratique. Comme nous avons ici trois couloirs et que la même eau est passée trois fois, ce chiffre de 90 m³ doit être ramené à 30, pour l'ensemble de l'ouvrage. »

L'auteur s'étend ensuite longuement sur les procédés de nettoyage de ses couloirs (nettoyage superficiel à faire toutes les semaines, et nettoyage complet beaucoup plus rare). Puis il indique la réduction du nombre de bactéries obtenue par ce dégrossissage à Ivry ; l'eau brute contenant un nombre de germes allant de 27 500 à 67 500 par centimètre cube, l'eau dégrossie en avait de 2 000 à 21 000 (analyses de septembre et octobre 1899 faites par l'observatoire de Montsouris). Enfin, il évalue le prix de revient relativement très minime et le compare à l'importance des avantages obtenus par le soulagement des filtres proprement dits. On sait que tandis qu'à Saint-Maur la Ville de Paris a fait précéder les filtres de simples canaux de décantation, elle a appliqué à Ivry le système Puech et a établi six couloirs chacun de 28^m,15 de long sur 4^m,42 de large. La Compagnie générale des Eaux a également appliqué ce système au col de Villefranche. Nous ne pouvons qu'approuver ce système ds dégrossissage, mais à condition qu'il ne prétende pas pouvoir remplacer le vrai filtre. La ville de Cherbourg qui avait déjà si mal réussi avec le filtre Maignen (épidémie de 1898-1899) et qui proposait ensuite de ne purifier les eaux de la Divette que par le système Puech, vient de s'en voir refuser l'autorisation, suivant un avis parfaitement motivé du Comité consultatif d'hygiène publique.

Ajoutons qu'on pourrait également faire de la clarification (et peut-être même de l'aseptisation) en appliquant aux eaux de boisson les procédés de centrifugation qui réussissent si bien dans les papeteries et les sucreries, ainsi que dans les laboratoires (où on arrive à condenser les globules, les microbes et tous autres corps en suspension contre les parois et le fond du vase soumis à la rotation rapide). Nous ne connaissons aucun essai en grand dans cet ordre d'idées.

II. — FILTRATION ET STÉRILISATION.

Nous devons distinguer la *filtration centrale* et la filtration ou stérilisation *à domicile*; nous avons déjà dit qu'on ne devait pas laisser aux particuliers le soin de purifier l'eau, et par suite les villes qui ont besoin de filtrer leur eau, doivent le faire en grand.

A) Filtration Centrale.

1° Grands filtres à sable.

Ce procédé a fait ses preuves et est devenu classique, non pas depuis ses premières applications (déjà vieilles de près d'un siècle) en Angleterre, mais seulement depuis qu'on a eu par la bactériologie l'explication et la mesure de son efficacité, et depuis qu'à la suite du choléra de 1892 une Commission d'hygiénistes allemands en a en quelque sorte codifié les règles. Les recherches de savants tels que Percy Frankland, Koch, Lindley (de Francfort), Kümmel (d'Altona), Fraenkel et Piefke (de Berlin), etc., les expériences de Zurich, et aussi les expériences si patientes et si concluantes faites à la station de Lawrence (Etats-Unis) en 1892-93 (on sait que ces expériences ont également porté sur l'épuration des eaux d'égout), ainsi que les beaux travaux du « Board of Health » de l'Etat de Massachusetts ont bien éclairé la question, et il semble qu'elle soit à peu près fixée aujourd'hui.

Installations existantes. — Les avantages hygiéniques obtenus par les villes qui filtrent les eaux de lacs ou de rivières au moyen des filtres à sable dits anglais, sont indiscutables. Il est clairement démontré que la morbidité typhique n'y est pas plus élevée que dans les villes qui s'alimentent en eau de source de toute première qualité. Quant au choléra, l'immunité dont a joui Altona en 1892, pendant que Hambourg sa voisine (qui ne filtrait pas encore) était sévèrement atteinte, est trop connue pour que nous insistions. Naturellement, le nombre des villes anglaises qui utilisent le procédé de Simpson est considérable : outre Londres et ses sept Compagnies, citons en courant Liverpool, Leicester, Dublin, Bradford, Middlesborough, York, Edimbourg, etc., etc. En Hollande : La Haye, Amsterdam, Rotterdam, Utrecht, Dordrecht, Schiedam, Leewarden, Grœningen, Zutphen, Leyden, Middelburg et quelques autres. En Belgique, Anvers; en Suisse, Zurich; en Russie, Saint-Petersbourg et Varsovie; en Autriche, Budapest, etc., etc. En Allemagne, un très grand nombre de villes filtrent des eaux de surface.

Principales données sur les grands filtres à sable dans les villes allemandes (d'après le D^r Panwitz)

NOMS DES VILLES	PROVENANCE DE L'EAU BRUTE	ÉPOQUE		Débit maximum journalier des filtres m ³	Consommation journalière maximum m ³	Consommation journalière minimum m ³	Capacité des bassins de clarification	NOMBRE des bassins fil-trants		Surface filtrante totale m ²	LA VIDANGE DES FILTRES PEUT-ELLE SE FAIRE		Peut-on détourner le produit d'un filtre isolément ?	Peut-on remplir les filtres de bas ou haut avec l'eau filtrée ?	Peut-on mesurer directement la hauteur d'eau derrière le filtre ?	Peut-on régler la hauteur d'eau ?	Comment se règle la hauteur d'eau	Peut-on mesurer à tout instant le produit de chaque filtre ?	où se font les pré-levements d'échantillons pour les analyses ?	Y a-t-il des dispositions p ^r l'accès de l'air dans les conduites et dans les couches filtrantes ?	ÉPAISSEUR DES COUCHES FILTRANTES		Avec quelle eau nettoie-t-on le sable des filtres ?	So sort-on de sable coloré mais non sali, p ^r couvrir le sable propre après remplissage ?	Épaisseur de la couche de sable salé qu'on enlève	Niveau auquel on abaisse l'eau d'un filtre pour le nettoyage	Temps pendant lequel un filtre reste à sec pour le nettoyage	Durée du remplissage (de bas en haut) d'un filtre nettoyé	Contenance des réservoirs d'eau filtrée m ³
		du premier établissement des filtres	de l'agrandissement					Ouverts	Couverts		Jusqu'au niveau de la surface du sable ?	Jusqu'au point le plus bas du filtre ?									1 ^o des couches de support	2 ^o de la couche de sable							
Berlin.....	Tegelerssee	1874-77 et 1882-83	1883-87	89 500	87 388	43 241	*	21	30 233	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Chambre de réglage en avant du déversoir.	Oui.	700	500	Brute.	Non.	10 à 15	Sous la couche de cailloux ou tout au bas.	1 à 5	12	8 500
Berlin.....	Müggelsee.	1889-93	1894	89 500	104 938	53 994	*	34	78 330	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Milieu de la chambre de réglage.	Oui.	700	500	Brute.	Non.	40	Variable.	1 à 5	10	6 500
Stralsund....	Borgwallsee.	1892-94	*	6 000	2 904	1 343	Canal conton. 44 m ³ entre les filtres.	3	3	4 500	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Chambre de réglage et réserve d'eau filtrée.	Oui.	430	350 à 700	Filtrée.	Non.	7 à 15	Entièrement.	1	6 à 12	400
Schwerin....	Neumühlersee.	1889-91	*	6 000	2 875	1 434	*	4	2 648	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Chambres de réglage.	Oui (p ^r les conduites).	300	700	Filtrée.	Oui.	30 à 50	Au-dessous du sable.	2 à 3	12	1 820
Wandsbek....	Grossensee (à Trittau).	1891-92	*	5 400	2 790	455	*	2	522	Non.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Non.	Chambre des vannes.	Non.	900	900	Brute.	Oui.	40	Au-dessous du sable.	*	3	1 008
Chemnitz....	Barrages - réservoirs à Einsiedel.	1892-94	*	7 200	5 759	276	*	3	2 058	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Au déversoir.	Oui.	400	1 000	Eau de source et de puits.	Non.	20 à 30	De 0m,30 à 0m,50 au-dessous du sable.	1 à 2	6 à 12	2 200
Königsberg...	Canaux d'irrigation et d'assainissement.	1870-71	1878-79 1881-82 1886 et 94	2 500	48 850	6 676	2 puits collecteurs.	7	11 121	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Recueil et réservoir d'eau filtrée.	Oui.	400	300 à 600	Filtrée.	Non.	10 à 15	Au-dessous du sable.	1/2	6	5 960
Posen.....	Warthe.	1865 et 79	1882	10 800	5 548	1 642	2 puits collecteurs.	2	2 810	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Non.	Non.	Non.	Non.	Non.	Conduite de départ.	Oui (p ^r 2 filtres).	750	425	Lesablesai n'est plus réutilisé	Oui.	15	Entièrement.	1,3 à 1	1	3 839
Ratibor.....	Oder.	1873-74	1894-96	3 000	2 561	883	*	3	1 710	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Trop-plein.	Non.	600	1 500	Brute.	Oui.	40	0m,50 au-dessous de la surface du sable.	1 à 2	12	950
Brieg.....	Oder.	1864	1894	2 014	1 816	638	*	4	830	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	(D'après les coups de pompe.)	Conduites ou bassin d'eau filtrée.	Oui.	850 à 1 000	1 000 à 1 500	On ne lave pas le sable.	Oui.	10 à 20	Entièrement (filtres I et II).	1 à 2	6 à 10	1 157
Breslau.....	Oder.	1866-71	1890-94	42 242	41 162	21 068	2 bassins d'eau brute.	4	22 305	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Derrière les filtres.	Non.	870	300 à 4 500	On ne lave pas le sable.	Non.	30	Entièrement.	1 à 2	10 à 12	2 000
Liegnitz.....	Katzbach (ou Mühlgraben).	1878	1896-97	13 680	9 069	2 790	2 000 m ³ pour 2 bassins.	6	3 888	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Non.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Derrière les filtres.	Oui.	500	800 à 1 000	Filtrée.	Non.	80 à 100	*	1/2	7	1 330
Frankfurt-Oder.	Oder.	1888-89	1896-97	7 500	5 075	2 081	*	5	2 352	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Robinetts d'épreuve aux vannes de réglage.	Non.	600	400 à 800	Eau de puits.	Oui.	18	A 0m,30 au-dessous de la surface du sable.	1,6	14	2 400
Stettin(*)....	Oder.	1861-66	1873-76 1883-86 1892-94	22 000	15 720	7 316	*	5	9 484	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Trop-plein dans la 1 ^{re} chambre.	Oui (p ^r les conduites).	750 à 1 000	240 à 900	Filtrée.	Oui.	10 à 15	0m,30 au-dessous de la surface du sable.	1	3	2 300
Rostock.....	Warnow.	1890-93	*	10 000	7 039	3 401	*	3	4 500	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Automatiquement, p ^r 4 filtres; à la main p ^r les autres.	Oui.	Conduite télescopique.	Oui.	550	800	Filtrée.	Oui.	40	0m,10 au-dessous de la surface du sable.	1,2	12 à 18	1 000
Güstrow.....	Nebelfluss.	1885	1893 et 96	2 552	2 470	1 731	*	2	1 530	Oui.	Oui.	Non	Oui.	Oui.	Oui.	En partie.	Automatiquement.	Non.	Conduites en ville et au départ.	Non.	500	800 à 1 000	*	Oui.	15 à 20	*	1	3	305
Lübeck.....	Wakenitzfluss.	1866-67	1878-80 1890-96	28 800	21 736	12 287	*	6	5 656	Oui.	Oui.	Non.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Chambre de mesure.	Non.	650	400 à 600	Filtrée.	Oui.	40	0m,20 au-dessous de la surface du sable.	1 à 2	3 à 5	1 530
Magdeburg...	Elbe.	1875-77	1887-88 1893	28 000	26 875	13 268	21 078 m ³ (p ^r 3 bassins).	2	9	13 460	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Chambre de mesure.	Oui (p ^r 7 filtres).	700	1 100	Filtrée.	Oui.	10	0m,50 au-dessous de la surface du sable.	1/3	3	470
Hamburg (*)..	Elbe.	1891-93	1896-97	235 200	145 194	97 729	62 250 m ³ (p ^r 4 bassins).	22	174 900	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Oui.	Chambre en avant du déversoir de trop-plein.	Non.	600	1 000	Filtrée.	Non.	10 à 20	0m,30 au-dessous de la surface du sable.	1 à 1/2	4	17 200
Altona.....	Elbe.	1857-59	1888 1892-95	29 846	26 113	15 354	36 000 m ³ (pour chacun des 2 bassins se rechargeant).	13	12 436	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Non.	Oui.	*	Oui.	Conduites à la sortie des filtres.	Non.	900	920	Clarifiée.	Oui.	30	0m,20 sous la couche de sable.	2/3	3 à 4	13 600
Glückstadt....	Elbe.	1891	*	600	597	468	5 500 m ³ (p ^r 2 bassins)	2	560	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Non.	Oui.	*	Non.	Fosses à la sortie des filtres	Non.	1 500	900	Filtrée.	Non.	10 à 20	0m,20 sous la couche de sable.	1	2	438
Bremen.....	Weser.	1873-76	1881 1883-93	25 591	22 705	7 997	15 000 m ³ (p ^r 2 bassins)	12	12 986	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Automatiquement.	Oui.	Chambre de réglage.	Non.	530 à 910	1 080 à 1 350	Filtrée.	Oui.	10 à 20	0m,20 sous la couche de sable.	*	6	1 556
Brunswick (*)..	Oker.	1865	1884	21 600	13 320	5 186	51 400 m ³ (p ^r 2 bassins)	4	5 908	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	A la main.	Non.	Conduite de réglage.	Non.	465	655	Filtrée.	Non.	20	0m,60 au-dessous de la surface du sable.	1 1/2	*	4 000
Worms (*)....	Rhin.	1887-89	1891-92	6 240	5 481	858	*	3	4 996	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Automatiq ^t p ^r les filtres à plaques.	Oui.	Conduite télescopique.	Oui.	400	800	Le sable n'est pas réutilisé.	Oui.	5 à 15	0m,70 au-dessous du sable.	1/3 à 1	3	1 375
Schweinfurt...	Mein.	1862	*	2 500	2 450	1 500	1 bassin d'eau brute.	2	326	Oui.	Oui.	Oui.	Oui.	Non.	Non.	Non.	*	Non.	Conduites en ville.	Non.	280	300	Le sable n'est pas réutilisé.	Non.	20	0m,50 au-dessous du sable.	1 à 2	1,2	2 188
Kitzingen....	Mein.	1865	1888	2 280	1 500	450	1 bassin d'eau brute.	2	352	Non.	Oui.	Oui.	Non.	Non.	Non.	Non.	*	Non.	Réservoirs d'eau filtrée.	Oui (p ^r les couches filtrant.)	1 100	500	Le sable n'est pas réutilisé.	Non.	30 à 40	Entièrement.	1/2	3	1 500

Observations: (1) En cas de glace sur les filtres découverts, on en casse une moitié qu'on enlève; on nettoie la place; puis on amène assez d'eau pour que la glace de l'autre moitié nage et puisse être tirée à la place de la première; on nettoie alors la seconde moitié. — (2) Le curage en cas de glace se fait au moyen d'un sac double avec couteau râcleur (voir le modèle décrit dans la visite à l'Exposition). — (3) Le remplissage des filtres se fait par le dessus. — (4) Plaques filtrantes système Fischer (1 batterie = 56 éléments; 1 filtre = 453 éléments).

La situation et les résultats à la fin de 1896, ont été donnés dans un très beau mémoire du docteur G. Pannwitz « Die Filtration von Oberflächenwasser in den deutschen Wasserwerken während der Jahre 1894 bis 1896 », inséré dans le XIV^e volume des *Arbeiten aus dem k. Gesundheitsamte*. Nous ne pouvons évidemment que renvoyer à cet article pour les détails spéciaux à chaque installation, mais nous croyons bien faire de reproduire le Tableau ci-contre qui le termine et le résume.

En France, ce n'est que tout récemment qu'on s'est mis à établir des filtres à sable : cependant nous devons citer Libourne, qui filtre depuis plus de dix ans. Nous connaissons déjà (v. pp. 5 et 6, *Introduction*) les installations de la Compagnie générale des Eaux pour alimenter la banlieue de Paris et celle de Nice en eau filtrée.

Ces installations datent de cinq ans à peine. Les fig. 43 et 44, empruntées à une brochure de la Compagnie générale des Eaux, montrent la distribution de l'eau filtrée dans la banlieue de Paris, et le plan de l'usine principale, située à Choisy-le-Roi sur la Seine : la Compagnie a également une autre usine à Neuilly-sur-Marne et une usine de secours à Nogent-sur-Marne. Au premier juillet 1900, ces trois usines avaient la puissance ci-dessous :

	PUISSANCE	SURFACE FILTRANTE	DÉBIT MAXIMUM JOURNALIER
	ch.-v.	m ²	m ³
Choisy-le-Roi	1 200	18 750	60 000
Neuilly-sur-Marne	900	17 000	55 000
Nogent-sur-Marne	150	3 500	12 000
Ensemble	2 250	39 250	127 000

L'eau de rivière n'est amenée aux filtres à sable qu'après avoir été épurée par le système *Anderson*. Le principe de ce système consiste à mettre l'eau en contact avec le fer ⁽¹⁾ dans un appareil rotatif appelé *revolver* (voir fig. 45), puis à la décanter. Les revolvers sont des cylindres tournants, garnis intérieurement de palettes qui soulèvent le métal (généralement à l'état de petits morceaux de fonte neuve cassés et réunis à la partie inférieure) pour le remonter vers le haut et le projeter dans le liquide. L'eau reste dans l'appareil de trois à quatre minutes, de manière à y dissoudre 2^{gr},50 de fer par mètre cube, puis elle

1. Les Anglais Medlock (1837), Spencer (1867), Bischof (1871), avaient déjà proposé des procédés d'épuration de l'eau par le fer.

va aux bassins de décantation, (les derniers avec chicanes et crêtes de déversoirs).

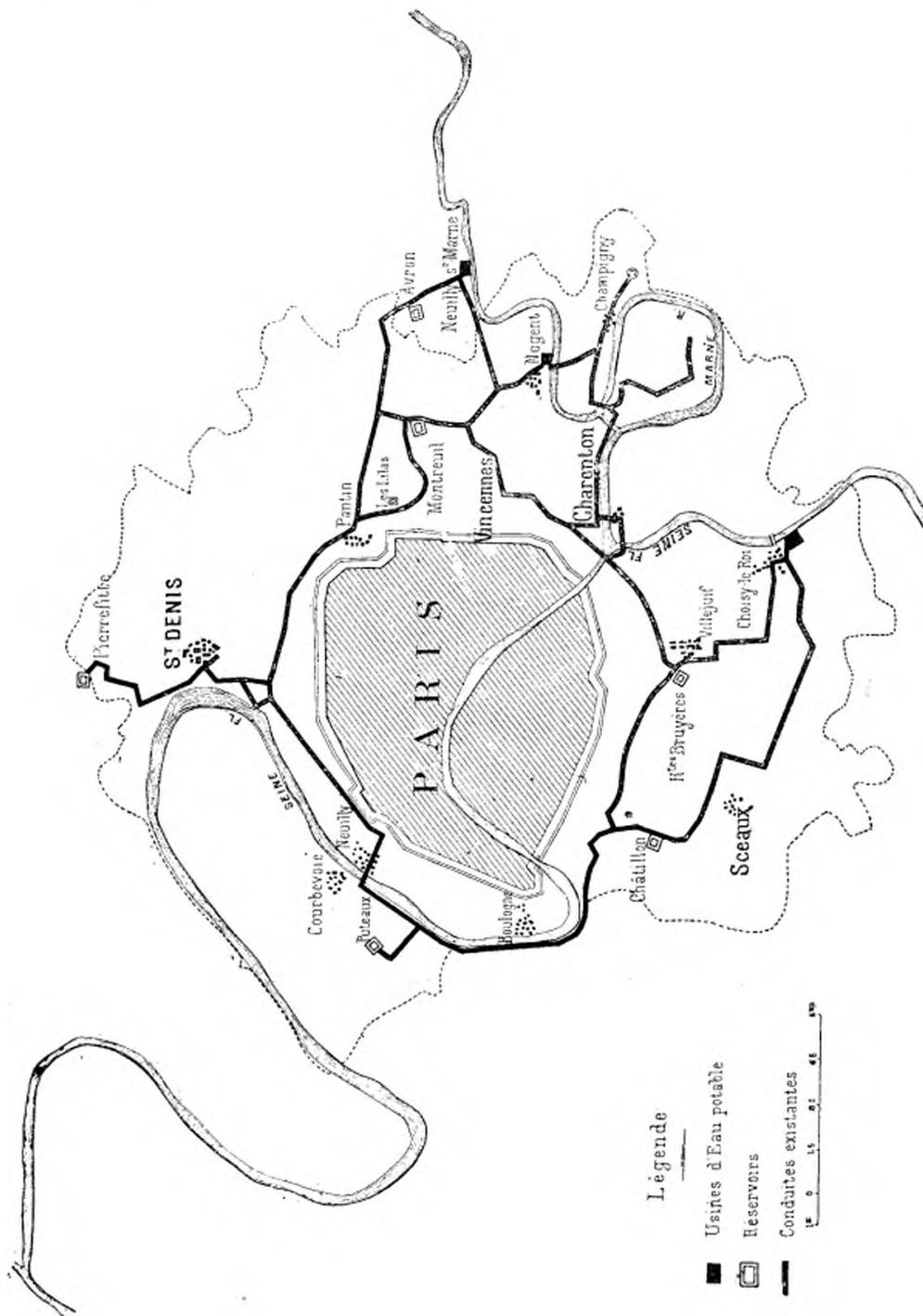


Fig. 43. — Alimentation de la banlieue de Paris en eau filtrée. — Réseau des canalisations maîtresses de distribution d'eau épurée et filtrée.

Au dire de l'inventeur et de la Compagnie des Eaux, le fer aurait pour effet :

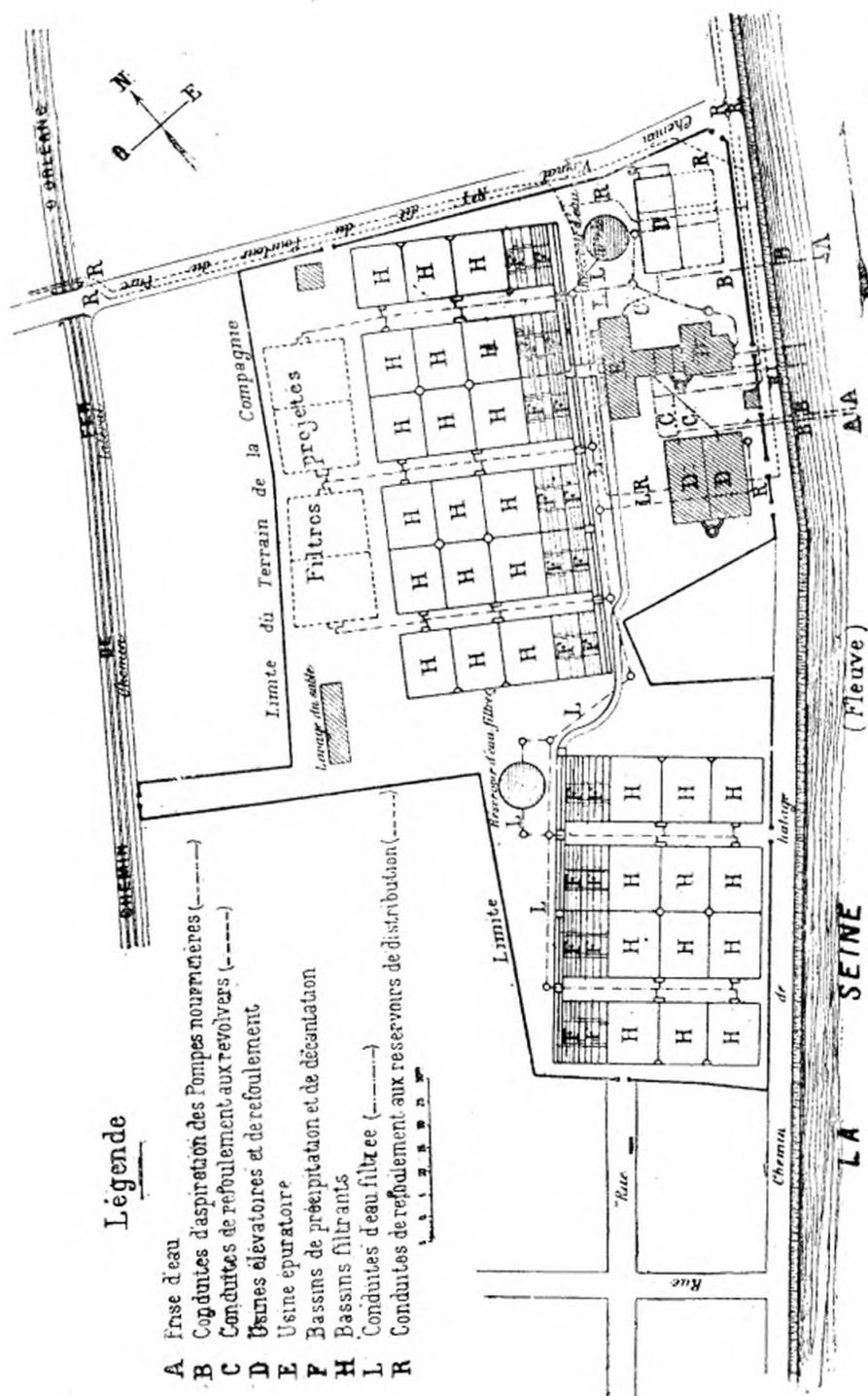


Fig. 44. — Plan d'ensemble de l'usine de la Compagnie générale des eaux. — Epuratoire et filtration des eaux de Seine, à Choisy-le-Roi.

1° de détruire une bonne partie des matières organiques dans les revolvers mêmes ;

2° de coaguler l'alumine colloïdale par les sels de fer colloïdaux eux-mêmes et de la faire déposer dans les bassins de décantation ;

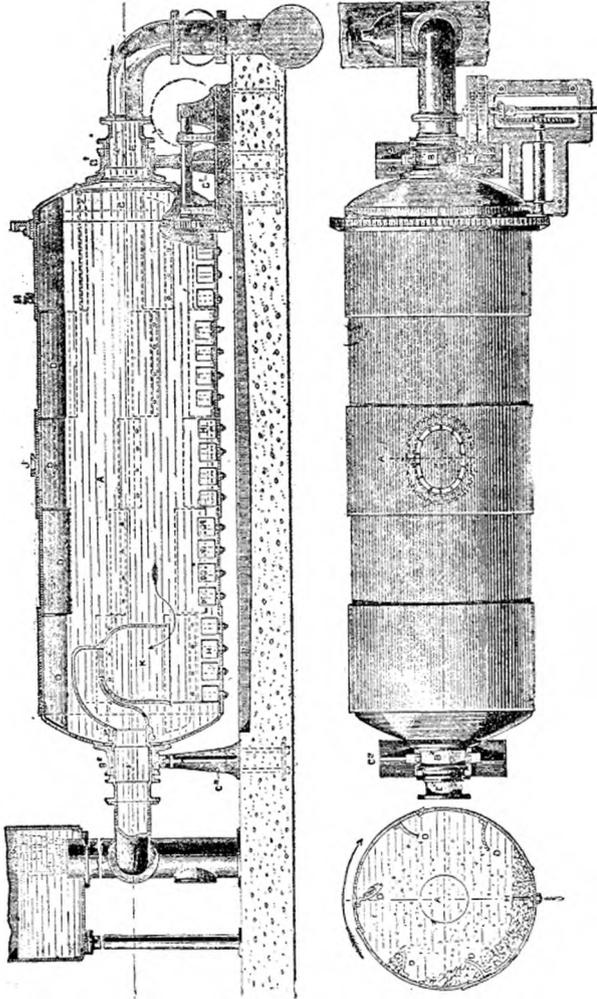


Fig. 63. — « Revolver » du procédé Anderson.

3° de produire un feutrage de 5 à 6 cm d'épaisseur dans les couches superficielles du sable des filtres proprement dits, feutrage qui hâte la formation de la membrane et la rend moins fragile. Nous doutons un peu que tous ces avantages soient bien réels, du moins avec toutes les eaux :

tout ce que nous pouvons dire, c'est que notre savant ami, M. Kemna, directeur des Eaux d'Anvers, qui filtre des eaux très chargées de microbes et impuretés, a fini par renoncer aux revolvers (nés cependant à l'usine de Waelhem), et attribue aux filtres à sable toute l'importance

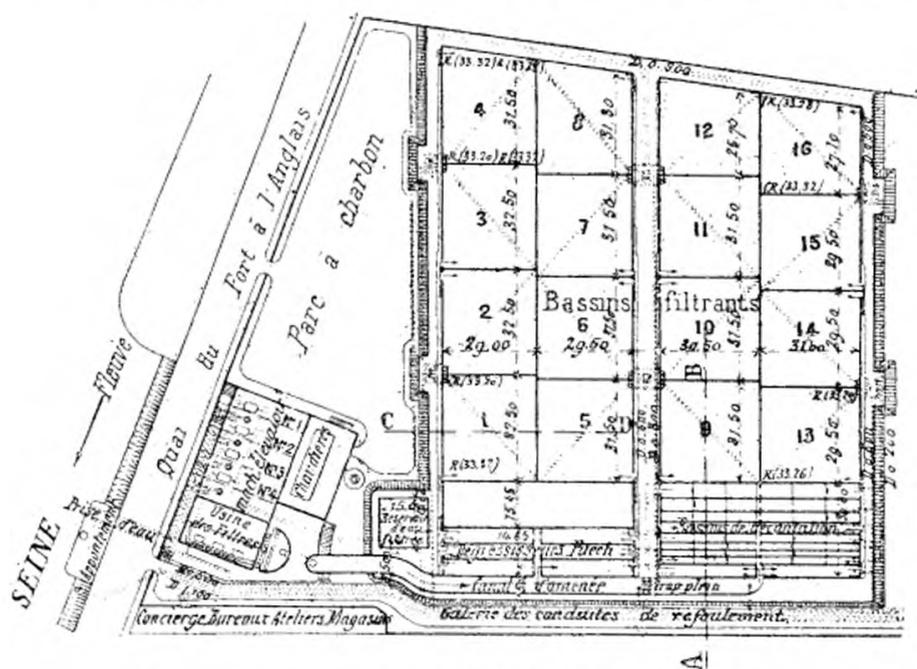


Fig. 46 a. — Etablissement de filtrage d'Ivry. — Plan général.

du procédé. Le fait est que le filtrage au sable réussit dans un grand nombre de villes sans l'aide du fer.

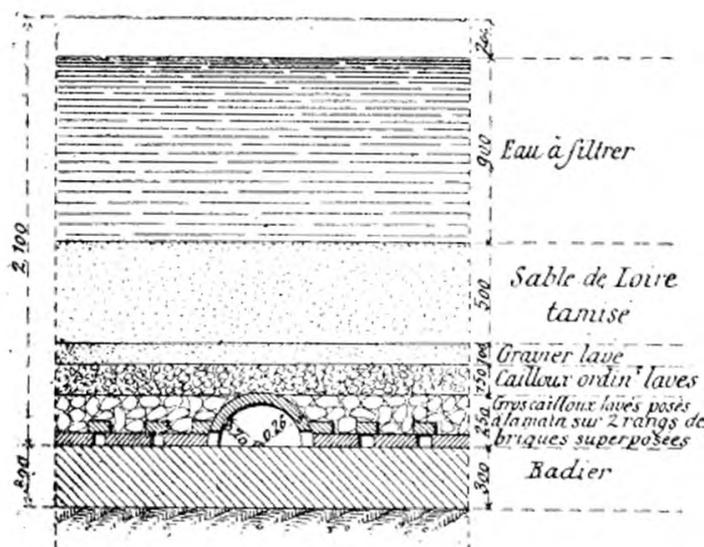


Fig. 46 b. — Etablissement de filtrage d'Ivry. — Constitution d'un bassin filtrant.

Enfin en 1897, Paris lui-même s'est décidé à filtrer, et a établi deux

usines de filtrage à Saint-Maur et à Ivry : ces usines doivent fournir un appoint aux eaux de sources en cas de pénurie — cas qui peut se présenter, comme on ne l'a que trop vu cet été même. A Saint-Maur, il y a six bassins filtrants découverts, chacun de 1600 m² : ils sont précédés de canaux de décantation, et peuvent fournir ensemble (un étant supposé au repos pour le nettoyage) 25 000 m³ par jour. A Ivry, il y a seize bassins de 900 m² chacun, pouvant fournir 35 000 m³ : nous savons déjà que l'eau est préalablement dégrossie par le procédé Puech.



Fig 46^c Coupe suivant CD des bassins filtrants



Fig 46^d Coupe suivant AB des bassins de décantation ordinaires

Fig. 46 c et d. — Etablissement de filtrage d'Ivry.

Le réglage se fait à la main sans appareils automatiques. Les fig. 46 a, b, c, d, empruntées à l'ouvrage publié par la Ville de Paris à l'occasion de l'Exposition font voir le plan et les coupes de l'usine d'Ivry.

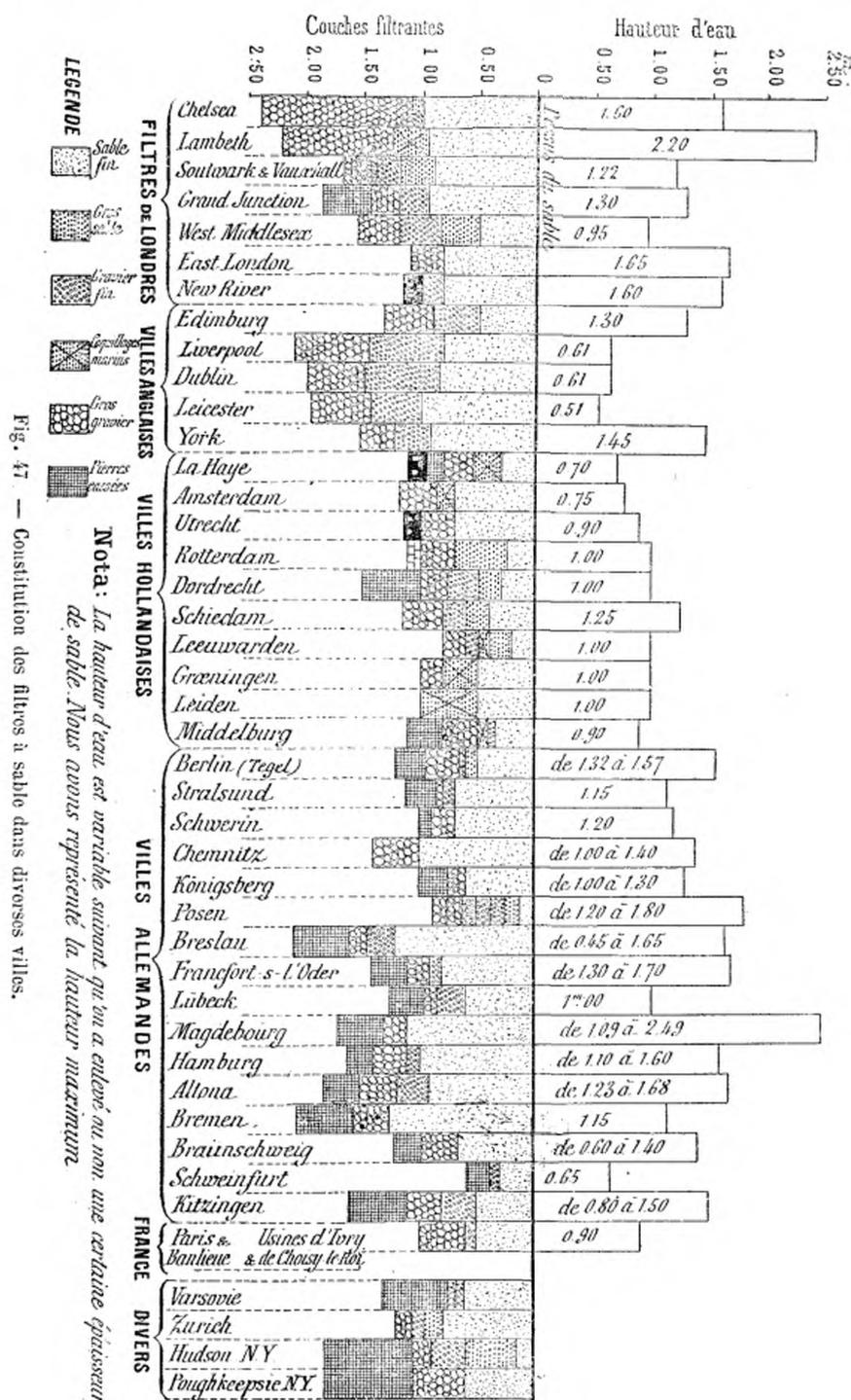
Nous avons déjà dit que les filtres à sable commençaient à se répandre aux Etats-Unis : en 1897, M. Mason n'en signale encore toutefois qu'à Lawrence, Ilion, Hudson et Poughkeepsie.

Constitution des filtres à sable.

Un bassin filtrant est essentiellement composé d'une fosse étanche (généralement en maçonnerie ou en béton), couverte ou non, contenant une superposition de couches de gravier et de sable de plus en plus fin : l'eau brute surmonte ces couches, les traverse et est recueillie filtrée par des drains ménagés dans la couche inférieure, sur le fond de la fosse. La composition des couches filtrantes varie un peu suivant les villes : la fig. 47 montre d'un seul coup ce qu'elle est dans un certain nombre d'installations.

La couche la plus importante pour la filtration est celle de sable fin : les autres ne servent guère qu'à la supporter et peuvent se grouper

sous le nom de couches de support (*Stützschiechten*). L'épaisseur du



sable fin se rapproche de 1 m en Angleterre ; mais en Hollande et en Allemagne on est souvent descendu bien au-dessous. Cependant il ne semble pas que le chiffre de 0^m,80 à 1 m soit exagéré, si l'on veut pouvoir enlever à plusieurs reprises la couche supérieure de 10 à 20 mm qui se salit et s'encrasse (*Schmutzdecke*) : il est en effet intéressant de pouvoir régénérer plusieurs fois le filtre avant de rapporter du sable neuf, et par exemple de pouvoir ainsi le faire durer une année entière.

Quel sable doit-on employer? — Naturellement, du sable aussi propre que possible : la taille admise varie entre 1/3 et 1 mm de grosseur de grain. Mais qu'entend-on par la taille d'un sable et comment l'apprécier? — Pour un grain isolé, on définit sa grosseur par le diamètre de la sphère d'égal volume, mais pour un ensemble de grains généralement de taille différente les uns des autres, il faut une convention. Le rapport de 1892 du Board of Health de l'Etat de Massachusetts a proposé de définir comme *taille effective* d'un sable celle au-dessous de laquelle il n'y a dans ce sable que 10 0/0 de particules (plus petites), le reste (90 0/0) étant formé de particules plus grosses. Il faut encore envisager un *coefficient d'uniformité*, pour représenter la variété plus ou moins grande des grains : ce coefficient est le rapport de la taille qui correspond à 60 0/0 de grains plus petits qu'elle à la taille effective. Le même rapport indique les moyens d'analyser un sable et de déterminer sa taille dans le sens ci-dessus, ainsi que le coefficient d'uniformité : il nous suffira de dire que suivant la grosseur des corps à analyser, on procède soit par séparation à la main, soit par tamisage, soit enfin par élutriation (décantation après mélange dans un vase rempli d'eau), et nous renverrons pour les détails au rapport lui-même. (Voir aussi l'excellent ouvrage de M. Allen Hazen : « The filtration of public Water-supplies », New-York 1896 ; nous lui empruntons une bonne partie des renseignements qui suivent).

La quantité d'eau que laisse passer une couche de sable par unité de temps dépend évidemment de la taille de ce sable, de l'épaisseur de la couche, de la perte de charge (différence de niveau entre l'eau entrante et l'eau sortante) et de la température : elle serait donnée par la formule

$$V = c d^2 \frac{h}{l} (0,7 + 0,03 t),$$

où V est la *vitesse de filtration*, c'est-à-dire la hauteur de la tranche d'eau qui passe par jour ;

- c* un coefficient voisin de 1 000 ;
- d* la taille effective du sable en mm ;
- h* la perte de charge ;
- l* l'épaisseur de la couche de sable ;
- t* la température en degrés centigrades.

Cette formule et le tableau qu'on peut en déduire montrent notamment que le rôle de la température est important, puisque toutes autres choses égales d'ailleurs le débit varierait dans les rapports de 0,70 ; 1 ; 1,30 ; 1,60 pour des températures respectives de 0°, 10°, 20°, et 30°. (C'est le même phénomène que nous avons constaté très nettement à la galerie filtrante de Messein et d'après lequel le débit de la galerie tombe en hiver presque à moitié de ce qu'il est en été).

Le tableau p. 150 montre en détail la taille du sable employé dans quelques villes.

Nous ne dirons rien des dispositions adoptées pour les drains à la base des filtres : elles sont assez variables (tuyaux, caniveaux ou double fond en briques, collecteur médian, etc. etc.) et il est facile et loisible à chaque Ingénieur de les arranger au mieux des circonstances.

Fonctionnement des filtres à sable : Réglage.

Avant tout, il convient de citer les règles édictées en 1894 par le Kaiserliches Gesundheitsamt et qui sont comme le bréviaire de tout directeur d'une installation de filtrage.

Règles édictées en 1894 par le k. Gesundheitsamt pour la filtration des eaux de surface (notamment en cas de danger de choléra).

§ 1. — Pour apprécier la qualité d'une eau de surface filtrée, il y a lieu d'observer spécialement les points suivants :

a) L'effet d'un filtre peut être regardé comme satisfaisant, lorsqu'il réduit le nombre des germes au minimum, sans dépasser la limite que l'expérience a montré pouvoir être atteinte par l'ouvrage considéré. Si on n'a pu encore réunir de données suffisantes sur les conditions locales de chaque ouvrage, notamment en ce qui regarde l'influence de l'eau brute, on prendra pour règle que le produit d'un filtre ne devra pas contenir plus de 100 germes environ par centimètre cube.

b) L'eau filtrée doit être aussi claire que possible, et en ce qui regarde la couleur, le goût, la température et la composition chimique ne doit pas être plus mauvaise qu'avant la filtration.

§ 2. — Pour contrôler constamment l'efficacité bactériologique de la filtration, on doit analyser tous les jours le produit de chaque filtre isolément : tout accroissement brusque du nombre des bactéries doit faire soupçonner et rechercher une cause de perturbation.

	POIDS POUR CENT DES PARTICULES PLUS PETITES QUE								TAILLE EFFECTIVE (10 C/0 plus petits que)	COEFFICIENT D'UNIFORMITÉ	AMMONIAQUE ALBUMINOÏDE (pour 400 000)		VITESSE DE FILTRATION MAXIMUM	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			SABLE EXCRASSÉ	SABLE LAVÉ		
	0,106	0,186	0,316	0,46	0,93	2,04	3,89	5,89						
									mm				m	
Londres	East London	0,2	0,5	3,6	22,2	69,7	89,8	95,0	99,0	0,40	2,0	26,00	8,60	»
	Grand Junction	0	0,2	3,1	17,4	47,1	68,2	84,7	93,6	0,40	3,6	10,00	2,70	3,05
	Southwark and Vaux hall	»	0,7	8,0	34,1	69,7	83,5	90,0	94,0	0,34	2,5	»	3,90	2,63
	Lambeth	0	0,5	5,5	26,6	63,0	79,2	88,0	94,3	0,36	2,4	»	2,60	3,50
	Chelsea	0	0,1	5,0	28,6	63,0	76,7	86,0	93,6	0,36	2,4	»	2,10	3,05
Villes allemandes	Hamburg	0,2	1,5	10,9	33,2	74,4	95,7	99,5	»	0,34	1,7	12,20	4,00	1,50
	Altona	0,1	1,1	7,8	28,7	72,1	92,1	95,8	»	0,37	1,6	11,00	3,00	2,40
	Berlin (Stralau).	»	0,3	7,0	37,3	86,9	95,4	97,6	»	0,34	2,0	10,80	0,80	2,49
	Berlin (Tegel).	»	0,2	4,5	35,4	94,3	98,5	99,1	»	0,34	2,3	9,00	1,50	2,40
	Berlin (Müggelsee)	0,1	0,5	7,9	33,6	79,7	94,3	98,5	»	0,31	2,3	8,20	1,07	2,40
Moyennes	0,06	0,56	6,33	29,71	71,99	87,34	93,42	97,45	0,355	2,3	14,12	3,03	2,60	

§ 3. — Pour permettre les recherches bactériologiques mentionnées au § 1, chaque filtre doit être construit de façon qu'on puisse à tout instant prélever un échantillon de l'eau qu'il fournit.

§ 4. — Pour assurer l'uniformité de méthode des analyses bactériologiques, le procédé suivant est recommandé.

Le milieu nutritif sera la gélatine peptonifiée à l'extrait de viande (*Fleischwasser-Peptongelatine*) à 10 0/0 (1). On conservera les plaques aux environs de 20°, et on fera la numération des colonies à la loupe, 48 heures après l'ensemencement.

Si l'on conserve les plaques à une température inférieure à 20°, le développement des colonies étant lent, la numération devra être plus tardive.

Si le nombre des bactéries par centimètre cube dépasse 100, la numération est facilitée par l'appareil de Wolffhügel.

§ 5. — Les personnes chargées des analyses bactériologiques doivent prouver qu'elles sont expertes en la matière, et appartenir autant que possible au personnel régulier de l'installation.

§ 6. — Quand le produit d'un filtre ne répond plus aux conditions hygiéniques requises, il doit être rejeté tant que de nouvelles analyses bactériologiques n'ont pas prouvé que la cause de trouble a été écartée.

Si un filtre ne donne plus pendant un certain temps qu'un débit insuffisant, il doit être mis hors de service, jusqu'à découverte et correction de la cause perturbatrice.

Il peut arriver que, dans certains cas et certaines conditions inéluctables en temps de crue par exemple, il soit impossible de donner de l'eau répondant aux exigences du § 1 : en ce cas, il faut bien se contenter de livrer de l'eau moins pure mais, si les conditions l'indiquent (comme en cas d'éclosion d'une épidémie), on devra en donner avis au public.

§ 7. — Pour pouvoir rejeter une eau insuffisamment filtrée et ne répondant plus aux conditions requises (§ 6) chaque filtre doit être construit de manière à permettre d'isoler son produit de la canalisation d'eau pure et de l'évacuer. Cette évacuation doit avoir lieu, autant que possible, régulièrement, 1° aussitôt après qu'on a enlevé le dessus de la couche de sable, 2° quand on a renou-

(1) Une note complémentaire a donné les indications suivantes pour la préparation de ce milieu :

Une partie de viande de bœuf, maigre, coupée en petits morceaux est mise à infuser dans deux parties d'eau qu'on maintient 2 à 3 heures à 60° ; puis on fait cuire un quart d'heure à feu nu, et après refroidissement à 60° on filtre sur un filtre humide. Pour 100 parties du produit, on ajoute demi-partie de sel de cuisine, 1 de peptone, 10 de bonne gélatine blanc-manger, et on fait fondre le tout au bain-marie. La solution bouillante est aussitôt neutralisée avec la lessive de soude (normale), jusqu'à ce que la couleur du papier bleu-violet de tournesol ne change plus ; on chauffe un quart d'heure dans la vapeur, et, l'acidité étant revenue, on neutralise à nouveau : puis on ajoute définitivement 1^{er},5 de soude cristallisée par litre, afin d'avoir un certain degré (faible) d'alcalinité toujours identique. Il est bon ensuite pour bien clarifier la gélatine de la coller avec un blanc d'œuf délayé dans un peu d'eau (pour 2 à 3 litres) ; on la chauffe un quart d'heure ou plus à la vapeur et on la filtre. On la répartit ensuite dans des tubes à essai secs et stérilisés, à raison de 10 cm³ par tube ; on bouche ces tubes avec un tampon de ouate et pendant chacune des trois journées suivantes on assure la stérilisation en les portant un quart d'heure dans la vapeur.

Pour l'analyse, on fait chauffer les tubes de gélatine à 35° : dans l'un on verse 5 gouttes de l'eau à analyser, dans l'autre 10 gouttes (mesurées avec une pipette jaugée au centimètre cube) ; on agite soigneusement (en produisant une rotation), pour bien mélanger l'eau à la gélatine fondue, puis on verse le tube sur une plaque de verre maintenue absolument horizontale. Les plaques sont mises dans un cristalliseur couvert dans le fond duquel on met un papier buvard humide, et le tout est conservé aux environs de 20°. Au lieu de plaques, on se sert aussi de petits cristalliseurs plats et couverts (boîtes de Pétri) dont le fond doit être bien horizontal et bien plat. Enfin, quand on analyse l'eau brute, au lieu du tube de 10 gouttes, on ne met qu'une seule goutte, ou même — si le nombre des bactéries est trop grand — on fait des dilutions avec de l'eau stérilisée.

velé entièrement cette couche. Le directeur appréciera, d'après l'expérience que lui auront donnée les expériences bactériologiques, au bout de combien de temps après le nettoyage ou le renouvellement du sable, le filtre aura recouvré son efficacité et pourra être remis en service.

§ 8. — Une bonne installation doit comporter une surface filtrante largement calculée et une réserve suffisante, afin que la vitesse de filtration reste modérée et soit bien proportionnée aux conditions locales et à la qualité de l'eau brute.

§ 9. — Chaque filtre doit pouvoir se régler directement, et on doit pouvoir contrôler la quantité et les caractères de son produit, ainsi que sa perte de charge : il doit pouvoir être vidé seul complètement, et après un nettoyage, on doit pouvoir le remplir de bas en haut, jusqu'au-dessus de la surface supérieure du sable.

§ 10. — La vitesse de filtration doit pouvoir être établie pour chaque filtre au taux qui résulte des conditions les plus favorables ; elle doit être régulière et à l'abri de toute variation ou interruption brusque. Dans ce but, on doit avoir des réservoirs capables de parer aux variations horaires de la consommation pendant la journée.

§ 11. — Les filtres doivent être agencés de manière à ne pas être influencés dans leur travail par les variations de niveau du réceptacle des eaux filtrées.

§ 12. — La perte de charge due à la filtration ou l'accroissement de pression sur le filtre ne doit jamais devenir assez grande pour produire des ruptures de la couche supérieure filtrante (membrane) : la limite à laquelle la surélévation de la pression doit s'arrêter, doit être fixée dans chaque cas par l'étude bactériologique.

§ 13. — Chaque partie de la surface d'un filtre doit agir également et absolument comme les autres.

§ 14. — Le fond et les parois d'un filtre doivent être étanches, et l'on doit éviter que l'eau brute du dessus puisse se frayer un chemin quelconque pour gagner les drains d'eau filtrée ; il faut notamment veiller à tenir bien étanches les ventouses destinées à l'aération des conduits d'eau pure.

§ 15. — L'épaisseur de la couche de sable doit être assez grande pour ne jamais être réduite par les nettoyages au-dessous de 0^m,30, et on doit autant que possible rester au-dessus de cette limite.

La plus grande attention doit être donnée à la couche supérieure qui doit être établie et maintenue dans les conditions les plus favorables à la filtration : pour cela, dès qu'en cas de renouvellement on a enlevé la couche supérieure de sable sali, on mettra de côté la tranche immédiatement sous-jacente du sable coloré, et on la rapportera au-dessus du sable neuf dont on remplit le filtre.

§ 16. — Toute ville allemande ayant des filtres à sable est invitée à adresser au k. Gesundheitsamt des rapports trimestriels rendant compte, surtout au point de vue de l'efficacité bactériologique des résultats obtenus : une description de l'installation doit être jointe au premier rapport. Le k. Gesundheitsamt se tiendra lui-même en rapport avec la Commission spéciale et pourra sans doute après quelques années édicter des règles plus précises.

§ 17. — On pourra alors juger s'il y a lieu de créer un service permanent d'inspection des distributions d'eau, et dans quelles conditions.

Il nous reste toutefois après cette citation à préciser quelques points. Quelle hauteur d'eau brute doit-on admettre sur le filtre ? La fig. 47, p. 147, montre qu'on a varié de 0^m,50 à 2^m,50 ; mais il paraît convenable de se tenir entre 0^m,90 et 1^m,50. Il convient que la hauteur choisie soit maintenue aussi régulièrement que possible, et dans ce but on a imaginé

des appareils réglant automatiquement l'arrivée de l'eau brute ; la fig. 48 montre ceux adoptés à Berlin et à Hambourg (1).

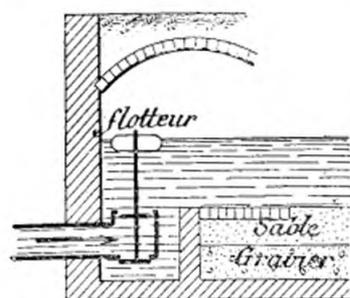


Fig. 48 a. — Réglage de l'eau brute à l'entrée des filtres du Müggelsee, à Berlin.

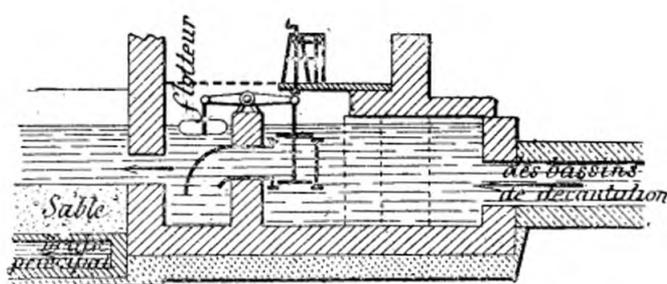


Fig. 48 b. — Réglage automatique de l'eau brute à l'entrée des filtres de Hambourg.

Fig. 48. — Appareils de réglage des filtres à sable à l'entrée de l'eau brute.

Le bon fonctionnement d'un filtre dépend encore plus spécialement de la perte de charge due à la filtration, c'est-à-dire de la différence entre le niveau de l'eau brute sur le filtre et le niveau de l'eau filtrée recueillie à la sortie. Cette perte de charge est le résultat des obstacles qu'opposent au passage de l'eau 1° la membrane et la couche supérieure de sable encrassé, 2° la couche épaisse du sable resté pur, 3° les couches de support et les drains eux-mêmes. Nous avons parlé plus haut

(1) Voici la description jointe aux modèles exposés à Paris cette année par la ville de Hambourg.

L'entrée de l'eau dans le filtre se fait par deux ouvertures pratiquées dans le mur du réservoir et est réglée par une double soupape placée dans ce dernier, de sorte que le niveau de l'eau dans le filtre reste toujours le même.

Lorsqu'on vide le filtre pour le nettoyer, l'eau qui se trouve au-dessus du sable retombe dans le puits par les ouvertures signalées déjà, et de là passe dans un tuyau de sortie, situé près du filtre, après avoir traversé une soupape située au fond de ce puits. Le tuyau est réuni au bassin d'eau pure du filtre, de sorte que les matériaux du filtre peuvent être desséchés jusqu'à une profondeur voulue.

La sortie de l'eau filtrée s'effectue par un conduit placé dans le sens de la longueur du filtre, et qui débouche dans un puits voisin du premier, sur un curseur mobile, qui par le moyen d'un pivot, mû par un volant à main, peut subir des variations de hauteur de 0^m,70 et peut toujours être placé de telle sorte que, quelle que soit la hauteur de l'eau dans le filtre, on puisse toujours obtenir la quantité d'eau désirée. L'indication de la position exacte est donnée par un flotteur qui marque, sur une échelle fixée au curseur, de combien l'arête supérieure du curseur est plus basse que le niveau de l'eau éloignée de 1 m environ. Outre le curseur régulateur, on trouve dans le second puits 2 grands et 2 petits curseurs de fermeture. Parmi les grands, le premier sert à fermer le tuyau qui amène l'eau, l'autre fait écouler l'eau filtrée produite immédiatement après un nettoyage du filtre ; les petits servent, après chaque nettoyage, à remplir par en bas le filtre d'eau filtrée, jusqu'à 0^m,15 au-dessus de la surface du sable.

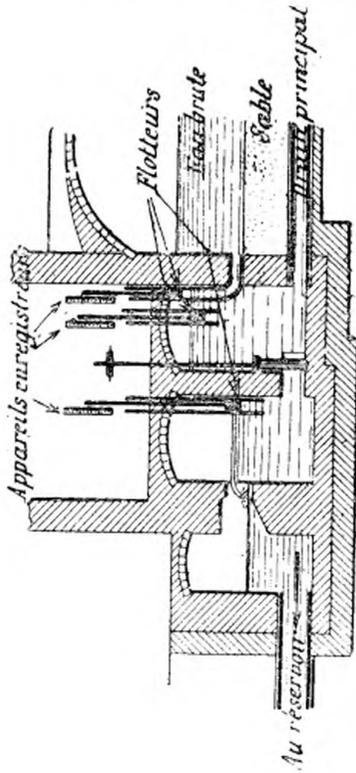


Fig. 49b. — Réglage de l'eau filtrée, aux filtres de Tegel, à Berlin.

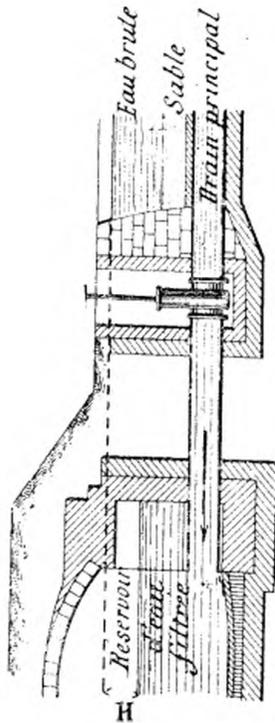
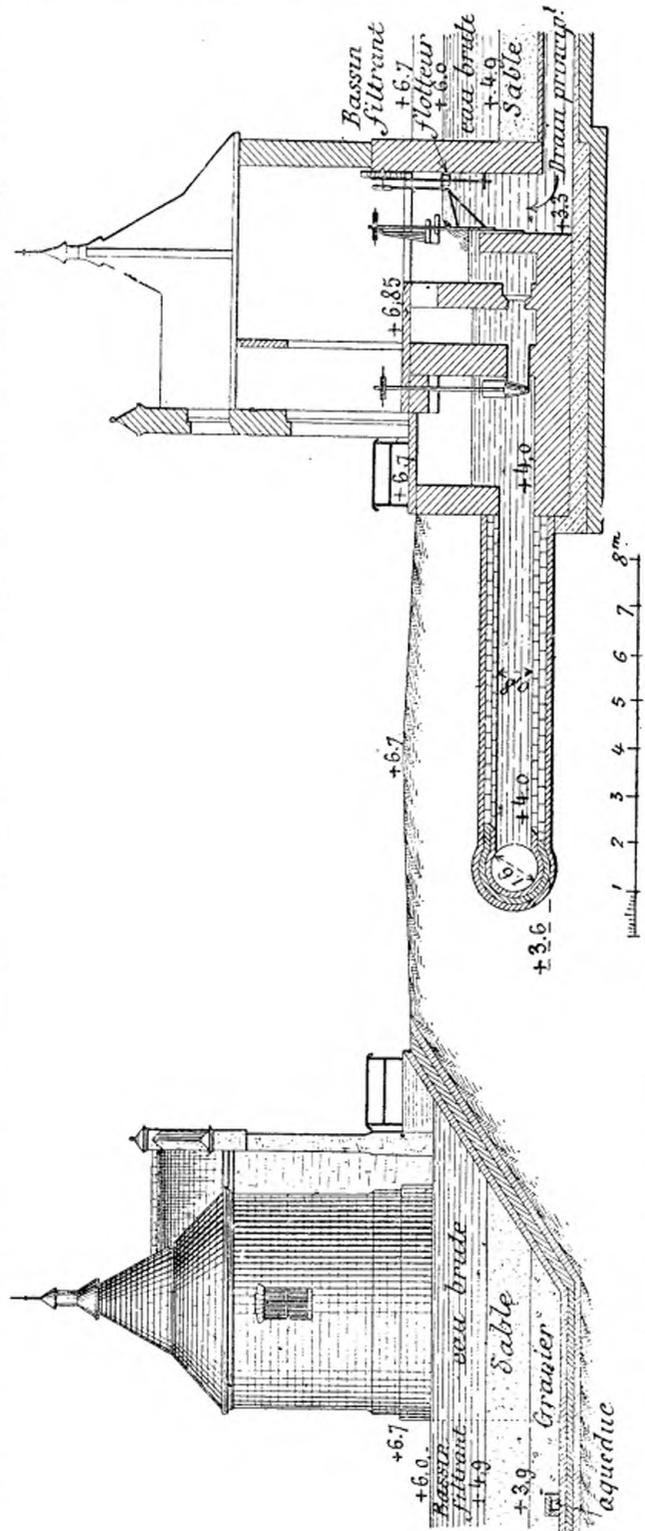


Fig. 49a. — Réglage (très simple) de l'eau filtrée. — Filtre de Stralau, à Berlin.



Élévation. Fig. 49c. — Réglage de l'eau filtrée, aux filtres de Hambourg (Modèle de l'Exposition de Paris). (Outre les pertes de charge, on mesure la hauteur d'eau passant au-dessus du déversoir).
Fig. 49. — Appareils de réglage des filtres à sable, à la sortie de l'eau filtrée.

du second de ces termes ; le troisième est fixe et peu important (il a également fait l'objet des recherches du Board of Health du Massachusetts dans le rapport déjà cité). Quant au premier terme, il est variable avec l'état d'encrassement du filtre, c'est-à-dire avec le temps ; la résistance allant en croissant, ou bien si l'on maintient la même différence entre les niveaux le débit ira en diminuant, ou bien on devra augmenter progressivement cette différence pour maintenir le débit au même taux. De là la nécessité de pouvoir régler à volonté ou automatiquement la charge, c'est-à-dire le niveau de l'eau effluente ; la fig. 49 fait voir les systèmes appliqués dans ce but aux filtres de Berlin (Stralau et Tegel), de Hambourg, de Pilsen et de Varsovie. Ce dernier, système Lindley, est automatique et très recommandable.

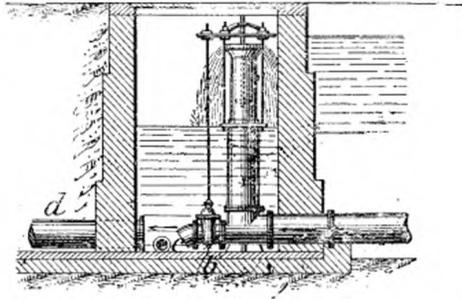


Fig. 49 d. — Réglage de l'eau filtrée à Pilsen (tube télescopique manœuvré à la main; sa hauteur fixe la perte de charge).

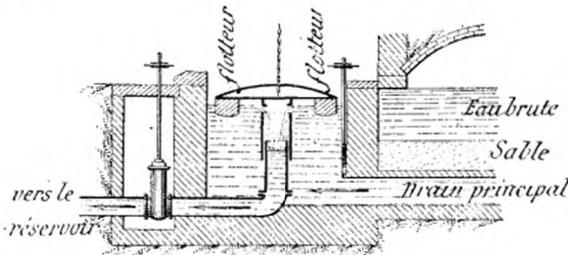


Fig. 49 e. — Réglage automatique, système Lindley, d'eau filtrée à Varsovie.

On ne doit pas dépasser — sous peine de risquer de crever la membrane — une certaine perte de charge : à Berlin (Tegel et Müggelsee) on admet $0^m,60$ pour limite ; à Hambourg on va à $0^m,70$. Dans les filtres plus anciens (Altona, Berlin-Stralau, etc.) on allait beaucoup plus haut, jusqu'à $1^m,40$ et $1^m,50$, et aux expériences de Lawrence on a pris $1^m,80$ sans nuire à l'efficacité de l'opération ; la limite admissible dépend évidemment de la finesse du sable (qui à Lawrence était très fin). Quoiqu'il en soit, quand cette limite est atteinte (ou si la charge reste constante, quand le débit descend au-dessous d'un certain chiffre), il faut nettoyer le filtre, c'est-à-dire enlever la couche de sable encrassé (sur

10 à 20 mm en général). Il est clair qu'à débit total égal, il faudra nettoyer d'autant plus souvent que la limite de charge admise est plus basse; ainsi à Lawrence, avec du sable de 0^{mm},2 de taille effective, on pouvait obtenir entre deux nettoyages consécutifs 68 m³, 23 m³ et 15 m³ par mètre carré de surface de filtre, suivant que la limite de charge admise était respectivement de 1^m,80; 0^m,87 et 0^m,56 (avec du sable plus gros, le produit augmente notablement).

Quant à la vitesse de filtration, ou débit d'un filtre par unité de surface, elle dépend des éléments que nous connaissons déjà. Les anciens filtres admettaient des vitesses assez grandes: 3^m,05 par jour à Londres en 1838, 3 m à Berlin-Stralau en 1874; mais on a beaucoup réduit depuis, et à Londres aujourd'hui comme à Hambourg on n'a plus que 1^m,50 par jour, ce qui paraît être la règle actuellement suivie; Koch a recommandé en tout cas de ne pas dépasser 100 mm par heure, soit 2^m,40 par jour.

Nettoyage d'un filtre.

Quand le nettoyage d'un filtre est devenu nécessaire, on le met hors de service, puis on enlève par un véritable grattage tout le sable sali (les expériences de Lawrence ont montré que les bactéries s'accumulent à la surface et dans le premier ou les deux premiers centimètres de sable et qu'il n'y en a pour ainsi dire plus à quelques centimètres plus bas). L'intervalle entre deux nettoyages consécutifs dépend naturellement de l'état de l'eau brute et est très variable; à Berlin, le plus court intervalle a été de 6 jours et le plus long de 90; la moyenne se rapproche d'un mois dans un assez grand nombre d'installations. C'est la quantité d'eau qu'on peut filtrer entre deux nettoyages consécutifs qui est à ce sujet l'élément le plus utile à considérer; la moyenne des villes allemandes donne 48 m³ par mètre carré de surface de filtre, le minimum étant de 26 m³ à Brême et le maximum de 66 m³ à Stuttgart. Londres et les villes anglaises se tiennent un peu au-dessus de ce maximum, tandis que Zurich, qui filtre des eaux de lac déjà très pures, ne nettoie qu'après avoir fait passer 240 m³ par mètre carré de filtre.

Quand on peut disposer facilement de sable propre, il vaut mieux rejeter complètement la couche enlevée; si au contraire le sable est cher, on peut laver le sable et le faire resservir pour renouveler les filtres, ce qui a lieu après que la dernière couche sale a été enlevée à son tour. Plusieurs procédés ont été imaginés pour laver le sable. A

Londres, on se sert de la lance, c'est-à-dire qu'on envoie un jet d'eau assez fort sur le tas de sable, placé sur une aire en maçonnerie avec rebords et déversoir ; l'eau qui se déverse doit être claire pour qu'on puisse dire que le sable est propre. — A Berlin et en Allemagne, on

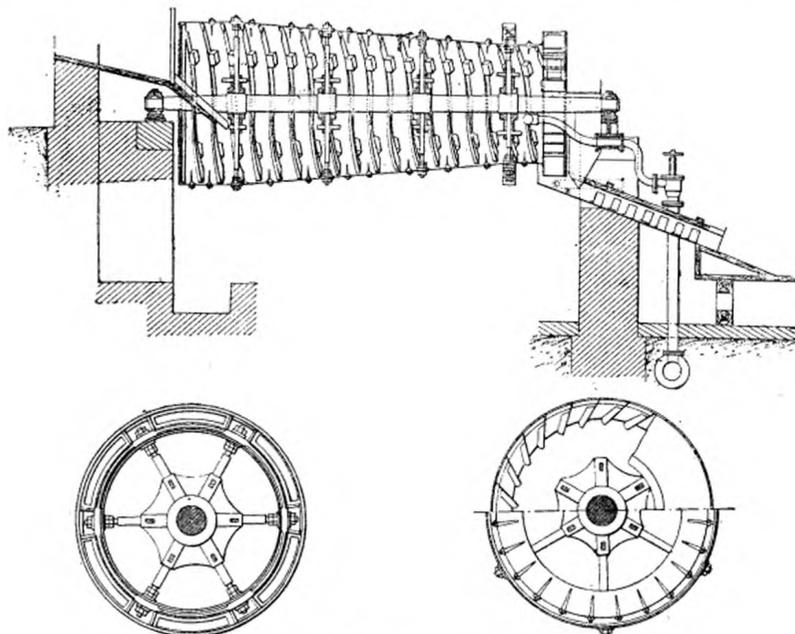


Fig. 50. — Tambour-laveur pour laver le sable.

utilise le tambour-laveur (*Sandwaschtrommel*) (fig. 50), appareil constitué par un tambour tournant, muni d'une vis sans fin et de palettes appliquées contre la paroi intérieure ; le sable entre par un bout et l'eau de lavage par l'autre et sortent à l'opposé, après que la rotation a assuré leur contact intime et par suite le lavage. La machine de Greenway repose sur le même principe, mais est plus longue et plus étroite. — Une autre machine, de Samuel Pegg and Sons (Leicester), consiste à faire monter le sable sur un plan légèrement incliné sur lequel descend l'eau ; un engin de ce genre fonctionne à Zurich avec un moteur hydraulique. — Enfin certaines Compagnies de Londres se servent de laveurs à éjecteurs ; un appareil de ce genre muni de trémies imaginées par M. Bryan existe à Hambourg à côté du tambour. MM. Hunter, Frazer et Goodman, Bow à Londres construisent des appareils semblables : l'eau et le sable sont rejetés sous pression successivement du fond d'une trémie au sommet de la suivante, l'eau sale débordant de

chaque trémie. — A l'usine de Choisy-le-Roi, on se sert également d'un appareil spécial comportant : 1° une trémie où le sable sale est déversé ; 2° un malaxeur à 4 compartiments, dans chacun desquels le sable subit une friction et un lavage avec une eau de plus en plus propre, coulant en sens inverse de l'avancement du sable ; 3° une courroie de caoutchouc qui relève le sable lavé dans un wagonnet placé sur une estacade. L'appareil est mù par une transmission électrique et permet de laver 6 m³ par jour à 0 fr. 50 le mètre. — Rappelons encore que Piefke a proposé un procédé de nettoyage dans lequel on n'enlèverait pas la couche supérieure : il consiste à remuer la surface par des agitateurs (walzers), pendant qu'on y fait couler un mince, mais rapide courant d'eau (qu'il faut pouvoir produire et rejeter) ; mais nous ne sachions pas que ce système ait été appliqué en grand.

Il nous reste un mot à dire sur les ennuis que la glace donne l'hiver dans la direction des installations de filtrage. Si elle n'est pas trop épaisse, l'eau continue à filtrer par dessous et il suffit d'augmenter le niveau de l'eau brute pour tenir compte de la couche inactive de glace ; mais la difficulté commence quand il faut nettoyer le filtre. On est alors obligé de casser la glace ; à Stettin, quand on l'a cassée sur une moitié ou un tiers du filtre, on l'enlève en même temps qu'on vide le filtre, on nettoie la partie découverte, puis on ramène l'eau jusqu'à faire flotter le reste de la glace de manière à pouvoir la tirer sur la place déjà curée ; on vide de nouveau et on continue le nettoyage. A Hambourg, nous avons signalé le couteau-râcleur avec sac réversible qui sert à nettoyer les filtres sous une couche de glace et qui figurait à l'Exposition (voir page 8, *Introduction*). Il arrive, en outre, d'autres ennuis par le fait que le dessus du sable exposé un moment au froid peut se geler et rendre alors la reprise de la filtration impossible ou difficile. Enfin, la membrane elle-même, en plein fonctionnement, peut être rompue notamment au voisinage des bords (où la glace s'épaissit parfois au point de toucher le fond), et l'eau passe alors sans être bien filtrée. — C'est pour éviter ces ennuis que dans les villes les plus septentrionales on a couvert les filtres : malheureusement l'augmentation de dépense est considérable. Comme règle à ce sujet, M. Allen Hazen conseille de couvrir les filtres dans les régions dont l'isotherme de janvier est 0° ou au-dessous de 0°.

Mode d'action et efficacité des filtres à sable.

Le filtrage au sable a une certaine action favorable sur la composition chimique de l'eau, notamment sur sa teneur en matières organiques et en ammoniaque libre ou albuminoïde. Ainsi, les expériences de Zurich ont montré qu'il réduisait cette teneur respectivement pour ces trois corps de 19 0/0, 64 0/0 et 36 0/0. Les expériences de Lawrence ont donné les réductions suivantes :

	Eau brute	Eau filtrée	Réduction 0/0
	mgr	mgr	
Matières organiques (en oxygène consommé).	3,9	2,8	28,2
Ammoniaque libre	0,084	0,068	19,0
Ammoniaque albuminoïde	0,202	0,109	46,0
Nitrates (en azote)	0,14	0,31	»
Nitrites (en azote)	0,003	0,005	»
Nombre de bactéries par centimètre cube . .	14000	258	98,16

(On voit par ce petit tableau que si l'ammoniaque diminue les nitrates et nitrites vont en augmentant, ce qui n'a rien d'étonnant puisque les acides nitreux et nitrique sont le dernier terme de l'oxydation de l'azote organique.)

Mais le résultat qui prime tout dans le filtrage au sable, c'est qu'il réduit dans une proportion énorme le nombre des bactéries. Ce fait ne se discute plus aujourd'hui, et il est surabondamment établi qu'un filtre à sable bien conduit ne doit laisser passer que 1 à 2 0/0 du nombre des bactéries de l'eau brute ; on avait même cru un moment qu'il pouvait et devait réaliser l'asepsie absolue ; mais — la perfection n'étant pas de ce monde — on a reconnu que le filtre le mieux dirigé laissait toujours passer une fraction, minime il est vrai, mais enfin une fraction du nombre des germes de l'eau qu'il recevait. En outre, un certain nombre de germes proviennent des couches de support et des parois des drains et conduites, en sorte que la teneur en bactéries de l'eau distribuée est la résultante de ces deux provenances. (Le nombre des bactéries qui passent à travers la couche de sable d'un filtre a été étudié par Piefke au moyen du *bacillus violaceus*, et par les expérimentateurs de Lawrence au moyen du *bacillus prodigiosus*. Ce nombre augmente rapidement quand on force le débit, et lentement quand on prend du sable plus gros et des couches de plus en plus minces ; à Lawrence on a même établi la formule

$$\text{Fraction 0/0 des bactéries qui passent} = \frac{1}{2} \left[\frac{(\text{débit du filtre})^2 \times \text{taille effective du sable (en mm)}}{\sqrt{\text{épaisseur de la couche de sable (en pouces)}}} \right]$$

le débit du filtre étant calculé en million de gallons U. S. par acre et par jour ⁽¹⁾; mais en pratique tous les filtres donnent un pourcentage plus élevé que celui de la formule).

Comment se fait cette réduction si remarquable du nombre des germes? Est-ce simplement par la traversée de la couche de sable, et comme pour la filtration naturelle dans le trajet compliqué que les molécules aqueuses doivent suivre entre les grains? Non, — puisque, comme chacun sait, quand le sable est entièrement neuf ou même qu'on vient d'enlever la couche supérieure encrassée, il passe un grand nombre de germes et le filtre fonctionne très mal (ce qui a conduit à l'habitude de laisser stationner tout d'abord l'eau brute sur le filtre pendant quelques heures avant d'ouvrir l'écoulement, puis de rejeter les premiers produits du filtre avant de le mettre en service). C'est donc qu'il intervient un autre phénomène, et ce phénomène c'est la formation à la surface du sable d'une membrane feutrée, constituée par l'agglomération de particules vaseuses et de corpuscules vivants (algues et bactéries); l'art du filtrage consiste principalement à savoir respecter cette membrane. (Ce n'est pas à dire cependant que la finesse du sable et l'épaisseur de la couche n'aient aucun rôle dans la réduction du nombre des germes : à Lawrence, on a démontré qu'une épaisseur de 1^m,20 à 1^m,50 de sable très fin, d'un grain de 0^{mm},10 à 0^{mm},14 ne laissait pas passer les germes, même à l'état neuf; seulement si on augmente trop la finesse du sable, le débit diminue tellement que la chose cesse d'être pratique. Toutefois la présence d'une couche épaisse de sable assez fin sous la membrane est une excellente garantie pour les cas où celle-ci se rompt accidentellement et on doit la recommander).

L'étude des membranes et des phénomènes biologiques qui s'y passent demande des connaissances spéciales, et n'a été entreprise que depuis quelques années; elle a cependant une très sérieuse importance, car elle rend compte non seulement de l'effet utile des filtres, mais encore de nombreuses particularités sur la couleur et l'odeur ⁽²⁾ de l'eau, l'influence des saisons, etc. Les Américains ont commencé dans cette voie (toujours le Board of Health du Massachusetts), et Whipple

(1) Rappelons que un million de gallons U. S. = 3 785 m³, et qu'un acre = 4 047 m²; le pouce (*inch*) = 0^m,0254.

(2) Cette couleur et cette odeur proviennent généralement des algues flottantes, vivantes ou plutôt mortes; l'odeur provient de l'huile essentielle contenue dans les corps cellulaires de certaines espèces (*Anabaena*, *Asterionella*, etc.).

dirige un laboratoire biologique à Mount Prospect ; nous devons signaler le bel ouvrage tout récent de ce savant : « The microscopy of drinking water » où l'on trouve de très nombreux et précieux renseignements. (Voir également une étude plus récente encore du même auteur sur les effets de la présence d'*Asterionella* en grande quantité dans l'eau : on y trouve fréquemment plus de 1000 de ces diatomées par centimètre cube et elles peuvent donner une odeur prononcée.)

A Hamburg, le D^r Strohmeyer (voir : Die Algenflora der Hamburger Wasserwerkes, 1897) a examiné pendant une année entière les membranes des filtres mis en nettoyage et a déterminé les espèces et les variations de la flore des algues : il n'a pas trouvé moins de 160 espèces (46 chlorophycées, 91 bacillariacées et 23 phycochromacées). Les chlorophycées sont surtout abondantes en été, les phycochromacées pendant les plus fortes chaleurs, tandis que les bacillariacées dominent au printemps et à l'automne et qu'en hiver il ne reste guère que les diatomées ; chaque espèce a de même sa période de prédilection, mais on comprend que nous ne puissions suivre l'auteur dans toute son étude. Ajoutons seulement qu'il a reconnu l'importance de la végétation des algues, surtout des bacillariacées, pour obstruer les vides entre les grains de sable et permettre dès lors la formation rapide de la pellicule qui assure au filtre un bon fonctionnement ; de plus, il a démontré que les algues vertes (à chlorophylle) en se développant détruisent les bactéries et empêchent leur pullulation. Pour ces deux raisons, Strohmeyer recommande les filtres découverts, qui grâce à la lumière et au soleil sont bien plus favorables que des fosses couvertes à la végétation des algues.

A Anvers, M. Kemna a étudié également la « Biologie du filtrage au sable », et il vient de publier un article très intéressant qui porte ce titre dans le *Bulletin de la Société belge de Géologie*, mars 1900. Comme à Hamburg, il a trouvé une certaine régularité dans l'apparition des espèces ; de janvier à mai on a surtout *Fragilaria* et *Melosira* avec quelques *Synedra* ; à partir de mai, *Cyclotella* devient très abondante ; puis en août *Oscillaria*, *Coccolodiscus* et *Protococcus* remplacent les diatomées, etc. M. Kemna attire fortement l'attention sur les algues flottantes : elles doivent leur faible densité à la présence de gouttelettes d'huile dans leur protoplasme ou à des bulles de gaz (dégagement d'oxygène provenant de la décomposition de l'acide carbonique). Tandis que certaines algues, comme *Hydrodictyon*, reposent sur le fond et dressent leurs filaments vers le haut, on a un feu-

trage très propice à la filtration ; mais si pour une raison ou pour une autre, elles remontent tout d'un coup en paquet vers la surface, elles laissent de ce fait le sable à nu, et les bactéries passent par cet endroit du filtre jusqu'à formation d'une nouvelle pellicule. Enfin, quand certaines espèces meurent, comme *Anabaena* et *Aphanizomenon*, elles se décomposent rapidement et donnent à l'eau un goût désagréable, en même temps que le réactif de Nessler y décèle de l'ammoniaque. Il convient également de porter son attention sur la faune des eaux : les petits crustacés (*Daphnia* surtout), qui peuvent devenir assez nombreux pour exiger l'emploi de tamis en toile métallique ; les insectes, qui, tels que les larves aquatiques de *Chironomus* ou l'adulte de *Corixa*, peuvent venir troubler gravement la surface de la membrane et du sable ; les petits poissons, épinoches et anguilles qui peuvent produire le même résultat.

Tout ceci nous montre que le directeur d'une installation de filtrage au sable doit être doublé non seulement d'un bactériologiste, mais encore d'un botaniste et d'un zoologiste micrographe ; à côté des filtres, il faut le laboratoire.

Perfectionnements et autres modes d'opération.

Double filtration de Goetze.— Goetze a proposé et appliqué à Brème (modèle et dessin exposés à Paris) un système dit de la double filtration. Il consiste essentiellement à faire passer au moyen d'un siphon dans un bassin en plein fonctionnement l'eau (trop chargée de bactéries) que fournit un filtre après son nettoyage et son renouvellement, et que sans cette disposition on devrait rejeter complètement. Dans ce but, il faut que tous les filtres soient reliés entre eux par les siphons, de manière à ce qu'on puisse amener le produit de l'un d'eux sur l'un quelconque des voisins.

En cas de hautes eaux des rivières, fournissant des eaux brutes trop chargées en bactéries pour donner un bon résultat par une simple filtration, on peut généraliser le système Goetze et filtrer une seconde fois l'eau sortant d'un premier filtre : le résultat ne peut être qu'excellent.

Système des plaques filtrantes, dit système Fischer. — Ce système qui a été appliqué à Worms, et plus récemment à Vienne, à la gare de Magdeburg, etc., a pour but de réduire notablement la place considérable qu'exigent les grands filtres à sable. Le sable est agglutiné au moyen de silicate de soude en grandes plaques de 1 m² de surface

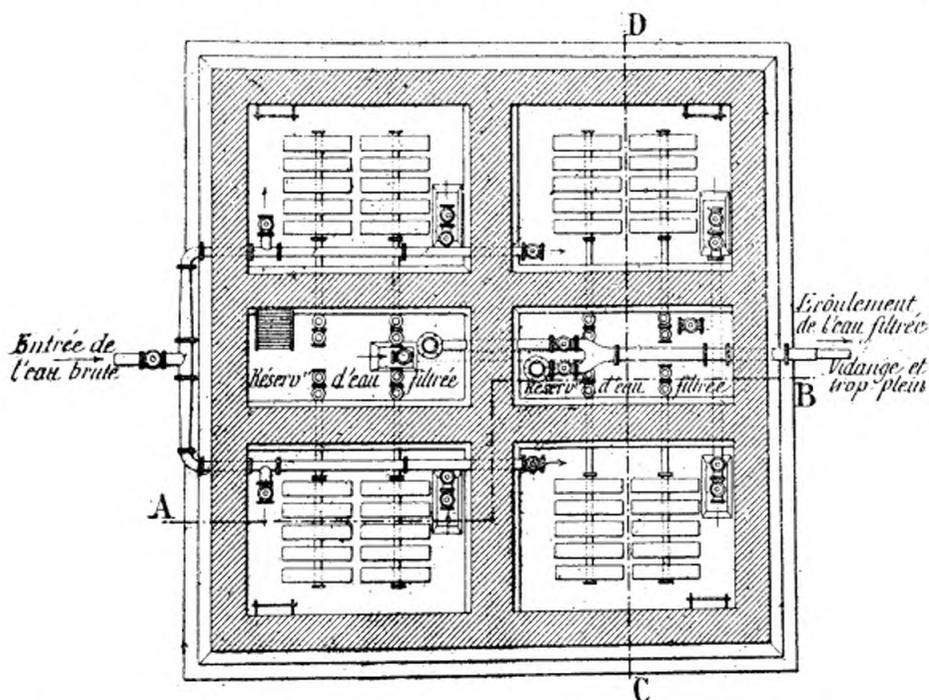


Fig. 51 a. — Plan du système Fischer (plaques filtrantes). — Installation de Worms

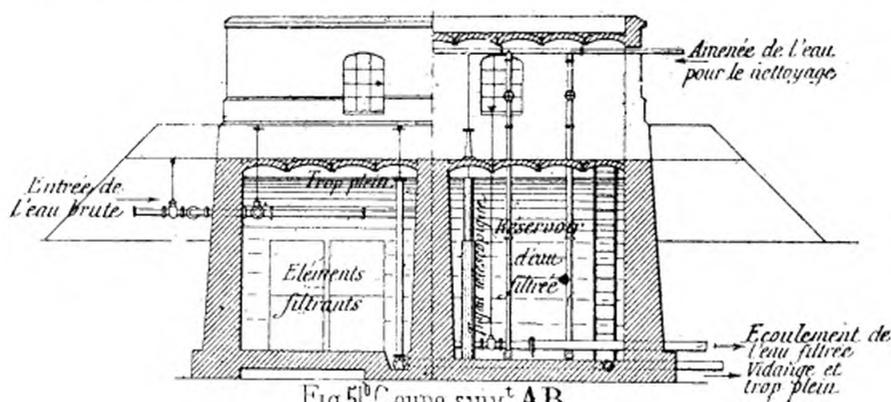


Fig 51^b Coupe suiv^t AB

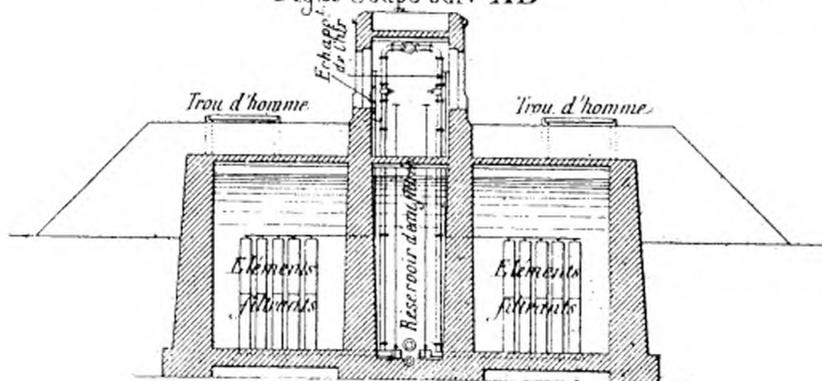


Fig 51^c Coupe suiv^t CD

Fig. 51. — Installation de Worms. — Système Fischer.

et de 0^m,10 d'épaisseur, qui sont cuites à haute température. Quatre de ces plaques, laissant entre elles un espace libre intérieur de 0^m,02,

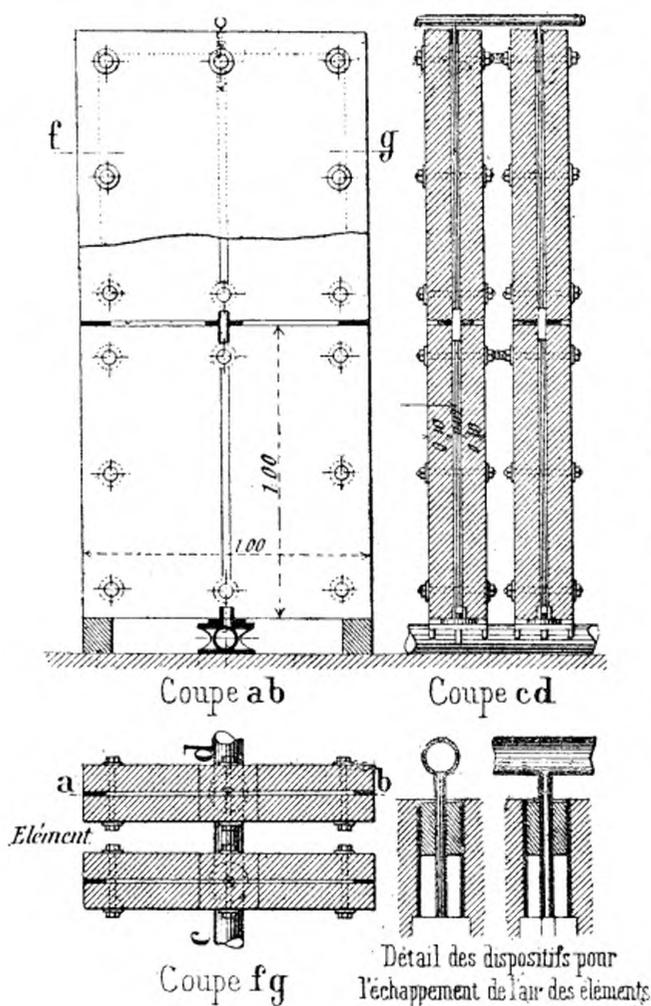


Fig. 51 d.
Détails des éléments filtrants du système Fischer (plaques filtrantes).
Installation de Worms.

sont réunies pour former un élément : l'eau passe de dehors en dedans pour gagner cet espace en traversant les plaques et se filtrant ; plusieurs éléments sont montés à la suite l'un de l'autre sur un même tuyau effluent et forment une batterie. La perte de charge et la vitesse de filtration restent semblables à ce qui se passe dans les filtres ordinaires : la réduction du nombre des germes serait aussi satisfaisante (1). La fig. 51 fait comprendre les dispositions du filtre de Worms.

Le nettoyage des surfaces verticales des plaques est relativement facile et se fait au moyen d'un courant d'eau pure en sens inverse de la filtration.

Filtration intermittente. — On a essayé sous ce nom à Lawrence un filtre qui en principe était mis au repos tous les jours, de manière

(1) Il n'en a pas été ainsi toutefois dans les expériences de Pittsburgh (Etats-Unis en 1898 : d'après Knowles, les plaques n'auraient pas sensiblement réduit le nombre des germes au delà de ce que faisait la sédimentation aidée des coagulants ; il est probable que l'emploi des coagulants ne s'associe pas bien au fonctionnement des plaques Fischer-Peters. De plus le prix de revient de ces dernières rendait l'installation très coûteuse en Amérique ; enfin plusieurs plaques se sont cassées facilement.

à assurer l'aération des couches filtrantes et le contact de l'eau et de l'air dans les pores du sable. Ce filtre avait une surface de 2 acres et demi, et une épaisseur de 4 pieds (1) et demi de sable et gravier (le sable était de 0^{mm},25 et 0^{mm},30 de taille effective) : le fond n'était pas étanche, et le dessus du sable au lieu d'être plan était disposé en valonnements de 30 pieds de large et 1 pied de profondeur, afin de faciliter l'écoulement de l'eau. Les frais de premier établissement avaient été beaucoup moindres que ceux d'un filtre continu de même surface : seulement 67 000 dollars, soit 27 000 dollars par acre.

L'étude de ce système a montré que l'oxydation des matières organiques et la nitrification s'y faisaient beaucoup mieux que dans le filtre continu, mais que la réduction du nombre des germes — ce qui est le principal but de la filtration — s'y faisait moins bien. Cela se comprend par ce fait que pour obtenir le même débit, il faut forcer la vitesse de filtration afin de regagner le temps perdu par le repos journalier du filtre : de plus nous nous demandons si ces alternatives incessantes de submersion et d'aération respectent la membrane, et si la plus grande partie de l'effet utile du filtre n'est pas due à la finesse du sable employé à Lawrence et à l'épaisseur de la couche : on se priverait ainsi de l'aide si utile de la pellicule feutrée. Aussi ce système ne s'est pas développé pour les eaux potables : M. Allen Hazen pense qu'il conviendrait surtout pour les eaux de rivière très chargées en bactéries et en matières organiques, mais nous savons que les filtres continus réussissent bien, même dans ce cas. Pour nous, nous estimons que la filtration intermittente serait surtout convenable pour la purification, qui peut rester assez grossière, des eaux d'égout, l'action alternative de l'air devant alors avoir une grande importance pour la destruction des matières organiques (2).

Prix de revient du filtrage au sable. — Ci-dessous quelques chiffres à titre de simple indication.

Le premier établissement des grands filtres à sable a coûté à :

Londres, filtres découverts, de 30 à 50 fr. par m ² utile ;	
Hambourg	41 fr. 25 —

(1) Un pied anglais (*foot*) = 0,305.

(2) Signalons encore qu'à Pittsburgh, Allen Hazen a essayé sur la demande de Maignen, de recouvrir le sable des bassins filtrants ordinaires d'une toile d'amianté : comme qualité de l'effluent le résultat n'a pas été bon ; on a tout au plus diminué quelque peu la fréquence du nettoyage.

Neuilly-s-Marne.	58 fr. 00	par m ² utile;
Berlin, filtres voûtés,	85 fr. 00	—
Zurich id.	120 fr. 00	—
Pougheepsie, N.Y. filtres dé-		
couverts	95 fr. 00	—
Hudson N.Y.	91 fr. 00	—

Disons encore pour fixer les idées qu'à Albany, où Allen Hazen a installé en 1899 huit bassins filtrants couverts, réunissant les derniers perfectionnements des filtres allemands aux commodités des filtres anglais, les prix de revient ont été les suivants :

1 Bassin de sédimentation de 183 ^m /116 ^m , contenant 55 260 ^m ³	environ	300 000 fr.
8 Bassins filtrants couverts, de chacun 2833 ^m ² , don- nant chacun par jour 7 948 ^m ³ (ensemble)		1 275 000
1 Réservoir d'eau filtrée d'une contenance de 2 270 ^m ³		45 000
Total pour un débit utile de 56 000 ^m ³ d'eau filtrée par jour		1 620 000 fr.

soit 71 fr. 50 par mètre carré utile de filtre. Mais à cette somme, il faut ajouter de 8 à 900 000 francs pour la prise d'eau, les pompes, les conduites etc., etc. Les résultats à Albany sont très bons : la réduction du nombre des germes est de 99 0/0.

Plus encore que les frais de premier établissement, les frais annuels d'exploitation des grands filtres à sable dépendent de la qualité de l'eau brute et de l'importance de l'installation. En Allemagne, la dépense d'exploitation par mètre cube d'eau filtrée, non compris l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement, varie d'ordinaire de 2 à 4 millimes : ainsi à Berlin-Stralau elle est de 3,7 millimes, tandis qu'à Berlin-Tegel elle s'est abaissée dans les dernières années à 0,75 millime. L'exploitation du filtre Fischer à Worms ne coûte que 0,7 millime par mètre cube, tandis que celle des filtres à sable ordinaires de la même ville coûte 4,4 millimes; il est juste de reconnaître que le filtre Fischer revient beaucoup plus cher d'installation que les autres. — A Londres, l'exploitation revient de 1,3 à 1,7 millime par mètre cube. — En France, l'exploitation des filtres de la Compagnie Générale des eaux a donné les résultats suivants pendant l'année 1897 :

PAR M ³ D'EAU FILTRÉE	USINE	USINE	USINE
	de	de	de
	Choisy-le-Roi	Neully	Nice
	millimes	millimes	millimes
Exploitation des filtres.	4,3	2,5	1,5
Service des machines élévatoires	2 »	1,5	0,2
Intérêt et amortissement du capital	4,7	4 »	4,3
Total.	11 »	8 »	6 »

En Amérique, les frais d'exploitation varient de 2,5 à 7 millimes par mètre cube : à l'installation d'Albany relatée ci-dessus le filtrage d'un million de gallons revient à 4,19 dollars, soit 5,5 millimes par mètre cube, y compris le fonctionnement des pompes (mais sans intérêt ni amortissement). Dans un projet que Freeman vient de dresser pour filtrer pour New-York 950 000 m³ par jour d'eau dérivée de l'Hudson (projet dont la dépense de première installation est évaluée 34 000 000 francs), les frais d'exploitation sont calculés à raison de 3 dollars par million de gallons, soit en chiffre rond 4 millimes par mètre cube.

2° *Filtres américains, dits filtres mécaniques ou filtres rapides.*
Comparaison avec les filtres à sable.

Si les filtres à sable *anglais* (ou plutôt *européens*, comme on dit de l'autre côté de l'Atlantique) ont envahi les Etats-Unis, ils sont loin d'y être admis sans discussion, et ils y rencontrent la concurrence redoutable des filtres indigènes dits *américains*, *mécaniques* ou *rapides*. Ces derniers, non contents de défendre leur terrain dans leur propre pays, menacent, en ce moment même, à la suite des expériences de Moscou, dont il sera parlé plus loin, de pénétrer en Europe : il importe donc de les étudier, et de faire une comparaison entre les deux systèmes, la question étant de la plus récente actualité et intéressant vivement tous les directeurs d'installations de filtrage.

Les filtres américains sont nés des besoins de l'industrie et notamment de l'obligation où se trouvent les papeteries d'avoir de l'eau ne contenant absolument rien en suspension. Or aux Etats-Unis, les cours d'eau, sujets à des crues énormes, sont durant une bonne partie de l'année chargés pour la plupart de grandes quantités d'une vase très fine, dont les filtres à sable anglais sont souvent impuissants à arrêter

les particules les plus ténues : de là l'idée d'employer les coagulants, ou précipitants chimiques, notamment l'alun, pour obtenir la sédimentation rapide des matières en suspension, puis une couche de sable pour retenir ces matières à la surface. Tel est le principe commun de tous les appareils dont nous allons parler

C'est Hyatt qui imagina le premier filtre de ce genre, le « *multifold filter* » en 1882-83 : il fut fabriqué et vendu par la Newark Filtering C^o, et dès 1887, une vingtaine de villes (Somerville, Atlanta, Charleston, Eau Claire, Greenwich, Raleigh, Wichita, Owego, Los Angeles etc., etc.) de moyenne importance l'avaient adopté. Il fut bientôt concurrencé par le *National filter* de la National Water Purifying C^o, lequel ayant quelques avantages sur le premier se répandit également bien (Terre Haute, Narragansett Pier, Wakefield, Caldwell, Chattanooga etc.).

Finalement en 1887 les deux Compagnies rivales fusionnèrent et combinèrent leurs appareils en un autre, le *New-York filter* (Voir à la fig. 52 le type horizontal et sous pression) : ce filtre eut un grand succès car en 1897, soit dix ans après, 75 villes l'utilisaient, sans compter de nombreuses installations privées. Cependant deux autres Compagnies, la Jewell Filter C^o (Chicago) et la Cumberland Mfg. C^o (Boston) exploitaient respectivement les filtres Jewell et Warren (Voir les fig. 53 et 54) qui avaient également beaucoup d'applications ; il en était de même de la Western Filter C^o. Aussi il y a trois ou quatre ans, après de longues luttes judiciaires relativement aux brevets, une nouvelle fusion générale de toutes ces Compagnies eut lieu, et aujourd'hui la New-York Filter C^o exploite ainsi les filtres Hyatt, National, Blessing, Western, New-York, Jewell et Warren. Ses appareils desservent à ce jour, plus de 140 villes de l'Union et filtrent quotidiennement pour ces villes près de 900 000 m³ d'eau.

D'autres Compagnies subsistent cependant à côté de la précédente. C'est tout d'abord la *Loomis-Manning Filter C^o*. (Philadelphie), qui s'est vu contester par la New-York Filter C^o, le droit d'ajouter un coagulant chimique : le procès ayant tourné contre elle, elle a dû se rejeter sur la double filtration. C'est ensuite la *Continental Filter C^o*, qui fait précéder les filtres de deux grands bassins de sédimentation, dans lesquels l'eau est maintenue en repos (tandis que dans les appareils de la New-York Filter C^o elle est en mouvement continu) pendant qu'on y ajoute, s'il y a lieu, le précipitant chimique : cette Compagnie emploie également la double filtration dans certains cas. On trouve ses installations dans les villes de Atlantic Highlands, Asbury Park, Louisiana,

Vincennes (Indiana), Stamford, Middletown etc. — Il faut encore citer

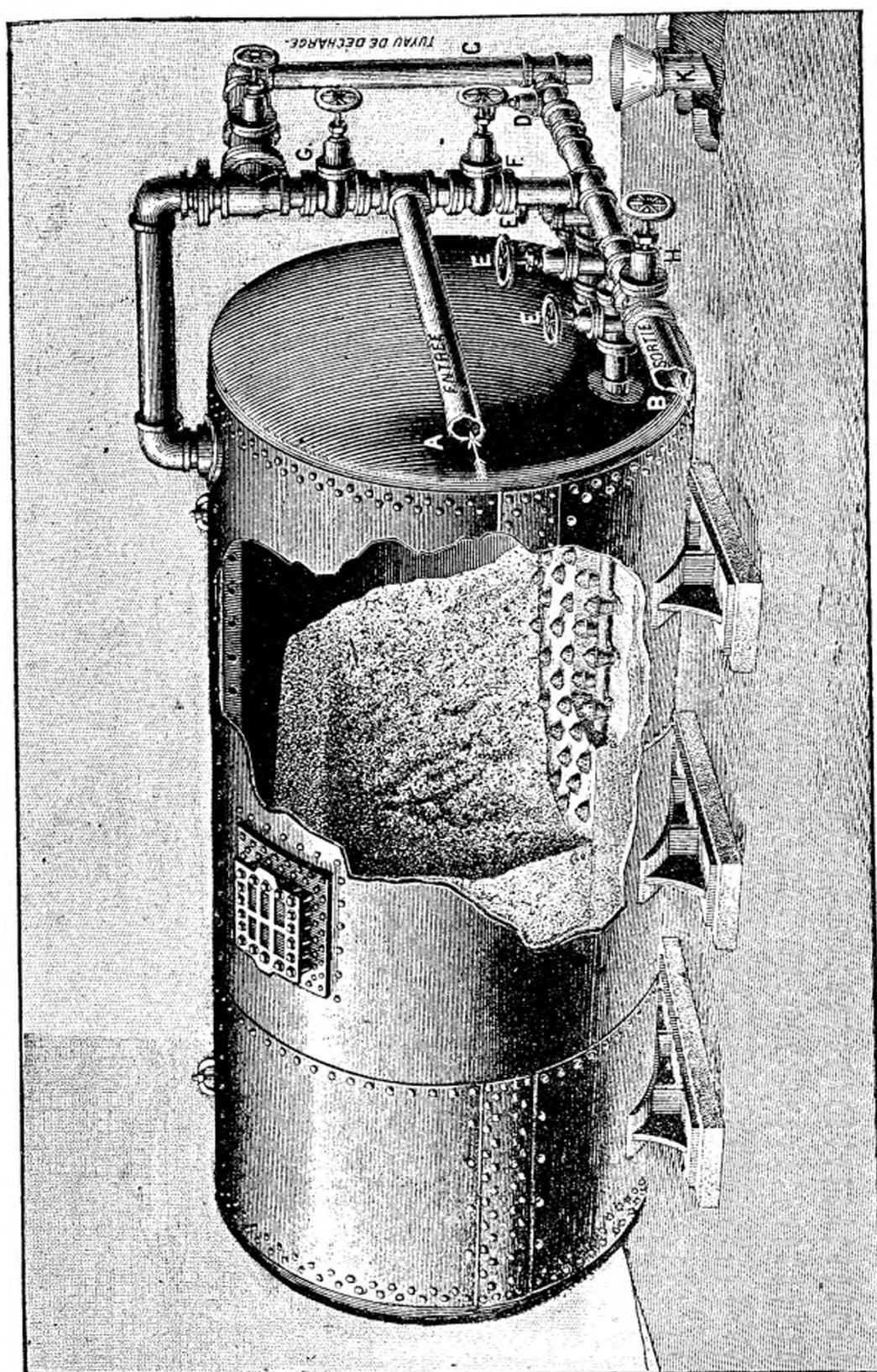


Fig. 52. -- Automatic-prossure filtre américain (filtre à sable sous pression). — Système dit New-York filter, type horizontal.

les filtres *Riddell, Torrent, Duplex, Bowden* ; puis les filtres *Cum-*

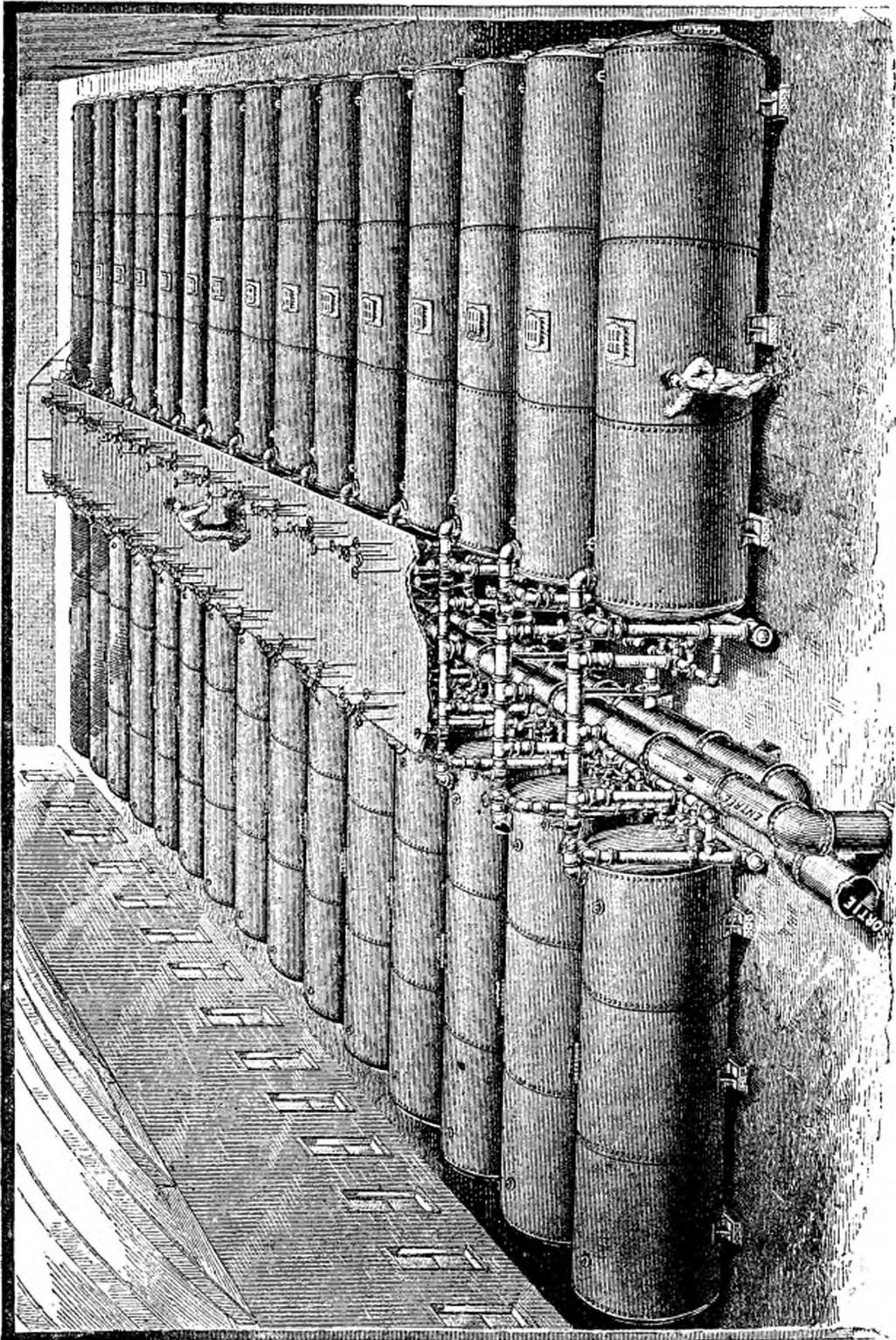


Fig. 52 b. — Vue d'une batterie de 30 filtres (chacun 8 pieds de diamètre et 30 pieds de long du même type).

mings, Weaver, Seafie, Manhattan, qui sont plutôt des appareils pour maisons particulières.

Il n'est pas difficile de décrire tous ces filtres en bloc, car, basés sur le même principe, ils ne diffèrent guère que par des détails. Ils comprennent tous essentiellement une cuve (filter-tank) en bois, fonte, tôle ou fer forgé, ayant un fond perforé d'orifices très nombreux, mais très petits, et renfermant au-dessus de ce fond les couches filtrantes, généralement en sable : dans les grands appareils le sable a une épaisseur qui varie de 0^m,60 à 1^m,50 et sa taille effective est de 0^{mm},30 à 0^{mm},50. La cuve est ouverte en haut dans les appareils sans pression (*gravity-filters*), et naturellement hermétiquement close dans ceux qui doivent travailler sous la pression habituelle des conduites d'eau (*pressure-filters*) : enfin le récipient principal, d'ordinaire cylindrique, est soit placé sur son fond, c'est-à-dire vertical, soit couché horizontalement le long d'une génératrice. Les constructeurs ont presque tous adapté leurs systèmes à toutes les conditions, c'est-à-dire qu'ils font à volonté un filtre ouvert ou fermé, vertical ou horizontal : ils en font d'ailleurs de toutes les tailles depuis le petit filtre de ménage jusqu'aux grandes cuves de plusieurs mètres de diamètre et de hauteur. Enfin, pour l'alimentation des villes, on associe généralement plusieurs appareils en batterie (voir fig. 52 *b* l'exemple d'une batterie de 30 filtres), et on fait souvent précéder les filtres d'un ou plusieurs bassins de sédimentation, comme cela se pratique pour les filtres à sable anglais.

Les filtres comportent en outre deux accessoires importants. Le premier est l'engin mécanique destiné au brassage du sable pendant les lavages fréquemment réitérés, lavages qui se font en intervertissant, par un jeu de robinets, le sens de l'écoulement, et faisant repasser ainsi par le filtre une certaine quantité d'eau filtrée, agitée alors avec le sable en mouvement, puis rejetée à l'égout. L'engin en question est d'ordinaire un agitateur à bras, chaque bras portant des palettes qu'on fait entrer dans le sable, et le tout étant animé au moment voulu d'un mouvement de rotation conduit par un manège et une force motrice quelconque (voir fig. 53 et 54). Le second accessoire est le récipient dans lequel on ajoute à l'eau le coagulant chimique, presque toujours le sulfate d'alumine que les Américains appellent vulgairement alun et qui contient 17 parties d'alumine pour 38 2/3 d'acide sulfurique : ce récipient précède les filtres et a des dimensions très variables, depuis celles des grands bassins de sédimentation jusqu'à celles des petits baquets qu'on place au-dessus des cuves et qui sont semblables à ceux qu'on emploie en Europe dans les épurateurs industriels.

D'après de nombreuses expériences, les filtres américains fonction-

nant sans l'addition préalable d'un coagulant ne réduisent que dans une proportion tout à fait insuffisante (de 10 à 50 0/0 d'après Allen Hazen) le nombre des germes : il n'en est plus de même avec l'alun, et la réduction peut atteindre normalement 97 et 98 0/0. L'alun est donc indispensable, et il convient de le mélanger à l'eau d'une manière bien régulière et autant que possible automatique, toute faute d'attention à ce sujet se traduisant par un passage de bactéries en grand nombre. Mais comment calculer la dose d'alun nécessaire dans chaque cas ? Rappelons d'abord comment ce corps agit.

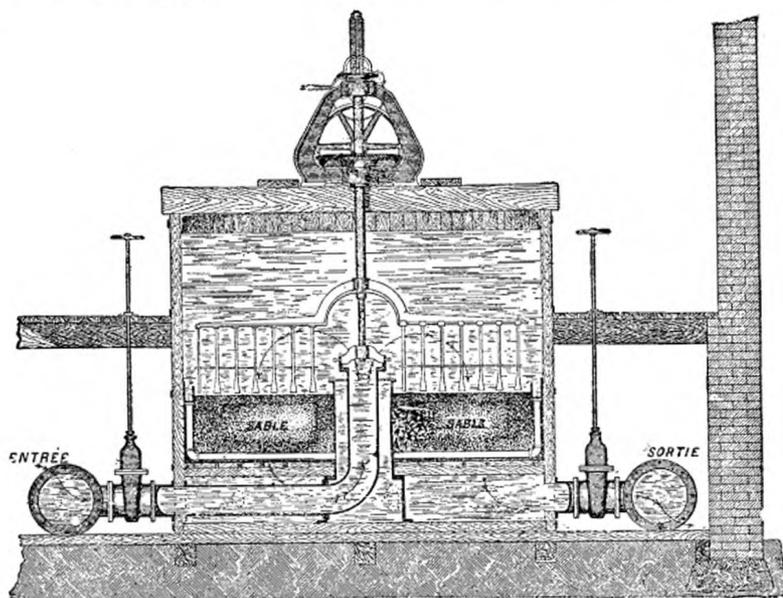


Fig. 53. — Filtre américain à sable et ouvert (avec l'agitateur et sa machine).
Système Warren.

En présence des sels terreux de l'eau, l'alun ou le sulfate d'alumine se décompose : l'acide sulfurique s'unit à la chaux et à la magnésie (ou, s'il est en excès sur ces bases, reste libre dans l'eau, ce qui est à éviter puisqu'il serait corrosif pour les tuyaux) ; pendant ce temps l'alumine mise en liberté sous forme d'une masse floconneuse se précipite lentement en produisant un collage à la manière du blanc d'œuf, entraîne avec elle une bonne partie des microbes et autres corpuscules en suspension. De plus ce précipité gélatineux se déposant sur le sable des filtres rapides y jouerait le rôle de la membrane des filtres lents.

Ceci posé, on conçoit qu'il faille un certain minimum d'alumine pour produire cet effet de précipitation et d'enrobage. Or, de deux choses

l'une : ou bien la teneur de l'eau en sels terreux est telle que la quantité d'acide sulfurique mise en liberté par la décomposition de ce minimum d'alun soit entièrement saturée par les bases, et dans ce cas il est clair que le minimum sera suffisant mais non nuisible, et que même on pourra le dépasser pour obtenir un effet de coagulation plus puissant ; ou bien il n'y a pas assez de chaux et de magnésie pour saturer tout l'acide sulfurique, et alors pour que cet acide ne reste pas en liberté, il faudra ajouter un supplément de chaux ou de soude. Ce sont donc les eaux calcaires qui sont les plus avantageuses pour les filtres américains, puisqu'elles permettent de forcer la dose d'alun et d'obtenir un meilleur effet de sédimentation. On comprend qu'il faille quelques tâtonnements pour déterminer dans chaque cas particulier la dose convenable d'alun à ajouter : elle devra varier d'ailleurs avec l'état de l'eau, son trouble etc. Le plus habituellement, on emploie un grain ⁽¹⁾ par gallon U. S., soit une partie d'alun pour 58 230 d'eau.

La vitesse de filtration de tous les filtres américains est très grande par rapport à celle des filtres anglais : au lieu des 100 mm à l'heure de ces derniers, on a ici 3^m,80 à 5^m,10, correspondant à un débit de 96 à 130 millions de gallons U. S. par acre et par jour, ou encore de 110 m³ en moyenne par mètre carré et par jour. C'est de 37 à 50 fois plus que pour les filtres anglais, ce qui donne aux filtres américains le grand avantage d'exiger pour un même débit une place réduite à proportion, c'est-à-dire très faible. Cet avantage est encore bien plus sérieux dans les pays froids, où il faudrait employer des filtres couverts, très onéreux à grande surface ; il est au contraire facile de chauffer les locaux où on installe les filtres rapides.

Le nettoyage des filtres américains doit naturellement se faire d'autant plus fréquemment que l'eau traitée est plus chargée de matières à retenir. Nous savons déjà comment on opère : le sable est lavé en entier dans l'appareil même, ce qui exige environ 5 0/0 de l'eau filtrée, ainsi perdue. Le nettoyage, qui doit être au moins quotidien, ne demande que 10 à 20 minutes, et est beaucoup plus facile et beaucoup moins onéreux que dans les grands filtres à sable ordinaires. A la remise en marche, il faut, comme dans ces derniers, perdre les premières quantités d'eau qui passent, jusqu'à ce que le filtre soit reconstitué ; mais cela ne demande que peu de temps et la perte de ce chef ne dépasse pas 3 0/0 de l'eau filtrée totale.

(1) Le grain vaut 0,0648 gramme, soit 65 milligrammes, et un grain par gallon fait 17,1 grammes par mètre cube.

Enfin nous ne parlerons pas des détails des conduites, robinets, compteurs, appareils de réglage et de niveau annexés aux appareils : tout cela est facile à imaginer.

Après cette description d'ensemble, nous nous bornerons à donner en quelques mots le caractère distinctif des filtres usités aux Etats-Unis.

Il est inutile de décrire les filtres relativement anciens Hyatt, National, Blessing et Western que la *New-York Filter Co.*, ne construit plus aujourd'hui.

Le *New-York Filter* (combinaison de l'Hyatt et du National) est très simple. Le filtre ouvert se fait d'ordinaire en bois, les filtres sous pression en tôle rivée (voir le type horizontal fig. 52). La couche de sable est parfois recouverte d'une couche de coke. Sur le fond la tuyauterie d'évacuation de l'eau filtrée porte pour la recueillir un grand nombre de tubulures en forme de champignons (cone-valve) dont le dessus est perforé de beaucoup de petits trous. Dans le type représenté il n'y a pas d'appareil agitateur pour remuer le sable pendant le lavage : celui-ci se fait par un simple renversement du courant. Pour cela, il suffit de fermer le robinet G pour que, F restant également fermé, l'eau brute cesse d'arriver dans l'appareil, tandis que l'eau filtrée revenant avec la pression du réservoir par les robinets H, E, E, E et les cone-valves, traverse les couches filtrantes de bas en haut, entraîne les saletés déposées sur et dans ces couches et va ressortir par le haut de l'appareil et le tuyau de décharge : l'ouverture de F et la fermeture de H, permettent aussi de faire le lavage — ou mieux un premier lavage complété ensuite à l'eau filtrée — avec l'eau brute.

Le *Warren Filter*, dont la fig. 53 montre le type vertical ouvert, reçoit l'eau brute par un tuyau vertical ascendant : la couche de sable a 0^m,65 d'épaisseur et repose sur un fond en cuivre perforé de petits trous. L'appareil agitateur s'abaisse au moment du lavage, de manière à ce que ses palettes pénètrent presque entièrement dans le sable, et pendant la rotation l'eau filtrée revient en sens inverse des flèches. La sédimentation et l'addition automatique d'alun se font dans un bassin spécial, où l'eau séjourne de 30 à 40 minutes : la précipitation est facilitée par l'agitation continue de l'eau au moyen d'un moulinet.

Le *Jewell Filter*, représenté avec ses accessoires fig. 54 (type ouvert), diffère principalement du précédent en ce qu'il comporte une double cuve, la cuve intérieure constituant le filtre proprement dit, et l'espace libre entre les fonds et les parois des deux cuves emboîtées l'une dans l'autre faisant l'office de bassin de sédimentation : le fond de la cuve du filtre porte un véritable quadrillage de petits tuyaux drainants avec tubulures et orifices nombreux. L'installation de la ville de Lorain (Ohio) comporte six appareils de ce genre, ayant chacun 5^m,70 de diamètre et pouvant donner ensemble 11350 m³ d'eau filtrée par jour. A Wilkes Barre (Pennsylvanie) les parois et les fonds sont en tôle rivée : il y a vingt appareils de 5^m,49 de diamètre qui fournissent ensemble 53000 m³ par jour. Le type sous pression est en fer : l'horizontal est un grand cylindre couché contenant intérieurement deux ou trois cuves à axe vertical ayant chacune leur engin mécanique agitateur.

Dans le *Riddell Filter*, comme dans le Warren, l'eau brute monte par un tube ascendant intérieur, mais elle se répand dans le filtre par l'intermédiaire de huit bras disposés en rayons et perforés d'une multitude de petits trous qui éparpillent l'eau en minces filets. Ces bras sont portés par un tube vertical qui, grâce à un piston fixé à sa partie supérieure, peut se mouvoir à volonté du haut en bas ou de bas en haut en glissant dans un autre tube concentrique, dans lequel le jeu d'un robinet à quatre voies permet d'exercer la pression nécessaire au mouvement sur une face ou l'autre du piston. Les bras radiaux, d'abord situés au-dessus de la surface du sable, sont descendus par étapes successives dans l'intérieur de la couche filtrante au fur et à mesure de la diminution du débit (ou de l'accroissement de la perte de charge, laquelle est mesurée par la

différence de pression de l'eau entrante et de l'eau effluente). Quand les bras sont au bas de la cuve, il faut procéder au nettoyage; ce nettoyage s'opère en faisant passer l'eau de lavage sous pression par les orifices des bras radiaux, pendant que ceux-ci sont remontés lentement en remuant ou bouleversant les couches de sable. Le nettoyage ne demanderait pas plus de cinq minutes.

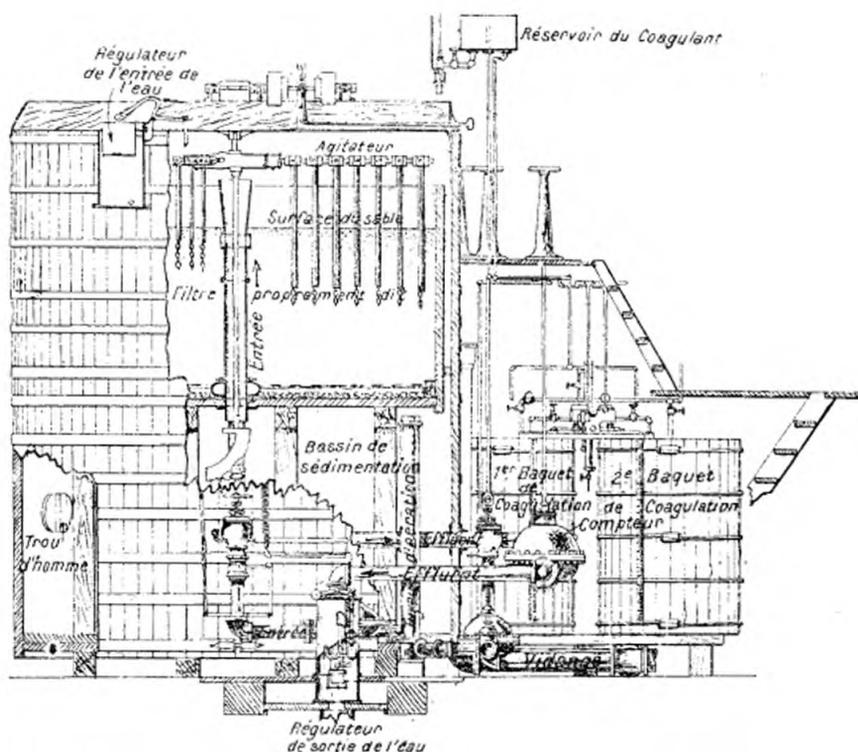


Fig. 54. — Jewell Filter avec ses accessoires (type ouvert).

Le *Torrent Filter* est semblable aussi au Warren, mais sans l'appareil agitateur. Au moment du lavage du sable, on insuffle au bas de la masse une grande quantité d'air sous forte pression, ce qui, outre la séparation des grains de sable, assurerait l'oxydation des matières à rejeter.

Les appareils de la *Continental Filter Co*, que nous connaissons déjà comportent également des moyens d'insufflation analogues, pour remplacer l'agitateur. Un « aerator » est ainsi annexé au double cylindre par lequel cette Compagnie réalise, en bon nombre de cas, la double filtration.

Le filtre *Loomis-Manning* est aussi actuellement à double filtration. La partie inférieure de la couche filtrante est du *polarite* (voir plus loin page 185 la composition de ce corps) et la partie supérieure du sable fin. Au-dessus de ce dernier est une plaque perforée de trous assez gros pour laisser passer le sable; cette plaque qui sépare le cylindre en deux moitiés d'égale hauteur sert à diviser la masse sableuse, lorsque pour le nettoyage on produit un violent courant d'eau de bas en haut. Des robinets très ingénieux dus à Manning permettent de faire toutes les combinaisons désirables.

Le filtre *Cummings* est aussi un filtre double: la matière filtrante est du charbon animal. Comme les suivants, il n'est plus destiné qu'aux établissements particuliers.

La *Weaver-Filter Co* (Philadelphie) construit plusieurs types, le plus souvent à double filtration. Le type le plus intéressant consiste en une superposition de trois sections formant en réalité trois filtres superposés, séparés les uns des autres par des plaques perforées : la partie supérieure est remplie de sable et de polarite, les deux autres de charbon animal. Le lavage du compartiment supérieur doit se faire fréquemment, celui du compartiment médian seulement une fois par mois, et celui de l'inférieur tous les deux mois : ces lavages se font naturellement en produisant un courant de bas en haut.

Le nouveau *filtre Manhattan* (New-York) ressemble beaucoup à un petit filtre Continental.

Le *filtre Scaife* (Pittsburg), également nouveau, est aussi du même genre ; les couches filtrantes sont en allant de bas en haut du gravier, du granit cassé finement, du sable et du charbon animal.

Enfin, le *filtre Gerson* à double filtration (deux cylindres accouplés pour chaque filtration) se rapproche beaucoup des appareils ci-dessus indiqués. Les matériaux employés dans les cylindres sont divers : pierre ponce, sable et gravier, charbon, éponges même. Le passage de l'eau se fait de bas en haut : le fond perforé est mobile à la façon d'un piston, de sorte que pendant le lavage (l'eau coule alors de haut en bas) on lui imprime des mouvements qui facilitent l'opération ; de plus les doubles cylindres sont suspendus autour d'un axe et on leur imprime un mouvement de rotation pour secouer le sable.

Maintenant que nous connaissons les filtres rapides, il faut savoir ce qu'ils valent au point de vue hygiénique. Or ce n'est que dans ces toutes dernières années que les Américains se sont préoccupés de ce côté de la question : en revanche plusieurs villes de l'Union et en dernier lieu Moscou, au moment de choisir entre les filtres lents européens et les filtres indigènes, viennent de faire ou font encore des expériences comparatives prolongées pendant plusieurs mois et surveillées par des savants consciencieux, en sorte que la question se trouve aujourd'hui quelque peu élucidée. Bien que plusieurs expériences soient encore en cours, il importe donc de citer celles qui ont déjà donné des résultats et d'en tirer des conclusions.

I. — *Expériences de Providence* (1893-94) : rapport de E.-B. Weston (1896) — La ville de Providence puisait son eau au *Jawtuaet river*, en un point où elle était tellement contaminée par les égouts qu'il fallut songer soit à remonter très loin la prise, ce qui eût été fort onéreux, soit à filtrer l'eau. On fit des essais en employant l'alun avec un filtre Morrison (semblable aux Jewell, mais sans double paroi) de 4^m,30 de haut et 0^m,76 de diamètre, contenant une couche de sable de 0^m,865 (grosseur du grain de 0^{mm},6) : la vitesse de filtration était de 120 m³ par mètre carré et par jour, et la réduction du nombre de germes atteignit 98,6 0/0. La perte de charge due au passage dans le filtre était de 0^m,76. Le nettoyage demandait onze minutes et on perdait pour le faire 5 0/0 de l'eau filtrée ; 3 0/0 était perdue pendant le temps nécessaire à la reprise du bon fonctionnement. Les frais d'exploitation furent évalués à 5,69 dollars par million de gallons, soit 8 millimes par mètre cube : on employait 0,6 grain d'alun par gallon, soit 10 milligrammes par litre.

D'après cela, un projet de 60 grands filtres en fer fut estimé 245 172 dollars, et le même nombre de filtres en bois 229 452 dollars ; des filtres lents auraient coûté 525 000 dollars couverts, et 291 220 dollars découverts, et de plus n'auraient

guère pu être établis que dans des terrains submersibles. On devait donc donner la préférence aux filtres rapides.

II. — *Résultats de Lorain* : rapport d'Allen Hazen (1897). On pompe l'eau pour cette ville dans le lac Erié à 336 m de la rive, mais elle est assez fortement souillée. On installa six filtres Jewell de 5^m,20 de diamètre, avec une couche de sable de 1^m,20 (grosseur du grain 0^{mm},4); ils donnèrent 93^m,5 par mètre carré de surface filtrante, soit en tout 1 200 m³ par jour. On essaya plusieurs doses d'alun : avec une quantité comprise entre deux et quatre grains par gallon, on obtint une réduction bactérienne de 97,5 à 98,3 0/0; quand la dose resta comprise entre 0,8 grain et 1,7, la réduction baissa entre 86,3 et 90,9 0/0.

III. — *Expériences de Louisville* (1895-96) : rapport et ouvrage très important de G.-W. Fuller (1897).

Ici, les eaux de l'Ohio sont souvent (surtout au printemps) chargées de particules très fines de vase, et cette circonstance (qui avait fait échouer quelques années auparavant une installation de filtrage des eaux du Mississippi à la Nouvelle-Orléans) conduisit à créer un bassin de sédimentation en avant des filtres. Les filtres d'essai étaient au nombre de quatre : 1 Warren, 1 Jewell et 2 Western, l'un ouvert et l'autre sous pression. On reconnut que les meilleurs résultats étaient obtenus avec du sable de 0^{mm},35 de taille effective, une couche d'au moins 0^m,76 d'épaisseur et une pression de 3 m au plus. Les grands appareils travaillent mieux que les petits, et le Jewell était le plus facile à nettoyer. De temps en temps, il faut du reste laver et désinfecter complètement les filtres par la vapeur et une lessive de soude. Les filtres en bois donnent parfois un mauvais goût à l'eau et le métal est préférable.

La sédimentation et l'alunage préalables avaient une importance extrême à certaines périodes : c'est grâce à leur bonne exécution qu'on a pu avoir en tout temps une réduction du nombre des bactéries de 97,4 (pour le Western sous pression) à 98,5 0/0 (pour le Warren), et c'est également ces deux opérations préliminaires qui péchaient dans les autres installations où on ne réussissait pas. La dose de sulfate d'alumine devait varier énormément avec l'état de l'eau : depuis 1,40 à 1,80 grain par gallon (soit 18,9 à 30,96 grammes par mètre cube) en eau assez claire jusqu'à 40,20 ou 40,86 grains par gallon (soit 175,4 ou 186,8 grammes par mètre cube) en eau trouble, soit en moyenne près de 3 grains par gallon ou 50 grammes par mètre cube. Nous sommes loin des doses de Lorain et de Providence. Les eaux de l'Ohio sont assez calcaires pour que ces doses ne laissent pas d'acide sulfurique non combiné : cependant les cuves dans lesquelles se fait le mélange du coagulant avec l'eau ne doivent pas être en fer (on recommande le bronze d'aluminium), et les conduites d'eau filtrée doivent être elles-mêmes protégées par un enduit très soigné.

Fuller insiste sur la nécessité d'annexer un laboratoire de chimie et de bactériologie à toute installation de filtrage, afin de pouvoir suivre l'eau constamment, et de pouvoir calculer à tout moment la dose d'alun à employer : elle a une telle influence sur le coût de l'exploitation que celui-ci variait suivant l'état de l'eau de 1 à 35 millimes par mètre cube d'eau filtrée (1). Quant aux filtres à sable européens, ils réussissaient mal avec des eaux aussi troubles et sont en ce cas inférieurs aux américains.

IV. — *Expériences de Cincinnati* (1898) : rapport de Fuller (1899).

Fuller fit des expériences du même genre à Cincinnati en 1898, toujours avec les eaux de l'Ohio. On avait quatre bassins de sédimentation de 378 m³ chacun, et quinze filtres de chacun 40^m,12 de surface filtrante, ainsi que des bassins à sable anglais.

Fuller reconnut que les filtres européens sont les meilleurs, tant que l'eau est surtout contaminée par des substances organiques et qu'elle reste peu chargée

(1) L'alun coûte en Amérique environ 0 fr. 15 par kilogramme.

en fines particules terreuses (ce qui est précisément le cas pour les fleuves d'Europe); mais il n'en est plus de même pour les eaux qui deviennent souvent très troubles et très vaseuses (comme celles du Mississippi et de ses grands affluents).

Il fut établi qu'une teneur de 125 parties de matières en suspension pour un million de parties d'eau était la limite au-dessus de laquelle on ne pouvait utiliser les bassins à sable, sans avoir opéré une sédimentation préalable. Or, d'après cela, il n'y aurait eu que 132 jours par an à Cincinnati pour lesquels l'Ohio aurait permis l'emploi direct des filtres européens: un repos de trois jours dans des bassins de sédimentation faisant précipiter les trois quarts des matières en suspension, les mêmes filtres n'eussent encore été utilisables, avec ce repos préalable, que pendant 200 à 230 jours. Donc ils ne pourraient servir pendant plus d'un tiers de l'année: encore par les eaux troubles laissaient-ils passer souvent plus de trente parties d'argile fine en suspension pour un million de parties d'eau, et l'encrassement très rapide du sable obligeait-il à un nettoyage fréquent non seulement de la couche supérieure, mais encore de la masse entière pénétrée profondément par la vase. On ne pouvait songer, sans arriver à des dépenses exagérées pour les bassins de sédimentation, à prolonger le repos au delà de trois jours: du reste les particules en suspension qui ne sont pas déposées au bout de ce temps persistent très longtemps, et il n'y a guère que les précipitants chimiques qui en viennent à bout.

On recourut donc comme à Louisville au sulfate d'alumine. Fuller essaya alors deux méthodes pour son emploi. L'une (méthode anglaise modifiée) consiste à faire l'alunage d'abord, puis à faire passer l'eau sédimentée sur des bassins à sable ordinaires: on ajoute l'alun dans le bassin de sédimentation lui-même, d'où après repos l'eau va soit directement aux filtres, soit dans un bassin intermédiaire où se fait la précipitation. L'autre (méthode américaine) commence par laisser l'eau déposer naturellement dans le bassin de sédimentation, et c'est seulement quand elle en sort qu'on ajoute l'alun pour que la précipitation des matières restantes aille se faire soit dans les filtres rapides, soit mieux encore dans un bassin intercalé sur le trajet: en tout cas, il faut que l'eau contienne encore une certaine quantité du coagulum quand elle arrive sur les filtres américains (qui en ont besoin, comme nous savons, pour que la couche supérieure du sable acquière les propriétés voulues). Les deux méthodes réussissent bien au point de vue bactériologique (réduction de près de 99 0/0). La méthode anglaise modifiée coûte plus cher de première installation que l'américaine dans la proportion de 34,4 à 26,7: en revanche les frais d'exploitation sont plus élevés avec les filtres rapides dans une proportion à peu près inverse, en sorte que le prix de revient total du mètre cube d'eau filtrée (qui est de 13 millimes, soit 40 dollars pour un million de gallons) est sensiblement le même.

V. — *Expériences d'East Providence*: rapport de E.-B. Weston (1899). Ici les eaux traitées étaient relativement pures, et pour la précipitation il a suffi de 0,75 à 1,25 grain d'alun par gallon. Le filtre d'essai était un Jewell ouvert, donnant par jour 1892 m³, à raison de 117 m³ par mètre carré de surface filtrante. On obtint une réduction bactérienne de 99,2 0/0.

VI. — *Expériences de Pittsburgh* (1897-98): rapport d'Allen Hazen (1899), et article de Knowles in *Journal of the New England Water works association* (décembre 1900).

A Pittsburgh, il s'agit des eaux, très contaminées par les matières organiques, du fleuve Allegheny; ces eaux sont de plus assez troubles à certains moments (on les faisait alors déposer dans de grands réservoirs), et enfin elles sentent assez souvent le pétrole. Les essais portèrent sur deux bassins à sable anglais précédés d'un bassin de clarification, sur un Warren et un Jewell ouverts, ainsi

que sur le système Fischer (que nous avons dit déjà n'avoir pas donné de bons résultats).

Les filtres anglais donnèrent de très bons résultats (99 0/0 de réduction bactérienne); toutefois ils se montrèrent inférieurs aux américains pour bien clarifier l'eau dans les moments où elle était chargée de très fines particules argileuses. L'importance du bassin de clarification fut reconnue très grande. La composition chimique de l'eau était peu changée: l'ammoniaque albuminoïde était réduite de 47 0/0 et le fer de 65 0/0. La vitesse de filtration ne devait pas excéder 3 m par jour.

Le Warren et le Jewell avaient au contraire une vitesse de filtration de 90 à 120 m par jour. Le Warren, précédé d'un bassin de sédimentation d'une quarantaine de mètres cubes, avait 3^m,86 de diamètre et 2^m,59 de hauteur. Le Jewell, précisément représenté par la fig. 54, comportait en dessous de lui et entre les deux parois son bassin de sédimentation d'une capacité de 25 m³; il avait lui-même un diamètre intérieur de 3^m,66 et une hauteur de 2 m, et était précédé par deux baquets à coagulation. Le sable du Warren était d'une taille effective de 0^{mm},63 avec un coefficient d'uniformité de 1,1, et la couche avait une épaisseur de 0^m,69; dans le Jewell, la taille était plus fine (0^{mm},33 à 0^{mm},47), le coefficient d'uniformité de 1,3 à 1,7, et l'épaisseur de 1^m,42. L'addition de sulfate d'alumine varia suivant l'état de l'eau depuis 0,26 grain jusqu'à 4 grains par gallon: la moyenne fut de 1,28 grain. L'effet du coagulant sur le résultat bactériologique fut très important: en employant 0,56 grain par gallon avec une vitesse de filtration de 92 m³ par mètre carré et par jour; on avait une réduction microbienne de 93,2 0/0 seulement; en portant la dose à 1,36 grain, on obtint une réduction de 98,9 0/0: en moyenne on obtient de 97 à 98 0/0. Lorsqu'on suspendait brusquement l'addition du coagulant, on s'en apercevait 45 minutes après à la teneur bactérienne de l'effluent, qui une heure plus tard contenait moitié du nombre des germes de l'eau brute: quand on rendait le coagulant, il fallait encore deux heures pour que le filtre reprenne son efficacité. Immédiatement après chaque lavage, les filtres laissaient passer beaucoup de microbes (5 fois plus environ qu'en temps normal), et on rejetait l'eau pendant une demi-heure. Quant à la composition chimique, l'ammoniaque albuminoïde diminuait de 53 à 57 0/0; la dureté n'augmentait pas, mais l'acide sulfurique était porté de 11 milligrammes à 16 ou 18 par litre.

Allen Hazen estime que la durée d'un filtre américain peut être de 20 ans, mais il trouve que ces appareils sont susceptibles de recevoir de nombreux perfectionnements, et que dans l'avenir ils deviendront sans doute meilleurs. Ils n'ont la supériorité sur les filtres lents que dans le cas d'eaux très chargées de particules argileuses fines, et ils supposent toujours l'addition d'alun, addition qui rend leur exploitation au moins aussi coûteuse et même plus que celle des filtres lents. Ses devis pour la fourniture journalière à Pittsburgh de 283 875 m³ s'élevaient à 2 414 360 dollars pour les filtres lents ouverts⁽¹⁾, avec bassin de décantation, et à 1 641 730 dollars pour les filtres américains (côté Nord de la rivière); mais les frais d'exploitation qui seraient annuellement de 192 184 dollars dans le premier cas atteindraient 196 807 dollars dans le second. Bref comme à Pittsburgh, l'eau n'est en somme pas bien trouble, on se décida pour les filtres européens, et en mai 1900, la Ville a voté deux millions et demi de dollars pour leur installation.

VII. — *Expériences et projet de Philadelphie* (1900). — Rapport préalable de Hering, Wilson et Gray (1899).

La Ville de Philadelphie, qui ne compte pas moins de 1 300 000 habitants, dérive du Schuylkillriver environ 1 500 000 m³ d'eau par jour, mais cette eau est très souillée organiquement. Les trois savants consultés, MM. Hering, Wilson et Gray, se basant sur les résultats des expériences précédentes, proposèrent

(1) La couverture de ces filtres coûterait 375 000 dollars de plus.

l'emploi de filtres lents (avec bassins de décantation très étendus) à toutes les stations de pompage, à l'exception d'une seule où les filtres rapides paraissent préférables : pour 450 millions de gallons (1 703 000 m³) par jour, ils évaluèrent la dépense d'installation à 34 154 000 dollars et les frais annuels d'exploitation à 2972 000 dollars. En 1900, la Ville se décida à faire des expériences à la station de Spring Garden et y installa deux bassins de sédimentation, deux bassins à sable, neuf filtres américains et un laboratoire complet sous la direction de Knowles. Les résultats de ces expériences ne sont pas encore connus.

La Ville de Saint-Louis a également en 1900 voté 50 000 dollars pour faire des expériences de filtrage sur les eaux du Mississippi.

VIII. — *Expériences et projet de Washington.* — Rapport. de A. M. Miller et R. S. Weston (1900).

La Ville de Washington (281.900 habitants) dérive du Potomac 189 250 m³ par jour, mais l'eau est souvent très trouble et très contaminée (de 40 à 50 000 germes au centimètre cube). Après 9 neuf mois d'expériences, on reconnut que l'eau est trop trouble pour qu'un tiers de l'année les filtres européens donnent de bons résultats; on se décida donc pour les filtres américains. Le filtre d'essai de la New-York Filter Co donnait 121 m³,6 par mètre carré et par jour; le nettoyage devait se faire toutes les 8 à 12 heures et durait 37 minutes, en faisant perdre 3,7 0/0 de l'eau filtrée. L'installation projetée comportera 64 filtres de chacun un million de gallons (soit ensemble 242 240 m³) par jour; elle est évaluée 1 081 377 dollars et l'exploitation coûterait 191 669 dollars par an, y compris les pompes, l'intérêt et l'amortissement, soit en tout 11 à 12 millions par m³ d'eau filtrée. Le coût des bassins filtrants anglais pour le même débit eût été d'environ 2 millions 1/2 de dollars, et les frais d'exploitation annuels seraient à peu près égaux aux précédents.

IX. — *Expériences de Moscou.* — Rapports (en russe) de M. Simin (1900) et articles du *Fire and Water* (novembre 1900) et de la *Technologie sanitaire* (décembre 1900).

L'eau de la Moskova, au point où elle a été prise pour alimenter les filtres d'expérience, était très contaminée (de 25 000 à 2 500 000 germes par centimètre cube) par le sewage, les déchets des usines, etc.; il n'en serait pas de même si l'on se reportait à 30 milles en amont, là où la rivière est pure et n'a plus que 400 germes. Quoi qu'il en soit, M. Simin a installé des filtres Jewell ouverts et trouvé que toujours avec l'addition indispensable d'un coagulant, ils réduisaient le nombre des bactéries de 97 à 98,8 0/0, et donnaient de l'eau toujours bien claire. Il les préfère dès lors aux filtres lents pour les raisons que nous connaissons déjà : moindre coût et moindre surface de premier établissement, difficultés bien moindres pendant les temps de gelée, grandes facilités et rapidités de nettoyage et de remise en train après lavage, avantage très marqué pour assurer la décoloration de l'eau et la destruction des matières organiques, ainsi que la combinaison avec les procédés de correction et d'enlèvement du fer, plus grande élasticité permettant bien plus facilement de demander aux filtres un supplément de débit, etc. Malgré l'opinion de Simin, la Ville de Moscou n'a pas encore pris de décision, et en somme on se demande si en tout état de cause elle ne gagnerait pas à reporter sa prise à 30 milles à l'amont.

En résumé, il nous semble qu'on peut se rallier aux conclusions d'Allen Hazen, savoir :

a) Les eaux qui contiennent une grande quantité de matières en suspension comme les eaux de fleuves, ou une grande quantité de matières

organiques provenant d'égouts, etc., doivent autant que possible être évitées pour l'alimentation publique.

b) Là où il faut recourir à de telles eaux, on doit les filtrer.

c) La filtration intermittente qui assure l'oxydation la plus puissante des matières organiques par l'oxygène de l'air est à recommander quand il s'agit d'eaux très chargées de matières organiques.

d) Si la contamination est moins forte, le filtrage continu par les bassins à sable anglais est excellent : il en est ainsi pour les eaux de fleuves ou de lacs qui ne sont pas très troubles habituellement ; mais au moment des troubles produits par les hautes eaux, il faut recourir à des bassins de sédimentation préalables. La double filtration est du reste très recommandable, et l'on peut pour le premier passage adopter utilement la filtration intermittente.

e) Si l'on a affaire à des fleuves qui soient une bonne partie de l'année très troubles, il faut commencer par employer les précipitants chimiques pour se débarrasser de la plupart des particules en suspension : après cette précipitation, on peut se servir soit des bassins à sable anglais, soit des filtres rapides américains. Ces derniers sont un peu moins efficaces au point de vue bactériologique, mais ils ont les avantages que nous connaissons : quand ils sont bien conduits, leur exploitation revient un peu plus cher que celle des filtres lents, mais leur première installation est notablement plus économique.

3° Autres systèmes de filtration ou de stérilisation en grand.

Les autres systèmes de filtration ou de stérilisation centrale nous arrêteront peu, parce qu'on peut dire en bloc qu'aucun d'eux n'a réussi encore à devenir vraiment pratique pour les villes tant soit peu importantes. Bien que plusieurs d'entre eux soient mixtes, nous distinguerons les procédés en mécaniques, physiques ou chimiques.

a). — Procédés mécaniques.

Autres filtres à sable et gravier. — Filtres dits industriels. — Les couches de sable et gravier jouent encore le principal rôle dans un certain nombre d'appareils, qui sont plutôt, à notre avis, des clarificateurs que des filtres capables véritablement d'éliminer les microbes.

Citons-en quelques-uns qui figuraient à l'Exposition et qui sont utilisés surtout par l'industrie.

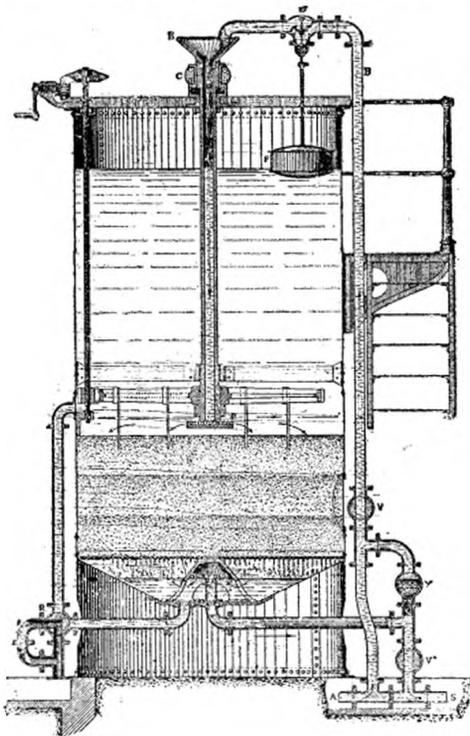


Fig. 55. — Filtre Desrumeaux.

Filtre Desrumeaux. — Ainsi qu'on le voit par la fig. 55, l'eau brute arrivant par le tuyau T est répartie horizontalement par le plateau diviseur P au-dessus des couches de silex reposant sur un châssis métallique supporté lui-même par une pièce en fonte de forme tronc-conique. Les particules en suspension sont retenues par les couches de silex, et, au fur et à mesure du *colmatage*, le niveau de l'eau et la pression augmentent : à un moment donné, il faut nettoyer l'appareil, et c'est

le niveau, qui en continuant à monter, soulève le flotteur F et fait arrêter l'arrivée de l'eau. En fermant alors V'' et ouvrant V', on renverse le courant qui se produit ainsi de bas en haut et se trouve divisé par le support tronc-conique (comme il l'était en sens contraire par le plateau diviseur) : en même temps, on fait tourner un grand disque muni d'armatures qui secouent la couche supérieure de silex ; la vidange se fait par le robinet R.

Il est facile de réunir en batterie un certain nombre d'éléments de ce genre. Quant à la prétention de l'auteur de donner, avec un débit de 15 à 20 fois plus considérable, la même réduction du nombre des bactéries que les filtres à sable classiques, elle n'est guère soutenable.

Filtre à siphon-laveur automatique Dervaux (fig. 56). — Ici l'eau arrive par le tube A, descend par la cheminée B dans une chambre close C, passe au travers de la couche de sable F qui repose sur une tôle perforée P ; après avoir rempli le réservoir V inférieur, elle gagne par K le réservoir R supérieur, d'où elle s'écoule par le déversoir D et

le tuyau E. Quand il est devenu nécessaire, le nettoyage se fait automatiquement : l'eau brute se surélevant par suite de l'augmentation de

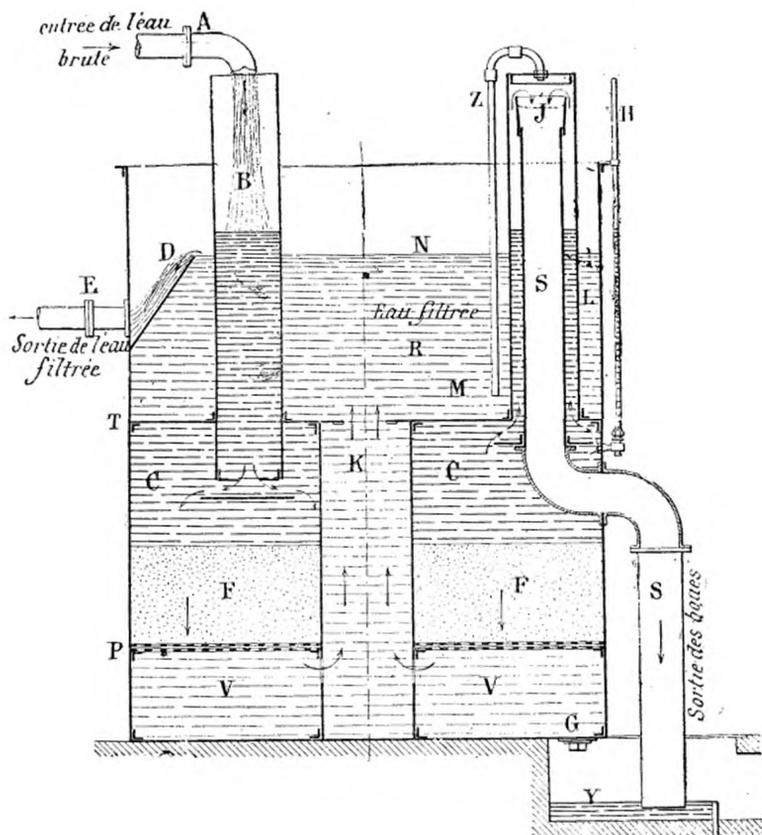


Fig. 56. — Filtre à siphon-laveur automatique Dervaux.

pression due au colmatage, monte dans la cheminée L (en communication avec C), jusqu'à amorcer en J le siphon S ; il se fait alors une aspiration violente qui entraîne les boues, puis l'eau filtrée qui doit traverser la couche filtrante en sens inverse et la dégrasser. Quand le niveau de R a baissé jusqu'à l'extrémité du tube Z en M, le siphon se désamorce et le filtre reprend sa marche normale.

Filtres Howatson (fig. 57). — Le filtre industriel Howatson est un réservoir cylindrique C, dans le haut duquel l'eau brute arrive (tuyau A et robinet d'admission A'). Elle traverse une couche filtrante D de silex

concassé, supportée par un double fond rainé, en fonte, perforé d'un grand nombre de trous de 4 mm de diamètre : elle sort ensuite, clari-

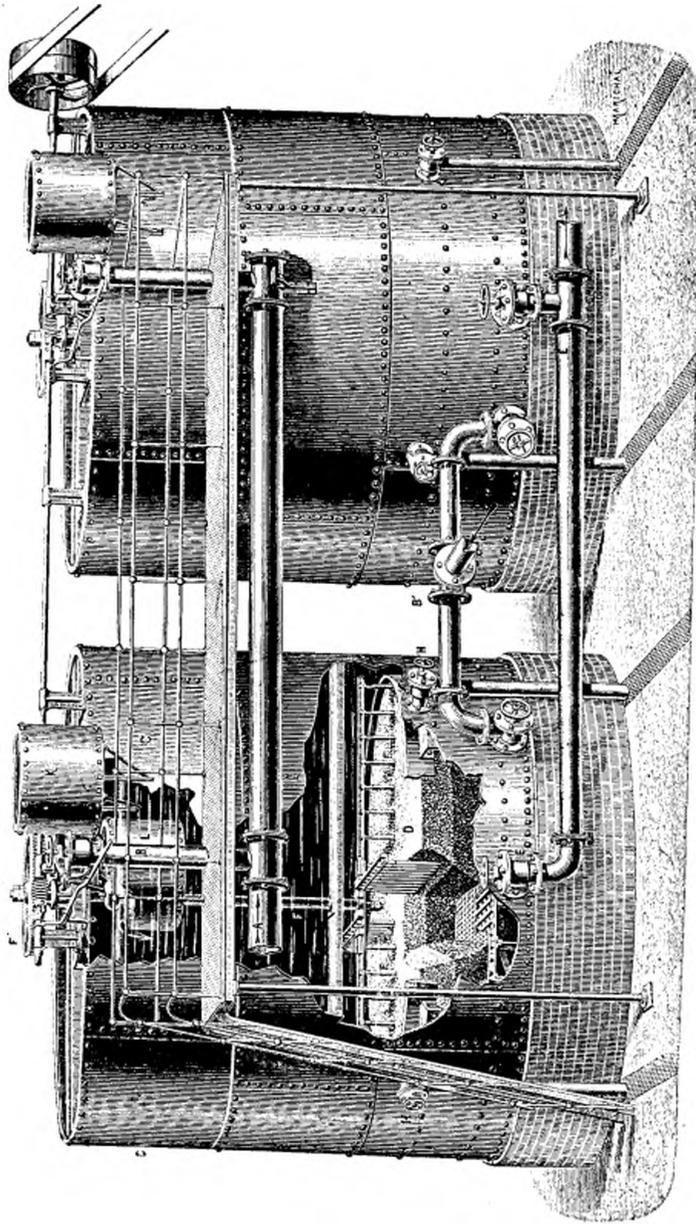


Fig. 57. — Filtres Howatson accouplés (pour grand débit).

fiée, par le robinet E. Le nettoyage de l'appareil se fait en fermant A' et ouvrant B' : l'eau afflue de bas en haut, se charge des matières qui encrassaient le silex et sort par les vannes H et H'. Le brassage est

facilité par un agitateur à palettes F, qu'on fait tourner au moyen du cabestan F' (1).

Ce dégrossisseur peut être remplacé ou complété (double filtration) par un filtre plus fin du même auteur, qui utilise les propriétés oxydantes d'un composé spécial, *le polarite*. Ce composé est un mélange d'oxyde de fer magnétique (54 0/0) et de silice (25 0/0), avec addition de quelques autres corps : chaux (2 0/0), alumine (6 0/0), magnésie (7 0/0) et alcalis (6 0/0) ; il agirait à la manière de la mousse de platine, en absorbant l'oxygène de l'air et le concentrant sur les matières organiques : quand après un fonctionnement de six semaines, le polarite est épuisé, il suffirait pour le revivifier de le mettre trois ou quatre jours (ce qui se fait automatiquement par un renversement de courant) en contact avec l'air, et il pourrait ainsi servir indéfiniment. La couche de polarite a 0^m,40 d'épaisseur et elle est comprise entre une couche inférieure de 0^m,30 de gros silex et une couche supérieure de 0^m,10 de silex fin : l'air a un accès facile et constant dans ces couches, ce qui rappelle la filtration intermittente de Lawrence. A en croire l'auteur, ce filtre marchant à raison de 6 m³ par mètre carré de surface filtrante et par jour, réduirait les matières organiques de 80 et même 85 0/0 et ne laisserait subsister que 1/2 à 1 0/0 du nombre des bactéries. S'il en est vraiment ainsi pour les microbes, pourquoi donc l'auteur a-t-il cherché à associer à ses appareils un autre procédé de stérilisation (procédé Bergé, dont nous parlerons plus loin) ? La double filtration qu'il préconise par le passage successif dans le filtre industriel et dans le filtre fin est beaucoup plus rationnelle.

Filtre Delhotel et Moride. — C'est encore une couche de sable quartzéux qui agit. Des ajutages courbes permettent à l'eau d'arriver dans le filtre en provoquant un mouvement de giration qui remue la couche supérieure du sable : si le fonctionnement du filtre en est prolongé, il faut reconnaître que cette agitation de la surface est tout à fait contraire à la formation de la membrane feutrée, si utile cependant pour retenir les bactéries.

Filtre Buron. — Ici l'eau arrive avec une certaine pression par le dessous des caisses métalliques qui renferment les matières filtrantes, et elle s'écoule, clarifiée, par le haut : le nettoyage se fait par renversement du courant.

(1) C'est en somme un filtre américain rapide, avec lequel il conviendrait de combiner l'usage d'un coagulant. La vitesse de filtration atteint 70 à 80 fois celle des filtres à sable ordinaires.

Filtre Kræhnke. — Un tambour, qui tourne sur ses axes est partagé en sections par des cloisons, de telle sorte qu'une chambre remplie de sable succède à une remplie d'eau. L'eau brute arrive par un des axes creux du tambour, traverse la série de chambres et s'écoule par l'autre axe creux. La grosseur du grain de sable filtrant est modifiée d'après la nature de l'eau à traiter. Pour le nettoyage on fait venir l'eau en sens inverse : on peut aussi stériliser le filtre par l'addition de vapeur ou de produits chimiques appropriés.

Ce filtre qui n'est guère qu'un dégrossisseur était exposé par la « Allgemeine Städtereinigungs-Gesellschaft » de Wiesbaden.

Filtres dits industriels. — Nous groupons sous ce nom toute une série d'appareils qui ont surtout pour but de clarifier les jus et liquides traités dans certaines industries. Comme ils emploient pour la plupart comme matière filtrante ou plutôt tamisante des corps organiques putrescibles (éponges, feutre, etc.), ils nous paraissent devoir être proscrits du traitement des eaux potables, d'autant plus que les mailles de ces tamis sont trop larges pour arrêter les microbes.

Citons en courant :

Le filtre Philippe, où le liquide traverse une série de cadres métalliques en treillis, recouverts de poches en drap (coton ou laine) ou en amiante : de l'intérieur de ces poches le liquide remonte pour sortir par la partie supérieure dans des chapeaux mobiles fixés pendant le travail aux éléments filtrants.

Le filtre Müller, qui comporte également des poches plates, en toile ou en tissu pelucheux ; ces poches réunies par quatre sont suspendues sur le couronnement en fonte de la caisse métallique, qu'un couvercle ferme hermétiquement.

Le filtre à éponges Desrumeaux, où la matière filtrante est formée d'éponges comprimées.

Le filtre Perret, où l'éponge est remplacée par du coton qui est serré contre des cadres en tôle perforée, placés l'un contre l'autre dans un bac métallique allongé.

Les filtres-presses, système Cambray et système Leclair, qui font arriver le liquide sous pression sur les toiles filtrantes, etc.

Filtres mécaniques divers.

Filtre en béton poreux. — M. Vialet a proposé de faire passer l'eau au travers d'un béton de ciment (de la Porte de France) assez maigre

et poreux : l'eau est d'abord dégrossie par une couche de sable et gravier, puis elle doit traverser horizontalement une cloison en béton, et enfin traverser verticalement de haut en bas les voûtes qui surmontent les chambres où on la recueille.

La Compagnie générale des Eaux a installé un filtrage semblable dans un réservoir, à Sotteville-les-Rouen (eau de Seine) : ici l'eau entrant dans des chambres voûtées placées sur le fond du réservoir, doit traverser de bas en haut leurs voûtes faites en béton maigre et recouvertes d'une couche de 0^m,08 à 0^m,10 de sable et gravier. — Comme on le voit, ce système se rapproche du système Fischer précédemment décrit; mais il faudrait que les pores du béton restent très petits et qu'on respecte bien la membrane d'encrassement.

Filtre de pierre, système Kurka. — On a vu ce filtre à l'Exposition, annexe de Vincennes. — L'élément filtrant est un tube en pierre poreuse, fine et homogène (spécialement choisie par l'inventeur). Ce

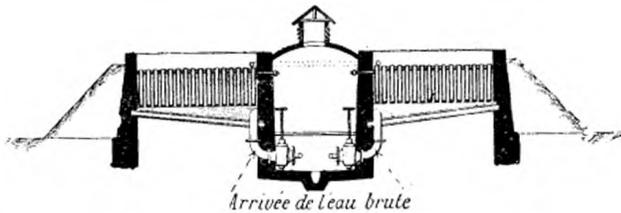


Fig. 38 a. — Etablissement d'un filtre, système Kurka, à 3834 éléments, produisant 40000 m³ d'eau filtrée par jour.
Coupe transversale.

tube représenté par la fig. 38, est fermé à sa base et muni d'un chapiteau à son sommet : 16 éléments semblables (fig. 38 d), placés debout et accolés de manière que leurs chapiteaux se touchent et soient réunis par un mortier, occupent un mètre carré. Ils forment une batterie, et un filtre comprend un certain nombre de ces batteries, réparties dans des chambres placées de chaque côté d'un couloir central. Les chambres sont en béton étanche ; leur fond est incliné de 0^m,45 vers le couloir central, afin de faciliter l'accumulation dans le fond des impuretés et la vidange ; il porte des nervures aménagées de manière à supporter les extrémités inférieures des éléments.

L'eau brute, provenant d'un réservoir qui maintient sa pression exactement à 1 m au-dessus du niveau de l'eau filtrée, est amenée dans le bas de chaque chambre : elle est obligée de traverser la surface très multipliée des parois des éléments et d'arriver ainsi filtrée

dans leur âme et dans l'espace libre situé au-dessus des chapiteaux, d'où elle va à un réceptacle. Le nettoyage se fait très facilement, en



Fig. 38 b. — Coupe longitudinale.

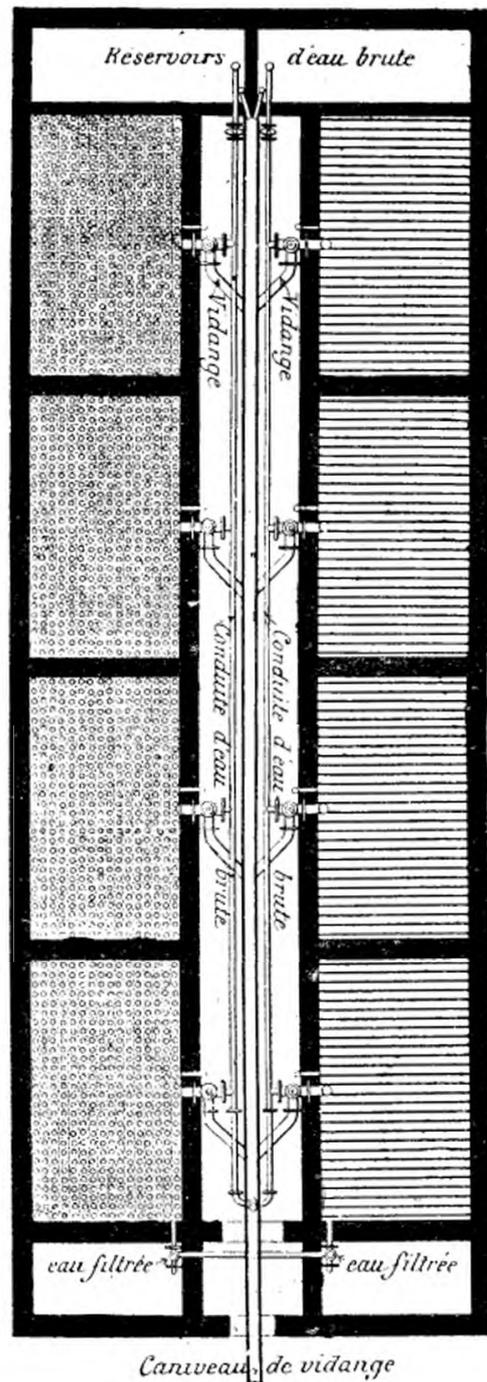


Fig. 38 c. — Plan.

arrêtant l'arrivée de l'eau brute et faisant simplement repasser par le filtre (cette fois de haut en bas), pour aller à la vidange, l'eau filtrée que remplit les âmes et surmonte de 0^m,30 de hauteur les chapiteaux des

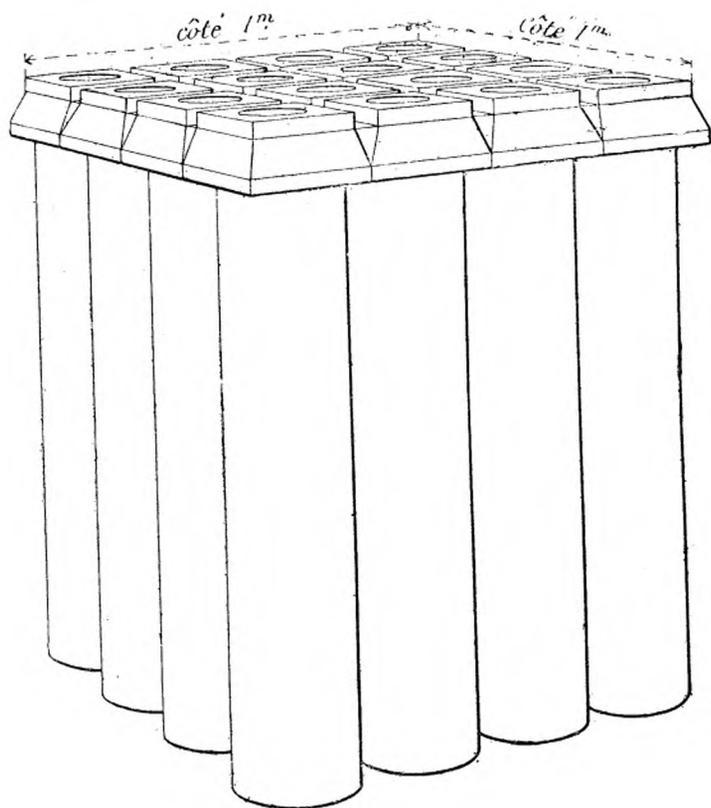


Fig. 58 d. — Vue d'une batterie de 16 éléments du filtre Kurka.

éléments. Ce nettoyage doit se répéter fréquemment (4 fois par jour) ; le débit d'un élément qui est de deux litres à la minute pendant les six premières heures irait en effet sans cela très vite en diminuant. Dans ces conditions un élément donnerait 2781 lit. par 24 heures et un mètre carré donnerait seize fois plus : il correspond à une surface filtrante active d'un développement de 12^{m²},5, en sorte que la vitesse de filtration est de 3^m,56 par jour, chiffre un peu plus fort que celui des filtres à sable.

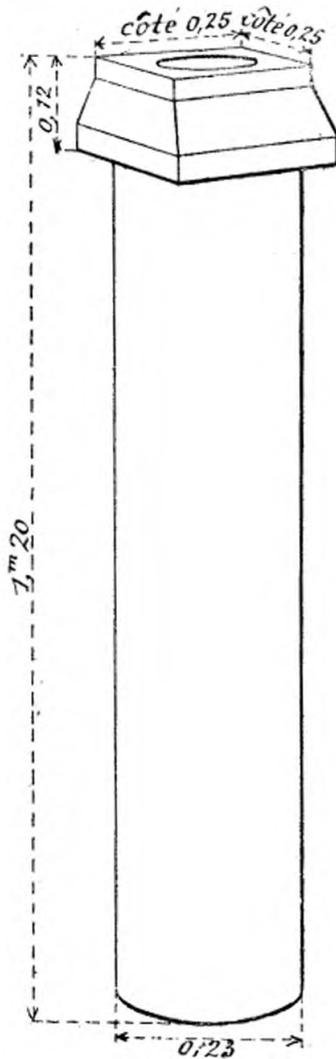


Fig. 58 e. — Vue d'un élément isolé du filtre Kurka (diamètre de l'âme 0^m,09; épaisseur des parois, 0^m,07; poids, 75 à 80 kgm).

Ce système, qui en somme revient à utiliser d'énormes bougies en pierre, paraît pouvoir être bon : toutefois l'auteur dans sa notice ne fournit pas de résultats d'analyses bactériologiques, et si son filtre écarte les bactéries, nous nous demandons pourquoi il le propose comme dégrossisseur, pour *préparer* l'eau avant de l'amener sur un filtre à sable ordinaire. Sans doute, cette double filtration est parfaite, et nous admettons très bien que le filtre à sable soit soulagé par le filtre Kurka ; mais pourquoi celui-ci, bien construit et bien surveillé, ne suffirait-il pas ? Ce point reste donc à élucider ; toutefois il y a un point faible qu'il convient de signaler : ce sont les joints en mortier entre les chapiteaux des éléments et entre les éléments et les parois des chambres, car il est clair que le moindre interstice serait un passage facile pour l'eau brute et son mélange avec l'eau filtrée.

Filtre Maignen. — M. Maignen a essayé, depuis 1894 à Cherbourg, de filtrer en grand l'eau de la Divette par son système de sacs d'amiante en forme d'accordéon, entourés de poudre *carbo-calcais* ; c'est en somme une poudre de charbon entre deux toiles d'amiante qui sert de matière filtrante.

— L'expérience a été désastreuse pour la ville : à Cherbourg, comme au Val-de-Grâce où on l'a étudié mainte fois, comme aussi aux essais faits à Saint-Maur en 1897, le filtre Maignen s'est montré peut-être clarificateur passable, mais à coup sûr filtre infidèle et incapable d'arrêter les germes. On trouvera l'histoire des épidémies de fièvre typhoïde à Cherbourg dans un mémoire du Dr Vaillard, inséré au numéro du 20 juin 1899 de la *Revue d'Hygiène* : on y voit que le filtre Maignen n'a nullement amélioré la situation.

Filtre Breyer. — Nous avons vu ce filtre à l'Exposition d'Hygiène de 1895 à Paris, et il a été expérimenté dès 1891 à la « Pointe du Da-

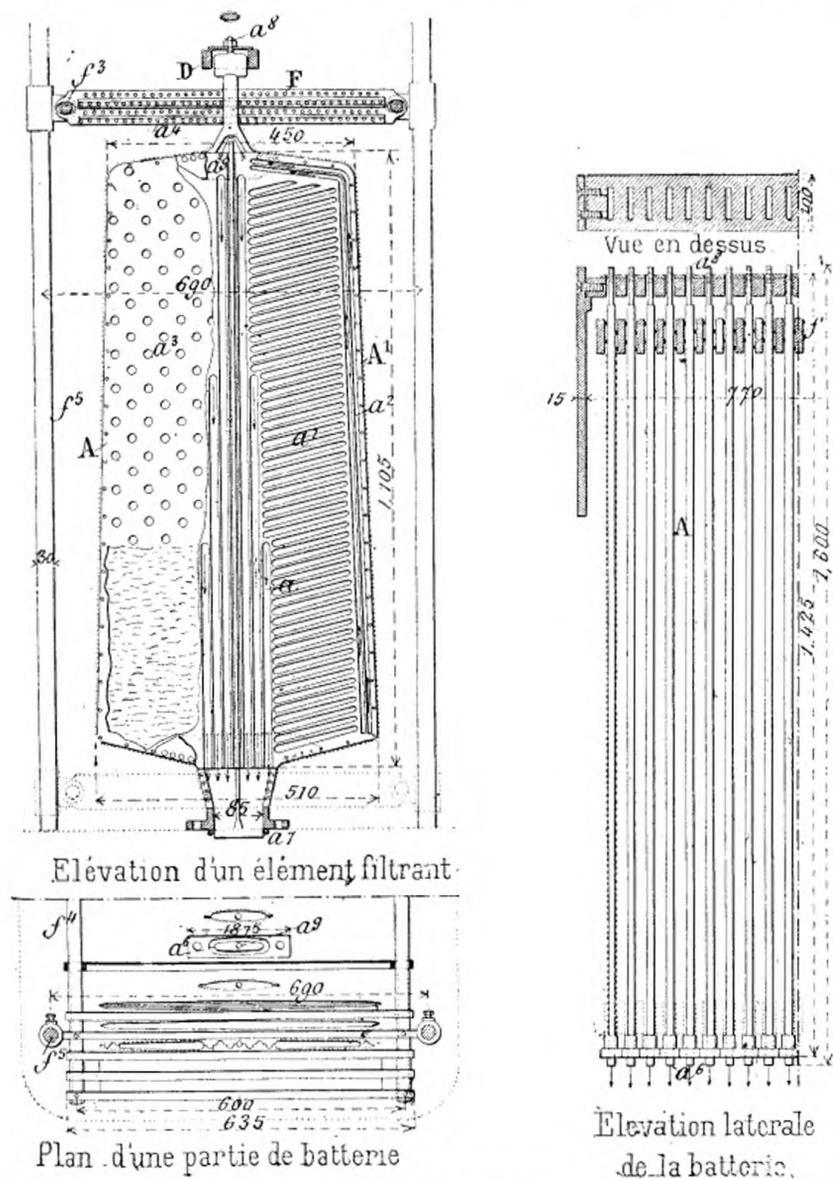


Fig. 59. — Filtre Breyer.

nube » près Nussdorf (Autriche). C'est une couche d'amiante (matière à fibres très fines) qui sert à la filtration. Au reste, voici la description que donne la brochure de 1895, relatant les derniers perfectionnements du système.

(La fig. 59, également empruntée à cette brochure, représente l'élévation d'un élément filtrant ; en dessous, le plan d'une partie d'une batterie, et à droite l'élévation latérale de cette batterie.)

« L'élément filtrant est formé d'une feuille de tôle A, présentant en son milieu sept cannelures verticales a , d'inégales longueurs, auxquelles aboutissent de chaque côté des cannelures latérales obliques. Cette feuille de tôle présente, en outre, le long de ses bords, deux cannelures qui, à leur partie supérieure, se rapprochent du milieu de la feuille. Celle-ci est recouverte sur chaque face d'une feuille de métal perforée a^3 , à laquelle elle est réunie, sur les bords et en quelques autres points, par des soudures tendres. Enfin la capsule métallique creuse ainsi formée est revêtue d'un tissu. On obtient ainsi un élément filtrant dont la construction se rapproche de celle d'une feuille de plante, les cannelures y étant réparties de telle sorte, que de toutes les parties de la surface de l'élément l'eau filtrée s'écoule avec la même rapidité vers son pied, dans la direction opposée à celle suivie par la sève qui, partant de la tige, se répand sur toute la surface de la feuille. Cet élément est en plus muni d'un petit tuyau a^9 , le traversant en son milieu et débouchant à son extrémité supérieure entre les deux feuilles de tôle perforée ; ce tuyau plonge à son extrémité inférieure dans le courant d'eau filtrée, et aspire de toutes les parties des surfaces filtrantes les gaz, l'air et l'acide carbonique qui s'accumulent à l'intérieur de l'élément. Les gaz, qui ont participé à la filtration, s'élèvent dans les cannelures obliques, sont conduits par les cannelures latérales et montent jusqu'à l'extrémité supérieure, ouverte du petit tuyau a^9 , par lequel ils sont entraînés, de la manière indiquée, dans le liquide filtré qui sort de l'appareil.

« Cet élément filtrant perfectionné est fermé en haut par une pièce métallique ovale, qui se prolonge par une plaque de métal destinée à assurer la position parallèle des éléments et est fixée par une vis à la traverse supérieure. Chaque élément possède également en propre un petit récipient inférieur qui se fixe à joint étanche, par deux vis, à la partie inférieure de la caisse du filtre. Par suite de ces dispositions, *chaque élément constitue un corps filtrant fermé et fonctionnant indépendamment*. La difficulté d'assembler, par des joints étanches à l'air et à l'eau, les éléments de toute une batterie de filtres, de manière à les faire communiquer *par le haut* pour l'air et *par le bas* pour l'eau, difficulté qui se présentait dans les filtres du modèle 1890, est *supprimée*. En outre, comparativement à l'ancien système, la cons-

truction perfectionnée de l'élément offre le grand avantage que ce dernier possède, à quelque endroit qu'on imagine une coupe, un profil lentillaire, ce qui permet de donner au tissu enveloppant une tension ayant le degré d'uniformité et de précision nécessaire pour sa *fixation rigide*.

« Cette rigidité du tissu *permet saliaison, avec une couche filtrante permanente impénétrable aux micro-organismes et supportant le lavage*.

« Chaque élément est alors imprégné, par un procédé spécial, de fines fibres d'amiante, de façon à présenter une surface externe qui est bien poreuse et perméable à l'eau, mais qui reste dure et polie, *et que l'on peut débarrasser à la brosse des crasses que l'eau y a déposées en se filtrant*.

« Cette couche filtrante, rigide et supportant le lavage, a l'avantage de supprimer l'opération du renouvellement des couches filtrantes au moyen de quantités considérables d'amiante, et de réduire la consommation de celui-ci à la quantité nécessaire, après chaque lavage, à la régénération des parties des couches filtrantes permanentes qui auraient pu être détériorées par ce lavage.

« Mais le perfectionnement le plus important est celui qui *permet de procéder au lavage des éléments filtrants, en laissant la caisse du filtre fermée, résultat qui est obtenu par un système de brosses installées à demeure et fonctionnant à droite et à gauche de chaque élément*.

« Pour la construction de ces brosses on emploie de petites capsules cylindriques en métal de 8 mm de diamètre et 8 mm de hauteur, dans lesquelles on fixe de petites touffes de crins que l'on aplatit après avoir mis les crins en place. On insère ensuite ces touffes dans des traverses métalliques ayant un profil en **W**, chaque creux du profil en **W** recevant une rangée de touffes, et la face opposée également. Les touffes sont forcées au ciseau dans les trous ronds correspondants et peuvent être remplacées une fois usées.

« La forme plate des touffes donne beaucoup de douceur et d'élasticité aux brosses ainsi construites.

« Les touffes en question ont de chaque côté des traverses en **W** une saillie suffisante pour brosser efficacement les surfaces des éléments, quand on promène la brosse entre deux de ces éléments.

« Chacune des caisses du grand appareil filtrant possède 20 éléments à âme cannelée et 27 traverses en **W** garnies de touffes semblables. Ces 21 traverses en **W**, ou brosses, sont calées sur deux tiges horizon-

tales f^3 , et sont guidées horizontalement dans leur mouvement vertical alternatif par quatre tiges métalliques traversant des stuffing-box. La construction de la caisse du filtre est facile à se représenter.

« Le mouvement vertical alternatif est imprimé aux brosses par une traverse à laquelle sont fixées les quatre tiges de guidage. Cette traverse porte en son milieu une crémaillère actionnée par une roue dentée. Une courroie ouverte et une courroie croisée font tourner la roue dentée tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. En ceux de ses points qui correspondent à la position la plus élevée et à la position la plus basse du mécanisme de brosse, la crémaillère porte deux cames pivotantes, maintenues par des ressorts, qui mettent fin, en temps voulu, à la montée ou à la descente de la crémaillère, tout en assurant la mise en contact de la roue dentée dans le sens opposé.

« Au moyen de ce mécanisme, un mouvement alternatif de brosse peut être effectué en cinq secondes, et, comme il suffit, pour un nettoyage complet du filtre, de 4 à 10 temps, selon la ténacité des crasses déposées sur l'élément filtrant, on peut effectuer en 50 ou 60 secondes le nettoyage intégral des surfaces filtrantes, ce qui reconstitue le rendement initial, qualitatif et quantitatif, des éléments filtrants. »

Cette méthode de régénération rapide des surfaces filtrantes permet de demander à l'appareil un grand débit. Une caisse de 20 éléments correspond à une surface filtrante totale de 20 m², et donne un débit moyen de 500 m³ par jour, soit une vitesse de filtration 10 fois plus grande que sur les filtres à sable. Le prix d'une caisse est de 9000 francs et une installation capable de donner 3 000 m³ par jour coûterait en chiffre rond 100 000 francs; les frais d'exploitation seraient de 50 à 60 francs par jour, en sorte que le prix du mètre cube d'eau filtrée reviendrait à 0 fr. 019, non compris l'intérêt du capital de premier établissement.

D'après les expériences du professeur Weichselbaum, qui a essayé notamment le passage d'eau chargée de *Micrococcus prodigiosus*, les résultats du filtre Breyer au point de vue microbien seraient bons. Toutefois depuis lors, Buchner, puis Plagge ont trouvé qu'il laissait passer un certain nombre (jusqu'à 10 0/0) de bactéries; nous ne sachions pas du reste que l'appareil se soit jusqu'ici tant soit peu répandu.

b). — Procédés physiques.

1° *Stérilisation par la chaleur.* — Chacun sait aujourd'hui que l'ébullition est un remède très efficace pour détruire les bactéries :

prolongée pendant 10 ou 20 minutes elle ne laisse subsister que quelques espèces et quelques spores très résistantes (généralement saprophytes), dans une proportion ne dépassant pas 5 0/00 ; si on porte quelques minutes la température à 120°, la stérilisation devient absolue. C'est donc un procédé excellent, et il convient d'y recourir en temps d'épidémie pour avoir une sécurité complète ; malheureusement il n'est pas exempt d'inconvénients et surtout il est tellement coûteux qu'il cesse d'être pratique pour des masses d'eau aussi importantes que celles mises en œuvre dans l'alimentation des villes. Ainsi on est d'accord pour dire que l'eau bouillie est plate, indigeste, privée de l'oxygène, de l'acide carbonique et des bicarbonates utiles, souvent troublée par suite du dépôt des carbonates calcaires rendus insolubles (ce qui oblige à la clarifier), enfin difficile à conserver ; l'ébullition ne détruit pas, en effet, les matières organiques et ne modifie pas dès lors l'eau comme milieu de culture favorable à une nouvelle pullulation microbienne. Quant au coût de l'opération, il faudrait ordinairement de 24 à 33 kg. de charbon pour porter 1 m³ d'eau de 20 à 120°, soit à 35 francs la tonne, environ 1 franc de combustible ; toutefois, nous reconnaissons que certains appareils perfectionnés réduisent la consommation à moitié et au-dessous de ce chiffre, mais c'est encore évidemment trop cher.

Un assez grand nombre de stérilisateur ont été construits (depuis 1892) par application de l'ébullition ou du chauffage de l'eau sous pression : la plupart ont également appliqué le principe de l'*échange de température*, c'est-à-dire que le courant d'eau froide arrivant côtoie le courant d'eau chaude sortant, et s'échauffe tout en ramenant l'eau purifiée à la température ordinaire. Citons rapidement les suivants, qu'on pouvait voir presque tous à l'Exposition :

Stérilisateur Vaillard et Desmaroux. — L'eau brute se clarifie dans un filtre, passe par un régulateur de pression, puis par un régulateur de température, enfin successivement dans deux caisses appelées *récupérateurs-échangeurs* ; de la seconde caisse elle va par une conduite dans un caléfacteur, qui n'est autre qu'un serpentín emboîté dans la chaudière et formé de 8 caissons annulaires superposés et interchangeable. L'eau circule dans le serpentín le temps nécessaire pour se stériliser ; ensuite sortant par l'extrémité supérieure, elle redescend d'abord dans la seconde, puis dans la première caisse, pour traverser les récupérateurs-échangeurs en s'y refroidissant et réchauffant l'eau entrante.

Stérilisateur-pasteurisateur Houdard, Egrot et Grangé (fig. 60). — Il comprend : 1° un récupérateur et un caléfacteur, tous deux tubulaires ; 2° un ensemble, composé du moteur, des pompes, du réservoir d'eau chaude et du régulateur. Le liquide à stériliser est refoulé par la pompe à la partie inférieure du faisceau tubulaire du récupérateur

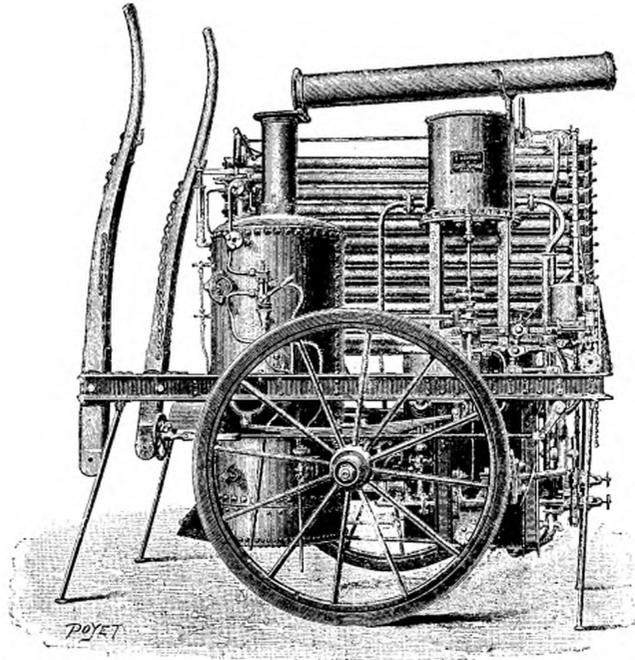


Fig. 60. — Filtre pasteurisateur Houdard, Egrot et Grangé, monté sur roues.

et monte vers sa partie supérieure en se réchauffant par le contact de l'eau déjà stérilisée qui circule en sens inverse (chaque tube droit contient dans son intérieur des tubes plus petits, en sorte que l'une des circulations se fait dans ces petits tubes et l'autre dans l'espace restant entre eux et la paroi du grand). Le liquide arrive ensuite dans le caléfacteur, formé de tubes tout à fait semblables aux précédents, portés à la température voulue par de l'eau chauffée dans un bassin-réservoir par un échappement de vapeur, et envoyée dans le caléfacteur sous pression par une pompe spéciale. Des régulateurs permettent d'obtenir le débit et le degré voulus ; on peut ainsi traiter les liquides à toute température jusqu'à 130°.

La figure montre un appareil monté sur roues pour pouvoir être transporté : le type fixe est semblable.

Appareil Rouart, Geneste et Herscher (fig. 61). — Cet appareil stérilise l'eau à 120° , sous pression, ce qui aurait l'avantage de maintenir à l'eau ses qualités comestibles, c'est-à-dire ses gaz et sels dissous. Il comprend 1° une chaudière, de forme variable suivant les types; 2° un échangeur de température; il y a un deuxième échangeur, dit complément d'échangeur, qui a pour but de refroidir davantage l'eau purifiée à sa sortie en la mettant en contact avec de l'eau ordinaire ne

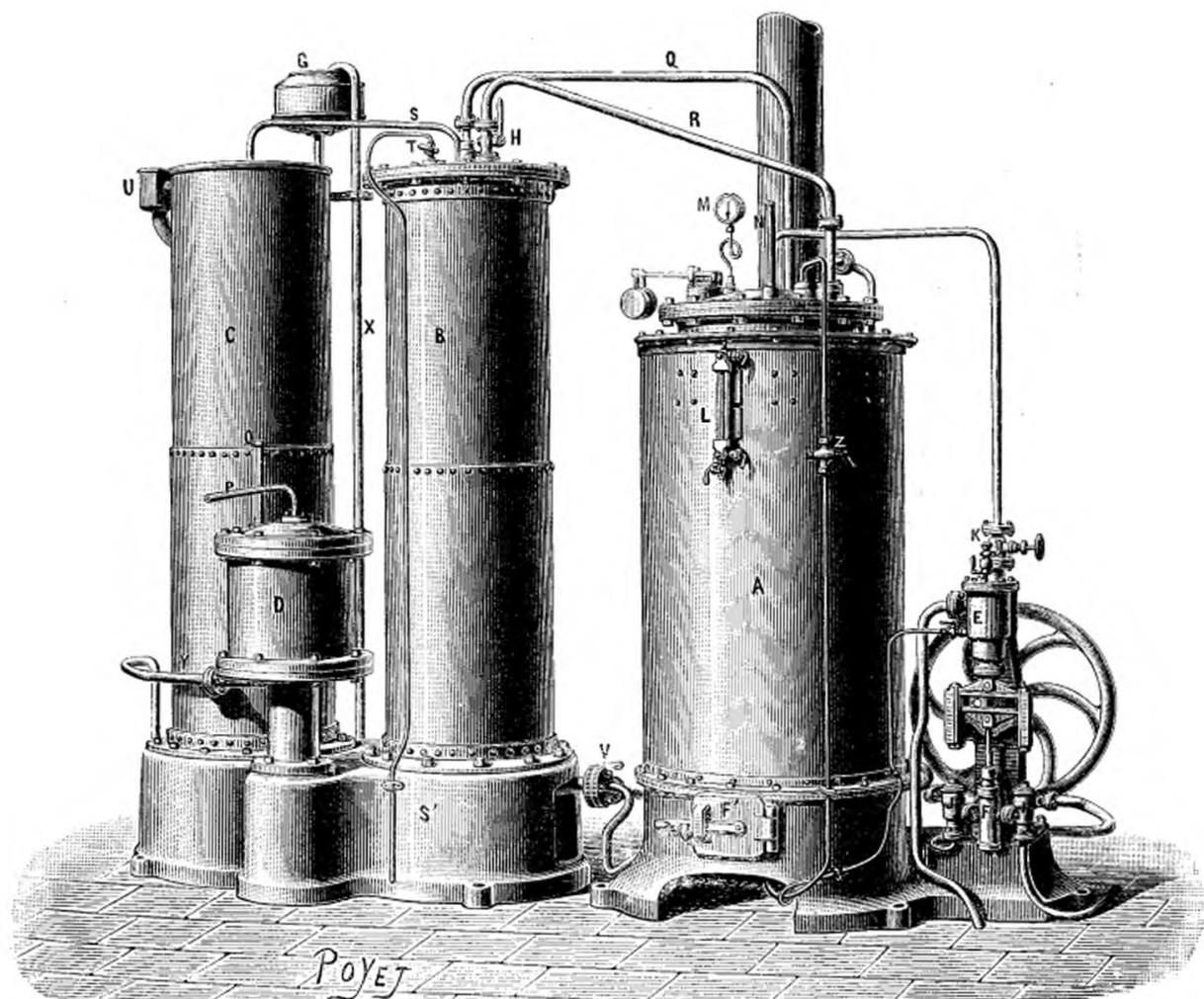


Fig. 61. — Stérilisateur d'eau sous-pression, Rouart, Geneste et Herscher.

LÉGENDE. — A, Chaudière; B, Echangeur de température; C, Complément d'échangeur; D, Clarificateur; E, Purge amenant l'eau à stériliser; P, Sortie d'eau stérilisée.

faisant que circuler dans ce compartiment; 3° un clarificateur en silex concassé.

La même maison fait aussi des appareils mobiles sur roues, ainsi que des appareils automatiques à gaz (destinés plus spécialement aux éta-

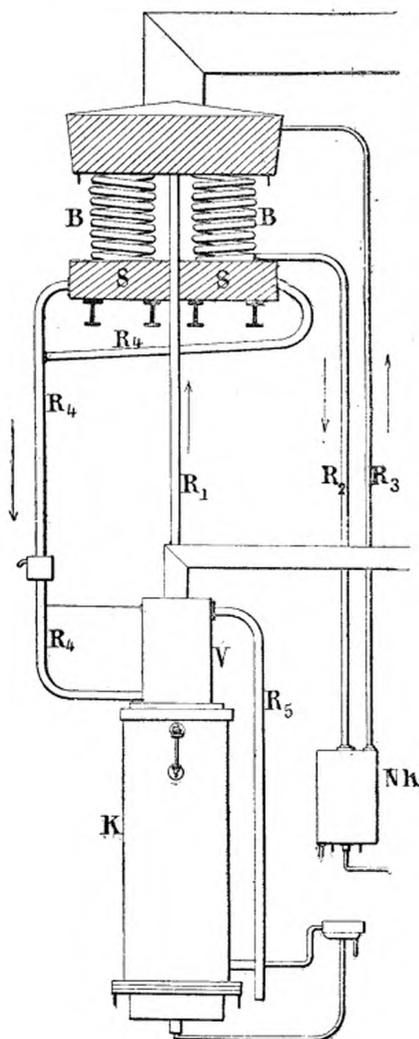


Fig. 62. — Stérilisateur Merke.

Construit et exposé par la maison Schuppmann, de Berlin. En voici la description annexée au modèle :

« L'appareil est fait tout entier de cuivre et se compose du vaporisateur K, du réchauffeur V, des serpents B et du refroidisseur NK. L'eau est réduite en vapeur dans la chaudière K, soit au gaz comme dans l'appareil représenté par la figure, soit au moyen d'un autre combustible quelconque ou d'un conducteur calorifique. La vapeur est conduite à travers le tuyau R₁, aux serpents B, où elle est condensée à l'aide d'eau ; elle arrive par le tuyau R₂ dans le refroidisseur NK, où

blissements hospitaliers et services de chirurgie).

La ville de Parthenay (6000 habitants) utilise deux appareils Rouart ; ils dépensent 36 kg. de charbon à l'heure, ce qui fait revenir le prix du mètre cube d'eau à 0 fr. 35.

Rappelons qu'à l'Exposition d'Hygiène de 1895, la Société « La Force motrice gratuite » avait exposé un stérilisateur absolument analogue au précédent.

Stérilisateur de Werner von Siemens. — C'est un appareil à gaz, avec échangeur de température : l'arrivée de l'eau brute est réglée automatiquement grâce à un flotteur, qui se soulève plus ou moins suivant l'intensité de l'ébullition, et qui intercepte ou ralentit l'arrivée de l'eau froide quand la pression diminue dans la chaudière. On obtiendrait environ 100 lit. d'eau stérilisé pour une consommation de 430 lit. de gaz.

Stérilisateur Merke (fig. 62). —

elle est portée par refroidissement à la température ordinaire d'un appartement ; de là elle peut être conduite aux endroits où se fait la consommation.

L'eau froide arrive du refroidisseur NK par le tuyau R₃ dans les serpentins B, coule du réservoir S dans le réchauffeur V à travers le tuyau R₁ et de celui-ci à travers le tuyau R₅ dans la chaudière K pour y être vaporisée. Pour permettre de régler la consommation de gaz la chaudière K est en communication avec un récipient O, qui diminue le courant de gaz, dès que la pression dans la chaudière dépasse 0,05 d'atmosphère, pression normale de l'appareil. »

Appareil David Grove.— Cet appareil stérilise à 105° et même plus.

On peut encore citer les stérilisateurs de *Hauers* et *Hennicke*, de *Burgdorf*, de *Jones*, de *Strebel*, etc., tous n'élevant l'eau qu'à 100°. L'appareil de *Joseph Nagel* (de Chemnitz), qui était exposé, n'est en somme non plus qu'un alambic accompagné de deux condenseurs réfrigérants.

Aux Etats-Unis, on emploie le *condenseur de Baird* ; il est combiné de manière à ce que la vapeur, en entrant dans le serpent, entraîne avec elle un courant d'air (amené par un ajutage). Cette aération jointe à la filtration subséquente sur une couche de noir animal, enlèverait à l'eau distillée son goût désagréable (1).

2° *Stérilisation par l'électricité, l'ozone, etc.* — Comme le dit M. Mason, il serait étrange qu'à notre époque d'électricité appliquée, on n'ait pas cherché à atteler ce fluide à la tâche de stériliser l'eau. Dès 1888, le D^r Leeds fit breveter un procédé pour détruire les matières organiques de l'eau, en soumettant celle-ci à l'action des gaz naissants provenant de sa propre décomposition électrolytique : la méthode resta dans le domaine de la théorie.

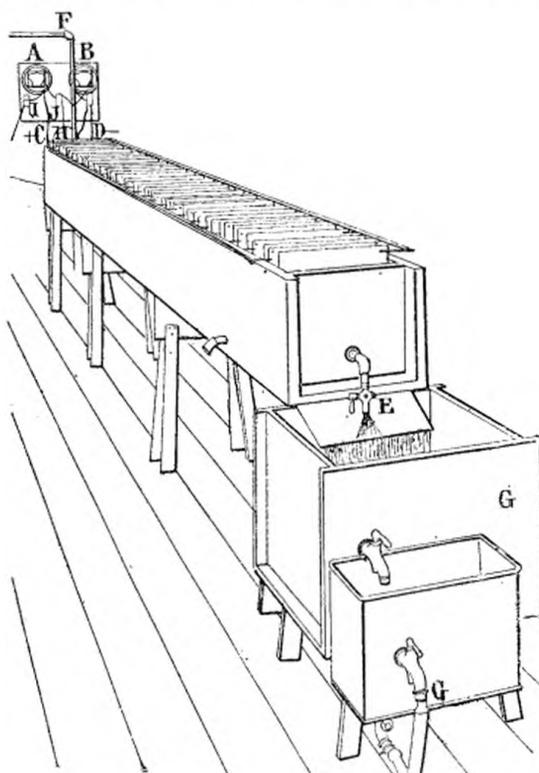
Tout récemment, un procédé dit de *Woolf* a été expérimenté sur une partie des eaux de la Ville de New-York. Ce procédé consiste à décomposer par l'électrolyse une solution faible (2 à 3 0/0) de sel marin, et à ajouter le liquide électrolysé pompeusement appelé électrozone à l'eau à stériliser, dans la proportion de 1 pour 5 833 (en poids) : cet électrozone ne contient pas d'ozone du tout et ne tient son pouvoir bactéricide que de l'hypochlorite de soude et du peroxyde de chlore formés dans la décomposition du sel. Cette idée a été reprise

(1) Quand on n'a que de l'eau de mer à sa disposition, il faut bien la distiller. Les appareils Yaryan (Londres), Pape et Henneberg (Hambourg), etc., sont fréquemment employés dans ce but.

en France par M. Hermite ; nous y reviendrons à propos du peroxyde de chlore.

Disons seulement que Woolf estime que l'application de son procédé revient à 0 fr. 13 par mètre cube.

Webster ⁽¹⁾ avait également imaginé un autre procédé électrolytique, qui consistait dans la production d'oxyde de fer hydraté par suite de



l'attaque d'une anode métallique. On a remplacé dans ces derniers temps le fer par l'aluminium ; l'attaque des électrodes de ce métal produit de l'hydrate d'alumine qui se précipite, en agissant à peu près comme dans la méthode américaine pour l'usage de l'alun. La fig. 63 représente un appareil stérilisant 7 500 gallons par jour (28 m³) et donnant à très bas prix un bon résultat d'après l'inventeur. C'est une caisse de 6^m,10 de long, avec une section de 0^m,45 sur

Fig. 63. — Appareil stérilisateur par l'électrolyse de l'aluminium. 0^m,40, contenant des plaques alternativement en aluminium et en zinc, espacées de 0^m,10 en 0^m,10. L'eau brute entre par F, puis passe successivement au-dessous d'une plaque et au-dessus de la crête de la suivante, jusqu'à ce qu'elle sorte en E, pour se pulvériser et s'aérer dans les caisses GG et aller aux réservoirs. Les plaques d'aluminium sont reliées toutes au fil positif C d'une dynamo et celles de zinc au fil négatif D ; H est le robinet réglant l'admission de l'eau ; I, J, K les commutateurs, A l'ampèremètre et B le voltmètre. Il suffit généralement d'un courant de 40 volts sous 20 ampères ⁽²⁾.

(1) Nous reviendrons sur les procédés Webster, Hermite, etc., à propos de l'épuration des eaux d'égout.

(2) Oppermann, dans *Hygienische Rundschau*, 1894, a proposé une double électrolyse, la première avec des électrodes de platine ayant surtout pour but

Mais c'est plus spécialement en faisant intervenir l'*ozone*, produit sur l'air par les effluves électriques, qu'on a cherché à opérer. Sans remonter jusqu'à la découverte de ce singulier corps (qui représente une sorte de condensation de l'oxygène, avec accroissement intense de ses propriétés comburantes), nous dirons que la production industrielle n'en est guère connue que depuis 1883, grâce aux beaux travaux de M. Gaston Séguy, qui appelait son générateur *sursaturateur d'ozone*. L'application des propriétés oxydantes et bactéricides de ce corps à la stérilisation de l'eau, après avoir été soupçonnée par James Chappuis et par Philipps, a été imaginée en 1891 par le D^r Fröhlich, Directeur de la Société électro-chimique de Berlin (d'où le nom de méthode de Fröhlich en Allemagne) : des expériences de laboratoire furent faites avec l'aide de la maison Siemens et Halske et suivies par le professeur Ohlmüller, membre du K Gesundheitsamt. Ces expériences démontrèrent qu'effectivement le brassage de l'eau avec de l'air ozonisé à un degré de *concentration* supérieur à un certain minimum (il ne faut pas oublier que la transformation de l'oxygène de l'air en ozone n'est que partielle, les appareils les plus perfectionnés n'arrivant à produire que 12 à 13 grammes d'ozone par mètre cube d'air, c'est-à-dire sur 300 grammes d'oxygène) rendait l'eau aseptique et détruisait une grande partie des matières organiques. Il fut établi en outre qu'il fallait employer des courants alternatifs à haute tension (afin de vaincre la résistance de l'air), interposer entre les électrodes des diélectriques entre lesquels l'effluve se forme comme dans un condensateur (afin d'obvier à la production des étincelles et à la création de courts-circuits), enfin maintenir dans les ozoneurs une température basse.

En 1893, le baron Tindall, aidé par MM. Schneller et Van der Sleen, entreprit à Oudshoorn, près Leyde, des expériences de stérilisation en grand sur les eaux très souillées du vieux Rhin. Le professeur Van Ermengem rendit compte en 1895 (*Annales de l'Institut Pasteur*) des résultats favorables obtenus ainsi. A l'Exposition d'hygiène de 1895 à Paris, M. Tindall installa et fit fonctionner un appareil traitant 2 m³ d'eau par heure, l'air ozonisé barbotant dans l'eau à stériliser. Le Conseil municipal de Paris vota même alors une somme destinée à monter une installation et à faire des expériences à Saint-Maur ; mais nous ne sachions pas qu'il ait été donné suite à cette idée.

d'oxyder les matières organiques, la seconde comme ci-dessus avec des électrodes en aluminium ayant surtout pour but de précipiter les corpuscules en suspension.

Quoiqu'il en soit, les essais furent poursuivis par MM. Marmier et Abraham ainsi que par M. Otto en France, par la maison Siemens et Halskè en Allemagne.

1° *Procédé Marmier et Abraham.* — Ces expérimentateurs opérèrent d'abord dans le laboratoire ; il fallait arriver à mesurer le degré de *concentration* d'un air ozonisé (on dose l'ozone par son action sur l'iodure de potassium, en recherchant au moyen d'une solution titrée d'hyposulfite de soude la quantité d'iode mis en liberté) ; il fallait déterminer le degré de *concentration* minimum pour que l'air ozonisé soit efficace (il faut 5 à 6 grammes, et en tout cas plus de 3 grammes d'ozone par mètre cube d'air) ; enfin, il fallait rechercher dans quelles conditions et pendant combien de temps le contact de l'air et de l'eau devait avoir lieu (il fut reconnu que le brassage devait être intime et la division de l'eau très grande).

Les expériences en grand eurent ensuite lieu à Lille, sur l'eau (claire mais chargée de 2 500 à 4 000 bactéries par centimètre cube) provenant des nappes souterraines d'Emmerin ; elles furent contrôlées par une commission composée de MM. les D^{rs} Roux, Calmette et Staes-Brame et de MM. Buisine et Bouriez.

On trouvera le rapport de cette commission, 12 février 1899, dans les *Annales de l'Institut Pasteur* de 1899. (Voir également le numéro du 20 juin 1899 de la *Revue d'hygiène*). En raison de leur importance, nous citerons les conclusions :

« En résumé, l'ensemble des analyses bactériologiques et chimiques que nous avons effectuées, pendant la période qui s'étend du 10 décembre 1898 au 12 février 1899, nous conduit à conclure que :

1° Le procédé de stérilisation des eaux d'alimentation par l'ozone, basé sur l'emploi des appareils ozoneurs et de la colonne de stérilisation de MM. Marmier et Abraham, et d'une efficacité incontestable, et cette efficacité est supérieure à celle de tous les procédés de stérilisation actuellement connus, susceptibles d'être appliqués à de grandes quantités d'eau.

2° La disposition très simple de ces appareils, leur robustesse, la constance de leur débit, et la régularité de leur fonctionnement donnent toutes les garanties que l'on est en droit d'exiger d'appareils vraiment industriels.

3° Tous les microbes pathogènes ou saprophytes que l'on rencontre dans les eaux étudiées par nous, sont parfaitement détruits par le passage de ces eaux dans la colonne ozonatrice. Seuls, quelques germes de *Bacillus subtilis* résistent.

On compte environ un germe appartenant à cette espèce par 15 cm³ d'eau traitée avec une concentration d'ozone égale à 6 milligrammes, le nombre des germes de *Bacillus subtilis*, revivifiables par la culture en bouillon, s'abaisse à moins de : 1 pour 25 cm³ d'eau traitée.

Il importe d'observer que le *Bacillus subtilis* (microbe du foin) est tout à fait inoffensif pour l'homme et pour les animaux ; et, d'ailleurs, les germes de ce

microbe résistant à la plupart des moyens de destruction, tels que le chauffage à la vapeur sous pression à 110°. Il n'est donc pas utile d'exiger sa disparition complète des eaux destinées à la consommation, et nous considérons comme très suffisante la stérilisation obtenue par l'air ozonisé avec une concentration de 5 à 6 milligrammes par litre, dans les conditions où se placent MM. Marmier et Abraham.

4° L'ozonisation de l'eau n'apporte dans celle-ci aucun élément étranger, préjudiciable à la santé des personnes appelées à en faire usage. Au contraire, par suite de la non augmentation de la teneur en nitrates, et de la diminution considérable de la teneur en matières organiques, les eaux soumises au traitement par l'ozone sont moins sujettes aux pollutions ultérieures, et sont, par suite, beaucoup moins altérables. Enfin, l'ozone n'étant autre chose qu'un état moléculaire particulier de l'oxygène, l'emploi de ce corps présente l'avantage d'aérer énergiquement l'eau, et de la rendre plus saine et plus agréable pour la consommation, sans lui enlever aucun de ses éléments minéraux utiles.

5° *En ce qui concerne la Ville de Lille*, notre avis est qu'il y a lieu de recommander à l'Administration municipale l'adoption du procédé de MM. Marmier et Abraham, lequel, ainsi que nous en avons acquis la certitude, assurerait l'innocuité absolue et permanente des Eaux d'Emmerin qui alimentent l'agglomération lilloise.

Nous pensons aussi, qu'étant donnée la sécurité de ce mode d'épuration, la ville de Lille trouverait un avantage immédiat à augmenter le débit des sources actuelles par le simple apport d'eaux de rivière, ou de canaux du voisinage, grossièrement filtrées par une digue de sable, et stérilisées ensuite en même temps que l'eau des sources, au moyen des appareils ozoneurs ».

Le système Marmier et Abraham, exploité actuellement par la « Société Industrielle de l'Ozone » comprend, comme tout autre d'ailleurs :

- 1° La production du courant électrique.
- 2° La production de l'ozone.
- 3° La stérilisation de l'eau.

La fig. 64, empruntée à la brochure qui nous a été remise par les auteurs lors de notre visite à l'appareil qui fonctionnait à l'Exposition fait voir le plan schématique d'une installation.

Le liquide est aspiré en *a* par une pompe centrifuge *b*, et envoyé au sommet *c* de la *colonne de stérilisation d* : un puisard *g* recueille l'eau traitée qui, reprise par une pompe *i*, est refoulée au réservoir de distribution *j*. L'air ozonisé est amené au bas de la colonne de stérilisation qu'il traverse de bas en haut pour sortir en *f* : sa circulation est assurée par un ventilateur *m*, aspirant l'air atmosphérique pour le faire passer dans un dessiccateur *l*, dans l'azoneur *k*, enfin dans la colonne *d*. Le dessiccateur n'est autre chose qu'un cylindre contenant de l'acide sulfurique concentré qui absorbe la vapeur d'eau contenue dans l'air.

Enfin le courant électrique alternatif, nécessaire pour produire les effluves électriques, est fourni par un transformateur *t*, dont le circuit primaire (1) reçoit le courant d'un alternateur *u*, actionné par une machine à vapeur *v* et sa chaudière : le circuit secondaire (2) fournit à

Pozoneur des courants d'une tension voisine de 40 000 volts. En n , on place, en dérivation sur le circuit de haute tension, un *déflagrateur à boules*, formé de deux sphères entre lesquelles jaillit une étincelle électrique que l'on souffle continuellement au moyen d'un jet d'air comprimé ou de vapeur : le rôle de déflagrateur est de maintenir entre

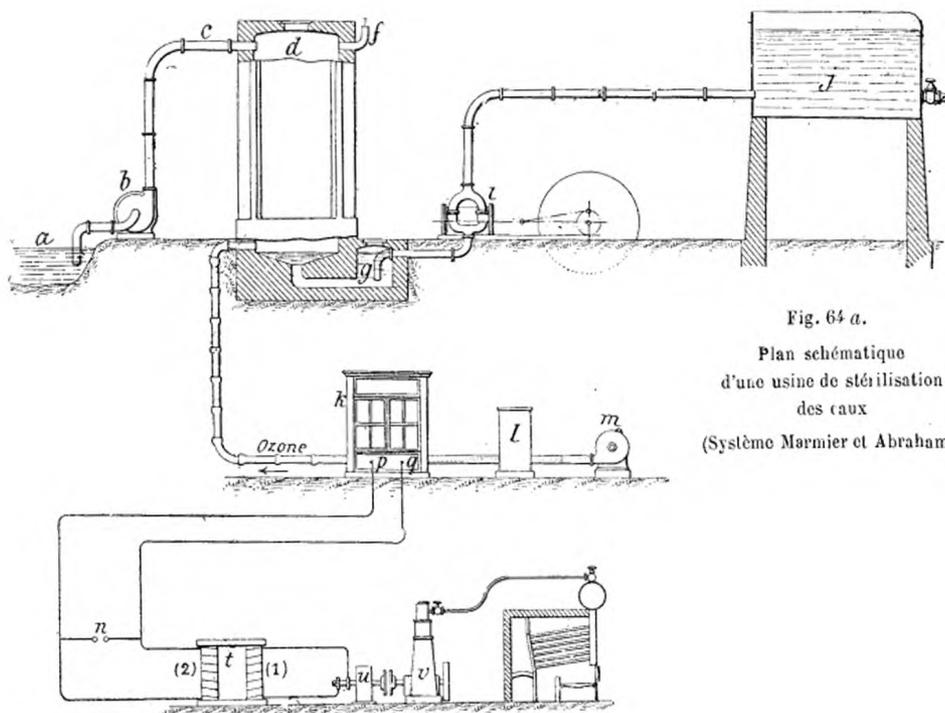


Fig. 64 a.

Plan schématique
d'une usine de stérilisation
des eaux
(Système Marmier et Abraham).

Fig. 64. — Stérilisation par l'ozone.

les pôles de l'ozoneur un potentiel régulier, et de plus d'introduire grâce aux étincelles dans chaque période du courant alternatif des vibrations intermédiaires qui accroissent notablement la concentration de l'ozone et par suite le rendement. La concentration obtenue est ainsi de 12 grammes d'ozone par mètre cube d'air, la densité d'effluve correspondant à 4 ou 5 kilowatts par mètre carré d'électrode.

La fig. 64 donne également le détail de l'ozoneur : il applique bien les principes posés par le D^r Ohlmüller et rappelés plus haut. Deux disques en fonte D_1 et D_2 formant les électrodes sont suspendus de manière que leurs faces soient bien parallèles : deux plaques de verre P, P , constituant les diélectriques, sont appliquées sur ces disques et sont

séparées entre elles par un intervalle de 3 à 4 mm dans lequel se produisent les effluves.

Les disques sont enfermés dans une caisse hermétiquement close : l'air arrive en *a*, traverse les effluves comme l'indiquent les flèches, et sort ozonisé en *o*. La température devant rester basse, les disques sont creux, et reçoivent un courant d'eau continu qui empêche leur échauffement : l'isolement de l'eau réfrigérante (qui se trouve par le fait électrisée dans les tambours) est assuré au moyen de deux appareils à égouttement, l'un à l'entrée, l'autre à la sortie.

On place naturellement, côte à côte toute une série de disques et de plaques de verre alternant savoir : un disque-électrode une plaque de verre, un intervalle ; — puis une plaque de verre, un disque-électrode et une autre plaque de verre, tous trois percés au centre d'un orifice pour le passage de l'air ozonisé ; — ensuite un intervalle, une nouvelle série et ainsi de suite.

La colonne de stérilisation a pour but de mettre l'air ozonisé en contact intime avec l'eau. C'est une simple chambre en maçonnerie contenant des stratifications de divers matériaux concassés et formant filtre : l'ozone entrant par le bas et l'eau tombant en pluie par le haut sont divisés et mis en contact prolongé dans les vides laissés libres entre les matériaux, les bulles de gaz devant se frayer dans leur marche ascensionnelle un passage au travers des filets liquides remplissant ces vides. Une trompe renouvelle le gaz par un appel énergique.

Comme prix de revient, MM. Marmier et Abraham ont parlé de 1 centime par mètre cube d'eau traitée : ce chiffre paraît bien faible, et les auteurs reconnaissent d'ailleurs qu'on ne peut fixer ce prix en général puisqu'il dépend de l'importance respective des installations.

2° *Procédé Otto*. — (Appliqué par la « Compagnie de l'Ozone » qui fournit des eaux de table en bouteilles et de la glace stérilisées).

M. Otto, Ingénieur électricien, a imaginé à la fois des ozoneurs et un appareil de stérilisation.

Les ozoneurs — sans diélectriques, ni déflagrator — sont caractérisés en ce que les surfaces des électrodes ne sont pas planes, et en ce que les électrodes ou d'autres organes sont mobiles. Ces dispositions ont pour objet :

1° De favoriser la formation de l'effluve par un ensemble de pointes dont est hérissée (en tout ou en partie) la surface des électrodes.

2° De couper entre les électrodes les décharges disruptives (étin-

celles et arcs) qui se produisent infailliblement entre ces pointes : les pointes sont nécessaires en l'absence de diélectriques, en raison de la grandeur de l'intervalle qui sépare les électrodes, mais elles donnent lieu à des arcs et étincelles qu'il faut couper en variant les surfaces d'électrodes en présence.

Au point de vue du mouvement des organes, les ozoneurs étudiés par M. Otto, sont divisés en deux catégories :

1° Les ozoneurs rotatifs à électrodes mobiles.

2° Les ozoneurs rotatifs à amorceurs et interrupteurs d'effluves.

Les ozoneurs rotatifs à électrodes mobiles sont constitués par une série de disques parallèles à bords tranchants ou biseautés, et en partie évidés, tournant sur leur axe dans une cuve en fonte alésée intérieurement et évidée à sa partie inférieure. Tous les disques sont reliés à un des pôles du transformateur et forment électrode, l'électrode de nom contraire est constituée par la cuve.

L'effluve se forme entre la circonférence des disques et les parois de la cuve.

L'ozoneur à amorceur d'effluves comporte des électrodes de noms contraires intercalées à distance telle que l'effluve ne puisse jaillir spontanément entre elles. Dans les intervalles, à mi-distance des électrodes, sont calés sur un arbre horizontal, des disques rotatifs conducteurs à secteurs évidés.

L'ozoneur interrupteur d'effluves comporte des dispositifs analogues avec cette différence que la distance des électrodes de noms contraires est telle que l'effluve jaillit entre elles spontanément et que les disques intermédiaires rotatifs, à secteurs évidés, interrupteurs (et non amorceurs comme dans le cas précédent) d'effluves, sont en matière isolante.

Ces divers appareils sont extrêmement ingénieux ; les essais qui ont été faits ont donné, jusqu'ici, de bons résultats ; mais il va de soi que leur construction et leur fonctionnement rencontrent des difficultés d'exécution et des dangers que ne comportent pas les appareils dont les organes sont fixes et immuables. Ces inconvénients sont particulièrement graves quand il s'agit d'organes portés à des différences de potentiel très élevé, d'autant plus qu'il est très difficile de maintenir un isolement parfait dans les pièces en mouvement. D'autre part, l'intermittence de la formation des effluves et l'interruption des arcs limitent la puissance ou la densité par unité de surface à laquelle l'effluve peut être poussée ; elles nécessitent en conséquence des développements de surface d'élec-

trodes qui constituent une grave complication quand il s'agit de traiter de grands volumes d'eau, tels que 50 ou 100 000 m³ par jour.

Le stérilisateur de M. Otto comprend tout d'abord un appareil dit *émulseur* destiné à produire l'émulsion aussi parfaite que possible de l'air et de l'eau : il est composé de deux cônes disposés concentriquement et présentant leurs petites bases en regard l'une de l'autre. Par un ajustage reliant le cône extérieur, on envoie l'air ozonisé, tandis que l'eau est amenée par l'autre cône et se déverse en lame mince, subissant l'action efficace de l'ozone : le mélange se rassemble dans un récipient, d'où il passe dans le *stérilisateur à plateaux*. Celui-ci est formé d'une superposition de 20 à 50 plateaux à grande surface, sur lesquels l'eau séjourne et circule en lame mince de haut en bas, les orifices des plateaux alternant d'un côté à l'autre de manière à assurer un écoulement en zigzag : l'ozone circule, lui, en sens inverse et s'échappe à la partie supérieure. Pour les grands débits, l'inventeur a prévu des galeries d'ozonisation, garnies de barres horizontales disposées en chicane, à travers lesquelles l'eau tombe en cascades successives, en se divisant de plus en plus au fur et à mesure de sa progression descendante.

3° *Procédé de la maison Siemens et Halske*. — Cette maison a de son côté poursuivi les expériences : elle a bien voulu nous adresser la description qui suit de ses appareils.

« L'installation de Martinikenfelde permet de stériliser par heure 10 m³ d'eau impure : celle-ci est prise dans la Sprée, à sa sortie de Berlin, c'est-à-dire au point où elle atteint son degré maximum d'impureté. Elle circule ensuite dans les a) *filtres, système Brix*, servant à débarrasser l'eau des corps organiques en suspension.

De ces filtres, l'eau ainsi épurée est conduite dans une b) *Tour à ozoniser*, remplie de graviers de la grosseur d'œufs de pigeon. L'eau arrive par le haut, ruisselle le long des graviers et rencontre le courant d'ozone circulant de bas en haut dans la tour ; elle est ainsi stérilisée et s'écoule dans un réservoir d'où elle est conduite aux lieux de consommation. L'eau qui sort de la tour a un goût très agréable et ne dénote que pendant quelques instants après son écoulement une légère réaction d'ozone. L'eau impure, qui contient au lieu de captation à Berlin 200 000 microbes par centimètre cube, est stérilisée à un tel point par l'ozonisation qu'elle devient complètement stérile ou ne contient plus que 20-50 microbes par centimètre cube. Le traitement de l'eau par l'ozone détruit les matières colorantes de l'eau et les sels or-

ganiques ferrugineux ainsi que la plus grande partie des combinaisons ferrugineuses dissociables par l'oxydation.

c) *L'appareil producteur d'ozone est composé :*

1° D'une pompe à air refoulante pour comprimer l'air dans l'appareil à dessécher et dans les ozoniseurs.

2° D'une étuve pour dessécher l'air de l'humidité. Cette opération peut se faire dans les grandes installations par des machines à glace, dans les petites, par du chlorure de calcium ou de l'acide sulfurique, dans des récipients *ad hoc*.

3° D'ozoniseurs composés de quatre plaques. Ils sont placés dans des caisses fermant hermétiquement et travaillent à des tensions de 15 000 volts produites par un alternateur et un transformateur.

Un appareil à ozone, composé d'une paire de plaques, nécessite pour son fonctionnement une force de 0,5 cheval et fournit par heure 15 grammes d'[O³]. Un appareil à 2 paires de plaques nécessite 1 cheval et fournit 30 grammes d'[O³].

Les frais de la stérilisation de l'eau par l'ozone sont différents suivant la nature de l'eau et s'élèvent à 2-4 pfennigs par mètre cube, y compris l'amortissement et les intérêts. »

c).— *Procédés chimiques.*

Nous avons déjà parlé des procédés qui, en combinaison avec d'autres, font concourir à la stérilisation certains corps comme le perchlorure de fer (procédés d'Almen de Kirchner, de Mauget), l'alun (procédés de Barbès de Werner, etc.) et même l'ozone (l'électricité n'intervient en somme que pour la production de l'air ozonisé).

D'autres corps ont également des propriétés bactéricides et oxydantes qui les rendent capables de stériliser l'eau (chlorure de chaux et hypochlorites ⁽¹⁾, iode ⁽²⁾, brome ⁽³⁾, permanganate de chaux ou de

(1) Traube a montré qu'on pouvait stériliser l'eau en y ajoutant du chlorure de chaux, et neutralisant ensuite le chlore non transformé par le sulfite de soude : il maintenait le contact pendant 2 heures. Le Dr Bassenge a repris la chose et a montré en 1895 qu'un contact de 10 minutes suffisait pour détruire les microbes pathogènes : la proportion de chlore devait atteindre environ 0^{gr},4 de chlore par litre, soit 30 cm³ d'une solution de chlorure de chaux au centième. On se débarrassait de l'excès de chlore par le bisulfite de chaux, qui donnerait du sulfate non nuisible : il n'y aurait pas besoin de réactif, le goût et l'odorat suffisent à faire connaître que tout le chlore est neutralisé. On peut aussi se servir de chlorure de chaux en poudre : une pointe de couteau pour 5 lit.

(2) En additionnant l'eau de $\frac{1}{400\ 000}$ d'iode, agitant et laissant reposer un quart d'heure, on tue tous les microbes ; si on ajoute alors $\frac{1}{50\ 000}$ d'hyposul-

potasse, peroxyde de chlore, eau oxygénée ⁽⁴⁾, superoxyde de sodium ⁽⁵⁾, chlorure de cuivre ⁽⁶⁾, etc., mais la difficulté est de doser exactement les quantités nécessaires et de ne laisser subsister dans l'eau après l'opération, aucun élément toxique ou simplement désagréable. C'est ce qui fait que jusqu'ici on n'a réussi surtout en grand qu'avec un très petit nombre de ces corps.

*Traitement par le permanganate de chaux ou de potasse
(filtres Lutèce, Lapeyrère).*

Le permanganate de potasse est un corps très oxydant, qui détruit les matières organiques et les microbes : il suffit d'arrêter l'addition de ce corps quand la couleur rose de l'excès non décomposé persiste. L'inconvénient du système est l'introduction de potasse dans l'eau.

MM. Girard et Bordas, directeurs du Laboratoire municipal de Paris, ont préconisé l'emploi du permanganate de chaux, qui agit comme celui de potasse, mais avec l'avantage que les produits de la réaction sont insolubles et facilement séparables. Pour éliminer ces produits ainsi que l'excès de permanganate, on filtre l'eau traitée à travers un bloc de bioxyde de manganèse. Tel est le principe du *filtre Lutèce*, qui d'ailleurs est resté un appareil de ménage ou de laboratoire.

Le *filtre Lapeyrère* (Voir *Revue d'Hygiène*, mars 1900) emploie le permanganate alumino-calcaire à la dose de 0^{gr},25 à 0^{gr},50 par litre : la couleur rose doit persister. Le filtre contient une matière réductrice (tourbe purifiée ou laine saturée d'oxyde brun de manganèse) qui enlève l'excès de permanganate.

Traitement par le peroxyde de chlore (procédé Bergé).

Quand on traite le chlorate de potasse par l'acide sulfurique con-

fité de soude, on décompose l'iode et on a deux substances inoffensives, à faibles doses, l'iodure de sodium et le tétrathionate de soude : on pourra alors filtrer sur du charbon pur.

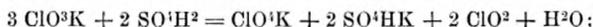
(3) On a proposé également l'emploi du brome : on verse par litre d'eau 0 cm³,2 d'une solution contenant 20 gr. de Br, 20 gr. de K Br et 100 gr. d'eau ; au bout de 5 minutes, on ajoute également 0 cm³,2 d'une solution aqueuse d'ammoniaque à 9 0/0 : il se forme du sous-bromate et du bromure d'ammonium non nuisibles. L'eau doit garder une demi-minute la coloration jaune avant qu'on ajoute l'ammoniaque (Voir Schumburg in *Deutsche Wochenschrift*, mars 1897).

(4) Voir Van Hattinga-Tromp : *Wasserstoffsuperoxyd to Desinfektion van Drinkwater*, 1887 et Althoefer : « *Ueber die Desinfektionskraft von Wasserstoffsuperoxyd auf Wasser* », in *Centralblatt für Bakteriologie*, 1890.

(5) Voir Blatz in *Apotheker Zeitung*, 1898.

(6) Voir les articles de Kröhnke dans *Chemiker-Zeitung* (1893) et dans *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung* (1893).

centré (ce qui se fait soit comme Davy en faisant un simple mélange pâteux, soit comme Stadion en faisant fondre au préalable puis refroidir le chlorate, soit comme Gay-Lussac en étendant l'acide sulfurique d'une demi-partie d'eau), on obtient un gaz jaune-verdâtre d'une odeur suffocante appelé, peroxyde de chlore. La réaction schématique serait



Mais le gaz obtenu, représenté par ClO^2 , ne serait pas en réalité un corps bien défini, le produit de décomposition de l'anhydride chlorique Cl^2O^5 pouvant contenir outre le peroxyde de chlore proprement dit de l'oxygène, de l'ozone et du chlore libre : du reste les solutions aqueuses de ClO^2 se décomposent spontanément à la lumière, en donnant de l'oxygène, du chlore et de l'acide chlorique.

On obtient également du peroxyde de chlore en chauffant au bain-marie à une température de 70° un mélange de chlorate de potasse pulvérisé et d'acide oxalique cristallisé (procédé Calvert et Davies) : le gaz obtenu ainsi contiendrait de l'acide carbonique, mais pas de chlore.

Enfin l'électrolyse de l'eau de mer (qui, comme on sait, contient environ 30 kg. de NaCl par mètre cube, avec 3 à 4 kg. de chlorure de magnésium) donne à l'électrode positive un corps assez mal défini qui contient du peroxyde de chlore et des hypochlorites : ce fait a suggéré à M. Hermite l'idée de tirer de l'eau de mer, ou d'une solution artificielle analogue, un antiseptique peu onéreux. L'appareil qu'il a proposé comporterait comme électrodes positives des plaques de platine, entre lesquelles des disques de zinc formant électrodes négatives tourneraient lentement, tout en frottant contre des couteaux-racleurs destinés à maintenir leurs surfaces nettes et actives : les électrodes positives sont réunies par une barre horizontale en cuivre, régnant sur toute la longueur du réservoir en fonte qui contient l'eau salée, réservoir dont les parois forment le pôle négatif.

Le peroxyde de chlore est un oxydant énergique, qui comme l'ozone détruit les bactéries et les matières organiques avec lesquelles il a un contact suffisamment intime et suffisamment prolongé. C'est cette propriété que MM. Bergé appliquent à la stérilisation de l'eau en grand. En 1898, des essais furent faits à Ostende et Middelkerke : ils furent suivis au point de vue chimique et bactériologique par MM. Van Ermengen, de Molinari, Petermann, et donnèrent lieu à des rapports très

favorables de MM. André et Verraert et de M. le D^r Desguin. En France, le procédé fut étudié par M. le D^r Ogier, qui le déclara pratique et efficace (rapport lu et approuvé le 17 juillet 1899 par le Comité consultatif d'hygiène publique).

Suivant les conclusions du même rapporteur, la ville de Lectoure (Gers), fut autorisée peu de temps après (séance du Comité consultatif du 13 novembre 1899), à appliquer le procédé Bergé à ses eaux de consommation : l'installation étant déjà faite, il fut facile d'en contrôler les résultats.

Nous laisserons la parole à M. Ogier, pour décrire l'ensemble du procédé (Ostende), aussi bien que les dispositions adoptées à Lectoure :

« La préparation du peroxyde de chlore par les moyens ordinaires n'est pas sans danger, mais pour les applications du procédé Bergé, il suffit de produire une solution aqueuse de peroxyde, solution qui est facile à manier et qui peut être fabriquée sans risques, grâce à certaines précautions qu'il est utile d'indiquer.

Dans une préparation industrielle, il convient de proscrire absolument l'emploi de l'acide sulfurique concentré, qui donne lieu à un dégagement rapide mais qui produit souvent des explosions accompagnées de projections dangereuses. M. A. Bergé conseille l'usage de l'acide un peu étendu, à 58° Baumé (densité 1,67). Avec cet acide, qui, bien entendu ne doit être employé qu'après refroidissement, la décomposition du chlorate se fait lentement et régulièrement. On évite, d'ailleurs, toute accumulation de volumes importants de peroxyde de chlore gazeux, en dirigeant dans le mélange un courant d'air qui entraîne le gaz formé.

Pour les expériences de laboratoire, l'appareil se compose en somme d'un petit flacon où l'on introduit la quantité convenable d'acide sulfurique à 58° et du chlorate pulvérisé (40 gr. par exemple). Immédiatement on dirige sur le mélange un courant d'air à l'aide d'une soufflerie ou d'une trompe. Le peroxyde dilué d'air traverse ensuite une série de 4 ou 5 flacons laveurs remplis d'eau. Celle-ci dissout le gaz en prenant une coloration jaune intense. On arrête l'opération lorsque la teinte du dernier flacon laveur cesse de devenir plus foncée. Les contenus des divers flacons sont mélangés et constituent le réactif purificateur.

Pour les applications en grand, il serait évidemment nécessaire et probablement facile d'imaginer des appareils permettant une fabrication continue des réactifs (additions successives de chlorate pour une grande quantité d'acide sulfurique).

L'eau à purifier doit être additionnée d'un excès de la solution hypochlorique; une expérience très simple permet de vérifier si le réactif est réellement en excès. Il suffit d'ajouter à un échantillon de l'eau traitée un peu d'un mélange de solution d'iodure de potassium et d'eau d'amidon. La moindre trace de peroxyde de chlore met en liberté l'iode qui colore l'amidon en bleu. Le pouvoir colorant du peroxyde est fort intense, et les eaux contenant un excès de peroxyde de chlore ont au début une légère teinte jaune appréciable par comparaison avec l'eau non traitée.

Il est tout à fait indispensable que l'eau traitée ne soit pas livrée à la consommation avant que l'excès de réactif ait été complètement détruit, en d'autres termes, il ne doit exister dans une eau de ce genre aucune trace d'un

composé oxygéné du chlore à l'état libre, ni sous forme des acides oxygénés inférieurs.

La consommation d'eau contenant de semblables produits ne serait certainement pas acceptée à cause de l'odeur et de la saveur de ces produits. D'autre part, il est bien probable que leur consommation ne serait pas inoffensive. Ajoutons enfin — et c'est là sans doute le point le plus important — que le passage d'eau contenant du peroxyde dans des canalisations en plomb aurait sans doute pour effet de dissoudre des traces de métal sous forme de chlorure de plomb dont l'absorption, continuellement répétée, offrirait les plus graves dangers.

J'ai fait quelques essais pour déterminer avec quelle vitesse a lieu cette disparition du peroxyde de chlore. Elle est, comme on peut le deviner, très variable selon la pureté de l'eau mise en expériences.

De l'eau de la Vanne a été additionnée de quantités variables de peroxyde (solution contenant 164 mgr. de peroxyde par litre). Les échantillons ont été laissés à la lumière diffuse dans des flacons de verre blanc. Après un jour, les échantillons contenant $\frac{1}{2}$, 1 et 2 cm³ par litre ne renferment plus de traces de peroxyde.

Avec 3 cm³ il y a encore après 24 heures une trace de composé chloré. Avec 4 cm³ la coloration bleue par le réactif iodure de potassium-amidon se montre encore après trois jours, mais non après quatre.

Pour des eaux plus riches en matières organiques la disparition de semblables doses de peroxyde de chlore aurait lieu dans un temps beaucoup plus court, mais les doses à employer pour la stérilisation devraient être plus élevées, comme nous le verrons plus loin.

La destruction de l'excès du peroxyde de chlore dépend évidemment encore de divers facteurs, parmi lesquels la température et la lumière. S'il restait du peroxyde dans une eau qui devrait être livrée à la consommation, un procédé rapide qu'a indiqué M. A. Bergé permettrait de l'éliminer en totalité. Il suffirait de faire passer l'eau sur du coke. La destruction du peroxyde en présence du coke est immédiate. D'après des observations que j'ai faites sur ce sujet, l'effet destructif du coke sur le peroxyde de chlore ne serait pas de longue durée, mais si le coke est remis au contact de l'air, il reprend vite ses propriétés. L'action simultanée de l'air paraît nécessaire. Il faudrait donc, dans la pratique, se servir par exemple d'appareils où l'eau ne serait pas à proprement parler filtrée sur le coke, mais ruissellerait seulement à la surface de morceaux assez gros, de telle sorte qu'une aération efficace peut être réalisée en même temps grâce aux espaces libres laissés entre les fragments de coke ».

Quant aux quantités de réactif à employer, elles doivent varier naturellement avec la nature de l'eau. A Ostende, où l'on épurait et filtrait préalablement par les procédés Howatson, la dose de peroxyde employée pour 1 m³ d'eau était fournie par 1 gramme seulement de chlorate, ce qui correspond d'après la formule théorique à 0^{gr},367 de peroxyde et à une dépense de 0 fr.003 à 0 fr.004.

L'installation d'Ostende pouvait fournir environ 2 m³. par heure.

Toutes les analyses bactériologiques ont prouvé l'excellence du procédé : l'eau brute contenant 20 à 30 000 germes par centimètre cube et après dégrossissage 3 ou 4 000, n'en contenait plus après traitement par le peroxyde que 5 ou 6 (*bacillus subtilis*, *bacillus megaterium*),

espèces d'ailleurs inoffensives. Aucune espèce pathogène ne résiste. Quant aux matières organiques, elles auraient été réduites dans la proportion de 50 à 60 0/0.

« A Lecture, il s'agit de stériliser un volume journalier de 388 m³ d'eau puisée dans le Gers, Les appareils ont été installés dans l'ancien moulin de Repassac, où la force motrice est fournie par le Gers lui-même. Une turbine actionne une pompe centrifuge qui aspire l'eau de la rivière, et un appareil producteur de peroxyde de chlore.

L'eau est envoyée au sommet d'un grand filtre en silex concassé très fin, haut de 3^m,30, de 1^m,75 de diamètre : la purification préalable par filtration est très utile dans le procédé au peroxyde de chlore, comme dans les procédés à l'ozone; il ne faut faire agir le corps oxydant et stérilisateur que sur une eau déjà suffisamment épurée, sans quoi l'oxydation porte d'abord sur les matières organiques, et la stérilisation est incomplète ou entraîne de plus grandes dépenses; j'ai déjà insisté sur ce point dans le précédent rapport. Avec l'eau du Gers, le filtre devra être nettoyé chaque jour; ce nettoyage se fait par introduction d'eau de bas en haut : il est bien entendu que l'eau servant à ce nettoyage doit être de l'eau préalablement stérilisée provenant des opérations précédentes.

L'appareil producteur de peroxyde de chlore est fort ingénieusement combiné : il serait trop long de décrire ici complètement le mécanisme; disons seulement que la réaction se fait dans un vase conique en plomb contenant de l'acide sulfurique; nous avons indiqué déjà que cet acide doit être un peu étendu d'eau.

La distribution du chlorate dans l'acide a lieu mécaniquement et d'une façon régulière; elle est en rapport avec la quantité et la pureté de l'eau qui passe dans l'appareil; il est facile de modifier selon les cas, la dimension du petit récipient où s'emmagasine la prise de chlorate qui tombe dans l'acide à intervalles réguliers, toutes les minutes. Cette prise de chlorate est toujours très petite, quelques décigrammes.

Dans le récipient de plomb contenant le mélange d'acide et de chlorate, on fait passer un courant d'air provenant d'un récipient spécial, où l'on recueille chaque jour, à l'aide d'une pompe, une provision suffisante d'air comprimé. Le gaz peroxyde de chlore produit par la réaction est entraîné par l'air sous pression, et se rend dans un saturateur, où il se dissout dans de l'eau qui tombe, en cascades, par quantités réglées, sur des plateaux de laiton disposés en chicanes; pendant que le peroxyde se dissout, l'air en excès s'échappe à la partie supérieure du barboteur.

La solution aqueuse de peroxyde s'accumule au bas du barboteur est conduite dans un récipient où elle se mélange à l'eau sortant du filtre dont il a été question plus haut. La proportion de solution oxydante à ajouter à l'eau, peut être réglée par la manœuvre du robinet du mélangeur: elle doit être surveillée à la sortie de l'appareil, à l'aide du réactif amidon-iodure de potassium. Il faut que le peroxyde soit en léger excès, c'est-à-dire que le réactif ajouté à l'eau, placée dans une grande éprouvette d'un litre environ lui communique une coloration franchement bleue, mais pas trop intense.

La surveillance de ces appareils est relativement facile; mais il est indispensable que cette surveillance soit très attentive. »

D'après ce qui précède, le procédé Bergé paraissait avoir conquis sa place. Une critique vient cependant de s'élever : dans un article du 30 juin 1900 qui a paru dans le numéro du 20 août de la *Revue d'hygiène*, M. Schoofs, pharmacien à Liège, se plaçant exclusivement

sur le terrain de la chimie, conteste une partie des affirmations de MM. Bergé et de M. Ogier et l'innocuité de l'eau traitée. Suivant lui, cette eau contiendrait des hypochlorites et des chlorates et serait très offensive pour les conduites métalliques et notamment pour le plomb : enfin, elle ne serait débarrassée que d'une très petite portion de ses matières organiques. Voici du reste les conclusions de cet article :

« 1. Il est permis de prévoir que l'épuration des eaux pratiquées en grand par le procédé Bergé sera entourée de nombreuses difficultés résultant, d'une part, des dangers que présente le maniement d'une substance explosive; d'autre part, des incertitudes qui règnent encore sur les propriétés du peroxyde de chlore. L'agent stérilisateur préconisé par M. Bergé est un mélange gazeux complexe dont la constitution exacte n'a pas encore été établie d'une manière définitive, qui, par conséquent, ne peut être dosé par un simple essai. Après en avoir ajouté un excès à l'eau qu'il s'agira de stériliser, on ne pourra donc déterminer par aucun moyen précis l'excédant du réactif.

2. Il est de toute nécessité que l'eau soit privée des dernières traces de peroxyde de chlore avant d'être livrée à la consommation, car il n'est nullement démontré que ce corps oxydant puisse être absorbé par l'organisme sans inconvénient. Or, il n'est guère possible de compter sur son élimination spontanée ou tout au moins rapide. Aussi le coke a-t-il été préconisé pour absorber éventuellement le gaz qui n'aurait pas été utilisé. Les expériences de laboratoire montrent que cette opération doit être conduite avec beaucoup de soin pour donner les résultats qu'on en attend.

3. La solution Bergé, conservée pendant quelque temps dans un réservoir doublé de plomb, introduira nécessairement dans l'eau traitée des sels toxiques à doses d'autant plus élevées qu'on aura employé une quantité plus considérable de liquide épurateur.

4. En outre, il résulte de l'action réciproque du plomb et du peroxyde de chlore que la solution-réactif, conservée dans un récipient en plomb, comme l'auteur le propose, ne conservera pas son titre.

5. Si l'eau n'est pas entièrement dépouillée de peroxyde, elle attaquera les conduites métalliques. Ce corps a en effet, une grande affinité pour les métaux.

6. Il n'est nullement prouvé que l'eau épurée soit plus riche en oxygène comme on l'a affirmé.

Par contre, il est certain qu'elle est profondément altérée dans sa composition chimique par l'introduction de corps nouveaux, des composés oxygénés du chlore (chlorates, hypochlorites) qu'on retrouve encore dans l'eau qui a été filtrée sur du coke. Ces sels, étrangers à la composition normale d'une eau naturelle quelconque, ne peuvent être considérés comme indifférents. Il se dédoublent déjà en présence des acides faibles. A plus forte raison le suc gastrique les décomposera.

Il convient donc de se demander si une telle eau ne pourra exercer à la longue une influence fâcheuse sur l'organisme.

7. Le procédé Bergé est surtout recommandé pour l'épuration des eaux de surface, notamment des eaux de canal ou de rivière. Celles-ci contenant souvent des quantités considérables de matières organiques, on serait amené, dans la plupart des cas, à employer des doses élevées de peroxyde de chlore.

En opérant conformément aux indications des auteurs, on n'obtiendra cependant qu'une diminution minime des matières organiques et, par contre, l'eau traitée se chargera de quantités croissantes de chlorates et d'hypochlorites.

8. En résumé le procédé Bergé a deux graves défauts qui devraient le faire

rejeter : il n'améliore pas l'eau sous le rapport de ses propriétés chimiques et il y introduit des corps étrangers dont la présence est au moins suspecte ».

MM. Bergé ont cherché à répondre dans le numéro du 20 octobre 1900 de la *Revue d'hygiène* aux objections ci-dessus ; mais leur réponse suivie d'une nouvelle lettre de M. Schoofs ne nous paraît pas définitivement victorieuse sur tous les points. Nous pensons que ces inventeurs doivent encore redoubler d'efforts pour trouver le moyen de parer aux inconvénients signalés ci-dessus et dont plusieurs paraissent sérieux. La chimie n'est pas même aujourd'hui bien fixée sur la constitution et les propriétés des composés oxygénés du chlore : il faut donc se méfier grandement de leur instabilité et hésiter à introduire de tels corps, même en quantité minime, dans l'eau de boisson.

B. — FILTRATION A DOMICILE.

Nécessaire quand le service central n'a pu ou voulu distribuer de l'eau pure, cette opération utilise un grand nombre d'appareils, dont la plupart sont nettement incapables d'arrêter les microbes et dont les meilleurs ne peuvent les arrêter longtemps sans un nettoyage ou une revivification. Il n'en est donc aucun de parfait, et en tout cas, ils demandent un soin et un entretien minutieux, qu'on rencontre difficilement chez les particuliers qui les emploient. La valeur respective de ces filtres domestiques a été établie par deux belles études : l'une, due à MM. Sims Woodhead et Cartwright Wood et intitulée « *An inquiry into the relative efficiency of water filters in the prevention of infective disease* » a été insérée dans le *British medical Journal* de novembre et décembre 1894 et janvier 1898 ; l'autre, due à Plagge et intitulée : « *Untersuchungen über Wasserfilter* », est parue en 1895 dans les « *Veröffentlichungen des Militär-Sanitätswesens* » de Berlin. Il existe également au Val-de-Grâce une Commission chargée d'étudier les filtres, et c'est sans doute grâce à sa sévérité qu'on n'a admis dans l'armée française que le filtre Chamberland ; mais nous ne sachions pas que les travaux de cette Commission aient été publiés jusqu'ici.

Nous ne ferons guère que citer les appareils connus (la plupart étaient exposés) en les groupant d'après la nature de leur matière filtrante.

1° *Filtres au charbon.* — Il y en a une foule.

Filtre Bühring, filtre Möller, filtre Richard-Gerville (tous trois de Hambourg), filtre Atkins, filtre Cheaving, filtre Buron, filtre A. Rogge, filtre à poudre de coke de H. Koch, filtre Marcaire, filtre Wittmann,

filtre Defries (combinaison de charbon minéral et de pierre ponce pulvérisée), filtre universel de Chabrier jeune (combinaison du charbon et de la porcelaine), filtre Jacob Barstow et fils (combinaison du charbon et de la pierre poreuse), filtre Lipscombe and Co (combinaison du charbon et d'une étoffe d'amiante), filtre Doulton (charbon manganésé), enfin les appareils des Compagnies anglaises telles que Compagnie Morris, Compagnie des filtres au charbon silicaté, Compagnie des filtres de la Couronne, Compagnie générale de purification des eaux de Londres. Aux États-Unis, nous trouvons encore les filtres Crocker, Grant, American, Globe, Jewett, Keystone, etc., qui associent souvent le sable au charbon.

Tous ces filtres sont des clarificateurs, mais aucun d'eux ne retient suffisamment les germes en suspension dans l'eau : Plagge et les auteurs anglais précités les condamnent en bloc ; dès 1885 W. Hesse montrait déjà leur inefficacité.

Il en est de même du filtre Maignen, qui n'est en somme qu'une combinaison du charbon et de l'amiante (la poudre dite carbo-calcais, où intervient de la chaux, n'agissant guère que par son charbon) : ce filtre a joui d'une certaine réputation au début, grâce aux affirmations sans doute téméraires d'un assistant de Frankland. Nous savons déjà ce qu'il faut penser de ce système appliqué en grand.

2° *Filtres à l'éponge de fer ou au fer magnétique.* — Le filtre Bischoff à l'éponge de fer (fer poreux très pur qui s'obtient par la réduction de l'hématite au moyen du charbon) a été très répandu en Angleterre : Frankland estimait qu'il réduisait fortement les matières organiques. On faisait repasser l'eau, soit sur du marbre en poudre, soit sur du sable mélangé de bioxyde de manganèse naturel, afin de fixer le fer qui aurait pu être dissous et entraîné. Il a été constaté que ce filtre n'arrête pas bien les microbes.

Il est de même pour les filtres dits *magnétiques*⁽¹⁾ qui utilisent l'oxyde magnétique : à ce groupe appartiennent les filtres anglais dits Magnetic-carbide-filter et Polarite-filter. Le filtre de ce genre de M. Brosseau, qu'on voyait à l'Exposition, joint aux propriétés chimiques de cet oxyde les avantages de la filtration de bas en haut : l'inventeur cite une analyse chimique de M. Andouard d'après laquelle les matières organiques

(1) Spencer essaya il y a trente ans, de purifier à l'aide de ce corps les eaux de la Calder à Wakefield. A cette époque, les services militaires se servaient des filtres au *Carferal* (mélange de charbon, de fer et d'alumine) du major Crease, qui paraissent complètement oubliés aujourd'hui.

de l'eau de la Loire à Nantes seraient ramenées de 35 à 13 milligrammes et une analyse bactériologique de M. le docteur Rappin d'après laquelle les 3 000 microbes de cette eau auraient été ramenés à 200.

3° *Filtres au papier et à la cellulose.* — On voyait déjà en 1884, à l'Exposition de Londres, un filtre au papier carboné (papier dans la pâte duquel on incorpore 10 à 20 % de charbon animal débarrassé de son phosphate) : les feuilles de ce carton étaient comprimées entre deux disques de bronze et se remplaçaient à volonté par des neuves.

On trouve dans le même genre : le filtre Möller et Holberg, à la cellulose additionnée d'amiante ; le filtre Enzinger, au papier, etc. ;

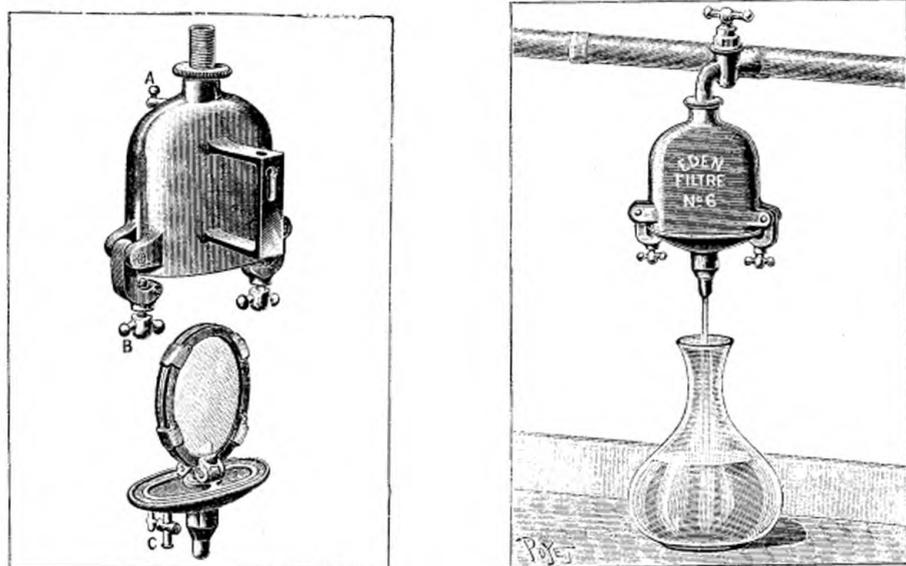


Fig. 63.

Le filtre Grandjean et l'Eden-filtre (fig. 63) dont l'élément filtrant est constitué pour le filtre Grandjean par une épaisse plaque de cellulose prise entre deux petits tamis métalliques et pour l'Eden-filtre par un

(1) On obtient cette *porcelaine de cellulose* de la manière suivante : des fibrilles très fines de lin ou de chanvre neuf (de 3 à 5 dixièmes de millimètre de longueur sur quelques centièmes de millimètre d'épaisseur) sont délayées dans une grande quantité d'eau qui, abandonnée au repos, les laisserait déposer sous forme d'un gâteau devenant dur et imperméable par la dessiccation. Mais on empêche l'imperméabilité d'être absolue en délayant en même temps dans l'eau de la poudre de terre d'infusoires, laquelle en se mélangeant aux fibrilles de cellulose ménage dans le gâteau des pores réguliers qui sont de l'ordre de grandeur des microbes. Plus on met de terre, plus le débit de la plaque est élevé, mais plus vite aussi son efficacité stérilisante diminue.

noyau creux en charbon, sur lequel s'empilent six feuilles de papier

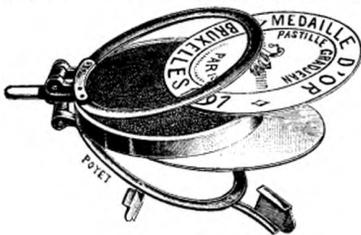


Fig. 63 bis.

ou filtre spécial que l'eau traverse de dehors en dedans : ces éléments se montent facilement en batterie dans une cloche où l'eau arrive sous pression. La plaque de cellulose ou les feuilles de papier se remplacent aussi souvent qu'il est utile ;

Le filtre système *Dame, Pottevin et Piat*, de la *Société des filtres pasteurisants*, qui est assez semblable au filtre Grandjean : l'élément filtrant est formé d'une plaque de cellulose [*porcelaine de cellulose*, disent les inventeurs (1)] placée entre deux calottes dont l'une recoit l'eau brute et l'autre l'eau qui a passé à travers la plaque filtrante. Celle-ci doit être remplacée fréquemment par une neuve (au moins tous les 8 ou 9 jours d'après les inventeurs, mais probablement plus souvent).

Les auteurs anglais et allemand déjà cités ne reconnaissent pas aux pores du papier ou de la cellulose le pouvoir d'arrêter les microbes ; toutefois ils n'ont pas examiné les filtres des deux derniers systèmes, où l'on emploie de la cellulose spécialement préparée. Notre maître et ami, M. le professeur Macé les a suivis pendant quelques jours dans son laboratoire et a trouvé qu'ils arrêtaient bien les microbes ; malheureusement le débit tombe très vite et il faudrait remplacer presque journellement la cellulose.

4° *Filtres à l'amiante*. — Nous avons déjà parlé du filtre Breyer.

Le filtre Trenkler, le filtre Kuhn (de Vienne), le filtre Jensen (de Hambourg), le filtre « Nibestos » font passer l'eau sur des toiles d'amiante de texture plus ou moins serrée : ils n'arrêtent pas suffisamment les germes. Il en est de même du filtre dit « Rapid Safety filter » de New-York.

Le filtre Sellenscheidt (de Berlin) se compose de châssis enfermant entre des tamis métalliques deux couches d'amiante séparées par un intervalle où s'amasse l'eau filtrée : les éléments sont plongés dans une caisse métallique contenant l'eau sous pression. L'appareil, d'après Plagge, fonctionnerait bien les deux ou trois premiers jours, mais après laisserait passer les microbes. Le filtre « Puritas », de Sonnenschein, est très semblable au précédent.

Citons encore le filtre rapide d'Arnold et Schirmer, dit plus souvent de Piefke. Il est formé par une superposition de compartiments filtrants renfermés dans un réservoir cylindrique commun. L'eau filtre de bas en haut. Les disques filtrants sont en amiante comprimée (on les a faits également en simple cellulose), ou encore en amiante réduite à l'état de bouillie et déposée sur des plaques de tôles perforées et recouvertes d'une toile métallique légère en cuivre étamé. Le nettoyage s'en fait facilement au moyen de bras ou ailettes, râclant chaque disque quand ils sont mis en mouvement par une manivelle centrale : le produit du lavage s'écoule par un orifice central inférieur. D'après Plagge, les effets bactériologiques de ce filtre sont médiocres et son débit diminue rapidement.

Enfin, on a proposé de faire en amiante (porcelaine d'amiante de M. Garros) des bougies analogues aux bougies du filtre Chamberland.

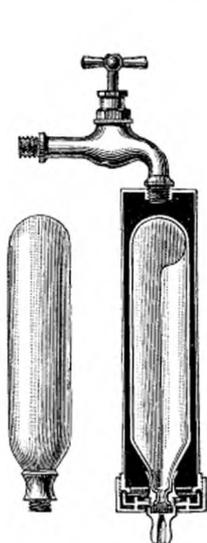


Fig. 66 a. — Aéri-filtre Mallié de ménage à pression.

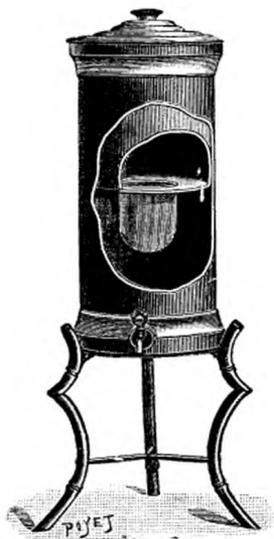


Fig. 66 b. — Fontaine de ménage, sans pression. Débit : 15 lit.

L'aéri-filtre Mallié, fig. 66, a adopté cette bougie qui, paraît-il, présenterait entre toutes les pores les plus fins (voir les grossissements fig. 66 bis) : dans les premiers types, la filtration se faisait de dedans en dehors, sans qu'on en voie ni la raison ni l'avantage ; aussi dans les types nouveaux et dans les batteries, elle se fait de dehors en dedans. Le filtre Mallié, d'après MM. Bouchard, Miquel, Gautier, Girard est excellent : il ne laisserait pas passer les germes au moins pendant une dou-

zaine de jours; les expérimentateurs anglais confirment qu'il n'a donné aucun microbe jusqu'au quatrième jour.

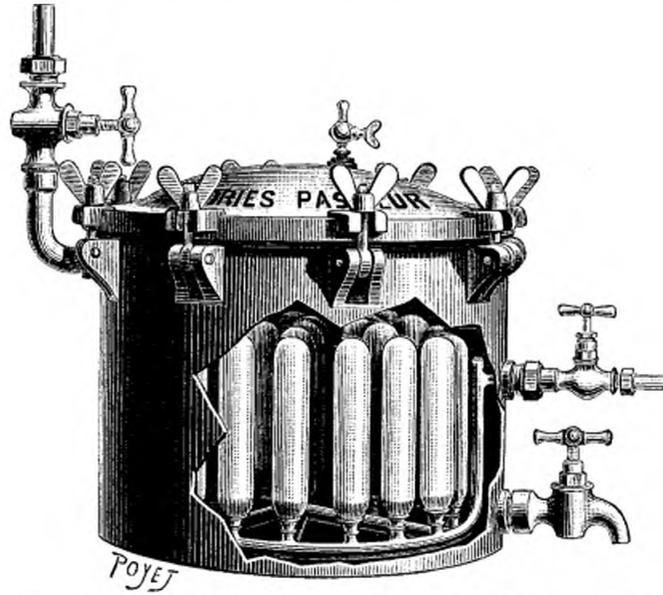
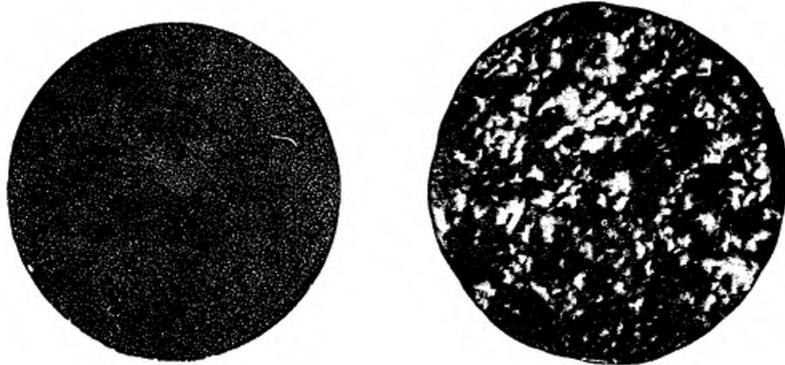


Fig. 66 c. — Batterie de filtres Mallié. — Débit : 3 à 4000 lit. par jour suivant pression.



Porcelaine d'amiante.

Porcelaine ordinaire.

Fig. 66 bis. — Coupes des porcelaines filtrantes vues au microscope. — Grossissement : 4000 fois.

3° *Filtres en pierre, terre, porcelaine, etc., etc.* — On connaît les anciens filtres *en grès*.

Le filtre de *Duff*, très répandu en Angleterre, utilise de même la porosité d'une pierre naturelle. Il paraît bien retenir les germes. Le filtre *Bureq* emploie lui, une pierre artificielle fabriquée avec de la poterie de grès, laquelle est rendue plus ou moins poreuse par l'addition de sciure de bois ou de toute autre matière analogue qui se brûle à la cuisson de la terre. Il y a lieu de craindre précisément que les pores ainsi créés ne soient trop larges. Toujours en Angleterre, le filtre *Slack*

and *Brownlow*, en porcelaine non vernie, arrête assez bien les germes, du moins au début.

En Allemagne, on trouve notamment :

Le filtre *Müller et Hesse*, formé par des tubes en terre argileuse, traversés par l'eau de bas en haut.

Le filtre *Olschewsky* (Berlin), formé par un mélange de poussières d'argile, de carbonate de chaux et de substances combustibles très fines. Ce mélange trituré avec de l'eau est moulé en forme de corps creux, qui sont cuits et solidifiés à haute température, et deviennent les corps filtrants.

Le filtre *Maas et Cohnfeld* (Berlin) assez semblable au précédent.

Le filtre en pierre naturelle de *Schuler* (d'Isny). Esmarch a expérimenté six de ces filtres en grès ou en tuf volcanique avec le bacille rouge de Kiel : les bacilles passaient souvent après trois ou quatre heures, et en tout cas étaient très abondants dans le filtrat après trois jours.

Le filtre *Pukall*, essentiellement constitué par un ballon en porcelaine filtrante.

Le filtre *Stavemann* (Berlin), et le filtre de la Sanitäts-Porcellan-Manufactur de Haldeuwanger (Charlottenburg), qui sont en porcelaine et très analogues tous deux au filtre Chamberland.

Filtre Berkefeld. — C'est le meilleur de l'Allemagne. — La bougie (voir fig. 67) est en terre d'infusoires (*Kieselgühr*) elle enfermée dans un cylindre métallique où l'eau arrive latéralement, mais elle ne porte pas de tétou à sa partie inférieure, l'eau filtrée devant s'échapper par le haut. Le filtre porte un appareil de brossage facile à comprendre : de plus, les bougies doivent être fréquemment stérilisées dans de l'eau qu'on porte à l'ébullition.

D'après nos auteurs précités et notamment Plagge, ainsi que d'après Nordtmeyer, Bitter, Jolin, Schöfer, Kirchner, etc., le filtre Berkefeld, malgré les grandes dimensions de ses pores, est d'abord impénétrable aux bactéries ; mais cela ne persiste pas plus de trois à cinq jours, ce qui oblige à nettoyer et stériliser les bougies au moins deux fois plus souvent que les bougies Chamberland (il faudrait le faire tous les deux jours). En revanche, le débit est bien meilleur que pour le Chamberland : une seule bougie Berkefeld donne au début deux litres par minute et au bout d'un jour encore un demi-litre, tandis qu'une bougie Chamberland ne donnerait qu'à grand-peine 30 lit. par vingt-quatre heures quand elle est neuve et plus tard seulement le dixième.

Il existe un filtre de poche Berkefeld, mais Plagge le trouve trop

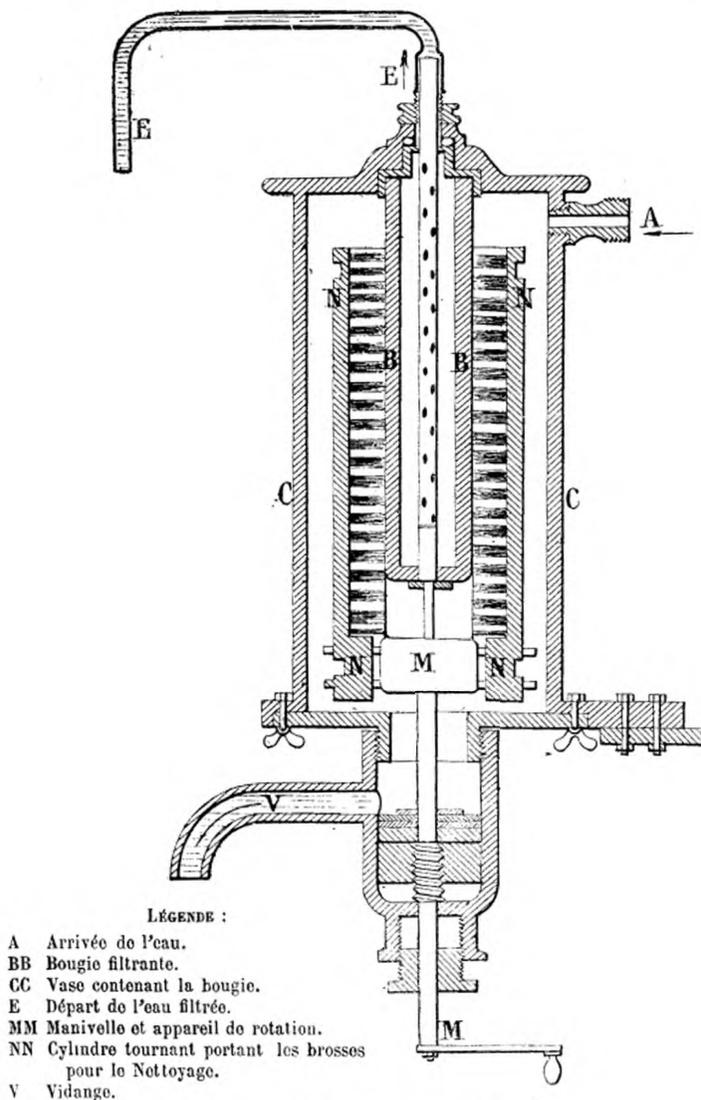


Fig. 67. — Filtre Berkefeld.

lourd, trop délicat et d'un débit trop faible : les médecins militaires allemands qui s'en sont servi en Afrique n'en ont pas été satisfaits.

En France, signalons le *filtre siliceux* d'Howatson, formé essentiellement d'une ou plusieurs bougies filtrantes en terre d'infusoires enfer-

mées dans un cylindre hermétiquement clos recevant l'eau sous pression. D'après Miquel, ce filtre fonctionne bien au point de vue bactériologique.

Filtre Chamberland. — Il est tellement connu ⁽¹⁾ que nous ne le décrirons pas, pas plus que le nettoyeur André : il suffit d'ailleurs de jeter un coup d'œil sur la fig. 69. Tous les expérimentateurs (et ils sont trop nombreux pour les citer) ont reconnu son efficacité bactériologique pendant les premiers jours (de quatre à douze jours, d'après Plagge, suivant la teneur microbienne de l'eau traitée); malheureusement, il a l'inconvénient de son faible débit. Pour avoir une sécurité complète, il conviendrait

de nettoyer et stériliser les bougies deux fois, et en tout cas, une fois par semaine : toutefois, une bougie une fois stérilisée ne reconquiert pas son débit primitif, et son produit va ainsi toujours en diminuant.

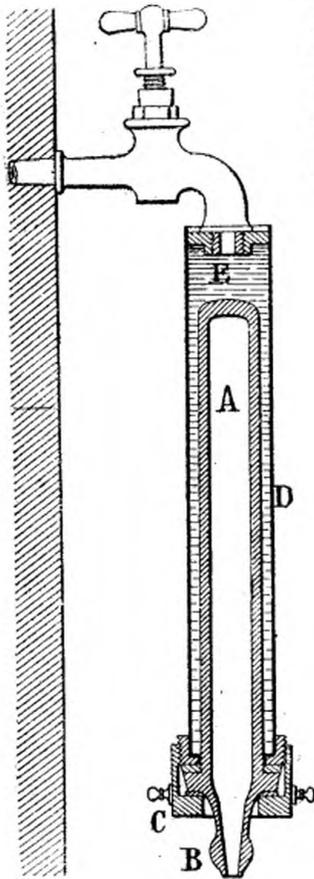


Fig. 68 a. — Filtre Chamberland.

LÉGENDE. — A, Bougie de porcelaine; B, Ouverture de la bougie par laquelle sort l'eau filtrée; C, Erou maintenant la bougie dans le tube métallique; D, Tube en métal enfermant la bougie; E, Espace rempli par l'eau à filtrer.

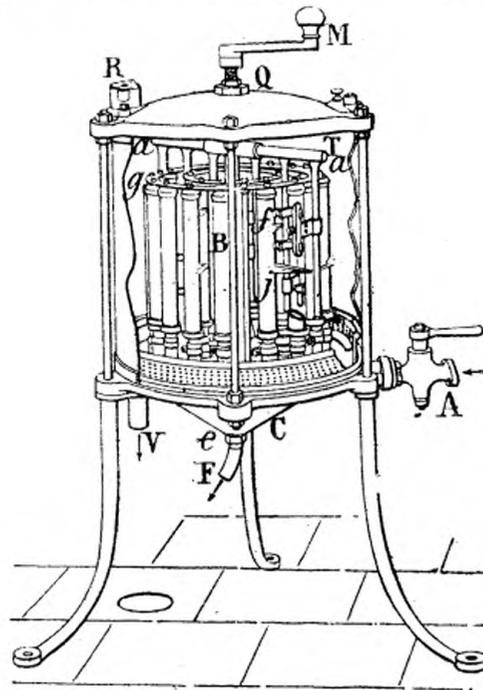


Fig. 68 b. — Batterie avec Nettoyeur André.

LÉGENDE. — A, Admission; B, Bougies filtrantes; C, Collecteur d'eau filtrée; F, sortie de l'eau filtrée; T, Nettoyeur à rotation hélicoïde alternée; f, frotteur élastique; j, Jets cinglants; V, Vidange.

(1) Le filtre Chamberland a conquis droit de cité dans tous les pays du monde: il se répand de plus en plus en Amérique.

Le meilleur moyen de stériliser les bougies a été étudié par le Dr Vincent, professeur au Val-de-Grâce, dans un article inséré aux « Archives de Médecine militaire », février 1897. Les bougies résistent bien à la plupart des désinfectants chimiques, mais la conclusion du mémoire est que le procédé le plus efficace et le plus pratique est encore le flambage à la chaleur sèche par le four Pasteur ou simplement le four de boulanger, à une température d'environ 280° — 300° prolongée pendant une demi-heure.

Aux Etats-Unis, citons rapidement :

Le filtre *Linke-Acorn*, dont la bougie est faite d'un grès naturel qu'on trouve dans le Missouri, dit grès de Tripoli : un couteau-racleur peut tourner autour de la bougie pour la nettoyer.

Le *Scaife-Tripolifilter* (Pittsburgh), et le *Successfilter* (New-Orléans) ont aussi une bougie de ce même grès.

Le *Robert's Germprooffilter* (Philadelphie), le *Champion Germproof-Waterfilter* (Cleveland), le *Watson Germprooffilter* (Erié) utilisent des grès naturels.

L'*Hygienic filter*, le *Germprooffilter*, le *Tydenfilter* (tous trois de Chicago), l'*Hygiëtafilter* (Detroit), le *Darling filter* (Cleveland), le *Boston Water Purifier*, le *Cornell filter* (Buffalo), etc., emploient des bougies de porcelaine.

Enfin, l'*Aeratingfilter*, de W. Weir, comporte dans un vase enveloppe, deux bougies cylindriques en porcelaine, qui sont concentriques, mais laissent entre elles un espace rempli de charbon animal comprimé : l'eau traverse les deux bougies et le charbon de dehors en dedans. De plus, le vase est surmonté d'une cloche à air comprimé, se renouvelant en temps voulu : cet air doit oxyder les matières organiques déposées dans le filtre. Cet appareil, qui semble bon, s'adapte à un robinet de conduite qui donne à volonté de l'eau brute ou de l'eau filtrée.

III. — ÉPURATION OU CORRECTION

Il s'agit ici de modifier la composition chimique d'une eau, lorsqu'elle est défectueuse, afin de rendre cette eau propre à la boisson et aux usages domestiques. L'opération est fréquente dans l'industrie lorsqu'il s'agit d'alimenter les chaudières ou de satisfaire à divers besoins spéciaux, mais elle est en somme pratiquée assez rarement sur les eaux destinées à l'alimentation publique. Cela tient sans doute — comme

d'ailleurs pour la stérilisation par les procédés chimiques,—à la répugnance qu'on a d'introduire des composés chimiques dans l'eau de boisson, à la difficulté de calculer exactement les doses nécessaires et suffisantes pour obtenir la correction désirable et ne pas laisser d'excédant des réactifs, à la complication extrême que causerait le traitement de grandes masses d'eau, etc., etc. D'un autre côté, l'influence sur la santé de l'homme de la teneur des eaux de boisson en sels minéraux est loin d'être aussi grande qu'on l'avait cru autrefois, et l'on ne peut vraiment imputer aucune maladie à une dose un peu forte de carbonate ou de sulfate de chaux. Il y a toutefois une certaine limite, et il est clair que si l'on n'avait à sa disposition qu'une eau trop minéralisée, on ne devrait la distribuer qu'après lui avoir appliqué un des procédés d'épuration employés dans l'industrie : c'est ce qui a lieu pour quelques villes, notamment en Angleterre (1).

Les corps qui peuvent être en assez grande abondance dans l'eau pour nécessiter une correction, sont le plus souvent les sels terreux, et notamment le carbonate et le sulfate de chaux : l'excès du premier rend les eaux simplement *calcaires*, l'excès du second les fait dire *séléniteuses*. Nous nous contenterons de citer les procédés et les appareils usités, tout en renvoyant pour la description et les détails aux ouvrages spéciaux relatifs à l'usage de l'eau dans l'industrie.

1° *Exposition à l'air et agitation.* — Ce procédé ne fait qu'imiter la nature : chacun sait que les sources calcaires, en arrivant au jour, laissent déposer du carbonate de chaux autour de leur griffon, ce qui

(1) On trouvera des détails très complets sur une grande installation de correction de l'eau de la Ville de Southampton, dans l'article « The Southampton Waterworks and Softening Plant » de *Proceedings Institution of Civil Engineers*, 1891-92, et dans le numéro du 11 mars 1892 de *Engineering*.

On traite à Southampton environ 10200 m³ par jour d'une eau qui a 26° hydrotimétriques (français) et qu'on ramène à 8°,5 par l'addition de chaux (procédé Clarke-Atkins). La dose de chaux employée est de 500 kg. par jour; soit à raison de 50 grammes par mètre cube. La chaux est d'abord éteinte dans de l'eau qui se sature en se chargeant de 1^{re}25 de Ca O par litre; puis cette eau de chaux est mélangée avec l'eau à traiter dans un grand bassin, où se font les dépôts. De ce bassin, l'eau est amenée sur des filtres formés de toiles de coton comprises entre des lames de zinc perforées. Ce traitement diminuerait dans une certaine proportion le nombre des microbes.

L'installation de Southampton a coûté 266 000 francs, et l'opération d'adoucissement de l'eau revient à 5 millimes 1/2 par mètre cube.

Une installation analogue à Wellingborough traite par jour 750 m³ d'eau ayant 53° hydrotimétriques et ne parvient à la ramener qu'à 29° malgré une dépense de 17 millimes par mètre cube. — On peut encore citer des installations un peu plus récentes à Saffron Walden et Stroud Gloucester.

tient à ce que l'acide carbonique, à la faveur duquel la plus grande partie de ce sel était dissoute, s'évapore dans l'atmosphère. (Le carbonate neutre ne se dissout qu'à raison de 34 à 36 milligrammes par litre : tout le surplus qui est contenu dans une eau n'y est maintenu que par l'acide carbonique, et l'expulsion de cet acide ou sa saturation par la chaux, la soude, etc., etc., doit faire déposer ce surplus). Il est dès lors facile d'exposer et d'agiter à l'air les eaux trop calcaires, de les étaler en nappes, de les faire tomber en cascades, etc., etc., avant de les recevoir dans les conduites ou les réservoirs : mais comme on le voit ce procédé n'agit en rien sur le sulfate de chaux (1).

2° *Chauffage, brassage avec la vapeur.* — Le chauffage, l'ébullition et le brassage avec la vapeur agissent de deux manières : d'une part, en expulsant l'acide carbonique, ils font précipiter les carbonates terreux comme il vient d'être dit ; d'autre part, en produisant dans le liquide des courants et des remous, ils assurent le dépôt des particules solides dans une partie du récipient qu'on maintient spécialement à l'abri de l'agitation. Toutefois, on ne peut encore par cette méthode se débarrasser complètement du sulfate de chaux, en sorte qu'il faut généralement la compléter chimiquement. En dehors des dispositions spéciales appliquées aux chaudières, beaucoup d'appareils épurateurs sont basés sur ce principe, citons seulement les plus usités en France :

- Epurateur Buron par la vapeur d'échappement ;
- Réchauffeur-détartreur Chevalet ;
- Appareil Schau ;
- Déjecteur Duméry ;
- Condenseur Montupet, à air libre ;
- Appareil Lencachez ;
- Epurateur-détartreur Howatson ;
- Epurateur-réchauffeur Paul Barbier ;
- Epurateur-réchauffeur Henri Carpentier ;
- Epurateur-réchauffeur Granddémange ;
- Epurateur-bouilleur automatique Dervaux.

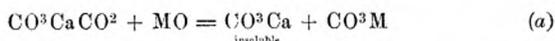
(1) Inversement, il peut y avoir intérêt, pour la rendre plus sapide et plus digestive de chercher à ajouter du carbonate de chaux à une eau trop peu minéralisée, comme celle qui sort des sables siliceux ou du granit.

Il est facile dans ce but de la faire passer lentement dans les interstices de tas de pierres calcaires ; elle se chargera d'abord du carbonate neutre qu'elle peut dissoudre, puis à la faveur de l'acide carbonique libre d'une certaine quantité supplémentaire à l'état de bicarbonate.

Il est clair, en ce qui regarde les eaux de boisson, que tous ces appareils ont l'inconvénient (c'est un avantage pour l'industrie) de les réchauffer.

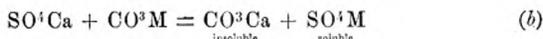
3° *Traitement chimique.* — Le principe du traitement le plus habituel est le suivant :

a) En ce qui regarde le carbonate de chaux, on obtiendra sa précipitation en ajoutant un oxyde d'un métal alcalin ou alcalino-terreux. En représentant ce métal par M'' (supposé bivalent), on a la réaction :



et si on connaît le poids du carbonate de chaux contenu dans l'eau, on trouvera la quantité d'oxyde métallique (supposé anhydre) à employer, en multipliant ce poids par les nombres respectifs suivants : 0,94 pour la potasse, 0,62 pour la soude, 0,40 pour la magnésie, 0,56 pour la chaux (qui naturellement est le plus souvent employée).

b) En ce qui regarde le sulfate de chaux, on le précipite en ajoutant un carbonate alcalin soluble (carbonate de soude le plus habituellement) :



Ici deux cas sont à distinguer :

1° Si préalablement on a précipité le carbonate de chaux par la chaux, le sulfate n'a pas été touché et il reste à agir entièrement sur lui ; on le précipitera en employant une quantité des corps ci-dessous obtenue en multipliant le poids de sulfate de chaux contenu dans l'eau par les nombres indiqués :

Carbonate de soude	0,779
— de potasse	1,001
— de magnésie	0,617
Chlorure de baryum	1,529

2° On a employé préalablement la soude, la potasse ou la magnésie. — La première réaction (a) ci-dessus a mis en liberté une certaine quantité de carbonate alcalin qui dépend de la teneur de l'eau en carbonate de chaux et qui va agir suivant la deuxième réaction (b) sur une partie du sulfate de chaux. Si p est le poids du carbonate de chaux contenu dans l'eau et π celui du sulfate, on trouve facilement que le traitement du carbonate aura précipité $1.36 p$ de sulfate : suivant donc

que π sera $< 1.36 p$ ou $> 1.36 p$, il n'y aura plus rien à faire, ou bien il restera à précipiter un poids de sulfate égal à $(\pi - 1.36 p)$, et pour cela on emploiera une dose de carbonate alcalin donnée par ce poids multiplié par l'un des chiffres précédents.

On peut également se servir d'autres réactifs. Ainsi, au lieu des oxydes on peut employer immédiatement les carbonates, ou les silicates, ou les aluminates de potasse ou de soude. Le carbonate de soude, par exemple, donne avec le bicarbonate de chaux un précipité de carbonate neutre de chaux, ainsi qu'une molécule de sesquicarbonate de soude, laquelle se dédouble en bicarbonate et en carbonate neutre de soude : si on chauffe à 70° , l'acide carbonique se dégage, et le bicarbonate de soude reproduit du carbonate neutre, en sorte qu'après la précipitation du calcaire, ce corps se retrouve libre en même quantité qu'on l'a versé. Il agit alors sur le sulfate de chaux, et on n'aura besoin d'en ajouter davantage pour compléter l'opération que si la teneur en sulfate est $> 1,36$ fois la teneur en carbonate. Les quantités de ces sels (anhydres) nécessaires pour précipiter 1 de carbonate de chaux, sont :

Carbonate de soude	1,06
— de potasse	1,38
Silicate de soude	1,22
— de potasse	1,56
Aluminate de soude	6,60
— de potasse	6,92

Les oxalates, chromates, bichromates de potassium et de sodium, ainsi que l'aluminate de baryum, font à la fois précipiter le carbonate et le sulfate de chaux, sans qu'il y ait d'action secondaire, en sorte que les doses à employer doivent être la somme de la dose nécessaire pour le carbonate et de celle nécessaire pour le sulfate séparément. Ces doses se calculent comme suit :

POIDS DE RÉACTIFS NÉCESSAIRES	POUR PRÉCIPITER	
	1 DE CARBONATE DE CHAUX	1 DE SULFATE DE CHAUX
Oxalate de potassium	1,66	1,220
— de sodium	1,34	0,985
Chromate neutre de potassium	1,945	1,430
— de sodium	1,625	1,194
Bichromate de potassium	2,95	2,169
— de sodium	2,63	1,933
Aluminate de baryum	7,51	5,521

Le commerce s'est emparé des données de la chimie pour fabriquer une infinité de produits anticalcaires ou désincrustants ; ils sont tous basés sur le principe ci-dessus, mais plusieurs combinent différents corps. Avant tout, il est clair qu'il faut connaître et la composition de l'eau traitée et celle du réactif employé. Citons rapidement les marques ci-après : les *anti-calcaires* de Burlureaux, de Carton, de Maignen, de Hamelle, de Cambray ; les *anti-tartres* de Brétel, de Neulat, de Normand de Lhéritier, de Main ; le *Tartrifuge* de Nivet ; le *Tartriphage* de Constant ; le *paratartre* de Magnet ; le *nihil-tartre* de Roux ; le *tartrol* de Meyher ; les *désincrustants* de Saurel, de Sayer, d'Acker, d'André et Ferrand, de Trotoux, de Périmbert, de Boileau, de Lavoix, de Taillandier ; le *désincrustateur* de Pistre ; l'*anti-incrustateur* de Néron ; le *Cal-cophobe* de Volant-Eeckhout ; le *Sénéli-fuge* de la Société du même nom ; l'*Hydrhyaline* d'Egrot ; le *lithophage* de Rodriguez Castromen ; la *Solvéine* de Couchemann et Gilis ; la *cal-soline* de Jémart ; la *végétaline* de Compère et Faucher, l'*Expurgine* de Lachery ; la *Neuraline* de Drevdal ; la *briquette* de Fleury Legrand ; le *Colorado* de Frémier ; le *lithoréactif* de Weiss ; le *parasel* de Gissler ; le *Capnomore* de Raby et Willain ; les produits de MM. Asselin et Daudé, etc., etc.

Quant aux appareils dans lesquels se produisent les réactions voulues, ils sont également nombreux. Voici les plus connus :

Décanteur (vertical ou horizontal) Paul Gaillet ;

Epurateur cylindrique Paul Gaillet ;

Epurateur Bèrenger et Stingl ;

Epurateur automatique Desrumeaux ;

Epurateur à froid Dervaux ;

Epurateur Durand ;

Epurateur Chaptal ;

Appareil d'épuration et de filtration Pullen ;

Appareil Clarke, Atkins et Porter ;

Appareil Demailly ;

Epurateur Maignen ;

Epurateur à froid Buron ;

Epurateur à froid Henri Carpentier ;

Epurateur à froid Howatson ;

Epurateur mixte (vapeur et réactifs) Froitzheim.

Il convient en terminant de dire un mot du traitement des eaux ferrugineuses (Enteisenung) qu'on rencontre assez fréquemment quand on s'adresse soit aux nappes profondes, soit au contraire aux nappes

très superficielles des sables, dunes, etc., etc. (Stettin, et autres villes des plaines de l'Allemagne du Nord). Ce traitement est rendu nécessaire d'une part par le fait que l'eau prend souvent une teinte de rouille plus ou moins prononcée, ainsi qu'un goût désagréable (ce goût serait sensible dès qu'il y a plus de $0^{\text{mm}^{\text{gr}}},9$ d'oxyde de fer par litre), et d'autre part en raison de ce que la présence du fer favorise le développement de *Crenothrix polyspora*, dont nous parlerons plus loin.

C'est Salbach qui, le premier, en 1868, proposa de traiter les eaux pour enlever le fer : il réussit à Halle, en se servant d'une caisse à fond perforé, remplie de cailloux cassés ; l'eau s'aérait au travers des cailloux et était reçue ensuite sur un filtre.

En 1886, Anklam réussit aussi avec les eaux du lac de Tegel (Berlin), en les faisant descendre en minces filets sur les marches d'un escalier en planches, avant d'arriver aux filtres à sable : seulement il fallait nettoyer les filtres très fréquemment.

Peu après, M. G. Oesten, de Berlin, a imaginé un procédé d'épuration des eaux ferrugineuses, l'a appliqué à plusieurs villes (Freienwalde, Stade, Gumbinnen, Insterburg et Mittweida) et en a exposé des modèles à Paris : il le décrit dans un article du n° du 28 juillet 1900 de la « Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure ». Ce procédé (fig. 69) consiste à

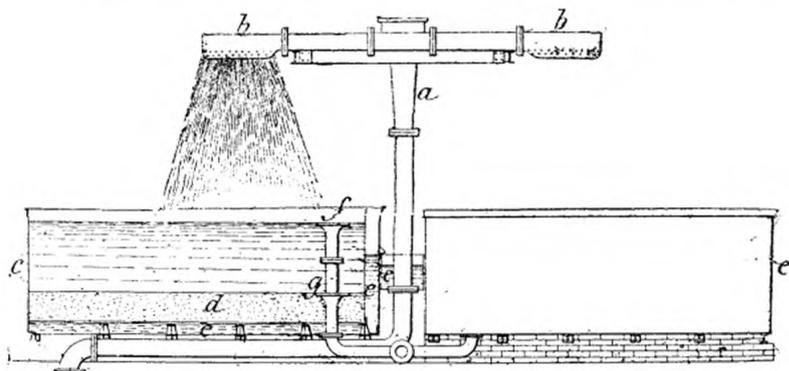


Fig. 69. — Appareil Oesten pour l'épuration des eaux ferrugineuses.

faire tomber l'eau en pluie d'une assez grande hauteur, dans un bassin à la partie inférieure duquel se trouvent disposées des couches filtrantes de sable : le protoxyde de fer contenu dans l'eau s'oxyde au contact de l'air et se transforme en oxyde insoluble qui est retenu dans le filtre. Toutefois d'après Lübbert (*Zeitschrift für Hygiene*, 1895) le fer ne commencerait à se déposer que lorsque l'acide carbonique

chassé par l'aération serait tombé au-dessous d'une certaine proportion. Dans le cas où la précipitation de l'oxyde de fer est difficile par suite des combinaisons où il peut être entré, M. Oesten préconise l'emploi de l'ozone, qui peut être envoyé par un ventilateur en sens inverse de l'eau tombante : l'action émergique de l'ozone oxyderait le fer ainsi que les matières organiques et pourrait même stériliser l'eau du même coup. Une installation de ce genre, capable de donner 150 m³ à l'heure est actuellement en construction pour un grand hôpital de Berlin.

Piefke a une manière de faire un peu différente : la dispersion de l'eau et l'oxydation sont assurées par une colonne de morceaux de coke empilés, au travers de laquelle l'eau descend en minces filets ; on la filtre ensuite sur du sable fin. Le procédé de Piefke a été employé à Charlottenburg, Lichtenberg, Pankow, Trier et Kiel. A Kiel, où l'installation est la plus importante et date de 1893, la colonne de coke a 3 m de hauteur et le filtre en sable fin 0^m,70, reposant sur une couche de 0^m,48 de cailloux : on arrive à réduire l'oxyde de fer de 3^{mg},3 à 0^{mg},1 par litre. A Charlottenburg, le coke a été remplacé par des moellons.

Thiem a appliqué un procédé analogue à Leipzig : son sable est seulement plus gros que celui d'Oesten et de Piefke (couche de 1^m,40 d'épaisseur de sable de 4 à 10 mm de grosseur de grain). Les villes de Hertogenbusch et d'Aurich, en Hollande, viennent d'adopter ce procédé.

Kurth indique une méthode semblable à celle d'Oesten, mais pour les petites installations d'eau souterraine, il propose d'enfouir l'appareil dans le sol afin d'éviter la gelée. Dunbar et Orth proposent pour ce cas un appareil plus simple, le *filtre-plongeur* (Voir articles de Dunbar in *Zeitschrift für Hygiene*, 1896). Ce filtre est formé d'un tonneau contenant un cylindre métallique à double paroi : l'espace compris entre le cylindre extérieur perforé et le tonneau est rempli de sable fin supporté par une couche de cailloux ; de la base du cylindre intérieur part la conduite d'aspiration, tandis que du sommet part un tuyau d'aération qui doit dépasser le niveau de l'eau dans laquelle le tonneau est plongé.

Dans un article tout récent de la *Zeitschrift der österreichischen Ingenieure* (14 décembre 1900), le professeur Elwein rend compte de l'installation qu'il a établie l'an dernier à Sternberg (Moravie) pour épurer des eaux souterraines trop chargées de fer. L'appareil de division de l'eau en minces filets est formé par des briques spéciales en verre (ne contenant pas de plomb), superposées et faisant étaler l'eau sur une grande surface : le diviseur occupe 54 m² et la pile de briques y a 2^m,70 de

hauteur. L'eau, après son contact avec l'air dans le diviseur, arrive sur un filtre à sable placé en avant de lui : ce filtre a ceci de particulier qu'à 0^m,15 en dessous de la surface du sable, on a établi des tuyaux perforés par lesquels en temps de nettoyage on fait arriver de l'eau pure sous une pression de 1 atmosphère 1/2, de manière que cette eau lave et entraîne les produits de l'oxydation déposés sur le sable.

Enfin, l'Institut d'hygiène de Hambourg a proposé l'épuration au moyen des précipitants chimiques, notamment le perchlorure de fer associé à la chaux : 10 grammes de perchlorure et de 50 à 100 grammes de chaux, suivant la teneur en acide carbonique, par mètre cube. On ajoute d'abord le perchlorure, puis après brassage seulement la chaux, et on brasse de nouveau : un quart d'heure ou une demi-heure après, un dépôt abondant s'est précipité et on n'a plus qu'à faire passer le liquide soit au filtre-pressé de Kröhnke que nous connaissons déjà, soit au filtre-pressé de Dunbar (voir les articles ci-dessus cités de cet auteur : ce filtre est tout simplement un grand cylindre métallique rempli de sable, avec un fond inférieur perforé, et en dessous un tronc de cône par où arrive l'eau ; elle traverse le sable de bas en haut, et sort par les trous d'une plaque de compression qui surmonte le sable et est munie d'une vis de pression lui permettant de comprimer le sable, en faisant piston dans le cylindre). Ce système d'« Enteisening » chimique a été appliqué avec succès à une caserne de Cuxhaven ; Steckel a été moins bien inspiré en proposant de traiter l'eau ferrugineuse par la chaux seule.

IV. — AÉRATION.

L'eau privée d'air étant fade et indigeste, il faut l'aérer. Les méthodes ci-dessus d'Esten, Piefke et autres ne sont autre chose que des méthodes d'aération ; l'étalement en nappes, les chutes en cascades, le passage au travers de tas de pierres dont nous avons déjà parlé, réalisent le même but.

L'aération de l'eau des grands réservoirs créés par des barrages de retenue a une certaine importance, surtout pendant la saison chaude, pour empêcher le développement exagéré d'algues (dont plusieurs espèces, comme nous savons, donnent à l'eau une odeur et un goût désagréables). En Amérique, on a cherché à opérer cette aération artificiellement : à Rochester (New-York), on a installé au milieu du réservoir des jets d'eau dont la force ascensionnelle est produite par l'écoulement de la prise d'eau ; à Butte City (Montana), on fait promener sur le lac artificiel un petit bateau à vapeur qui insuffle de l'air comprimé à une certaine profondeur sous l'eau.

§ 4. — Élévation, adduction, emmagasinement et distribution de l'eau.

Si nous réunissons dans un même paragraphe ces quatre questions, — qui dans un traité didactique devraient donner lieu à autant de chapitres, — c'est qu'il n'y a en somme que peu de choses véritablement nouvelles à signaler à leur sujet. Ce n'est pas d'hier, en effet, que l'on sait élever, conduire et distribuer l'eau, et tout ingénieur est aujourd'hui capable de résoudre convenablement ces problèmes.

I. — ÉLÉVATION DE L'EAU.

Pompes électriques, pompes centrifuges. — Dans la *Revue technique de l'Exposition de 1889*, MM. Vigreux et Loppé ont rendu compte des nouveautés de l'époque dans la classe des pompes et machines élévatoires. Ils constatent que, comme en 1878, « la préférence reste acquise aux pompes horizontales à piston plongeur et à double effet » (système Girard notamment), avec clapets à ressorts et à mouvement apparent à l'extérieur. » Les pompes centrifuges, très bonnes pour les épuisements, sont considérées (et il en était encore ainsi il y a deux ans) comme ne pouvant élever l'eau utilement au-dessus de 12 à 15 m. Les pompes Worthington (très bonnes d'ailleurs et très répandues) sont ensuite décrites par les auteurs ; ils s'arrêtent encore à quelques appareils plus ou moins ingénieux (pompe à piston captant de M. Montrichard pompe monoclapet de MM. Prudhon et Dubost, pompe à débit variable de MM. Rousseau et Baland, béliers hydrauliques⁽¹⁾, hydro-élévateurs, et pompe à colonnes liquides de M. Durozoi, pompe à colonne d'eau de M. Roux, pompe à piston et à débit constant de M. Girodias, pompes à vapeur à action directe de M. Fontaine ou à condensation de M. Lefer). Enfin, on trouve comme exemples les turbines et pompes pour élévation d'eau de la ville de Genève, l'élévation d'eau de la Chaux-de-Fonds, des usines élévatoires pour irrigations en Egypte.

Depuis onze ans, à part quelques perfectionnements de détail qu'il

(1) Le bétier de M. Bollée, constructeur au Mans, figurait déjà à l'Exposition de 1867. — Récemment, M. l'ingénieur en Chef Decœur a perfectionné le bétier d'une manière notable en proposant de rapprocher les orifices pour le coulement alternatif dans le bassin de chute et dans le tuyau de refoulement et d'activer avec des ressorts le mouvement oscillatoire des soupapes.

serait trop long de mentionner ⁽¹⁾, on peut dire qu'il n'y a qu'un fait nouveau à signaler : il est vrai qu'il est fort important et qu'il aura des conséquences multiples dans l'avenir.

Ce fait — on le devine — c'est *l'utilisation de l'électricité comme force motrice*. Le transport aujourd'hui commode et pratique de cette force à grande distance, la facilité avec laquelle on répartit l'énergie entre plusieurs moteurs souvent éloignés les uns des autres et très différents comme puissance ou nature de travail, les avantages que donnent le faible encombrement de l'installation, la rapidité de la mise en train la simplicité des manœuvres etc. etc., tout cela assure à l'électricité de nombreuses applications aux machines élévatoires.

On a commencé par atteler les roues et turbines hydrauliques à des dynamos pour produire de l'électricité ; mais une propriété commune à ces deux sortes d'engins étant la *réversibilité*, il est tout naturel de faire l'inverse, c'est-à-dire d'atteler des dynamos mues par ailleurs à des roues, turbines ou pompes réceptrices. Ainsi, l'hydraulique et l'électricité se marient intimement et se prêtent un appui réciproque.

En ce qui regarde les usines destinées à élever l'eau d'alimentation

(1) Signalons cependant le mode d'élévation des eaux par l'air comprimé, que M. Clark Howell vient d'étudier dans un des derniers numéros de *l'Iron age*. On insuffle l'air comprimé dans le tuyau de décharge qui s'élève du puits, mais il faut qu'il reste en dessous du point d'insufflation une colonne d'eau suffisante (environ 50 à 60 0/0 de la hauteur d'élévation) pour assurer la résistance par en bas. Il existe une installation de ce genre à Point Pleasant pour puiser de l'eau dans l'Ohio : il a fallu creuser des puits assez profonds, précisément pour faire la résistance. C'est le même mode d'élévation qu'appliquent les pompes *Mammouth* : la Compagnie parisienne de l'Air comprimé en a installées qui débitent 1500 lit. à la minute aux Magasins du Louvre, à l'usine du faubourg Montmartre de la Compagnie Edison, etc. Quoi qu'il en soit, l'électricité nous paraît un intermédiaire plus commode que l'air comprimé.

L'utilisation du vent a également été bien étudiée dans ces derniers temps, notamment en Amérique et en Hollande, pays où le vent a plus de puissance et de régularité qu'en France. Voir les ouvrages récents ci-après « *The Windmill as a prime mover* » de Wolf ; « *The Windmills for irrigation* » de Murphy, ce dernier traduit par M. Paul Lévy et inséré au *Bulletin de l'Hydraulique Agricole* de 1898. Déjà, dans le même *Bulletin*, 1895, M. Lévy a donné des renseignements sur les moulins à vent de Hollande, à l'occasion du dessèchement des polders. Également en 1895, l'Association néerlandaise pour le progrès de l'Industrie a rendu compte des résultats d'un concours qu'elle avait organisé sur les moyens d'emmagasiner, de transformer et de transporter la puissance du vent par voie électrique. Il résulte de toutes ces études que chaque moulin n'arrive à fournir qu'une puissance continue très faible (ne dépassant guère 1 cheval-vapeur), et que les difficultés d'emmagasinement de la force soit par accumulateurs électriques, soit par réservoirs hydrauliques sont telles que le prix de revient est très élevé. Pour cette raison, les moteurs à vent, qui peuvent réussir pour une ferme, un village même, ne sont pas pratiques, pour le moment du moins, pour l'alimentation des villes.

des villes, l'emploi de l'électricité nous paraît spécialement indiqué dans les cas suivants :

1° Quand à l'emplacement où doit s'établir l'usine, il n'existe aucune force motrice naturelle (chute d'eau existante ou à créer) disponible, tandis qu'on peut se procurer à de bonnes conditions une ou plusieurs forces de ce genre dans un rayon plus ou moins étendu : il conviendra alors d'acquérir ces forces et d'en transporter l'énergie au lieu d'emploi.

2° Quant à l'endroit où doit se faire l'élévation de l'eau, on n'a pas les ressources voulues pour l'installation ou le fonctionnement d'une usine à vapeur. Ainsi, si cet endroit est impossible à approvisionner économiquement en charbon, si la place y manque, si les fondations d'une haute cheminée y sont impraticables etc. etc., il vaudra bien mieux faire l'usine génératrice à quelques kilomètres de là, près d'un canal ou d'un chemin de fer (qui amènent le charbon), sur un terrain solide et spacieux : on en sera quitte pour transporter l'énergie par un simple câble, ce qui sera souvent plus avantageux malgré les pertes de la ligne que de véhiculer le charbon sur essieux.

3° Quand les points où doivent s'effectuer les pompages sont multiples et assez distants les uns des autres pour exiger autant de machines séparées. Ainsi, l'extraction de l'eau doit se faire dans une série de puits ou de sondages espacés entre eux, dans un rayon de plusieurs kilomètres : au lieu d'avoir une petite usine élévatoire sur chaque puits ou sondage, il sera bien plus économique d'avoir une seule usine centrale envoyant la force motrice à autant de dynamo-réceptrices qu'il y a de pompes ou de puits. Ce cas se présentera certainement dans la captation des eaux de nappes profondes ; nous en avons du reste un exemple sous les yeux dans l'exploitation des 34 sondages d'eau salée de la Société Solvay à Dombasle, ces sondages étant commandés à volonté d'une usine centrale électrique.

4° Quand on peut combiner l'usine élévatoire avec la satisfaction d'autres besoins, municipaux ou autres. Ainsi, — et nous avons vu le cas plusieurs fois dans des petites villes — une ville veut en même temps qu'élever de l'eau s'éclairer à l'électricité : il sera possible et avantageux d'avoir une seule usine qui enverrait son énergie le jour aux pompes et la nuit aux lampes électriques. Ce serait l'inverse pour une usine de tramways.

Bref, il y a dans chaque cas un calcul et une comparaison à faire, avant de prendre une décision en toute connaissance de cause. C'est ce

calcul que nous venons de faire pour le projet d'accroissement de puissance et de remplacement en cas de besoin de la force motrice hydraulique de l'usine élévatoire de la ville de Nancy à Messein : une puissante Société métallurgique construisant une aciérie à 3 km. de cette usine et devant disposer d'une force de 2 000 à 3 000 chevaux produite par les gaz pauvres des fourneaux, il nous a paru tout indiqué de nous adresser à cette Société pour qu'elle nous assure, à prix de revient, la possibilité de dériver à tout instant les 300 chevaux électriques qui, transportés à l'usine, nous seraient nécessaires pour actionner des pompes centrifuges. Comme à l'usine on ne dispose d'aucune place pour l'installation de chaudières et de machines à vapeur (qui d'ailleurs ne fonctionneraient que rarement et à titre de secours et seraient par suite d'un entretien difficile), on avait toujours reculé jusqu'ici devant un accroissement qui s'impose de plus en plus ; or, en recevant l'énergie par un simple courant électrique, il sera possible (d'après une première étude faite par la maison Sautter-Harlé) d'installer trois pompes centrifuges, système Rateau, avec leurs dynamos réceptrices, dans un bâtiment de 7 m de long sur 5 m de large intérieurement, chaque pompe devant élever 12 000 m³ par jour à 21 m de hauteur, soit ensemble 36 000 m³. La solution est donc facile, économique et élégante.

On a déjà pu voir à l'Exposition un certain nombre de pompes mues électriquement, et plusieurs maisons se chargent d'en construire. Comme les moteurs électriques sont caractérisés par une grande vitesse de rotation, il est clair qu'on ne peut les atteler aux pompes à piston ordinaire qu'en réduisant cette vitesse par des harnais d'engrenages. Telles sont comme types simples les pompes mues électriquement, que construit la maison Weise et Monski, de Bruxelles et Halle. La maison Thomson-Houston a exposé une pompe « triplex » mue par une dynamo à courant continu ; la dynamo transmet par engrenages le mouvement à un arbre sur lequel sont calées trois manivelles commandant chacune un piston se déplaçant dans trois corps de pompe jumelés. La maison Ehrhardt et Sehmer, de Schleifmühle, a exposé une pompe d'épuisement très remarquable à grande vitesse et sans engrenages ; nous en donnons ci-dessous les figures et la description que nous ont remises les constructeurs :

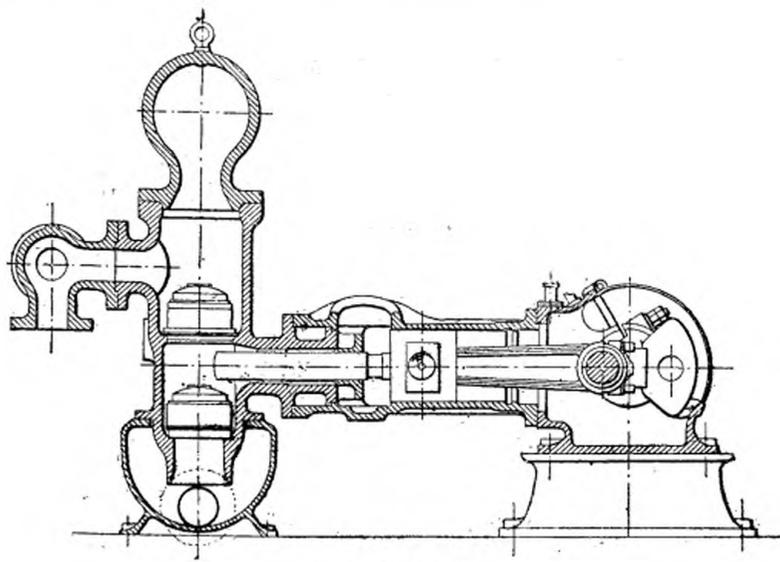
Cette pompe d'épuisement à commande électrique directe se compose de 3 systèmes identiques de pompes à piston plongeur à simple effet.

Les pistons-plongeurs ont un diamètre de 105 mm et une course de 200 mm ; la commande se fait par un arbre à trois coudes et bielles d'une construction particulièrement soignée. Les 4 paliers de l'arbre moteur sont venus de fonte

avec le bâti en forme d'auge dont la disposition est telle qu'ils restent forcément dans une position relative invariable.

Les huiles ayant déjà servi au graissage se rassemblent dans l'auge précédente, qui est fermée à l'avant par un couvercle mobile en tôle, afin d'éviter les projections d'huile.

Une pompe fixée latéralement au bâti aspire l'huile dans l'auge et la refoule dans un réseau des conduites qui la distribuent aux différents endroits à graisser de telle sorte qu'à travers toutes les articulations et coussinets du mécanisme moteur, il est établi une circulation d'huile continue.



Coupe verticale.

Fig. 70 a. — Pompe à grande vitesse à commande électrique directe (construite par la maison Ehrhardt et Sehmer, de Schleifmuehle-Saarbruecken).

D'autre part, une presse à graisse système Mollerup envoie de l'huile dans des rainures spéciales ménagées en arrière des boîtes à étoupes et entretient ces dernières dans un état parfait de lubrification. Les presses-étoupes elles-mêmes sont très soignées et d'un accès très commode.

Toute la pompe est étudiée de façon qu'elle puisse fonctionner pendant au moins 6 heures sans service et sans surveillance.

La construction des réservoirs à air d'aspiration et de refoulement, des soupapes ainsi que de la disposition de tout l'ensemble est basée sur les principes de construction de pompes à grande vitesse ayant donné le plus de satisfaction.

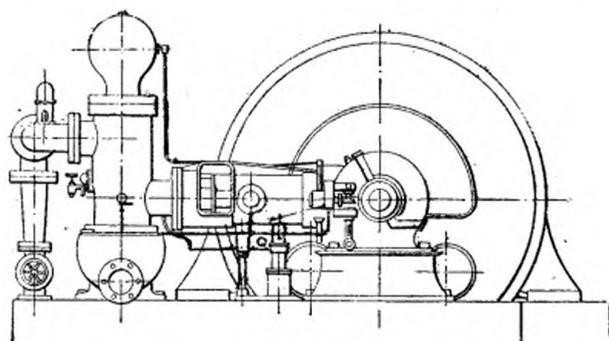
La pompe débite 1000 à 1250 lit. par minute à 250 ou 300 m de hauteur, en tournant à une vitesse de 200 à 250 tours.

Les essais ont montré que sa marche était irréprochable jusqu'à une vitesse de 300 tours par minute. Le moteur électrique qui l'actionnait à l'Exposition de Paris, faisait 210 tours par minute. Le débit théorique correspondant est de 1090 lit. et, en admettant un rendement volumétrique de 0,92 le débit réel est de 1000 lit. par minute. En réalité le rendement a été trouvé avoir une valeur moyenne de 94 0/0.

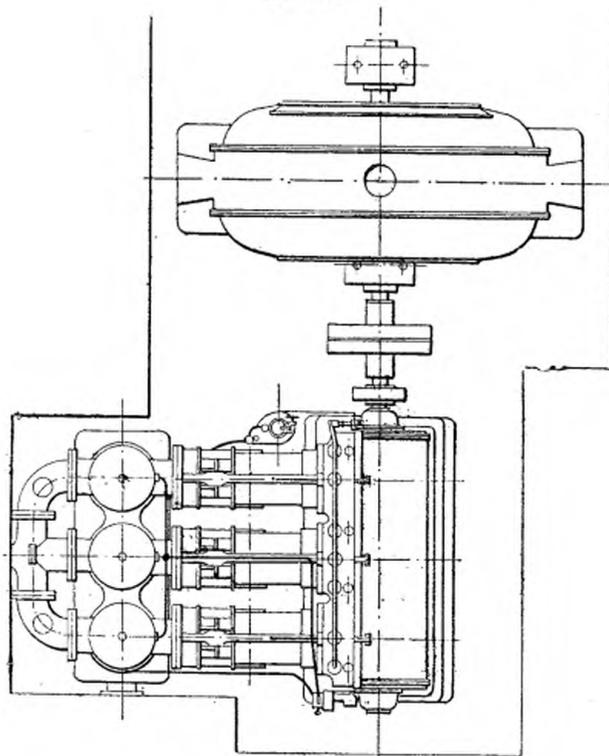
Les constructions des détails des soupapes et des boîtes à soupapes ont fait leurs preuves. Avec de nouvelles constructions dans ces détails on risque toujours de faire des expériences fâcheuses après un certain temps. De même, des vitesses exagérées de l'eau ont été évitées avec soin, parce que tout excès

sous ce rapport cause une augmentation des résistances intérieures de la pompe et une diminution de la durée des soupapes.

Cette pompe à commande électrique directe est d'une application avantageuse dans les cas où les dimensions de l'emplacement doivent être aussi restreintes



Élévation.



Plan.

Fig. 70 b. — Pompe à grande vitesse à commande électrique directe (construite par la maison Ehrhardt et Sehmer, de Schleifmuehle-Saarbruecken).

que possible; où l'installation de conduites à vapeur dans le puits est inadmissible; où les chaudières sont très éloignées de l'épuisement; enfin, dans le cas où l'épuisement est de si peu d'importance que la nécessité de placer des chaudières à vapeur spéciales au jour, à proximité de la machine, ne se fait pas valoir.

Mais il était tout naturel d'atteler les dynamos aux pompes centrifuges (comme d'ailleurs aux ventilateurs) : les grandes vitesses que les moteurs électriques et les turbines à vapeur permettent de donner à l'arbre de rotation de ces pompes en ont augmenté considérablement la puissance et, contrairement à ce qu'on pensait naguère, les rendent capables d'élever de grandes masses d'eau à toute hauteur. Depuis la première pompe centrifuge construite par Appold, vers 1830, le principe est toujours le même : c'est la transformation en pression de la force vive due à la vitesse tangentielle de l'eau sortant d'une roue à aubes, laquelle est entourée d'un appareil directeur convenable se continuant par le tuyau d'élévation ; or, dans ces derniers temps, la vitesse a pu être tellement augmentée que la pression en résultant peut être très élevée. De plus, on peut facilement accoupler plusieurs pompes sur le même arbre, soit *en parallèle*, ce qui multiplie le débit, soit *en série*, ce qui multiplie la pression ; dans ce dernier cas, le liquide sortant de l'appareil directeur de la première roue s'engage dans la deuxième roue dont il quitte l'appareil directeur avec une pression doublée, puis il entre dans la troisième, et ainsi de suite, en sorte qu'on peut arriver à obtenir telle pression et par suite telle hauteur que l'on veut.

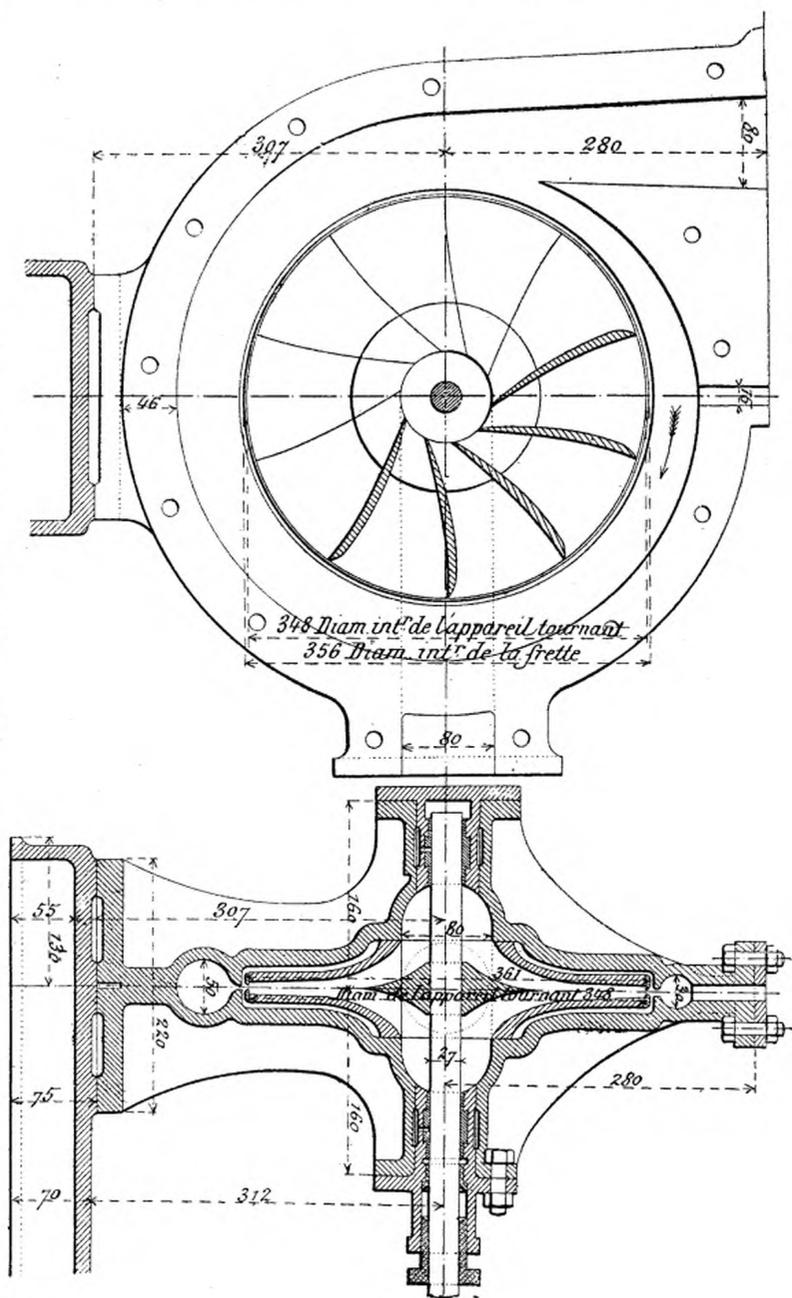
Nous ne donnerons pas ici la théorie des pompes centrifuges : après avoir rappelé le mémoire de M. Durand-Claye « Étude sur les pompes centrifuges simples et accouplées » *Annales des Ponts et Chaussées*, 1873, nous dirons simplement que ces engins se classent parmi les turbo-machines et que la théorie générale de ces dernières s'applique à nos pompes. Le lecteur trouvera cette théorie dans l'excellent ouvrage de notre camarade d'école, M. Rateau (1), ingénieur des mines : « Traité des turbo-machines », Dunod 1900. Nous nous bornerons donc au côté pratique de la question, et après avoir rendu hommage pour le passé aux efforts de MM. Dumont, Decœur et Farcot (voir pour ces deux derniers leurs mémoires dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1877 et 1888), nous citerons les constructeurs qui, à notre connaissance, réussissent actuellement dans cette spécialité.

Depuis plusieurs années déjà, M. Schabaver, constructeur à Castres,

(1) M. Rateau s'est fait une véritable spécialité de ces questions. Dès 1892, il publiait « Considération sur les turbo-machines » dans le *Bulletin de la Société de l'Industrie minière* ; de 1897 à 1900, divers articles sur les mêmes machines dans la *Revue de mécanique* ; en 1900, outre l'ouvrage précité, « Note sur les pompes centrifuges de la maison Sautter-Harlé », et « Rapport sur les turbines à vapeur » au Congrès international de mécanique.

a réussi à construire une pompe centrifuge à grande hauteur ; M. Gé-

Fig. 71. — Pompe centrifuge Schahavov. — Coupes verticales.



la fente, qui est précisément constituée de telle sorte que la perte de charge n'y soit pas non plus considérable.

La maison Sulzer frères, de Winterthur (Suisse), a exposé à Paris une pompe centrifuge à deux disques, mue par un moteur électrique à courant triphasé et capable d'élever 110 lit. par seconde à une hauteur de 100 m. Parmi les installations de ce genre faites par cette maison, nous citerons celle de la ville de Genève qui élève 375 lit. par seconde à 140 m.

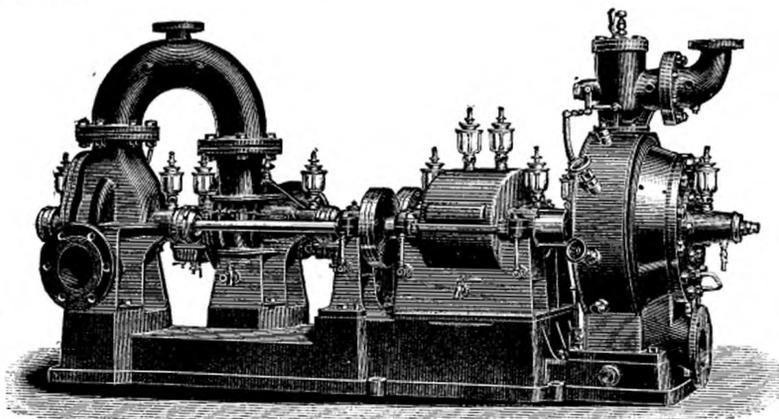


Fig. 72 a. — Turbines-pompes conjuguées, système de Laval.

Les turbines à vapeur ⁽¹⁾ donnent comme les dynamos des vitesses très grandes, se mariant bien aux pompes centrifuges à haute pression. La Société des turbines à vapeur de Laval, 48, rue de la Victoire, à Paris, a créé des turbines-pompes ; la pompe étant commandée directement par la turbine, le rendement est élevé et pourrait atteindre 70 0/0. La fig. 72 montre des turbines-pompes conjuguées ; chacun des deux arbres moteurs de la turbine est accouplé à une pompe centrifuge, et les deux pompes sont liées ensemble soit parallèlement (I), soit en série (II). Voici quelques détails de fonctionnement donnés par le constructeur :

« Au moment de faire fonctionner la pompe, on remplit d'eau le tuyau d'aspiration et on le met aussitôt en route. S'il y a un clapet au fond de la conduite d'aspiration et que celle-ci ne soit pas vidée, pour une raison quelconque, cette précaution devient évidemment inutile et il n'y a qu'à ouvrir la valve d'admission, pour que la pompe se mette en route.

« Pour les grandes pompes, on se sert de la disposition suivante. On place

(1) Dans le N° du 27 décembre 1900 de l'*Iron age*, M. Hodgkinson donne de nombreux détails sur les turbines à vapeur, notamment sur les turbines de Laval et sur les turbines Parson.

un robinet sur la pompe ou la conduite de refoulement, de façon à isoler l'ensemble de la première et de la conduite d'aspiration. Sur celle-ci se trouve un éjecteur à vapeur muni d'un robinet. Pour mettre en route la pompe, on ferme le premier robinet, on ouvre le second. L'air de la conduite d'aspiration et de la pompe est aussitôt entraîné par l'aspiration de la vapeur. L'eau monte dans la conduite sous la poussée de la pression atmosphérique et quand elle est remplie, l'eau sort à la place du mélange d'air et de vapeur. A ce moment, la pompe est prête à fonctionner. On ferme le robinet de l'éjecteur, on met la vapeur sur la turbine, et aussitôt que le manomètre indique que la pression monte, on ouvre le robinet placé sur la conduite de refoulement. Si le jet de la pompe vient à se relâcher, on ouvre le robinet de l'éjecteur jusqu'à ce que l'eau jaillisse. »

La même Société avait exposé une turbine à vapeur de 100 chevaux conduisant, mais par engrenages réducteurs de vitesse, une double

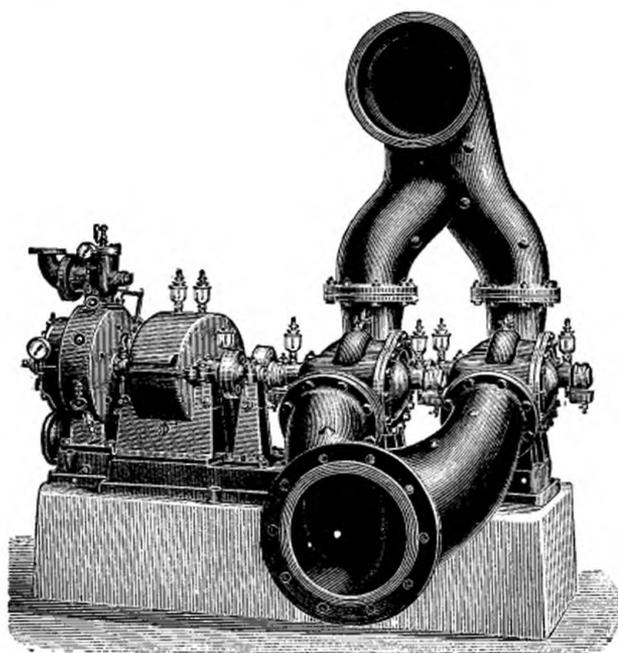
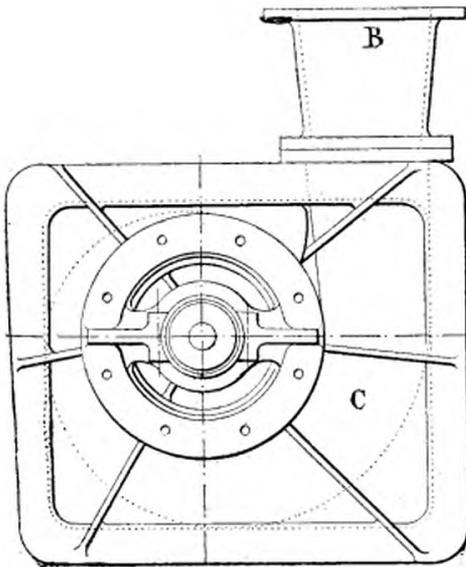
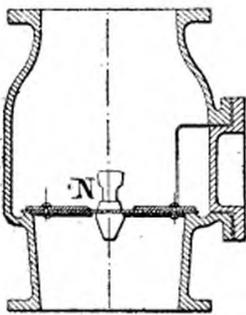
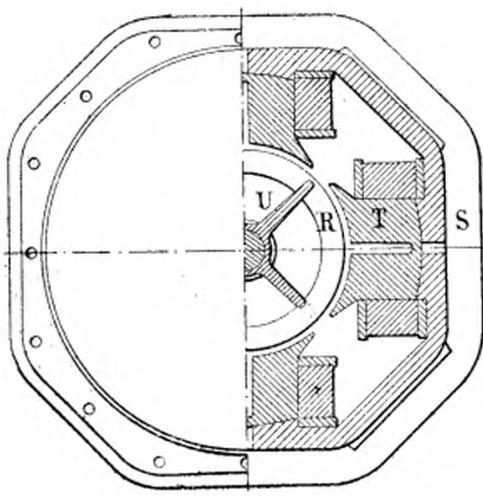


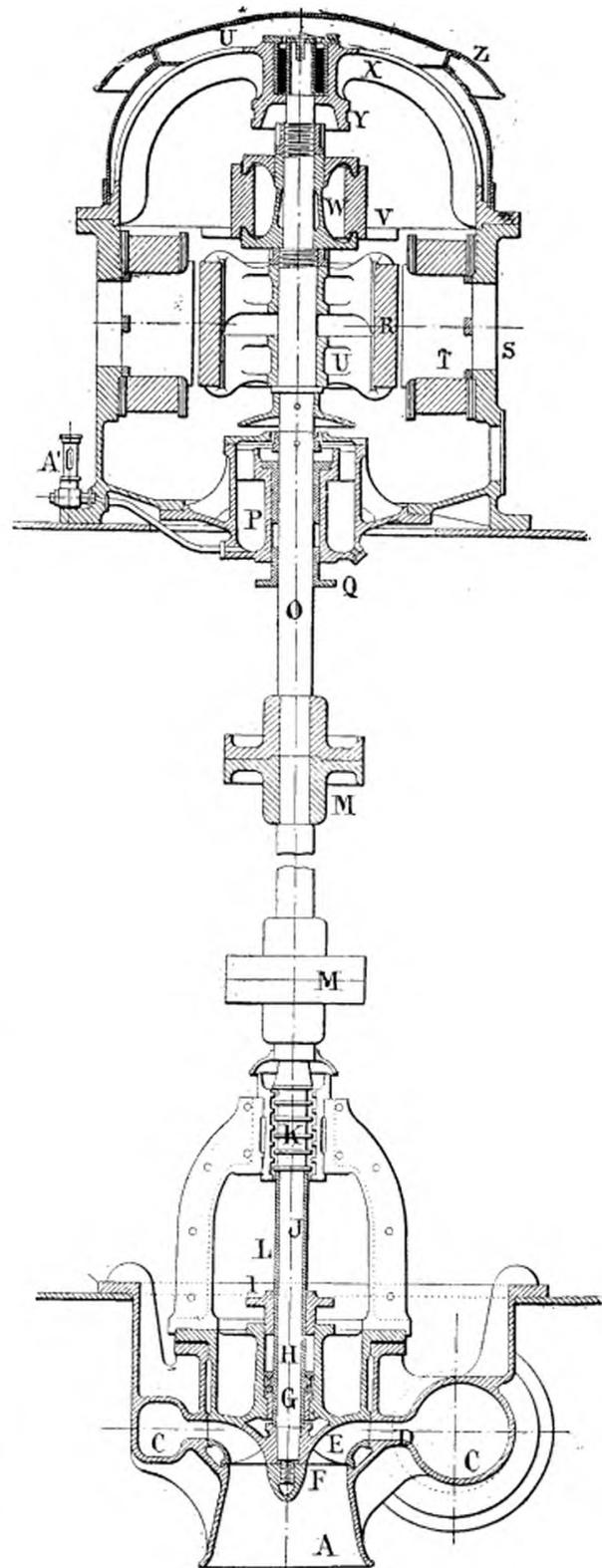
Fig. 72 b. — Turbines-pompes conjuguées, système de Laval.

pompe centrifuge capable d'élever 600 lit. par seconde à une hauteur de 7^m,50 ; la faible hauteur explique pourquoi on a réduit la vitesse.

Ces divers appareils ont l'axe horizontal. Il est particulièrement commode dans beaucoup de cas de disposer l'axe verticalement. La maison Sautter-Harlé exposait une pompe du système Rateau, à axe vertical (voir fig. 73) mue par dynamo à courant continu, et capable d'élever 200 lit. par seconde à une hauteur de 12 m. Un dispositif spécial de ce système de pompe permet d'équilibrer par la pression



Dynamo.



Pompe.

LÉGENDE.

O, Arbre de la dynamo; P, Cuvette de graissage; Q, Presso-étoupes; R, Bobine d'induit; S, Carcasse; T, Appendices polaires; U, Croisillons de l'induit; V, Collecteur; W, Bague du collecteur; X, Palier à billes; Y, Gorge du secteur porte-balais; Z, Enveloppe; A' niveau d'huile.

A, Tubulure d'aspiration; B, Tubulure de refoulement; C, Volute de la pompe centrifuge; D, Diffusor de la pompe; E, Turbine; F, Ecrrou de la turbine; G, Bague en gaïac; H, Bague en bronze; I, presso-étoupes; J, Arbre de pompe; K, Coussinet de butée; L, Douille de protection; M, Manchon d'accouplement; N, Clapet de retenue.

Fig. 73. — Pompe centrifuge système Rateau, à axe vertical, construite par la maison Sautter-Harlé.

hydrostatique de l'eau le poids de la partie tournante, en sorte que les paliers n'ont que de très faibles charges à supporter.

La maison Sautter-Harlé fait aussi des pompes à disques multiples du système Rateau, permettant d'élever jusqu'à 150 m de hauteur, avec attaque par moteurs électriques à courant continu ou à courants alternatifs, et des pompes à simple roue mobile attaquée directement, sans intermédiaire d'engrenages, par turbine à vapeur et permettant d'élever jusqu'à plus de 200 m d'un seul jet.

Le rendement mécanique des pompes centrifuges ordinaires ne dépassait habituellement pas 50 0/0 ; mais les derniers progrès ci-dessus signalés ont pu l'élever à 60 0/0, même jusqu'à 70 0/0, c'est-à-dire presque aussi haut que celui des pompes à piston. Ces pompes offrent l'avantage d'une très grande simplicité. Il faut toutefois signaler un inconvénient : le désamorçage qui a lieu lorsqu'une rentrée d'air même relativement faible vient à se produire. On est parvenu à remédier à cet inconvénient. La maison Sautter-Harlé exposait un réamorçeur automatique du système Rateau jouissant de la propriété de permettre une rentrée d'air plus abondante, sans démorçage, et produisant automatiquement le réamorçage par un jeu de pistons et de soupapes, qui font communiquer le refoulement de la pompe avec l'aspiration, dès que la rentrée d'air dépasse la limite dangereuse.

II. — ADDUCTION DE L'EAU.

L'adduction de l'eau d'un point à un autre, au moyen de la gravité, est un problème de topographie et d'hydraulique qui n'a rien de nouveau : si l'on a recours, comme les Romains, à une *conduite libre*, il s'agira de tracer une ligne d'égale pente entre deux points, sauf, à la traversée obligatoire de certaines vallées, à construire des ponts-aqueducs ; si l'on a recours aux *conduites forcées*, on suivra les inflexions du terrain, mais il faudra calculer soigneusement les cotes à donner aux têtes des *syphons*, ménager des décharges aux points bas, des ventouses pour l'évacuation de l'air aux points hauts, etc. ; du reste, le tracé comporte souvent les deux systèmes alternativement. Il arrive aussi très fréquemment qu'on ne peut contourner les crêtes et qu'il faut les franchir par de véritables tunnels : la construction de ces souterrains peut exiger la mise en œuvre des ressources les plus compliquées de l'art de l'Ingénieur. Ces questions restent en dehors de notre mission ; aussi nous

contenterons-nous de signaler l'accroissement de plus en plus grand que prend dans ces derniers temps la longueur des aqueducs. Rome a tenu longtemps le record avec les 91^{km},6 de l'aqueduc de l'*Anio vetus* ; puis tout récemment ce fut Paris avec les 173 km. de celui de la Vanne ; aujourd'hui, les mines de Coolgardie en Australie font venir l'eau d'une distance de 350 milles anglais (soit 560 km.) par des tuyaux de 0^m,76 de diamètre ; enfin, on connaît le projet Duvillard pour amener les eaux du lac de Genève à Paris ou encore celui d'adduction des eaux du lac d'Issarlès (dans l'Ardèche), projets qui exigeraient des aqueducs de 600 à 700 km. !

Les dimensions intérieures des aqueducs et tuyaux dépendent du débit maximum à amener, de la pente, de la nature des parois, etc. ; c'est un calcul d'hydraulique courant. Quand on sera fixé sur les dimensions, la pression, les ressources de la région, les prix des différents ouvrages, etc., on déterminera la forme et la nature des matériaux à adopter pour la conduite : aqueducs en maçonnerie, en briques, en béton, tuyaux en bois, en poterie, en grès, en béton, en fonte, en tôle de fer ou d'acier, en ciment armé, en plomb.

L'hygiène, qui proscriit complètement les canaux découverts pour l'amenée de l'eau de boisson, admet tous ces systèmes, pourvu 1° qu'ils ne donnent pas de composés toxiques solubles dans l'eau (comme il peut arriver pour le plomb), 2° que les conduites soient parfaitement étanches, c'est-à-dire incapables de recueillir sur leur passage d'autres eaux que celles qu'elles sont destinées à véhiculer. Pour cette raison, il faut donc proscrire les systèmes qui peuvent se fissurer, car les fissures pourraient devenir drainantes et capter des eaux plus ou moins sûres ; les tuyaux de béton, même de béton armé, paraissent dangereux sous ce rapport. De même, il convient d'entourer les aqueducs en maçonnerie, notamment dans la traversée des souterrains, d'un drain ayant pour mission d'écarter toutes les eaux rencontrées ; si on ne le fait pas, ces eaux finissent par délayer le mortier et par entrer dans l'aqueduc. Ainsi nous avons constaté nous-même que de nombreux filets d'eaux superficielles suspectes (quelques-uns avaient 50 000 germes par centimètre cube) pénétraient, surtout après les pluies, dans notre aqueduc non drainé d'eau de Moselle, de Nancy, et que ces infiltrations se faisaient presque exclusivement dans les tunnels.

Relativement aux conduites, nous citerons seulement quelques faits nouveaux ou nouvellement élucidés.

Tuyaux en bois.

Ce sont les plus anciens (puisqu'ils datent de l'époque où l'homme préhistorique creusa le tronc d'un arbre), et cependant leur emploi en Amérique nous paraît presque une nouveauté, surtout avec les grands diamètres et les pressions relativement élevées (35 à 40 m) qu'atteignent les conduites (1). Les diamètres de 1 m à 1^m,50 sont fréquents; nous trouvons signalée une conduite de 1^m,83 sur plus de 8 km. de longueur dans l'Ogden Canyon (Utah); enfin tout récemment (n° du 4 octobre 1900 de l'*Engineering News*), M. Henny décrit une conduite de 2^m,75 de diamètre. Ces tuyaux sont constitués par des douves en bois poli (redwood, sapin de Douglas, etc.), placées suivant les génératrices du cylindre et serrées l'une contre l'autre par des ceintures ou cerces en acier d'autant plus rapprochées l'une de l'autre que la pression doit être plus forte. Pour bien assurer l'étanchéité, chaque douve porte sur un côté latéral une languette longitudinale de 3 à 4 mm de large, qui pénètre dans une rainure correspondante de la douve contiguë; quant aux joints des douves bout à bout, ils sont formés par des petites pièces de fer de 3 mm d'épaisseur de même largeur que les douves, et entrant dans l'about de chacune de celles-ci sur 2 cm.

Dans le tube de 2^m,75 signalé, les douves ont 0^m,095 d'épaisseur, et les cerces sont constituées par la réunion de deux barres d'acier de 0^m,019 d'épaisseur; ces cerces sont espacées d'abord de 0^m,25 en 0^m,25, mais elles se rapprochent et dans la partie inférieure de la conduite leur espacement n'est plus que de 0^m,12. Ces cerces ont à supporter non seulement la pression de l'eau transmise par les douves, mais encore celle qui provient du gonflement du bois et qu'il n'est pas facile de calculer; aussi faut-il ne pas trop serrer l'étrier terminal de la cerce avant que l'eau ne soit mise dans la conduite.

Les Ingénieurs Américains sont très satisfaits de ces tuyaux en bois. Grâce sans doute à ce que le bois employé est parfaitement lisse et poli, le frottement serait moindre et par conséquent le débit plus grand que pour la fonte; de plus, l'intérieur reste toujours lisse, ne s'encrasse pas et ne se détériore pas comme pour le métal. On sait également que les bâches ou canaux découverts en bois sont très employées par

(1) Rappelons toutefois qu'il y a une trentaine d'années Herzog, fabricant alsacien, fit des conduites en bois de pin de 0^m,60 à 1^m,20 de diamètre: il en existe encore près de Colmar, notamment une de 0^m,80 sur 1 400 m de longueur et une de 1^m,20 sur 1 200 m; cette dernière supporte une pression de 19 m et a coûté 56 marks le mètre courant.

l'industrie ou l'irrigation. Comme tuyaux de distribution, il existe encore à Washington 30 km. de conduites en bois de 0^m,030 à 0^m,200 de diamètre, lesquelles ont été essayées à 28 atmosphères.

Tuyaux en béton, grès, poterie.

D'après les essais comparatifs faits par M. Gosio en 1895 et dont la *Technologie sanitaire* a rendu compte, les tuyaux de poterie seraient des plus résistants (ceux de petit diamètre vaudraient presque le métal sous ce rapport) ; mais ils sont perméables et ne peuvent être employés, si l'on craint les infiltrations, sans être vernis (éviter que le vernis ne contienne des sels toxiques). Le grès est imperméable, mais cassant ; il faut éviter avec lui les pressions de plus de 20 m et surtout les coups de bélier. Les tuyaux de béton sont assez résistants et peu perméables ; leurs pores se colmatent du reste assez vite ; mais, que le béton soit coulé sur place, ou qu'il soit comprimé au dehors en bouts isolés qu'on réunit par des joints au mortier de ciment, les fissures sont à craindre, surtout si le sol de fondation n'a pas une stabilité parfaite. De plus, le béton, à moins d'avoir une épaisseur excessive, ne peut supporter de pressions élevées.

Tuyaux en ciment armé.

C'est la nouveauté du jour, du moins en France, car ce genre de tuyaux a été très employé aux États-Unis de 1870 à 1876, époque où la fonte était chère : or il paraît que depuis 20 ans, les Américains n'en font plus ou presque plus, et qu'ils ont dû remplacer par de la fonte la plupart de ceux qui existaient (1). Cette expérience de l'autre côté de l'Atlantique est de nature à refroidir quelque peu l'engouement qui paraît régner actuellement de ce côté-ci.

Les systèmes sont nombreux ; ils ont tous pour but de demander la résistance au métal, tandis que le ciment qui l'enrobe doit le protéger contre la rouille, les actions extérieures, etc. On ne doit donc regarder le ciment que comme une enveloppe protectrice, et pour qu'on ait vraiment toute sécurité, *l'ossature métallique doit être calculée pour résister à elle seule à l'effort maximum*. Pour la description et les calculs afférents aux divers systèmes, nous renverrons à la 1^{re} partie, tome II de la *Revue technique*, où M. Lascombe a donné une belle

(1) Nous avons à ce sujet les témoignages de plusieurs villes américaines.

étude du ciment armé ; nous rappellerons seulement ici les noms des principaux types connus en France :

1°) *Système Monier* : cercles ou spires en fers ronds ou carrés et génératrices du cylindre en fers de même nature, avec des ligatures aux points de rencontre ;

2°) *Système Zissler* : avec une ou plusieurs ossatures superposées ;

3°) *Système Bordenave (sidéro-ciment)* : spires et génératrices intérieures en fers profilés à I ;

4°) *Système Hennebique (béton-armé)* : s'adapte bien surtout à des canalisations de grandes dimensions, telles que l'aménée des eaux du Rhône pour les travaux du Simplon ;

5°) *Système Coignet* : (voir le mémoire de MM. Coignet et de Tédesco inséré au *Bulletin* de mars 1894, de la Société des Ingénieurs civils de France ;

6°) *Système Cottancin* : réseau de fils de fer avec boucles de réunion.

7°) *Système Bonna* : outre le système ordinaire à spires et génératrices (appliqué à l'aqueduc d'Achères avec un diamètre de 1^m,80), l'inventeur a proposé un tuyau avec tube intérieur entièrement métallique placé entre les frettes et les génératrices et noyés dans le ciment (1). Il propose également des tuyaux contenant un ou plusieurs tubes intérieurs en verre pour les liquides acides, les eaux-vannes, etc., qui attaqueraient le ciment. (Voir pour les détails le journal *Le Ciment*, avril, mai et juin 1898) ;

8°) *Système Chameroy* : avec doublure intérieure en toile imperméable ;

9°) *Système Chassin* : (tuyau de 2 m de diamètre du siphon de Chennevières). Les cercles qui sont en fers \perp , avec la côte saillante à l'intérieur, et 4 génératrices en \sqsubset servent de supports à un réseau de fers ronds, le tout enrobé dans le ciment ;

10°) *Système Kieserling* : ce système consiste à entourer une carcasse métallique par des couches successivement damées de ciment ou d'as-

(1) La ville de Nîmes a adopté ce système il y a quatre ans pour la conduite de 0^m,90 de diamètre et de 1 kilomètre de longueur, refoulant l'eau de l'usine élévatrice au bassin de Comps : le tube intérieur a 6 mm d'épaisseur (tôle d'acier), les spires et les génératrices sont en acier profilé en forme de +. La pression atteint 80 m dans la partie basse. Notre collègue de Nîmes nous dit que la conduite se comporte bien. Toutefois, la conduite d'aménée des eaux du Rhône, également système Bonna, a subi des déformations et des fissures et ne fonctionne pas encore.

phalte, ou de tout autre corps plastique à l'état frais, mais durcissant à l'air ou au feu. (Voir le journal *Le Ciment*, juillet à novembre 1898) (1).

Tuyaux en fonte.

C'est encore le tuyau de choix, mais il est cher, surtout pour les grands diamètres. La fonte a l'avantage d'être inoxydable et résistante ; toutefois elle est un peu cassante, et cette raison exige que l'on prenne pour la pose des conduites en fonte quelques précautions sur lesquelles il n'est pas inutile d'insister. Ainsi, on doit faire reposer chaque tuyau sur un bon matelas de sable versé au fond des tranchées, de manière à supprimer l'effet des inégalités et rugosités ; on doit éviter soigneusement de poser quelque point du tuyau sur une saillie dure, telle que bloc de pierre ou maçonnerie d'un ancien mur, qui serait infailliblement la cause d'une rupture ; on évitera de surcharger un conduit d'une épaisseur trop considérable de remblais, de passer sur les fouilles fraîchement recombées avec des chariots trop lourds, etc. Quant aux joints, tout le monde connaît les différents types usités : joint à emboîtement et cordon, joint à brides, joint à bague pour tuyaux entièrement cylindriques, joint Marini, joint Delperdange, joint universel Gibault, joint Lavril, joint Somzée, joint Trifet. Quels qu'ils soient, ils sont bons, pourvu qu'ils soient bien faits ; l'épreuve dans le fond de la fouille, avant de la remblayer, est indispensable pour s'en assurer.

Les difficultés de fabrication commencent quand il s'agit de grands diamètres (au-dessus de 1 m) et de fortes pressions. Pour une même pression et un même métal, l'épaisseur de fonte devrait être proportionnelle au diamètre (2) : or en pratique, il n'en est pas ainsi, et on fabrique généralement les tuyaux avec l'épaisseur minima susceptible d'être réalisée en fonderie. Ainsi, pour fixer les idées, on donne d'ordinaire en France aux tuyaux de 0^m,250, 0^m,500 et 1 m de diamètre intérieur les épaisseurs respectives de 13 mm, 16 mm et 22 mm (poids respectifs au mètre courant de 75 kg., 195 kg. et 563 kg.), alors que pour avoir une même résistance il faudrait chaque fois doubler l'épaisseur et avoir par

(1) On trouvera également dans ces numéros et les suivants la description d'une machine inventée par M. Wayss pour fabriquer des tuyaux en ciment munis dans l'intérieur d'un tissu métallique.

(2) Cela résulte de la formule bien connue $PD = 2ER$
 ou P est la pression intérieure
 D le diamètre
 E l'épaisseur de la partie du tuyau
 et R le travail du métal par unité de surface

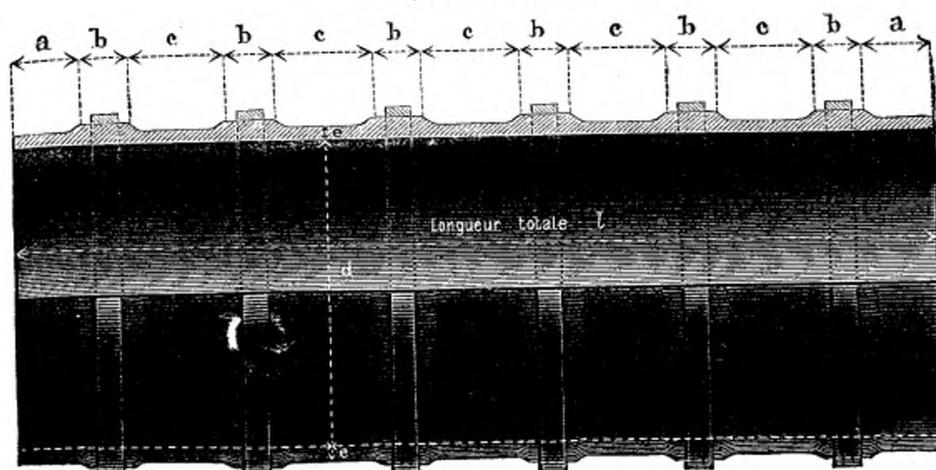
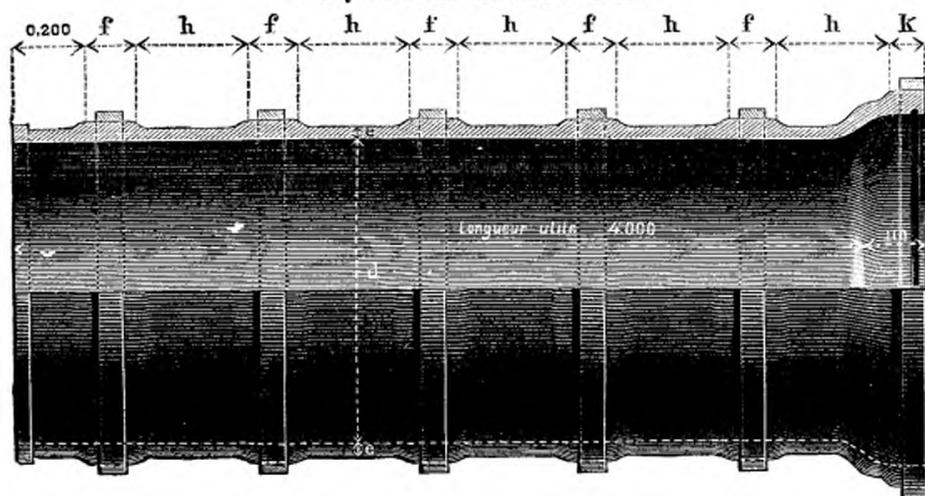
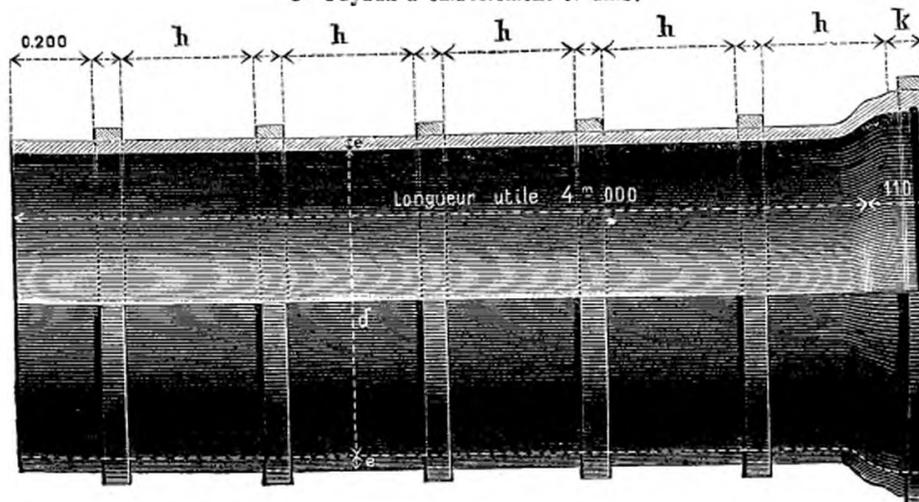
1^o Tuyaux cylindriques.2^o Tuyaux à emboîtement et cordon.3^o Tuyaux à emboîtement et unis.

Fig. 74. — Tuyaux frottés d'acier à chaud (système X. Rogé) de l'Usine de Pont-à-Mousson.

Nota: les largeurs a, b, c, f, h, k varient avec les dimensions des tuyaux.

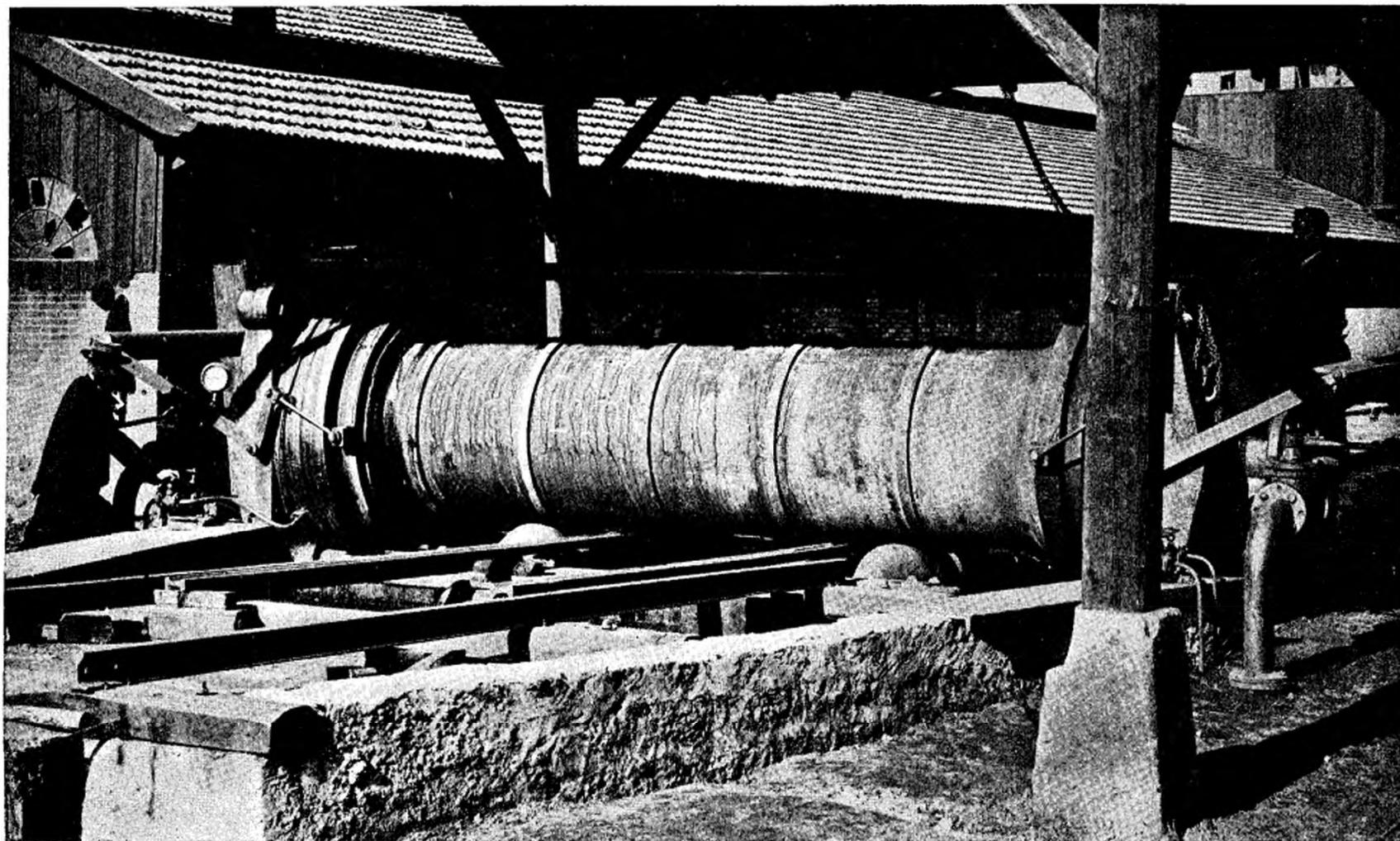


Fig. 76. — Tuyaux frettés d'acier à chaud (système X. Rogé). — Essais à la presse hydraulique.

suite 13, 26 et 52 mm ; il en résulte que sous une pression de 15 atmosphères, le métal de chacun de nos trois tuyaux va travailler très différemment, l'effort pour le tuyau de 0^m,250 étant de 1^k,614 par mm², celui du tuyau de 0^m,500 de 2^k,421 et celui de 1 m de 3^k,521. (Signalons en passant que les Américains emploient des épaisseurs de 20 à 25 0/0 plus fortes qu'en France pour les grands diamètres ; ainsi les tuyaux de 0^m,900 de MM. R. D. Wood et C^o, fondeurs à Philadelphie, pèsent 600 kg. le mètre à Brooklyn et à New-York, 711 kg. à Cincinnati et 814 kg. à Saint-Louis et Pittsburg, tandis que le même tuyau de la Société de Pont-à-Mousson ne pèse que 467 kg.).

Il est clair d'après cela que, si l'on dépasse 1 m de diamètre avec les épaisseurs de fonte usuelles, on s'approche trop de la limite admissible pour le travail du métal. Aussi a-t-on songé à renforcer les tuyaux au moyen des frettes. C'est la Société des Hauts fourneaux et fonderies de Pont-à-Mousson qui, sur quelques indications de M. Humblot, le regretté Directeur des Eaux de Paris, prit la première (1895) un brevet pour tuyaux de ce genre. Les tuyaux du système Rogé (voir fig. 74 et 75) sont des tuyaux ordinaires sur lesquels on applique de distance en distance, soit directement sur un tuyau cylindrique, soit sur des nervures spéciales venues de fonte, des frettes d'acier laminées, sans soudure, posées à chaud. On pose les frettes avec une bande modérée régulière, de manière que le refroidissement produise un serrage énergique ; ce résultat s'obtient soit par un mesurage très rigoureux de la frette et du tuyau à l'emplacement qu'elle doit occuper, soit en coulant entre la frette chauffée à une température uniforme et la fonte un métal, généralement du plomb, qui grossisse en quelque sorte le tuyau sous la frette pour l'amener au diamètre correspondant à la bande à obtenir (addition au brevet principal).

Les dimensions des frettes sont de :

60/15 mm pour des tuyaux de 0^m,400 ⁽¹⁾ de diamètre intérieur.

60/18 mm id. 0^m,600 ⁽¹⁾ id.

65/20 mm id. 0^m,800 ⁽¹⁾ id.

65/22 mm id. 1 m id.

65/25 mm id. 1^m,10 ⁽²⁾ id.

70/25 mm id. 1^m,25 ⁽²⁾ id.

70/28 mm id. 1^m,50 ⁽³⁾ id.

(1) Il convient parfois de renforcer la résistance de tuyaux de diamètre relativement petit, pour leur permettre de supporter des pressions très élevées.

(2) La fonte de ce tuyau a 25 mm d'épaisseur.

(3) La fonte de ce tuyau a 28 mm d'épaisseur.

Il y a généralement 5 ou 6 frettes par tuyau d'une longueur utile de 4 m ; mais on pourrait pour avoir une résistance encore plus élevée augmenter le nombre ou les dimensions des frettes. En somme, ce système unit l'élasticité de l'acier à l'inoxidabilité de la fonte, et des nombreuses expériences qui ont été faites à Pont-à-Mousson sur la résistance et la rupture des tuyaux frettés il résulte :

1° Qu'un tuyau de fonte, d'épaisseur normale, fretté d'acier, peut supporter sans se rompre des chocs extérieurs très violents et répétés et des pressions intérieures considérables beaucoup plus fortes que celles que supporterait un tuyau de fonte nue ;

2° Que pour obtenir la même résistance avec un tuyau de fonte nue, d'épaisseur renforcée, il faudrait augmenter l'épaisseur dans une proportion tellement grande que le prix du tuyau serait bien supérieur à celui d'un tuyau fretté offrant la même résistance ;

3° Qu'un tuyau de fonte nue qui se rompt s'ouvre généralement sur toute sa longueur ou sur presque toute sa longueur en laissant échapper un volume d'eau considérable, capable de produire des désastres, tandis qu'en cas de rupture d'un tuyau fretté d'acier à chaud, les fentes ou les ouvertures sont limitées par les frettes.

Des applications en grand de ce système ont été faites par la ville de Paris (siphons de 1^m,25 et 1^m,50 des dérivations du Loing et du Lunain, sur près de 14 km.), par la ville de Lyon (nouvelle conduite de 1 m pour le refoulement des eaux du Rhône, sur 8 km.), et par la Compagnie générale des Eaux (refoulement de Choisy) ; les tuyaux frettés ont paru donner satisfaction, et aucune rupture ne s'est produite. Inutile de dire qu'ils figuraient en belle place à l'Exposition.

Un autre système de renforcement des tuyaux de fonte a été présenté et appliqué, suivant un brevet pris en 1896, par la Société métallurgique d'Aubrives-Villerupt. Le frettage est produit par l'enroulement d'un fil d'acier écroui et recuit de très grande résistance ; cet enroulement se fait sous une tension de 15 à 20 kg. par millimètre carré de section du fil, en sorte que la fonte se trouve comprimée et que sa résistance s'accroît. Pour éviter l'oxydation du fil une fois enroulé, la frette est recouverte d'une couche d'asphalte rapidement durcie et fortement adhérente, qui la protège et lui assure une durée égale à celle de la fonte.

La Société d'Aubrives-Villerupt a exposé un tuyau de 2 m de diamètre (c'est croyons-nous le plus grand tuyau qui jusqu'ici ait été coulé verticalement) renforcé de cette manière. Ce type a été employé par la

ville de Paris, aux siphons de Maurecourt, pour le transport des eaux d'égout dans la plaine de Triel. (Signalons encore dans l'Exposition de la même Société des joints à rotule qui répondent à la double et presque contradictoire exigence d'une grande mobilité et d'une étanchéité absolue. Une rotule de 0^m,400 de diamètre fait partie d'un siphon de 800 m de long, descendu dans le lit du Mékong à Pnompenh (Cambodge), par une profondeur d'eau de 15 m, pour servir de conduite de refoulement aux eaux de la ville; la conduite, grâce à la mobilité des joints, épouse les sinuosités du lit de la rivière comme le ferait une chaîne.)

La Société de Commentry-Fourchambault avait également pris en 1896 un brevet pour le fretage des tuyaux : il consistait à disposer dans le moule, avant d'y couler la fonte, des frettes en acier analogues à celle de Pont-à-Mousson. Nous croyons savoir que la Société aurait renoncé à appliquer son procédé.

Tuyaux en fer ou en acier.

Pour les très grands diamètres, la tôle de fer ou plutôt aujourd'hui d'acier présente de grandes commodités : on la rive par rangs de rivures transversales (un seul rang) et longitudinales (deux rangs). On s'est servi de tuyaux de ce genre en tôle d'acier de 8, 10 et 12 mm d'épaisseur (suivant que la pression restait en dessous de 50, de 70 ou de 80 m pour l'adduction des eaux de la Vigne à Paris; les tuyaux étaient préparés par bouts de 6 m (comprenant 5 rondelles), et ces bouts étaient reliés entre eux par des joints Gibault, à caoutchouc, permettant la dilatation.

Suivant M. Bechmann, la transformation des procédés de la métallurgie ferait entrevoir dès maintenant la possibilité d'obtenir directement des tuyaux d'acier d'une seule pièce; s'il en était ainsi, ces tuyaux présenteraient sur la fonte des avantages considérables et pourraient arriver à la supplanter. En attendant, le procédé Mannesmann, qui a pour base l'enroulement en hélice et la soudure continue d'un long ruban d'acier, a déjà permis d'obtenir en Allemagne des tuyaux de petit et de moyen diamètre; une légère oxydation, suivie d'une immersion à chaud dans un bain de goudron, les protégerait, paraît-il, suffisamment contre la rouille.

Nous ne rappellerons que pour mémoire les tuyaux *Chameroy* en

tôle et bitume, les tuyaux *Gandillot* en fer étiré avec assemblages à vis, les tuyaux en fer étamé, galvanisé, émaillé, etc. (1).

Tuyaux en plomb.

Un mot seulement pour dire que les hygiénistes les condamnent en principe, mais que cependant la pratique les conserve sans inconvénient trop fréquent, à cause de leur grande commodité, pour les branchements particuliers dans la distribution intérieure. Il semble démontré que c'est principalement l'eau distillée ou l'eau très peu minéralisée (2) (et par conséquent aussi l'eau de pluie) qui attaque le plomb ; toutefois il faudrait se méfier de certaines eaux de drainage chargées de nitrates ; les sels ammoniacaux, les matières organiques, la pression, la chaleur et surtout les alternances du contact de l'air et de l'eau facilitent aussi la dissolution du métal. La plupart du temps, il se forme un dépôt adhérent à la paroi intérieure du tuyau, et ce dépôt serait plus ou moins protecteur ; il en est notamment ainsi pour les eaux calcaires, qui n'offrent pas de danger avec les tuyaux de plomb. Il faut éviter avec soin le contact du plomb et du fer, ce qui donne un couple voltaïque activant l'action chimique ; ainsi Hübner a signalé la destruction rapide de tuyaux de plomb à Flensburg, destruction due bien certainement à ce que le sol dans lequel étaient placés ces tuyaux est un grès très ferrugineux. Bref, à la suite d'un rapport très documenté de Hamon, le Congrès d'Hygiène de Vienne (1887) a émis le vœu, resté d'ailleurs platonique, que l'emploi des tuyaux de plomb pour l'eau de boisson devrait être interdit par une loi.

Outre qu'il convient, bien entendu, de ne pas laisser séjourner longtemps l'eau dans les tuyaux ou vases de plomb, on peut parer à tout danger de ce chef en revêtant l'intérieur de ces tuyaux d'une couche isolante. Schwartz a proposé de les plonger dans du foie de soufre (trisulfure de potassium), qui produit un sel de plomb insoluble formant une sorte de vernis adhérent. Hamon en France, et Haine en Angleterre ont proposé de leur côté l'emploi de tuyaux en *plomb étamé*, c'est-à-dire revêtus intérieurement d'une chemise de 1/2 mm d'épaisseur en étain (les com-

(1) A signaler également le procédé Bower Barff, qui a pour but de soustraire les tuyaux à l'action de la rouille, en les recouvrant d'une couche d'oxyde noir magnétique, obtenue en faisant passer un courant d'oxyde de carbone sur les tuyaux chauffés à une température convenable pour la production d'une couche mince de sesquioxyde (réduit par l'oxyde de carbone)

(2) La ville de Vitré qui a des eaux très peu minéralisées vient d'avoir dans ces derniers temps quelques cas d'intoxication saturnine causés par l'eau.

posés de l'étain sont insolubles et non toxiques) ; des tuyaux de ce genre fabriqués par la maison Quirk, Barton et C^{ie} figuraient déjà à l'Exposition d'hygiène de Londres en 1884 ; mais ils ont l'inconvénient de coûter le double des tuyaux ordinaires, et leur usage ne paraît guère s'être répandu.

Obstruction et désobstruction des conduites.

Nous dirons encore un mot de ces deux questions qui ne se posent guère que pour la fonte, et n'ont été étudiées que tout récemment, sans être encore parfaitement élucidées. Pour l'obstruction et ses causes, voici ce qui nous paraît aujourd'hui démontré.

Sans parler des dépôts non adhérents (boues, mollusques, etc.) qui sont enlevés facilement par des chasses, il se forme avec certaines eaux dans les tuyaux de fonte des dépôts adhérents qui peuvent devenir une cause de gêne très sérieuse. Ces dépôts sont de trois sortes : les uns, surtout calcaires, sont formés de couches concentriques ; les autres, principalement ferrugineux, sont des tubercules isolés plus ou moins volumineux ; enfin les derniers sont constitués par des zoogloées d'êtres vivants, algues, infusoires, bactéries.

Les eaux chargées de carbonate et de sulfate de chaux peuvent donner dans les conduites des dépôts incrustants, surtout si on les a recueillies dès leur émergence, sans les aérer suffisamment pour éliminer au préalable l'excès d'acide carbonique du bicarbonate. Mais généralement, et si l'on a pris cette précaution, les eaux calcaires ne donnent avec la fonte qu'un mince enduit, capable de protéger le métal qu'il recouvre ; en présence du fer, une certaine quantité de carbonate de chaux se précipite, l'acide carbonique devenu libre forme du carbonate de protoxyde de fer, et celui-ci, oxydé partiellement, est englobé par le carbonate de chaux, ce qui constitue un revêtement adhérent, une sorte de gaine de carbonate de chaux et de sesquioxyde de fer dans laquelle l'eau circule désormais. On comprend toutefois qu'avec des eaux calcaires on ait chance de provoquer de nouveaux dépôts si on laisse entrer dans les conduites de l'air qui expulse de plus en plus l'acide carbonique, ou si l'on produit dans l'écoulement des intermittences toujours dangereuses pour le maintien de la couche de revêtement primitivement formée.

Quand on a au contraire des eaux très peu minéralisées (eaux du granit, du grès, des sables, etc., comme à Grenoble, Genève, Saint-Étienne, dans les Vosges, etc.), les choses se passent tout différemment. L'eau renfermant de l'acide carbonique libre dissous, — mais sans

chaux, — cet acide attaque la fonte et donne du carbonate de protoxyde, lequel en présence de l'oxygène dissous dans l'eau se transforme en sesquioxyde et régénère l'acide carbonique pour la continuation de l'attaque ; le sesquioxyde précipité se dépose sur les points rugueux ou saillants du tube (soit les points qui renferment un excès de charbon, soit ceux où dominent les composés sulfurés ou phosphorés, soit encore ceux où la couche de goudron a des défauts), et devient le noyau d'un tubercule ferrugineux qui grossit constamment. La présence de certains corps dans l'eau favorise grandement cette action : tels sont la silice (qui étant un acide attaque le fer), le sel marin, les sulfates alcalins, les azotates et notamment l'azote d'ammoniaque (l'acide azotique détermine l'oxydation du fer qui, complétée par l'air, donne de l'oxyde ; celui-ci est précipité à l'état d'hydrate par l'ammoniaque, avec ou sans entraînement des matières organiques, et l'azotate d'ammoniaque se reformant détermine de nouveau l'attaque du fer). Les expériences de Kersting à Riga ont montré que l'eau distillée enlevait ainsi aux tuyaux de fonte plus de fer que l'eau de la Duna, que l'eau contenant 1 0/0 d'azotate de potasse en enlevait encore deux fois plus que l'eau distillée, et enfin qu'avec 1 0/0 d'azotate d'ammoniaque c'était au moins trois fois plus qu'il fallait compter ; inversement, si on ajoutait à l'eau 1 0/0 de carbonate de soude, elle ne dissolvait à peu près plus de fer. M. Petit (de Nancy) a trouvé de même que l'addition d'un lait de chaux empêche l'eau d'attaquer la fonte, tandis que si on y fait passer un courant d'acide carbonique, l'attaque devient très forte ; il a confirmé aussi l'action nuisible du sel marin et des sulfates alcalins que Rosenblum avait déjà indiquée.

Ces considérations chimiques expliqueront sans doute bien des cas ; cependant il en est d'autres où l'on ne voit pas bien pourquoi de deux eaux de composition très voisine, l'une attaque la fonte et l'autre pas. Ainsi, parmi les eaux de Rome dont nous avons la composition chimique sous les yeux (dans l'Ingegneria sanitaria de M. Spataro), l'eau de Cisterna, celle de Corneto Tarquinia et celle de Grosseto, ainsi que l'Acqua Paola produisent des tubercules ferrugineux, tandis que l'Acqua Marcia et l'Acqua Vergine n'en produisent pas, et cela sans que l'on puisse vraiment en reconnaître la cause dans des différences de composition chimique. Tout n'est donc pas encore bien expliqué.

Certains auteurs ont voulu faire intervenir dans la production des tubercules l'action bio-chimique des *ferro-bactéries*, dont la plus connue est la *Crenothrix polyspora*, étudiée par Kühn, Cohn, Zopf, Bre-

feld et Bischoff, de Vries, et plus récemment (1898) par un long mémoire du Dr Gasperini. Cette algue, à laquelle il faut joindre *Cladotrix dichotoma*, *Beggiatoa alba*, *Gallionella ferruginea* et quelques autres espèces, demande généralement la présence d'une notable quantité de fer dans l'eau pour pouvoir s'y développer; elle a donné des ennuis sérieux à Berlin (Tegel), à Halle, à Lille, etc., par suite de l'obstruction des conduites par ses masses filamenteuses, et de la couleur de rouille ainsi que de la mauvaise odeur qui étaient communiquées à l'eau. Toutefois, il semble aujourd'hui, surtout depuis les expériences du Dr Pellegrini (1), que la genèse des tubercules ferrugineux et la pullulation des ferro-bactéries soient deux phénomènes distincts; ainsi cet auteur a démontré 1° que les tubercules ferrugineux peuvent se former en l'absence de la *Crenothrix*; 2° que celle-ci peut se développer ailleurs que dans des tuyaux de fonte et peut arriver à obstruer des conduites en maçonnerie; 3° que la *Crenothrix* n'est pas le seul microorganisme qui puisse végéter dans les conduites d'eau et s'imprégner des dépôts ocreux; 4° que le phénomène, quelle que soit la participation des ferro-bactéries, n'est pas nécessairement provoqué par la richesse de l'eau en sels de fer; 5° que la rugosité des sédiments détermine une stagnation relative et devient la cause indirecte de l'obstruction, à laquelle la *Crenothrix* et autres microorganismes concourent pour une part plus ou moins grande.

Quant aux remèdes à apporter aux obstructions, s'il s'agit de dépôts dus à l'action chimique, le mieux est certainement de revêtir la paroi intérieure des tuyaux d'un bon isolant, et le plus pratique est encore le goudron ou le coaltar bien choisi (notons en effet que certains goudrons paraissent contenir des acides capables d'attaquer la fonte en dégagant des bulles d'hydrogène qui soulèvent la pellicule goudronneuse et deviennent l'origine d'un nodule). On a essayé avec succès à Genève et à Mulhouse un enduit d'asphalte appliqué à chaud. Becquerel a proposé de revêtir l'intérieur des tuyaux par des lames de zinc, pour que ce soit ce dernier métal qui soit attaqué (mais on se demande s'il convient de mettre en dissolution dans l'eau des sels de zinc, toujours quelque peu toxiques); enfin, pour l'eau de Corneto Tarquinia à Rome, on a revêtu la fonte d'une couche de ciment, ce qui a supprimé la formation des tubercules ferrugineux, mais n'a pas arrêté la pullulation de la *Crenothrix*. Pour lutter contre cette dernière, ainsi que contre ses congénères, le

(1) *Sulla genesidei tubercoli ferruginosi delle condutture*, dans *Rivista d'Igiene e sanità pubblica*, 16 avril et 1^{er} mai 1899.

mieux est certainement de traiter l'eau pour réduire sa teneur en fer, comme il a été dit au paragraphe précédent (procédés Oesten, Piefke, etc.) : après ce traitement et la filtration subséquente, on n'aurait plus d'inconvénients à craindre du côté des ferro-bactéries.

Mais si l'on a à désobstruer des tuyaux en place trop fortement encrassés, que faudra-t-il faire ? On a bien essayé d'y faire passer de l'eau chargée d'acide chlorhydrique pour dissoudre les dépôts, et plus spécialement les concrétions calcaires ; mais quelle dose d'acide faut-il employer, et si l'on en met trop, ne doit-on pas redouter l'attaque de la fonte ? On a pu également en Bavière faire redissoudre une partie des concrétions gypseuses, en faisant circuler de temps en temps dans la conduite des eaux douces très pauvres en sulfate de chaux ; mais pour cela, il faut avoir de telles eaux à sa disposition. Le procédé de choix semble donc être le procédé mécanique consistant dans le raclage des tuyaux grâce au passage d'un corps dur nommé spécialement le *hérisson*. Nous ne pouvons mieux faire que de donner à ce sujet un extrait de la *Revue technique* du 10 novembre 1894.

« L'idée d'utiliser la pression même de l'eau dans les conduites pour y faire circuler le hérisson qui les doit nettoyer a dû venir à bien des ingénieurs ; le premier qui en ait fait l'application pratique est M. Appold.

En 1873, après la mort de l'inventeur, M. Th. Kennedy, directeur des eaux de Glenfield, modifia le hérisson Appold, et le type créé par lui est encore d'un usage à peu près général. Il convient aux conduites d'un diamètre compris entre 142 et 457 mm. L'appareil se compose de deux parties réunies par un mouvement de baïonnette, en avant se trouve le hérisson proprement dit, en acier ; à l'arrière se placent les pistons en fer ou acier sur lesquels l'eau agit pour faire progresser le hérisson. Derrière chaque piston est une garniture en cuir doublée de plomb ; les ressorts qui portent les arêtes raclantes sont disposés sur deux rangs de quatre se contrariant.

Dans les conduites de plus fort diamètre, le modèle change. Le poids est porté par deux systèmes de ressorts en acier placés aux deux bouts de l'appareil. Les obturateurs en cuir, les pistons et l'assemblage des deux portions de l'appareil ne diffèrent pas sensiblement des organes similaires du petit hérisson. Les racloirs sont montés sur des bras qui peuvent osciller autour de pivots faisant corps avec les disques. Ces disques sont calés sur la tige centrale ; des ressorts forcent les bras à s'appuyer sur la surface à nettoyer.

On introduit facilement le hérisson dans la conduite où l'on veut le faire circuler, au moyen de regards qu'on espace autant qu'on le peut sans nuire à l'efficacité du curage. Une fois ces tuyaux placés, on construit autour une cuvette en briques avec un canal d'échappement de dimensions suffisantes pour évacuer l'eau pendant l'opération. Dans beaucoup de canalisations nouvelles, on a prévu des regards destinés à l'introduction du hérisson ; on s'en trouve bien au point de vue de la dépense.

Voici comment se fait l'opération même du curage : une fois le hérisson introduit par un regard dans la canalisation, et avant de lancer l'eau dans les conduites, on place un certain nombre d'hommes sur le parcours de l'appareil, tous les 150 m environ. Chacun d'eux, aussitôt que le hérisson a passé devant

lui, doit se porter à 150 m au delà de l'homme le plus éloigné du point de départ, afin de pouvoir toujours contrôler la marche du hérisson; il existe une série de signaux conventionnels qui permettent de tenir constamment au courant de ce qui se passe l'ouvrier chargé de la surveillance de la valve d'admission. Lorsque l'appareil est en marche normale, il produit un bourdonnement sourd facile à reconnaître. Lorsqu'il s'arrête, le bruit de l'eau qui passe par-dessus fait connaître l'endroit où s'est produit l'arrêt. Lorsque cet arrêt se prolonge, on essaye divers procédés pour remettre le hérisson en marche : on peut d'abord cesser pendant quelques instants l'admission de l'eau; le choc qui se produit lorsqu'on l'admet de nouveau détermine souvent le mouvement en avant de l'appareil. Pour donner plus d'effet à la pression de l'eau sur l'arrière du hérisson, on peut lancer dans la canalisation un tampon de foin. Si l'appareil est visible et accessible, on peut encore tenter de le faire avancer à coups de marteau. Si tous les procédés échouent, il ne reste d'autre ressource que de pratiquer un regard en avant de l'endroit où s'est produit l'arrêt et d'enlever à la main les obstacles qui s'opposent au mouvement du hérisson. Les arrêts peuvent d'ailleurs être assez longs sans qu'on soit obligé d'en venir à cette extrémité. Les débris accumulés en avant du hérisson sont souvent entraînés, au bout d'un temps qui peut atteindre une heure, par la force même du courant : l'appareil reprend alors sa marche.

Les Américains ont également employé avec succès une machine rotative du même genre pour le curage de leurs canalisations de pétrole. »

(Voir également une conférence faite l'an dernier en Angleterre sur ce sujet et rapportée dans le n° du 3 novembre 1899 du journal *Engineering*).

Electrolyse des conduites. — Une dernière question, qui est tout à fait à l'ordre du jour, c'est celle de l'attaque extérieure des conduites placées dans le sol, notamment par suite des effets d'électrolyse dus au voisinage des câbles électriques et des rails de tramways servant au retour du courant.

Indépendamment de ces effets, c'est-à-dire dans le sol naturel, les tuyaux se conservent d'une manière très inégale suivant les lieux. C'est sans doute la composition du sol qui joue le principal rôle : ainsi, alors qu'en certains endroits des conduites vieilles de 250 ans ont été retrouvées intactes, dans d'autres et notamment à Paris, elles sont corrodées après un petit nombre d'années (ce qui tient sans doute à la présence dans le sol de nitrates ou autres corps qui agissent comme nous l'avons dit plus haut). Mais l'attaque du métal est naturellement bien plus rapide et bien plus accentuée quand la terre et la conduite reçoivent et échangent des courants électriques plus ou moins intenses, qui en présence de l'humidité du sol font de l'électrolyse. En Europe, où on isole d'ordinaire avec précaution⁽¹⁾ les câbles souterrains et où les

(1) En France, on exige que la différence de potentiel entre deux points quelconques du réseau de retour des tramways électriques n'exécède jamais 5 volts. Le Board of Trade de Londres est plus sévère encore : il prescrit une limite supérieure de 4 à 5 volts quand le courant va du rail à la conduite et de 4,5 volt quand le courant va de la conduite au rail. Il faut reconnaître toute-

Compagnies de tramways assurent le plus souvent le retour du courant soit par les rails connectés, soit par un fil spécial, la question n'a pas encore pris une gravité bien sérieuse; mais il n'en est pas de même en Amérique, où le sous-sol de certaines villes est devenu une véritable électrode chargée constamment d'électricité vagabonde. La *Revue Industrielle* de mai dernier rend compte des résultats d'une enquête faite auprès d'un certain nombre de services de distribution d'eau dans les villes des Etats-Unis : sur 84, 67 réponses déclarent qu'il existe des phénomènes d'électrolyse, et que la fonte, le fer et le plomb sont profondément attaqués. (A Brooklyn, une Compagnie de tramways avait relié sans la moindre gêne ses câbles de retour à un tuyau d'eau de 6 pouces : or d'après le professeur Blake, chaque joint produit une résistance au courant qui fait passer de l'électricité dans le sol, et il arrive que les tuyaux sont attaqués sur une grande longueur). Bref, la responsabilité des Compagnies de tramways et d'électricité est nettement engagée vis-à-vis des conduites d'eau et de gaz, et il semble qu'il faille exiger d'elles toutes les mesures (isolement, fils de retour, connexions soignées, etc., etc.) capables d'empêcher les divagations du fluide électrique dans le sol.

III. — EMMAGASINEMENT ET DISTRIBUTION DE L'EAU.

Réservoirs. — L'emménagement, pour être vraiment utile, devrait porter sur des masses énormes : il faudrait pouvoir mettre en réserve pour les époques de sécheresse l'excès d'eau fourni pendant les périodes d'abondance, et c'est ce que permettent de faire dans une certaine mesure les barrages-réservoirs pour les eaux superficielles et les serremments pour les eaux souterraines. Quant aux réservoirs proprement dits, c'est-à-dire à ceux qu'on place en tête des réseaux de distributions urbaines, ils ne contiennent tout au plus que le volume d'eau nécessaire à la consommation d'un ou deux jours, et ils agissent plutôt comme *régulateurs* : ils n'en sont pas moins des plus utiles. Au point de vue hygiénique, on doit leur demander :

1° D'être complètement à l'abri de l'invasion par les eaux superficielles

fois que l'électrolyse peut se produire avec des courants bien plus faibles que ces limites (expériences de Fleming); mais une circonstance relativement heureuse intervient, c'est l'oxydation superficielle des conduites et des rails qui, par la présence d'une couche extérieure mauvaise conductrice, leur assure au bout d'un certain temps un isolement partiel.

les, par des infiltrations de voisinage, etc., etc., ainsi bien entendu que de toute projection de matières nuisibles par des mains malveillantes ;

2° D'être parfaitement étanches, et comme tels d'être à l'abri de toute pénétration des eaux souterraines, pénétration qui se fait parfois par des fissures des parois ou un soulèvement du radier : dans ce but, il est généralement indispensable de drainer le sol sous le radier, ainsi que d'établir un drain périphérique autour des parois ;

3° de préserver l'eau pendant l'été contre un échauffement trop sensible, et pendant l'hiver contre la congélation ou un trop fort refroidissement ;

4° D'être bien aérés ;

5° D'assurer dans leur intérieur une bonne circulation de l'eau, afin qu'il n'y ait pas stagnation dans certaines parties et par suite tendance au développement des microorganismes ;

6° D'être faciles à visiter, à vider et à nettoyer.

Les conditions topographiques et techniques déterminant leur emplacement, leur altitude, leur capacité, enfin — du moins en grande partie — leur mode de construction : ils sont complètement enterrés (ce qui évidemment vaut le mieux), ou en élévation au-dessus de la surface du sol, ou en l'air et parfois à grande hauteur. Suivant les cas et les ressources dont on dispose, on construit les réservoirs en maçonnerie, en fer, en fonte ou en ciment armé. Comme les tuyaux, les réservoirs en ciment armé sont une nouveauté : nous retrouvons ici les noms et les systèmes des constructeurs⁽¹⁾ déjà cités à l'occasion des tuyaux (page 249) et nous renverrons également aux descriptions de réservoirs données par M. Lascombe (tome II, 1^{re} partie de la présente revue). Le plus grand réservoir en ciment armé que nous connaissions est celui qui a été établi par MM. Chassin et fils, pour le compte de la Compagnie Générale des eaux à Châtillon (Seine) : ce réservoir mesure 32 m de diamètre intérieur et avec 5 m de hauteur d'eau contient 4 000 m³, la paroi n'ayant qu'une épaisseur moyenne de 0^m,12. Les réservoirs en ciment armé sont aussi assez nombreux à l'étranger.

Si la plupart de ces réservoirs se sont bien comportés depuis les quelques années qu'ils existent, d'autres ont donné lieu à de graves mécomptes ou n'ont pas pu s'étancher. A-t-on toujours appliqué la règle d'après laquelle le métal doit être calculé pour résister *seul* à tous les

(1) Il faut ajouter le système Matrai (fer-béton), célèbre par l'accident de la passerelle du Globe céleste : nous ne sachions pas qu'il ait été fait de tuyaux dans ce système, tandis qu'il existe quelques réservoirs.

efforts? N'a-t-on pas par trop diminué les épaisseurs? Pour les réservoirs en l'air, les alternatives de soleil et de froid ne doivent-elles pas faire fissurer un jour ou l'autre le ciment? Bref, le temps n'a pas encore consacré ce système, et nous pensons qu'il faut être réservé à son sujet, en matière de travaux devant présenter toutes garanties de solidité et de durée comme les travaux de distribution d'eau : nous accepterions peut être le ciment armé comme revêtement de la paroi en terre (et encore à condition qu'elle soit stable et ne donne pas lieu à de fortes poussées) d'un réservoir en déblai, mais nous ne le conseillerons certes pas pour un réservoir en l'air.

Nous partageons donc entièrement l'opinion de M. l'Ingénieur en chef Debauve qui écrit dans son récent *Traité des distributions d'eau* : « Nous sommes loin de méconnaître l'intérêt qui s'attache aux travaux « en ciment armé et les avantages qu'ils peuvent offrir au point de vue « économique : mais notre conclusion sera la même pour les réservoirs « que pour les tuyaux : ces ouvrages exigent des soins méticuleux, d'ex- « cellents matériaux, une construction parfaite ; lorsque ces conditions « ne sont pas remplies, il se produit des accidents. Il faut donc, lors- « qu'on les adopte, imposer aux constructeurs des garanties sérieuses et « prolongées. Il convient également de s'assurer qu'on ne peut pas « établir des ouvrages ordinaires avec les matériaux du pays pour un « prix analogue ».

Avec les réservoirs, il suffit de signaler les appareils indicateurs de niveau ou de pression, avertisseurs, enregistreurs, etc., etc., permettant au directeur d'une distribution d'eau, de suivre de son cabinet la hauteur d'eau dans ses réservoirs et la pression dans ses conduites. Ils sont tellement simples et tellement commodes (depuis les applications de l'électricité) qu'il n'est vraiment plus permis de s'en passer.

Réseau de distribution. — Pertes de la canalisation et leur recherche. — Nous ne dirons rien non plus du tracé du réseau ⁽¹⁾ de distribution intérieure, de la subdivision d'une ville, s'il y a lieu, en zones ou en étages, des appareils d'arrêt (vannes, robinets-vannes, robinets

(1) Chacun sait qu'on doit aujourd'hui assurer un *service constant*, c'est-à-dire que le réseau urbain doit toujours être sous pression. Quant au tracé, on adopte généralement le *réseau maillé*, commandé quand il est possible par un ou plusieurs réservoirs à chaque extrémité : les mailles sont dessinées par les rues, et l'eau va indifféremment dans un sens ou dans l'autre pour se rendre au point où se fait un appel. Chaque rue ou chaque portion de rue est naturellement comprise entre des robinets d'arrêt pour pouvoir être isolée en cas de vidange ou de réparation.

d'autres systèmes), de prise et de décharge, des appareils du service public (bornes-fontaines, bouches sous trottoirs, bouches d'incendie ou d'arrosage) etc., etc. : tout cela est bien connu. Nous avons parlé ci-dessus des tuyaux et de leur engorgement : il reste quelques mots à dire de la question des pertes, parfois élevées, qui se produisent dans les canalisations urbaines et du moyen de les découvrir.

Les pertes proviennent, soit des fuites des branchements particuliers et du gaspillage de l'eau par les usagers, soit des fuites de la conduite publique elle-même. Pour remédier aux premières, le mieux est certainement d'en mettre la responsabilité au compte des particuliers, ce qui se fait tout simplement par l'obligation de poser un compteur en tête de chaque branchement : le particulier payant alors ce qu'il perd inutilement est conduit à vérifier et à entretenir convenablement son branchement. S'il n'y a pas de compteurs, le service des eaux est obligé, comme cela se passe fréquemment à l'étranger, de procéder à des inspections répétées et systématiques des installations de chaque maison, ce qui nous paraîtrait en France ressembler beaucoup à des visites domiciliaires.

Quant aux pertes des conduites de rues, on se sert pour les découvrir, soit des *compteurs de pertes*, soit des *manomètres*, soit de l'*auscultation*, soit mieux encore, d'une combinaison de ces procédés : dans tous les cas, on opère la nuit, sur un district isolé, après s'être assuré que toutes les prises d'eau particulières sont bien fermées.

Le procédé par compteurs de pertes appliqués aux subdivisions en districts a été imaginé par Deacon (1) et a réussi à Liverpool. Le compteur Deacon, basé sur l'obturation plus ou moins grande d'un tuyau de jauge tronconique (inséré dans la conduite) par un disque mobile dont l'emplacement en hauteur est repéré graphiquement, donne à tout instant le débit qui passe par la conduite, et, quand toutes les prises sont fermées, le débit qui persiste n'est autre que la perte totale du district. Un autre appareil plus récent encore (2) permet aussi de mesurer l'écoulement qui se fait au travers d'une conduite : c'est le *compteur Venturi*, imaginé par l'Américain Clemens Herschel, et ainsi nommé parce qu'il applique cette loi de Venturi d'après laquelle il se produit une diminution de la charge piézométrique lorsque la vitesse augmente. L'appareil se compose alors de deux tuyaux tronconiques réunis bout à bout par leurs petites bases, de telle sorte que la section à ce point de

(1) Voir *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, 1885 (n° 3).

(2) Voir *Engineering* du 11 août 1896.

jonction produise un étranglement et par suite un accroissement de vitesse et un effet de succion : la différence de pression entre la section normale et la section rétrécie, enregistrée par un diagramme, fait connaître la vitesse et le débit de la conduite.

Avec les manomètres, on mesure la pression aux différents points d'un district, et si toutes les prises sont fermées, il est clair que toute chute de pression indique une fuite. M. Church (Ingénieur du service de New-York) a imaginé dans cet ordre d'idées un appareil nommé *détektor* : les robinets d'arrêt des branchements sont à trois voies et sont surmontés d'une tige creuse verticale au haut de laquelle se visse le manomètre.

Enfin, la méthode d'auscultation est basée sur ce fait qu'en appliquant l'oreille contre une clef de manœuvre posée sur le chapeau d'un robinet, on perçoit distinctement le bruit de l'écoulement de l'eau, et le bruit change avec la vitesse : la nuit, quand tout autre bruit a cessé, on peut donc en auscultant ainsi les robinets trouver ceux par lesquels se fait un écoulement illicite. On a remplacé la barre de fer de la simple clef par un tube meilleur conducteur du son, un véritable *stéthoscope*, et on y a même appliqué le *microphone* qui fait percevoir de très faibles écoulements. On peut recommander dans ce genre l'*hydrophone* du mécanicien Paris (d'Altona) ⁽¹⁾ : pour les fuites sur les branchements des maisons, le type du docteur Disselhof (d'Iserlohn) ⁽²⁾ serait encore préférable. Citons encore pour ces branchements le petit indicateur de fuites de M. Cesten : un petit piston interposé sur le tuyau se déplace plus ou moins suivant le débit et agit sur une boule de caoutchouc, dont l'air plus ou moins comprimé fait monter ou non un liquide coloré dans un tube ; quand on ne prend d'eau nulle part dans la maison, ce liquide ne doit pas apparaître et si on le voit, c'est qu'il y a une fuite.

Compteurs. — Le seul mode rationnel et équitable de livraison de l'eau est l'emploi des compteurs. Les types de compteurs sont aujourd'hui très nombreux, et bien que la plupart soit assez nouveaux, nous ne pouvons songer à les décrire ici ; nous ne ferons que citer les plus connus, en les classant suivant le principe qui leur sert de base. (La lettre P à la suite d'un système indique qu'il est admis par la Ville de Paris.)

(1) Voir *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung* de 1886, page 685.

(2) Voir *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung* de 1885, page 85.

I. COMPTEURS DE VOLUME :

a). Compteurs à piston :

Un piston à double effet : systèmes Kennedy ou Kern (P), Frost-Tavenet (P), Bonna (de Glasgow), Kent, Derichs, Mathieu ;

Deux pistons : Systèmes Frager (P), Schmid (de Zurich), Samain (P), Worthington (Etats-Unis), Schreiber (P), Greleau, Sporton et White, Schönheyder ;

Trois pistons : système Deplechin et Mathelin, moteur Brotherhood ;

Quatre pistons : ancien compteur Samain, système Badois ;

b). Compteurs à membrane : systèmes Maldant, Dieghens (de Bruxelles) ; Oury (de Blois), Nicolas et Chamon ;

c). Compteurs rotatifs, à couronne : crown-meter ;

d). Compteurs à disques oscillants. — Systèmes Thomson (dit en France « L'Abeille »), Thomson-Hurtu (dit « Le Trident »), « Le Lambert » (P), « l'Etoile » (P), Nash (Etats-Unis).

II. COMPTEURS DE VITESSE.

a). Compteur à turbines ou à ailettes : Systèmes « turbine universelle » de Michel, Berhaut, Siemens (de Rotherham), Siemens et Halske (de Berlin), Tylor, Debiol, Faller, Léopolder (de Vienne), Dreyer et Rosenkranz (de Hannover), Meinecke (de Breslau), Pleskot (de Prague) ;

b). Compteurs à ruban hélicoïdal : systèmes Bonnefond, Eureka, Everett, Witt ;

c). Compteurs à turbine et à jet : système Rastagnat.

Tous ces compteurs sont plus ou moins exacts et subissent l'influence des variations de pression et de l'air qui se forme dans les conduites et branchements. En ce qui regarde l'exactitude, les compteurs à piston sont certainement les plus sûrs, et ce sont de beaucoup les plus répandus en France : à l'étranger, on apprécie davantage les compteurs à ailettes ou à disques, à cause de leur simplicité, et nous reconnaissons que jusqu'à 5 0/0 en plus ou en moins, l'exactitude rigoureuse n'a pas d'importance. Quant aux variations de pression, leur effet sur les compteurs a été étudié par M. Falkenroth (voir la *Technologie sanitaire* n° du 13 mai 1899) : dans les villes où les variations sont fortes, il est bon de munir les compteurs d'un clapet de retenue. Pour les effets de l'air qui se dégage, il convient d'après les expériences récentes de la Compagnie des eaux de Mannheim de combiner ce clapet ou soupape

avec un réservoir d'air placé au haut d'une colonne montante de la maison : on devra purger cette cloche d'air aussi souvent que possible (1). Il est clair que chaque ville un peu importante doit avoir un service de vérification des compteurs.

Prix de vente de l'eau. — Il varie en Europe, suivant les villes, de 0^f,05 à 0^f,50 le mètre cube, le prix de revient étant lui-même très variable suivant les conditions. Tout ce que peut réclamer l'hygiéniste à ce sujet, c'est que le prix soit aussi bas que possible, afin de ne pas inciter à des économies d'eau. Comme l'a dit M. Bechmann, « beaucoup d'eau à bon marché, voilà l'idéal », en ajoutant toutefois que l'eau de boisson doit être irréprochable.

§ 5. — Qualité de l'eau.

Recherche et contrôle de cette qualité; rapports avec la santé publique et la législation.

I. — ANALYSE CHIMIQUE ET SON INTERPRÉTATION.

Cette analyse se propose de faire connaître, soit en bloc, soit individuellement les éléments dissous dans l'eau. Les procédés de recherche ne sont pas tous nouveaux, et nous ne voulons nullement les décrire ici; mais nous voudrions insister sur l'utilité qu'il y aurait de les uniformiser, afin qu'il soit possible et facile d'interpréter une analyse quelconque, sans être obligé de s'informer des procédés mis en œuvre par son auteur. Or, l'uniformité de méthode est loin de régner aujourd'hui entre les laboratoires des différentes nations et même entre ceux d'un même pays : il en résulte une complication très grande et une grande difficulté de comparaison.

Ainsi, pour commencer par l'*hydrotimétrie*, qui donne le degré de *dureté*, c'est-à-dire la teneur globale en sels terreux (chaux et magnésie), chacun sait que le point de départ n'est pas le même en France, en Angleterre et en Allemagne (100° français = 70° anglais = 56° allemands). En France même, tous les laboratoires ne titrent pas la liqueur savonneuse de la même façon (les uns se servent du chlorure de calcium, les autres du chlorure de baryum); enfin, la quantité de

(1) Pour les détails à ce sujet, voir un article de la *Revue industrielle* du 20 février 1897, intitulé « Appareil pour éviter l'enregistrement exagéré des compteurs d'eau ». Cet article mentionne les recherches d'Ehlert, de Lux, de Hillenbrandt et de la Compagnie des eaux de Mannheim sur la question.

liqueur de savon nécessaire pour produire la mousse n'étant pas absolument proportionnelle à la teneur en sels terreux, il faudrait, comme on le fait à l'observatoire de Montsouris et dans quelques autres laboratoires, se servir de courbes établies avec des solutions titrées.

De même pour le *résidu sec* : les uns évaporent à 100°, d'autres vont jusqu'à 120°, d'autres encore à 180°. Or, il est bien clair que les résultats ne sont pas comparables avec des températures aussi différentes (quand on passe de 120° à 180°, non seulement on élimine de l'eau restante, mais on détruit une partie de la matière organique). Le chimiste doit donc, en tout cas, dire dans le bulletin à quelle température il a opéré.

Pour en finir avec les méthodes globales, nous citerons ici un procédé encore inédit qui a été imaginé et appliqué depuis un an par notre ami, M. Müller, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. Il consiste à évaluer le degré de minéralisation totale d'une eau par la mesure de sa conductibilité électrique. L'appareil se compose simplement d'un vase où l'on verse l'eau à analyser et dans lequel plongent deux plaques de platine, formant deux électrodes séparées par une distance invariable; le vase est mis dans une étuve ou armoire à température constante (cette condition est de rigueur, la conductibilité variant avec la température); puis on n'a plus qu'à faire la mesure de résistance opposée par le liquide au passage du courant entre les deux plaques, ce qui se fait par une méthode bien connue des physiciens, la *méthode au courant alternatif et au téléphone*. Ce procédé — qui exige toutefois un laboratoire bien monté — est très rapide et très sensible, et il permet de suivre très facilement une eau pour ainsi dire tous les jours : on est averti immédiatement quand un apport anormal de substances minérales se produit, et nous verrons que la contamination d'une eau par des urines, des matières fécales, etc., est généralement accompagnée d'une élévation considérable de sa teneur en sels tels que chlorures et sulfates.

Il est assez facile de se mettre d'accord sur les procédés de recherche et de dosage des corps de la chimie minérale; mais il est bien entendu qu'il faut se contenter d'indiquer ces corps tels qu'on les a dosés, c'est-à-dire à l'état d'éléments simples (chlore, acide sulfurique, chaux, magnésie, etc.), et ne chercher en aucune façon à reconstituer hypothétiquement des sels ou autres combinaisons que rien n'autorise. Citons seulement les principales méthodes : celle qui nous paraît le plus capable d'être universellement adoptée est marquée en caractères gras.

Dosage du chlore.

Principe : Toutes les méthodes reposent sur la réaction avec l'azotate d'argent, donnant un précipité de chlorure d'argent.

- 1° Pesage direct du chlorure d'argent formé ;
- 2° **Méthode de Mohr** (avec le chromate neutre de potassium comme réactif indicateur) ;
- 3° *Méthode de Volhard* (avec le sulfocyanure de potassium comme réactif pour calculer l'excès d'azotate d'argent).

Dosage de l'acide sulfurique.

Principe : Réaction des sulfates avec le chlorure de baryum, donnant un précipité de sulfate de baryte.

- 1° Pesage direct du sulfate de baryte formé ;
- 2° **Méthode de Wildenstein** (avec le chromate de potassium et d'ammonium pour calculer l'excès de chlorure de baryum).

Dosage de l'acide phosphorique.

1° **A l'état de phosphomolybdate d'ammoniaque.**

2° *Méthode de Lehmann* (avec addition de mixture magnésienne et pesage après calcination à l'état de pyrophosphate de magnésium).

Dosage de l'acide sulfhydrique.

Méthode colorimétrique, avec le nitroprussiate de sodium.

Dosage de l'acide carbonique.

a) Acide carbonique total

- 1° *Méthode de Tiemann-Gärtner* (en dosant par la potasse, après addition d'hydrate et de chlorure de calcium) ;
- 2° **Méthode de Pettenkofer** (en remplaçant la potasse, par la baryte, et dosant l'hydroxyde de baryum par l'acide oxalique) ;
- 3° *Méthode de Trillich* (avec l'acide chlorhydrique et la teinture de cochenille).

b) Acide carbonique libre et demi-combiné (1).

- 1° **Méthode de Pettenkofer** (par la baryte).
- 2° *Procédé Houzeau* (par la potasse et l'ébullition).

Dosage du calcium.

Par l'oxalate d'ammoniaque, soit en poids, soit en volume en dosant l'excès d'oxalate d'ammoniaque par le permanganate de potasse (**Méthode de Mohr**).

(1) C'est-à-dire à l'état de bicarbonate. Si du dosage (a) on retranche le dosage (b), on aura l'acide carbonique complètement combiné (c) : comme les bases terreuses ne sont dissoutes qu'à la faveur d'une seconde molécule d'acide carbonique, formant les bicarbonates et égale à (c), si de (b) on retranche (c), on aura l'acide carbonique libre.

Dosage du magnésium.

En formant du phosphate ammoniaco-magnésien et le pesant après calcination à l'état de pyrophosphate de magnésium.

Dosage du potassium et du sodium.

A l'état de chlorures alcalins, puis le potassium seul à l'état de chlorure double de potassium et de platine.

Dosage du fer.

Méthodes colorimétriques	}	1° Au bleu de Prusse ;
		2° Au sulfocyanure de potassium (<i>Méthode de Koenig</i>) ;
		3° Au Rhodanammmonium (<i>Méthode de Jolles</i>).

Dosage de la silice et de l'alumine.

(On précipite la silice par l'acide chlorhydrique, l'alumine et le fer dans le liquide restant par l'ammoniaque).

Le nombre des méthodes et les divergences dans le mode de traduction et dans l'interprétation des résultats vont en augmentant quand il s'agit des corps anormaux provenant principalement de la décomposition ou des produits de déchet de substances organisées et vivantes : ainsi la recherche des acides nitreux et nitrique, de l'ammoniaque, des matières organiques, enfin de l'oxygène dissous (qui est en quelque sorte la contre-partie des matières organiques), donne lieu aux méthodes ci-après, parmi lesquelles nous soulignons toujours celle qui nous paraît la plus autorisée.

Dosage de l'acide nitrique (1).

1° **Méthode de Schulze-Tiemann** (transformation des nitrates en bioxyde d'azote par le protochlorure de fer et lecture volumétrique du gaz dégagé) ;

2° *Méthode de Schlösing* (Comme la précédente, mais en oxydant le bioxyde d'azote obtenu à l'état d'acide nitrique et dosant ce dernier) ;

3° *Méthode de Ulsch* (transformation de l'acide nitrique en ammoniaque par l'hydrogène naissant et dosage de l'ammoniaque) ;

4° *Méthode de Marx-Trommsdorff* (décoloration d'une solution d'indigo titrée, après addition d'acide sulfurique concentré) ;

5° *Méthode de Girard*. (Méthode colorimétrique par l'acide sulfophénique).

6° *Méthode de Walter Crum et Lunge* (transformation en oxyde d'azote des nitrates dissous dans de l'acide sulfurique concentré en agitant avec du mercure) ;

7° *Méthode de Pelouze* (Oxydation du protochlorure de fer par les nitrates et titrage du sel ferreux restant) ;

(1) Rappelons que la présence de l'acide nitrique se reconnaît qualitativement soit par la brucine, soit pas la diphénylamine, soit par l'iodure de zinc additionné d'empois d'amidon (après réduction de l'acide nitrique par l'hydrogène naissant).

8° *Méthode de Granval et Lajoux* (Méthode colorimétrique après transformation de l'acide nitrique en picrate d'ammoniaque).

Dosage de l'acide nitreux (1).

1° **Méthode de Trommsdorff** (Solution d'iode de zinc amidonné avec comparaison colorimétrique);

2° *Méthode du Comité consultatif d'hygiène publique* (avec le réactif acéto-phénique et l'azotite de sodium);

3° *Méthode de Tiemann et Preusse, ou de Griess*. (Colorimétrie avec la métaphénylène diamine);

4° *Méthode de Feldhaus et Kubel* (en oxydant les nitrites par le permanganate.) (Rappelons que M. Albert Lévy de l'Observatoire de Montsouris dose d'un seul coup sous le nom d'azote nitrique, l'azote des nitrites et des nitrates).

Dosage de l'ammoniaque.

La recherche qualitative se fait au moyen du réactif de Nessler (iodure mercuropotassique) :

1° **Méthode de Frankland et Armstrong** (Colorimétrie au moyen du réactif de Nessler);

2° *Méthode de Fleck et Ritter* (On dose le mercure contenu dans le précipité obtenu avec le réactif de Nessler, et cela au moyen d'une solution titrée de sulfure alcalin);

3° *Méthode par distillation* (suivie de l'alcalimétrie);

4° **Méthode de Wanklyn et Chapman** (Cette méthode permet de doser, toujours à l'aide du réactif de Nessler, d'une part l'ammoniaque libre et les sels ammoniacaux, d'autre part sous le nom d'*ammoniaque albuminoïde* la quantité d'ammoniaque résultant de l'action du permanganate de potasse en milieu alcalin sur les matières organiques azotées : pour ce second dosage, c'est donc une méthode de recherche d'une partie des matières organiques).

Recherche des matières organiques.

Ici il ne s'agit pas d'un corps unique, mais d'un ensemble de substances fort complexes, et les méthodes admises ne peuvent avoir d'autre prétention que d'en donner une idée comparative.

- | | | |
|------------------------------|---|--|
| I. Méthodes

diverses. | } | <p>1° <i>Méthode par calcination du résidu sec</i> (2) (très infidèle : donne la matière organique dite <i>volatile</i>).</p> <p>2° <i>Méthode de Gunning</i> (coloration et précipité avec une solution de chlorure de fer).</p> <p>3° <i>Méthode de Frankland</i> (simplifiée par Dupré et Hake, Dittmar et Robinson), ou par combustion : on transforme toutes les matières organiques en azote et en acide carbonique qu'on dose séparément (Le rapport entre l'azote et le charbon permettrait d'apprécier la proportion des matières organiques d'origine animale et celles d'origine végétale).</p> |
|------------------------------|---|--|

(1) L'acide nitreux se reconnaît qualitativement soit encore par l'iode de zinc avec empois d'amidon, soit par le sulfate de métaphénylènediamine, soit par la résorcine.

(2) Zuno a proposé d'appliquer cette méthode aux trois parties obtenues en séparant les matières organiques insolubles dans l'eau, celles solubles dans l'eau seulement, et celles solubles dans l'alcool : la solution alcoolique contiendrait presque la totalité des matières nuisibles.

- II. Recherche de l'oxygène emprunté au permanganate de potasse.
- 4° **Méthode de Kubel et Tiemann.** Détermine la quantité d'oxygène empruntée au permanganate de potasse en milieu acide, qui est employée à oxyder les matières organiques attaquables dans ces conditions (L'urée n'est pas attaquée).
- 5° *Méthode de Schulze-Trommsdorff.* Diffère de la précédente en ce que le milieu est alcalin (On n'a pas alors les mêmes résultats, et ce ne sont pas les mêmes matières organiques qui s'oxydent : il est donc utile de faire les deux opérations).
- 6° *Méthode d'Harcourt-Tidy.* Milieu alcalin (Dose le permanganate en excès par l'iodure de potassium).
- 7° *Méthode A. Lévy.* Milieu alcalin (Dose le permanganate en excès au moyen du sulfate ferreux ammoniacal).
- III. Recherches spéciales.
- 8° **Recherche de l'ammoniaque albuminoïde :** *méthode de Wanklyn et Chapman* (voir ci-dessus).
- 9° Recherche de l'azote albuminoïde : *méthode de Frankland.*
- 10° Recherche de l'azote organique : *méthode de Kjeldahl.*

Citons, en terminant, l'importance de la recherche spéciale de l'urée et des *acides biliaires* pour indiquer la contamination par l'urine ou les matières fécales.

Dosage de l'oxygène dissous.

1° *Méthode Max Müller et Chalamay* (Au moyen du sulfate de manganèse, de l'acide chlorhydrique et de l'iodure de potassium, puis titrage de l'iode par l'hypo-sulfite de soude).

2° *Procédé de Romija* (basé sur le même principe).

3° Dosage volumétrique (de Reichardt).

4° **Procédé de Mohr, modifié par A. Lévy** (par le sulfate ferreux ammoniacal et le permanganate de potasse).

5° *Procédé de Winkler.*

6° *Méthode de A. Florence.*

7° *Procédé de Schützenberger et Gérardin* (colorimétrie par le sulfindigotate de soude et l'hydrosulfite de soude. — Titrage oxymétrique de Gérardin).

L'analyse chimique terminée, il faut en interpréter les résultats. Or ce qu'il importe de connaître, ce n'est pas tant la teneur de l'eau en éléments divers que la provenance de ces éléments et par suite les altérations qu'a pu subir le liquide dans les différentes étapes de son parcours. Ainsi une forte proportion de chlorures, de sulfates ou de phosphates n'aura aucune mauvaise signification, si elle s'explique par la composition géologique des couches traversées, tandis qu'il en sera tout autrement s'il est démontré que ces corps ne venant pas du sol ne peuvent résulter que d'une contamination plus ou moins directe : de même, une forte proportion de matières organiques d'origine végétale

aurait un sens beaucoup moins redoutable qu'une quantité même moindre de matières d'origine animale. Bref, pour apprécier une eau, il faut comparer sa constitution à celle de l'eau normale correspondante, et nous entendons par cette expression l'eau telle que la fournirait soit la nappe souterraine, soit la rivière empruntée, si elles étaient laissées à leur état naturel, c'est-à-dire si elles n'étaient troublées par aucune cause artificielle de pollution ou par aucun apport étranger.

La première chose à faire serait donc, pour avoir un terme de comparaison, de rechercher la composition type de cette eau normale pour chaque nappe ou chaque cours d'eau d'un pays. Or, ce n'est pas là une besogne simple. Tout d'abord, on se tromperait fort en regardant comme *constante* la composition de l'eau, même normale, d'une nappe ou d'une rivière en un même point; cette composition subit des variations incessantes, suivant la durée du contact de l'eau avec les terrains, le niveau de ce contact, l'abondance des pluies, etc. (Ainsi on constate facilement que la teneur en chaux des eaux sortant des calcaires est amoindrie à la suite des grandes pluies, dont l'eau traverse rapidement les fissures; de même les eaux de crue des rivières qui sont très chargées de matières en suspension ainsi que de substances azotées solubles, le sont souvent moins en sels terreux que les eaux d'étiage provenant surtout des sources). A plus forte raison, ne peut-on pas toujours conclure d'un point à un autre, même rapproché du premier : nous savons que l'infinie variété de constitution des assises géologiques ne permet guère la généralisation, même entre terrains du même âge. Cependant, on trouve le plus souvent que dans une même région les sources d'une même provenance géologique ont une composition sinon identique, du moins très semblable, et que si cette composition varie avec le temps, les pluies, les saisons, ces variations ne sont pas très considérables et ne constituent guère que des oscillations autour d'un état moyen (oscillations d'autant plus faibles que les eaux sont plus profondes et reviennent plus lentement au jour). C'est en somme cet état moyen que nous regardons comme l'eau normale de la nappe considérée, en sorte qu'avec le professeur Sendtner, nous pensons qu'en se basant sur de nombreux exemples judicieusement choisis, on peut déterminer, au moins approximativement, la composition type de l'eau de chacune des nappes d'une région, étant bien entendu que cette détermination n'a qu'une valeur locale (ou mieux régionale).

Cette composition type est tout naturellement fonction de la constitution géologique des couches traversées et de la solubilité de leurs

Tableau de la composition moyenne de l'eau des nappes de la Lorraine.

NAPPES DE LA LORRAINE	DEGRÉ HYDROTIMÉTRIQUE		RÉSIDU FIXE	CHAUX (CaO)	MAGNÈSE (MgO)	ACIDE SULFURIQUE (SO ²)	CHLORÈ COMBINÉ (Cl)	ALCALIS (en chlorures)	SILICE (SiO ²)
	TOTAL	PER- MANENT							
Sources du grès Vosgien	3°, 1	0°, 7	30	13	4	2	3	5	3
— du grès bigarré.	14, 3	5, 5	150	62	13	11	5	12	1
Nappe médioconchylienne	28, 5	7 »	315	137	23	28	6	12	18
Nappes supraconchyliennes (calcaires dolomitiques)	38, 8	16, 4	410	155	60	10	6	48	11
Nappes de la base du Keuper	34, 5	6, 5	470	186	12	56	14	18	»
Nappes du gypse (Keuper moyen).	62, 9	49 »	750	251	68	165	21	35	»
Nappe dolomitique (base du Keuper supérieur).	40, 2	21, 9	490	160	65	39	11	40	»
Nappe du grès infraliasique (rhétien).	34, 9	11, 1	420	155	32	25	8	»	»
Nappe du calcaire du lias	31 »	9 »	400	142	20	21	8	54	»
Nappe du calcaire ocreux	41, 6	5, 7	480	227	9	28	14	23	»
Nappes du grès médioliasique et des schistes à posidonies	37, 5	17 »	470	190	12	76	14	27	»
Nappe bajocienne.	25 »	6, 5	280	127	7	9	7	27	»
1 ^{re} nappe de la base du bathonien.	25, 3	5, 8	274	137	6	12	5	33	»
2 ^{me} nappe — id. —	28, 6	5 »	340	140	10	15	10	8	»
Nappes médiobathoniennes.	23 »	11 »	300	130	9	30	10	10	»
Nappe du calcaire callovien.	30, 1	2, 6	370	173	4	10	9	15	»
Nappe infracorallienne	28 »	8 »	320	135	17	16	6	36	»
Nappes du sommet du corallien et de la base de l'astartien	26, 5	12 »	230	96	24	20	3	39	»
Nappe des alluvions des vallées	10, 5	5, 7	140	46	10	12	7	22	4

Metzger celles de la région nommée « Bayrischer Wald, » etc. Voici quelques résultats moyens établis par ces auteurs :

PROVENANCE DE L'EAU	DEGRÉ HYDROMÉTRIQUE	RÉSIDU FIXE	CaO	MgO	Cl	SO ³	SiO ²
		mmgr	mmgr	mmgr	mmgr	mmgr	mmgr
Sources du gneiss.	dans le	22,8	4,7	4,0	2,0	2,2	3,8
—id.— des schistes micacés.	Bayrischer	39,0	4,7	2,0	2,9	6,2	11,4
—id.— de grès bigarré	Wald	260,3	79,6	33,9	9,6	6,7	»
—id.— du granit.	»	24,4	9,7	2,5	3,3	3,9	»
—id.— du grès bigarré	des	21,9	125 à 225	73,0	48,0	4,2	8,8
—id.— du Muschelkalk (nappe médiocoenchylienne)	environs	30,3	325,0	129,0	29,0	3,7	13,7
Sources du sommet du Muschel- kalk (calcaires dolomitiques)	d'Iéna	41,2	418,0	140,0	65,0	traces	de 0 à 34

Dans notre étude de 1897 sur les eaux de Meurthe-et-Moselle, nous avons aussi établi, grâce aux 250 analyses que nous avons rassemblées, la composition moyenne normale des différentes nappes de la Lorraine; elle est rappelée dans le tableau p. 276 qu'il est intéressant de comparer aux précédents.

Quant aux eaux des rivières, il est généralement plus facile de se faire une idée de leur composition normale aux différents points de leurs parcours, pourvu que l'on choisisse les points où les nombreuses causes de contamination qui atteignent les cours d'eau n'ont pas encore fait sentir leur effet, ou bien ceux que l'épuration spontanée a ramenés à l'état primitif. Ce sont encore les terrains géologiques traversés qui déterminent cette composition, et c'est toujours Belgrand qui le premier s'est préoccupé de cette relation: ainsi il montre que l'Yonne et la Cure à leur sortie des terrains granitiques du Morvan n'ont que 1 à 2° hydrotimétriques, alors que plus loin, à Auxerre (après avoir traversé les terrains jurassiques), l'Yonne a de 12 à 15°; l'Oise à sa sortie des terrains paléozoïques des Ardennes a 4°, mais à Pontoise elle en a 22°; la Marne, l'Aube et la Seine, qui naissent dans les terrains jurassiques, sont au contraire chargées en sels terreux dès leur origine (17° à Vitry pour la Marne, 21° à Arcis-sur-Aube et 21° 1/2 à Châtillon-sur-Seine); la Seine va même en diminuant jusqu'à Paris où elle ne marque plus guère que 17° pour remonter à 19° à l'entrée de Rouen.

Nous trouvons de même en Lorraine que la Moselle, qui a 28 milli-

grammes de carbonate de chaux par litre à sa sortie des Vosges, en a 41 à Messein et 122 à Toul ; de même la Meurthe a 25 milligrammes à Baccarat, 41 à Lunéville et 112 à Blainville (au delà, la traversée du groupe salicole de Dombasle lui apporte de 2 à 3 grammes par litre de sels divers, parmi lesquels les chlorures de sodium et de calcium dominent tout naturellement). De même encore Sendtner nous montre par le petit tableau ci-dessous ce qui se passe pour le Danube et ses affluents en Bavière :

NOMS DES FLEUVES	TERRAINS TRAVERSÉS	RÉSIDU FIXE	CaO	MgO	Cl	SO ²	SiO ²
		mmgr	mmgr	mmgr	mmgr	mmgr	mmgr
Danube (amont de Regens- burg)	Jurassique et tertiaire	258,0	84,0	25,6	5,4	12,6	8,0
Regen	Gneiss et granit (Le Danube suit jusqu'à Passan la limite du gnéiss et du tertiaire).	54,0	7,5	2,7	4,6	4,4	10,2
Danube (après le confluent) Isar (à Deggendorf)	Jurassique et tertiaire	100,0	24,8	6,6	5,4	5,7	10,6
Danube (amont de Vilshofen) Vils (à Vilshofen)	(comme ci-dessus) Tertiaire	206,0	65,5	25,4	2,5	13,7	8,6
Danube (amont de Passan) Inn (avant son confluent avec le Danube)	(comme ci-dessus) Jurassique et tertiaire	253,6	71,7	29,7	4,2	11,4	5,4
Ilz (avant son confluent avec le Danube)	(comme ci-dessus)	223,0	65,6	28,4	4,3	5,9	8,0
Danube (aval de Passan)	Gneiss et granit (comme ci-dessus)	112,2	45,0	14,0	3,8	9,0	19,0
	Jurassique et tertiaire	157,7	46,2	13,3	4,5	14,2	7,6
	Gneiss et granit	43,5	4,6	1,6	3,2	2,0	10,1
	(comme ci-dessus)	144,0	45,0	13,3	5,8	7,5	6,0

Cet exemple est intéressant, en raison de la différence d'origine des affluents de la rive gauche (Regen et Ilz) et de ceux de la rive droite (Isar, Vils et Inn) ; de plus, il montre bien que l'on ne peut regarder comme générale la prétendue règle, autrefois énoncée, d'après laquelle la teneur des fleuves en sels solubles irait en croissant avec l'éloignement de la source.

Ceci posé, et abstraction faite de légères oscillations autour de l'état moyen, l'eau réelle d'une nappe ou d'une rivière, prélevée à un moment donné, peut ou bien avoir une composition très semblable à celle de l'eau normale de même provenance (auquel cas l'analyse chimique ne révèle aucune contamination), ou bien en différer notablement. Ces différences, qui doivent appeler l'attention de l'hygiéniste, portent soit sur une augmentation anormale des corps normalement contenus dans l'eau (sels terreux, chlorures, sulfates, etc.), soit sur la présence de corps anormaux surajoutés (matières organiques, nitrates, nitrites,

ammoniaque). Voici comment on peut généralement interpréter ces différences :

1° *Accroissement anormal des éléments normaux.*

Résidu fixe. — On admet généralement qu'il ne doit pas dépasser 500 milligrammes ; toutefois certains terrains géologiques peuvent donner un chiffre plus élevé, et ce qu'il importe de reconnaître, c'est si la minéralisation est primitive ou acquise accidentellement. Toutefois on peut dire qu'en dehors des eaux minérales, un résidu dépassant 500 milligrammes est presque toujours caractéristique de mauvais puits et d'une forte contamination. La perte du résidu par calcination, qui représente (mais d'une manière très infidèle) les matières organiques, ne doit pas dépasser 50 à 70 milligrammes.

Degré hydrotimétrique. — Mêmes considérations que pour le résidu fixe ; il s'agit de savoir si la dureté est naturelle ou provient d'apports d'eaux ménagères, industrielles, etc. Il est donc difficile de fixer une limite supérieure : celle de 30° pour la dureté totale et 12° pour la dureté permanente qui avait été fixée autrefois en France n'a en fait jamais été respectée, et certaines localités boivent depuis des siècles des eaux plus dures sans aucun inconvénient. Nous reconnaissons toutefois qu'au delà de 36° (20° allemands), l'usage de l'eau devient difficile pour les besoins domestiques et l'alimentation des chaudières ; dans les puits des vallées et des villes, un degré hydrotimétrique supérieur à 50 ou 60° indique presque toujours une contamination profonde.

Gaz dissous. Oxygène. — L'eau doit être aérée, et pour cela contenir 25 à 40 cm³ de gaz dont 6 à 7 cm³ d'oxygène, 14 à 15 d'azote et 15 à 18 d'acide carbonique. Ce qu'il importerait surtout de constater, c'est la diminution d'oxygène, diminution qui est un signe de la présence de matières organiques en voie de putréfaction.

Chaux et magnésie. — Impossible de fixer une limite. La chaux n'est guère nuisible par elle-même, et il est même probable qu'une dose modérée de bicarbonate calcaire a une action physiologique utile, soit en aidant la digestion, soit en fournissant un élément au développement du tissu osseux ; il n'est pas démontré toutefois qu'un excès — tel que l'abus des eaux minérales — ne favoriserait pas à la longue l'irritation rénale, la gravelle, les calculs, les dépôts tophacés, etc. La magnésie,

elle, serait sûrement nuisible à dose un peu élevée (eau purgative). Généralement quand la teneur en chaux et magnésie dépasse 150 à 200 milligrammes, c'est à l'état de sulfate que se trouve l'excès, et si ce sulfate ne provient pas de couches de gypse, il est un mauvais indice, comme il va être dit pour l'acide sulfurique. Une trop forte teneur en sels terreux rend l'eau calcaire ou séléniteuse et nécessite une correction dont nous avons parlé précédemment.

Fer et sulfures. — Quelques milligrammes de fer n'ont aucune importance: une forte proportion a les inconvénients que nous avons signalés à propos de l'opération qui a pour but de l'enlever. Le sulfure de fer qui forme un dépôt noirâtre dans les eaux de mauvais puits a une mauvaise signification; il provient, comme l'acide sulfhydrique, de la réduction des sulfates par les matières organiques (le gypse donne dans ces conditions du sulfure de calcium, ainsi que Lepsius l'a constaté dans des puits de la grande plaine de l'Allemagne du Nord). L'acide sulfhydrique et les sulfures favorisent le développement des beggiatoacées.

Silice et alumine. — L'alumine en proportion notable indiquerait une forte dose de matières organiques et communique à l'eau un goût terreux.

Acide sulfurique et sulfates. — L'acide sulfurique, toujours inutile et souvent très gênant, indique une contamination par des matières d'origine animale (les excréments animaux contiennent beaucoup de H^2SO^4), quand la constitution des couches géologiques traversées ne permet pas de lui assigner une origine naturelle. Beaucoup de terrains contiennent du gypse et de l'anhydrite, des sulfates doubles de chaux et de soude (glaubérite et polyhalite), enfin des pyrites qui s'oxydent et se transforment en sulfates, le tout sous des pressions et à des températures fort variables qui facilitent plus ou moins la dissolution de ces sels. Aussi rien de plus variable que la teneur des eaux en sulfates: 2 à 300 milligrammes d'acide sulfurique dans une source du gypse n'indiqueraient donc nullement une eau impure, tandis qu'une proportion bien moindre dans un puits des alluvions serait un signe certain de contamination. La limite de 80 à 100 milligrammes d'acide indiquée par Kubel et Tiemann, pas plus que la limite de 150 à 250 milligrammes de sulfate de chaux fixée par le Comité consultatif d'hygiène publique, n'a donc guère de sens.

Chlore et chlorures. — Quand il vient du sol naturel (ce qui est plus rare que pour l'acide sulfurique), le NaCl n'a évidemment rien de nuisible, puisque nous en mêlons une forte proportion à nos aliments. Mais la plupart du temps, une forte proportion de chlorures indique une souillure par des infiltrations d'urine ou d'eaux ménagères (on sait que l'urine humaine ne contient pas moins de 11 0/00 de chlorure de sodium).

Le chlore aurait donc bien souvent la même origine que l'ammoniaque, avec cette différence que ce dernier corps est facilement décomposé par le sol et absorbé par les plantes (ce qui le rend difficile à déceler, surtout à une certaine distance), tandis que les chlorures restent stables et passent dans les eaux. Quoiqu'il en soit, l'association d'une forte quantité de chlorures avec l'ammoniaque et les nitrites doit faire tenir une eau pour mauvaise; d'après Ritter, la présence de CaCl^2 est également toujours un mauvais signe (infiltrations d'égouts, de cabinets désinfectés au chlorure de chaux, etc.). C'est dans cet ordre d'idées que le Congrès de Bruxelles (1883) a fixé pour le chlore une limite de 10 milligrammes par litre; Ritter regarde comme suspecte toute eau qui a plus de 50 milligrammes de NaCl, et Kubel et Tiemann parlent de 33 à 50 milligrammes également. Il reste entendu que ces chiffres ne s'appliquent pas quand le sel a une origine géologique.

Alcalis. — Les mêmes considérations doivent encore être répétées pour les bases alcalines; certaines nappes en contiennent naturellement d'assez fortes proportions, mais sauf le cas de cette provenance, une dose de plus de 15 à 20 milligrammes (en chlorures) devient suspecte. La présence du sulfate de potasse est notamment un mauvais indice.

2° *Éléments anormaux.*

Ce n'est pas le plus souvent par eux-mêmes que les éléments anormaux sont nuisibles, mais bien plutôt par l'origine qu'ils révèlent. La plupart existent à l'état de traces, mêmes dans les meilleures eaux, et ce n'est que lorsque leur proportion devient un peu notable que leur présence a une signification suspecte.

Acide phosphorique et phosphates. — Le congrès de 1885 a admis que les phosphates, qui jusque là étaient toujours considérés comme un signe de contamination, pouvaient provenir des terrains naturels (minerais phosphatés, coprolithes, apatites, phosphate de chaux des terrains crétacés et acide phosphorique libre de la tourbe et de l'humus);

d'après lui, une limite de 1/2 milligramme pourrait être tolérée. Mais il reste certain que des doses un peu massives d'acide phosphorique ne peuvent provenir que des substances animales, notamment des excréments et de l'urine (qui contient 2 à 3 0/00 d'acide phosphorique), ou de certaines eaux résiduaires industrielles (brasseries par exemple).

Acide nitrique et nitrates. — L'acide azotique, comme l'ammoniaque d'ailleurs, peut provenir de l'atmosphère ou de certaines roches (marnes bitumineuses, limonite, etc.), mais il est bien plus souvent le terme ultime de la décomposition des matières organiques dans le sol. Une partie de l'ammoniaque provenant de cette décomposition est absorbée par la végétation ; mais une autre partie s'oxyde sous l'influence de l'air contenu dans les pores du sol et de certains microbes, et se transforme d'abord en nitrites, puis en nitrates : ces derniers, étant très stables, passent en nature dans les eaux ; mais on conçoit qu'on doive y rencontrer souvent en même temps les corps azotés moins avancés en oxydation. Pour cette raison, une eau renfermant ce mélange, lequel prouve l'activité de la transformation des matières organiques, serait plus dangereuse que celle ne contenant plus que des nitrates, celle-ci ayant cessé peut-être depuis longtemps d'être le siège d'un processus actif.

Les auteurs varient beaucoup sur la fixation d'une limite admissible pour l'acide nitrique : le congrès de Bruxelles avait parlé de 2 milligrammes ; Tiemann et Gärtner donnent 5 à 15 milligrammes : on voit qu'il y a loin d'un chiffre à l'autre, et certains auteurs vont encore bien au delà du chiffre le plus élevé.

Acide nitreux et nitrites. — Nous connaissons déjà leur signification : en raison de son instabilité, il est assez rare de déceler l'acide nitreux et si on y réussit, cela prouve une contamination très proche ou un sol contaminé en grand. C'est donc un très mauvais signe. (Notons que le tubage en fer des puits artésiens réduit les nitrates en nitrites, sans qu'il y ait naturellement rien à en conclure).

Ammoniaque et ammoniaque albuminoïde. — Dans certains terrains tourbeux et marécageux, riches en matières organiques d'origine végétale, et dans certaines nappes très profondes (puits artésiens), l'eau contient de l'ammoniaque et même des nitrites, qui ne sont pas dès lors l'indice d'une pollution animale ; les sols compacts ne permettent pas d'ailleurs une facile oxydation de l'Az H³. On doit remarquer avec le Professeur Sendtner qu'en pareil cas le résidu fixe et le chlore restent

peu élevés, tandis que lorsque l'Az H³ et les nitrites proviennent de matières fécales ou de substances animales en putréfaction, le résidu est très fort et les chlorures abondants. Mansfeld fait de même observer que la présence de beaucoup d'ammoniaque albuminoïde jointe à une faible quantité d'ammoniaque libre et à l'absence de chlorures est caractéristique des substances organiques végétales, telles qu'on en trouve souvent dans les eaux du gneiss et du granit ; au contraire, une proportion de plus de 8 milligrammes d'ammoniaque libre jointe à beaucoup de chlorures ne laisse aucun doute sur l'apport d'infiltrations urineuses.

Ainsi, le plus souvent l'Az H³ indique une eau souillée, soit récemment par des matières fécales, des eaux d'égout, du purin, etc., soit plus longuement par des matières organiques en décomposition. Le Congrès de Bruxelles n'admettait pas plus de 1/2 milligramme d'Az H³ : on peut être un peu plus tolérant et admettre la limite de 1 milligramme pour l'Az H³ libre, et celle de 0^{me}r,2 (1) pour l'Az H³ albuminoïde. Comme on l'a vu, c'est surtout l'association de ces corps avec d'autres déjà cités qui donne de la force aux preuves de contamination.

Urée. — Ce corps qui ne se modifie qu'assez lentement dans le sol indique bien entendu une souillure assez proche d'origine animale et urinaire, et l'eau doit être rejetée (l'urine contient 23 0/00 d'urée).

Matières organiques. — Nous avons déjà indiqué comment ces matières se transformaient dans le sol et dans l'eau, comment on retrouvait les produits de cette décomposition, ainsi que la manière dont on pouvait distinguer la provenance des substances soit végétales, soit animales. Il ne nous reste plus qu'à parler de la limite dans laquelle on peut tolérer les matières organiques. Pettenkoffer a dit qu'on ne devait pas dépasser 50 milligrammes de matières organiques correspondant (2) à 10 milligrammes de permanganate et à 2^{me}r,5 d'oxygène ; Kubel et Tiemann ainsi que Lehmann admettent la même limite de 8 à 10 milligrammes de permanganate ; enfin le Comité consultatif d'hygiène publique déclare également à rejeter toute eau qui consomme plus de 2 à 3 milligrammes d'oxygène par litre. L'accord est donc à peu près complet ; cependant, il ne faut pas oublier que tout dépend de l'origine de

(1) Wanklyn et Chapmann sont encore plus exigeants : ils classent les eaux en eaux très pures ayant moins de 0^{me}r,03 d'ammoniaque albuminoïde, en eaux potables de 0^{me}r,05 à 0^{me}r,10, et en eaux impures au-dessus de 0^{me}r,10.

(2) Cette correspondance est absolument hypothétique.

ces substances organiques et de leur nature. A ce sujet disons que MM. Pouchet et Bonjean ont montré ⁽¹⁾ que les produits d'origine végétale absorbent toujours bien plus d'oxygène en solution acide qu'en solution alcaline, tandis que c'est le contraire pour l'urine, les matières fécales, etc. : aussi quand l'oxygène consommé est supérieur à 1 milligramme et est plus élevé en solution alcaline qu'en solution acide, on doit considérer les matières organiques comme suspectes et provenant de substances animales.

Mais ici une question se pose au sujet du rôle hygiénique exact des matières organiques : sont-elles dangereuses simplement parce que leur présence, indiquant celle d'un grand nombre de germes de toute espèce, fait augmenter les chances de rencontrer des germes pathogènes ? Ou bien, sont-elles nuisibles à la santé, même lorsqu'il n'y a pas de microbes spécifiques des diverses maladies, mais seulement ceux des souillures banales ? Cette question équivaut à peu près à savoir si on peut ingurgiter impunément et pendant longtemps une eau chargée de bactéries saprophytes ou seulement suspectes et de matières en putréfaction, pourvu que le bacille d'Eberth, le spirille du choléra et autres microbes spécifiques en soient absents. La réponse est délicate ; mais avec beaucoup d'auteurs nous pensons que les eaux souillées banalement — même indépendamment des diarrhées qu'elles peuvent provoquer — sont nuisibles et doivent être écartées de l'alimentation, pour la raison que cette putridité constante prédispose l'organisme humain aux infections, qu'en d'autres termes elle *prépare le terrain* pour l'éclosion des germes pathogènes. Des eaux de ce genre, quand bien même elles n'apporteraient pas elles-mêmes les germes infectieux, contribuent à faire du groupe humain qui les consomme un foyer d'endémie, et c'est pourquoi il convient en tout état de cause de les rejeter. De plus, peut-on en l'état actuel de la science affirmer toujours d'une manière formelle que, parmi un grand nombre d'espèces bactériennes banales, il n'y en a sûrement pas de spécifiques des diverses maladies infectieuses ?

II. — ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE ET SON INTERPRÉTATION ⁽²⁾.

Nous devrions plutôt dire *analyse micrographique*, ce terme plus

(1) *Annales d'Hygiène*, Juillet, 1897.

(2) Pour ce paragraphe, nous ne pouvons mieux faire que de recourir très largement à la 4^e édition (1901) du *Traité pratique de Bactériologie* (Baillièrè), de notre maître et ami M. le professeur Macé. C'est d'ailleurs à lui que nous devons nos connaissances — très modestes — en bactériologie, et c'est toujours à sa science inépuisable que nous faisons appel pour tout point obscur ou embarrassant en cette matière.

général comprenant, outre celle des bactéries, la recherche de certains autres corps microscopiques vivants ou morts, qui ont parfois une signification intéressante. Pour en finir au plus tôt avec ces corps généralement faciles à reconnaître au microscope, citons :

Les fibres de laine, coton, soie, lin ou chanvre, et les poils, qui en cas de fréquence indiqueraient une contamination par des eaux de lavoirs, ou des eaux de certaines industries (fabriques de draps, mégisseries, etc., etc.).

Les fibres végétales, les grains d'amidon, les fibres musculaires, qui proviennent le plus souvent d'eaux ménagères (résidus de cuisines) ou de matières fécales. Les fibres musculaires notamment peuvent traverser l'intestin sans cesser d'être reconnaissables à leur striation caractéristique.

Les débris de plantes ou d'insectes, tels que grains de pollen, parties de feuilles ou de semences, ailes, antennes ou pattes, etc., etc., indiqueraient un manque de protection ou de couverture superficielle sur quelque point du trajet de l'eau ;

Les œufs des vers parasites (tœnias des diverses sortes, botriocéphale, tricocéphale, ascaris, oxyure, anguillules, ankylostome, douve du foie, etc., etc.), provenant généralement de l'intestin de l'homme ou des animaux indiquent une contamination d'origine fécale, et de plus sont par eux-mêmes les causes de diverses maladies engendrées par le parasite adulte auquel ils donnent naissance.

Certaines *mucédinées* et certains *champignons-ferments*, par exemple : le saccharomyces cerevisiae pourrait provenir d'eaux résiduaires de brasseries.

Enfin, les animalcules ou plantes microscopiques qui vivent dans les eaux, et en constituent *la faune et la flore* pour ainsi dire normales, ce que l'on appelle d'un seul mot le *plankton*. Chaque nature d'eau, chaque rivière, lac, étang, a son plankton spécial, correspondant à la région, à la composition du liquide, etc., etc. Il est d'ailleurs variable avec les conditions climatiques, les saisons, la température. Or, certaines espèces ne se plaisant que dans des eaux très souillées et certaines autres (ce sont principalement les algues vertes à chlorophylle) que dans des eaux pures, il devient possible par l'étude du plankton de reconnaître à quelle catégorie d'eau on a affaire. Le professeur Mez dans son ouvrage *Mikroskopische Wasseranalyse* (1898) a voulu ériger la chose à la hauteur d'une méthode nouvelle dite (en y comprenant toutefois les bactéries) méthode biologique : suivant lui, le plus

haut degré d'infection d'une eau serait caractérisé par la pullulation de *Sphaerotilus natans*, de *Beggiatoa alba*, de *Leptomitus lacteus*, de *Carchesium Lachmanni* et des *Oscillariacées*, ainsi que par l'absence des algues vertes (dans ce cas, l'eau est reconnue infectée le plus souvent à simple vue ou à l'odorat) : une contamination moindre est indiquée par la présence de champignons inférieurs blancs et de quelques algues vertes. Il y a, sans doute, une relation entre la composition et la souillure des eaux d'une part et la pullulation successive ou simultanée de certaines espèces animales ou végétales, mais il nous semble que la question est loin d'être éclaircie et qu'elle exige de nouvelles recherches.

Nous avons déjà parlé précédemment des espèces d'algues qui donnent à l'eau une mauvaise odeur, ainsi que des bactéries filamenteuses qui demandent la présence dans l'eau de certains corps spéciaux : le soufre pour les beggiatoacées, le fer pour les crenothrix et cladothrix. Ces dernières espèces forment la transition avec les bactéries proprement dites.

La recherche des bactéries a une double importance : d'une part leur nombre ainsi que la variété des espèces (même saprophytes) rencontrées permet d'apprécier — au moins dans une certaine mesure — le degré de souillure de l'eau, ainsi que l'origine de cette souillure ; d'autre part la reconnaissance de certaines espèces pathogènes décèle dans l'eau de boisson la cause directe de maladies et d'épidémies. L'analyse bactériologique doit donc être à la fois *qualitative* et *quantitative* ; cela conduit à écarter immédiatement tout procédé qui ne permettrait pas l'isolement des espèces et par suite leur diagnose.

Les procédés admis actuellement par la science se groupent en deux catégories : en premier lieu ceux qui ont pour but général la numération, l'isolement et la reconnaissance des germes contenus dans l'eau, en second lieu les procédés spéciaux par lesquels on cherche à mettre en évidence la présence de telle ou telle bactérie pathogène. Comme pour l'analyse chimique, l'unification des méthodes n'est pas faite, et il est difficile d'apprécier les résultats d'une analyse et de les comparer avec d'autres, si l'on ne connaît pas la manière de faire détaillée de l'opérateur : on n'ignore pas, en effet, que de légères différences dans la composition du milieu nutritif, dans la température, la durée, etc., suffisent à faire varier fortement le nombre des colonies, à empêcher ou à faciliter la croissance de certaines espèces, bref à changer complètement les conditions ou les données de l'opération. Il serait donc bien

à désirer qu'une entente entre les savants de tous les pays assure l'uniformité de méthode et de traduction des résultats. Le Congrès d'Hygiène de Paris (1900) a émis un vœu dans ce sens et nommé une commission permanente internationale pour élaborer un projet.

1° Procédés généraux.

Aucun procédé ne peut garantir qu'il met en évidence *tous* les germes de l'eau. Celui qui assure la numération la plus voisine de la réalité et l'isolement le plus parfait des germes est encore le *procédé de Miquel*, ou de *fractionnement dans le bouillon* : on sait qu'il consiste à diluer suffisamment l'eau et à avoir un nombre de ballons de bouillon assez grand pour que l'ensemencement ait toutes chances de n'apporter qu'un seul et unique germe dans chacun des ballons qui vont proliférer (un tiers au moins des ballons employés doivent rester stériles pour qu'on puisse avoir une garantie suffisante sous ce rapport). Ce procédé donne des chiffres plus élevés (peut-être doubles même) que celui de Koch : malheureusement, il est compliqué, exige un matériel important, et enfin ne permet pas de juger immédiatement des caractères d'un bon nombre d'espèces, comme il est facile de le faire sur les milieux solides. Pour ces raisons, sans doute, il n'est pas passé dans la pratique habituelle. Il en est de même des procédés de MM. Chauveau et Arloing et de MM. Fol et Dunant qui ne sont en somme que des perfectionnements ingénieux, mais compliqués de celui de Miquel.

La méthode classique est la *méthode de Koch*, ou de culture sur plaques. Elle se trouve déjà décrite (ainsi que la composition de la gélatine nutritive) dans les règles édictés par le K. Gesundheitsamt pour les filtres à sable (voir page 151), et du reste elle est bien connue. Elle a l'inconvénient de ne pas laisser pousser du tout un bon nombre d'espèces (bien des spirilles, quelques bacilles tels que *lineola*, *tremulus*, etc., les ferments de l'urée), et de n'en laisser croître un certain nombre d'autres que douze ou quinze jours après l'ensemencement, c'est-à-dire à une époque où bien souvent la liquéfaction de la gélatine est complète. Elle a donc surtout une valeur comparative, et c'est à ce titre qu'il y aurait un très grand intérêt à l'uniformiser. Hesse et Niedner ont fait en 1898 une tentative dans ce sens ⁽¹⁾, et cette tentative a été

(1) Voir l'article *Die Methodik der bacteriologischen Wasseruntersuchung*, dans *Zeitschrift für Hygiene*, 1898.

renouvelée en septembre 1899 par le professeur Abba (*) qui a fait adopter un vœu en sa faveur par le Congrès italien d'hygiène à Côme. Voici les propositions d'Abba, votées par ce Congrès :

« 1° Le transport des échantillons d'eau depuis le lieu de prélèvement doit toujours se faire au milieu de la glace fondante dans une boîte spéciale, comme il en existe beaucoup de modèles, dont un très ingénieux et très pratique est décrit par l'auteur et se trouve à l'Exposition de Paris. Les cultures ne seront pas faites ailleurs que dans un laboratoire, à cause des nombreux inconvénients d'opérer en plein air ou dans une installation improvisée.

2° Il faut adopter un type unique de gélatine de composition simple et constante. Abba indique une formule dont la préparation semble répondre à toutes les exigences signalées, savoir : Bouillon concentré de Liebig 6 grammes ; gélatine (colle de poisson) 150 grammes ; eau distillée 1000 grammes. (On fait cuire une demi-heure, on alcalinise, filtre et stérilise comme d'ordinaire).

3° Pour les cultures on emploiera la méthode de Koch avec les boîtes de Petri et avec la modification de Fischer, qui consiste à déposer avec une pipette l'eau à examiner directement dans la boîte et à verser par dessus la gélatine, au lieu de faire ce mélange dans une éprouvette.

4° On fera développer les cultures dans une étuve à température fixe, constante et égale pour tous les expérimentateurs.

5° On devra pousser l'incubation des cultures autant que possible jusqu'au quinzième jour, car jusqu'à ce moment des colonies nouvelles peuvent apparaître, surtout celles qui liquéfient lentement la gélatine. Si l'on est forcé de procéder à la numération des germes avant ce terme, il faut ajouter au chiffre obtenu, suivant le jour de l'observation, un tant pour cent connu et égal pour tous, dont Abba donne une table d'après ses recherches personnelles.

6° Il est essentiel que les bactériologues aient un langage uniforme et clair pour les comptes rendus d'analyses où le nombre définitif des germes, calculé ou compté, doit être mentionné relativement à l'unité de mesure, le centimètre cube.

7° Il faut enfin refuser de procéder à l'analyse bactériologique d'une eau de provenance inconnue, ou recueillie sans méthode par une personne quelconque ; ou du moins on ne doit pas conclure, d'après les

(*) Voir dans *Rivista d'Igiene e sanità pubblica*, n° 10, 1900, l'article d'Abba intitulé : *Sulla necessità di dare maggiore uniformità alla tecnica dell'analisi batteriologica dell'acqua*.

résultats obtenus dans des conditions aussi incertaines, sur les qualités potables de l'eau examinée ».

On ne peut qu'approuver ces propositions dans leur ensemble et souhaiter qu'un Congrès international fixe une règle précise et uniforme pour tous les laboratoires bactériologiques du monde entier. Nous dirons toutefois, avec M. Macé, que la manière de faire de Fischer (3°) ne paraît pas heureuse (1), le mélange entre l'eau et la gélatine étant beaucoup moins bien assuré que dans la méthode ordinaire (versement de l'eau par gouttes dans la gélatine liquide et agitation par rotation). Quant à l'époque de la numération, les tableaux d'Abba montrent qu'elle doit être retardée, si on garde les plaques à 18-20°, jusqu'au douzième et même quinzième jour : nous avons déjà trouvé en 1897 par un assez grand nombre d'opérations que les chiffres du quatrième jour n'étaient que moitié de ceux du douzième. Pour la facilité du dénombrement, il convient de s'arranger pour n'avoir qu'une centaine de colonies par plaque : en cas contraire, on peut s'aider soit du petit appareil de Wolffhügel (plaque de verre que l'on met sous les plaques et sur laquelle sont tracés des carrés de 1 cm², dont quelques-uns sont subdivisés), soit d'une simple ardoise portant des carrés ou des secteurs, soit enfin de l'appareil un peu compliqué de Heyroth (anneau spécialement disposé pour recevoir une boîte de Pétri et examiner à la loupe une portion quelconque de la plaque comprise dans une fenêtre de 1 cm² ou d'une fraction connue de cette surface).

La gélatine a, comme milieu de culture, plusieurs inconvénients : elle ne peut être soumise à une température un peu élevée ; elle est liquéfiée par un grand nombre d'espèces, et cela parfois de très bonne heure ; le développement des colonies y est assez lent à la température habituelle de 15 à 20°. Bref, certains auteurs, Hesse et Niedner entre autres, ont proposé de la remplacer par la gélose (agar-agar 1,25, albumose 0,75, — eau distillée 98 — total 100) : on verse également dans des boîtes de Petri, qu'on porte à l'étuve à 37°, en les retournant le couvercle en dessous. Dès le second jour, on a un développement semblable à celui que donne la gélatine après six à huit jours, et comme il n'y a pas liquéfaction, on peut garder les plaques assez longtemps pour avoir des espèces très longues à pousser qui, pour cette raison, ne se montreraient pas sur la gélatine.

(1) Il en est de même pour le procédé de Malpert-Neuville, qui consiste à verser la gélatine en couronne sur la plaque, à mettre l'eau dans le vide central et à opérer le mélange sur la plaque même à l'aide d'un fil de platine stérilisé.

Ces avantages ne paraissent pas compensés par certains inconvénients, dont voici les deux principaux : en premier lieu, il faut faire le mélange de l'eau et de la gélose à une température de 40°, ce qui est déjà nuisible à un certain nombre d'espèces bactériennes ; en second lieu, les caractères distinctifs des colonies sur gélose sont bien moins nets que sur gélatine, en sorte que la diagnose n'est pas de beaucoup aussi facile. Pour ces raisons, la gélatine a gardé beaucoup de partisans (la liquéfaction elle-même est un caractère intéressant et utile), mais on peut recourir à la gélose pour des cas spéciaux.

Quelques auteurs ont cherché à perfectionner le procédé habituel. Girard, au laboratoire municipal de Paris, emploie des flacons d'Erlenmeyer coniques, à fond large et plat, fermés par un tampon de ouate qui empêche bien l'introduction des germes de l'air ; mais il devient très difficile de prélever des échantillons des diverses colonies pour les étudier. Esmarch, et à sa suite G. Roux (de Lyon), enroule la gélatine sur la paroi intérieure d'une grosse éprouvette dans laquelle s'est fait par le mélange : Esmarch compte les colonies au centimètre carré au moyen d'un petit appareil portant l'éprouvette et muni d'une loupe. Il faut compter de très bonne heure et en général faire des dilutions, sans quoi la gélatine liquéfiée par certaines espèces, coule et gêne le tout : quand le nombre des colonies est grand, G. Roux se sert d'un papier sensible au ferricyanure de potassium.

Miquel utilise des cristallisons plats à couvercle portant un orifice, dans lequel se place à frottement dur un bouchon prolongé en un tube mince, comme celui des ballons Pasteur : l'ensemencement se fait par l'orifice. Miquel dilue toujours très fortement l'eau : il arrive, avec une dilution suffisante pour que chaque goutte ne contienne plus qu'un germe, à sa *méthode de fractionnement sur milieu solide*, laquelle exige, comme celle sur milieu liquide, une installation compliquée.

L'analyseur bactériologique de M. Arloing ⁽¹⁾ n'est autre chose non plus qu'une application ingénieuse du fractionnement sur milieu solide ; une goutte de l'eau convenablement diluée est déposée au centre d'un centimètre carré de gélatine, et 60 cm² semblablement ensemencés étant contigus sur la plaque, on a d'un seul coup une expérience complète. L'appareil est toutefois bien compliqué pour être pratique ; de plus, on doit reprocher à ce procédé de ne pas donner les caractères si précieux de la croissance de certaines colonies dans

(1) Voir sa description dans la *Revue d'hygiène*, 1888, p. 475.

l'intérieur même de la gélatine. — Enfin Miquel avait encore indiqué⁽¹⁾ deux procédés approximatifs employant des papiers recouverts d'une couche de gelée de lichen, sur lesquels les colonies développées étaient fixées au bleu d'indigo; ces procédés ne se sont pas non plus généralisés.

Aucune des méthodes ci-dessus ne donne le moyen d'obtenir les espèces *anaérobies*, qui cependant, si elles sont rares dans les eaux de sources et de rivières, peuvent s'y trouver et se rencontrent en tout cas en abondance dans les eaux d'égout. Pour les déceler, il faut prendre des méthodes spéciales. Miquel conseille simplement d'utiliser des tubes de gélatine préalablement bouillie, recouverte d'une couche de vaseline liquide stérilisée; l'eau est introduite dans la gélatine fondue avec une pipette stérilisée. Le tube de Vignal (*Annales de l'Institut Pasteur*, I, 1887, p. 358) donne de bons résultats. Les procédés de Roux (*Annales de l'Institut Pasteur*, I, 1887, p. 49) sont des plus recommandables. Büchner⁽²⁾ a proposé avec succès d'enlever l'oxygène par une solution de pyrogallol et de potasse: le tube de gélatine (et tout spécialement les cultures sur plaques enroulées d'Esmarch sont ici indiquées) est placé tout simplement dans une éprouvette bien bouchée, où l'on verse le mélange absorbant l'oxygène. Les appareils de Novy, de Baginsky, d'Arens (véritable boîte de Petri pour anaérobies), dans lesquels on fait le vide ou on fait un courant d'hydrogène, peuvent naturellement être également utilisés soit pour les cultures, soit pour la diagnose. Enfin on trouvera encore quelques dispositifs perfectionnés dans les articles de Ucke, Trenkmann et Marpmann insérés respectivement aux pages 996, 1038 et 1090 du tome XXIII, 1898, de *Centralblatt für Bakteriologie*.

Les cultures faites, reste à procéder à la détermination des espèces. C'est là un travail compliqué que nous ne pouvons décrire ici, car ce serait toute la science bactériologique qu'il faudrait passer en revue. Disons seulement qu'on note tous les caractères de croissance, de forme, etc., des colonies sur le milieu employé (nous savons déjà que sur gélatine, ils sont des plus précieux), qu'on fait des cultures pures sur d'autres milieux, qu'on étudie la forme des bactéries au microscope, leurs mouvements, leurs réactions de coloration, qu'on peut recourir enfin à l'inoculation aux animaux; on arrive ainsi par élimination successive à reconnaître avec plus ou moins de certitude dans chaque colonie observée une des espèces déjà décrites, — à moins qu'on ne soit

(1) Voir *Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*, 1886 et 1890.

(2) Voir dans *Centralblatt für Bakteriologie*, IV, 1889, l'article de Büchner.

tombé par hasard sur une espèce nouvelle ! Hâtons-nous de dire que pour les cas habituels, on ne se donne pas la peine de faire une diagnose complète ; les caractères sur gélatine permettent à l'expérimentateur exercé de reconnaître un certain nombre d'espèces fréquentes dans les eaux et il se contente de les citer ; on note également le plus souvent le nombre des colonies liquéfiantes.

2° *Procédés spéciaux, ou recherche des bactéries pathogènes.*

Nous ne nous occuperons que du bacille typhique, du colibacille et du spirille du choléra qui ont une importance considérable ; d'autres bactéries pathogènes peuvent bien être rencontrées dans les eaux, mais c'est là un fait accidentel et ne paraissant pas entraîner l'éclosion d'épidémies. (On a trouvé le vibrion septique et le bacille du tétanos dans des dépôts provenant de certaines eaux, — eaux de la Seine, de la Marne, du Rhône, de la Mer Rouge, etc. ; — mais ces deux espèces étant anaérobies, il suffit pour les isoler et les cultiver d'appliquer les méthodes spéciales aux anaérobies. On rencontre aussi parfois des staphylocoques et streptocoques du pus ; il est à craindre alors que les eaux ne soient souillées par les produits du lavage de linges purulents.) Il convient toutefois de citer les tentatives faites par Blachstein ⁽¹⁾, puis avec plus de perfectionnements par G. Pouchet et Bonjean ⁽²⁾, pour reconnaître d'un seul coup l'action globale des bactéries pathogènes d'une eau sur l'organisme vivant ; on a ainsi une indication précieuse sur la qualité de ces bactéries prises en masse, et cela sans passer par la filière compliquée des méthodes d'isolement. G. Pouchet ensemence avec 30 cm³ de l'eau à étudier des ballons contenant 10 cm³ de bouillon peptonisé, qu'il laisse 8 jours à l'étuve ; le huitième jour, il fait à un cobaye une injection intrapéritonéale à raison de 0^{cm3},3 à 0^{cm3},5 par 100 grammes de poids de l'animal, puis il observe soigneusement ce dernier surtout au point de vue de la température. Si la réaction est nulle ou très faible, c'est que l'eau ne contenait pas de bactéries virulentes ; si au contraire elle est très marquée et que le cobaye meure au bout d'un jour ou deux, on fera l'autopsie, on étudiera les lésions, et on fera avec le sang et les liquides des organes des cultures qu'on étudiera suivant les méthodes habituelles. La méthode a le défaut d'être un peu longue et ne paraît pas passer dans la pratique courante.

(1) Blachstein « Contribution à l'étude microbique de l'eau », voir *Annales de l'Institut Pasteur*, VII, 1893.

(2) G. Pouchet et Bonjean : « Contribution à l'analyse des eaux potables », voir *Annales d'Hygiène* (février et juillet 1897).

Recherche et isolement du bacille typhique et du colibacille. — Ces deux espèces, qui proviennent nettement des matières fécales, sont très voisines (une longue discussion scientifique s'est élevée, comme on sait au sujet de leur prétendue identité, mais elle paraît close aujourd'hui en faveur de la dualité) et s'obtiennent simultanément. Toutes les méthodes d'isolement reposent sur les deux faits suivants, mis en lumière l'un par Rodet, l'autre par Chantemesse et Widal : en premier lieu, nos deux espèces résistent bien à une température de 43°, alors qu'à ce degré la plupart des autres espèces de l'eau ne peuvent plus végéter ; en second lieu, de faibles doses de certains antiseptiques, notamment d'acide phénique, n'empêchent pas la croissance du colibacille, ni du bacille typhique, alors qu'elles paralysent totalement celle de la plupart des autres bactéries. Ainsi, si on ajoute à la gélatine destinée à une culture sur plaque une goutte d'eau phéniquée à 5 0/0 d'acide phénique, on n'aura guère sur cette plaque que les deux espèces recherchées : c'est du reste ce que fait Lœsener, mais il conseille de faire avec l'échantillon d'eau le plus grand nombre de plaques possible et de les étudier.

Les deux procédés primitifs ont du reste été associés et perfectionnés, et on se sert à ce jour de l'un des suivants :

1° *Procédé de Vincent* (1). — On prépare par exemple 5 tubes de 10 cm³ de bouillon stérilisé auquel on ajoute 5 gouttes d'eau phéniquée à 5 0/0, et on verse dans ces tubes respectivement 1, 2, 5, 10 et 20 gouttes de l'eau à analyser ; on porte les tubes à l'étuve à 43 ou 44°. On surveille, et dès que l'on aperçoit que ces tubes se troublent (ce qui peut arriver dès 8 à 12 heures après), on ensemence avec une goutte du liquide du tube troublé d'autres tubes de bouillon phéniqué, que l'on met également à l'étuve et que l'on surveille et traite comme les précédents ; on ensemence également avec les tubes troublés des milieux ordinaires, gélatine et pomme de terre. Par ces passages successifs en bouillons phéniqués, on arrive à isoler le colibacille et le bacille typhique des autres espèces qui n'y croissent pas ou qui n'y croissent que lentement : des deux, c'est le colibacille qui pousse le plus vite, et d'après Brochard il est bon, si l'on recherche le bacille typhique spécialement, de n'ensemencer quelques tubes qu'avec des cultures déjà bien développées, c'est-à-dire avec des tubes troublés déjà depuis plusieurs heures. Rappelons encore qu'en bouillon phé-

(1) Vincent : « Sur un procédé d'isolement du bacille typhique dans l'eau » voir *Société de Biologie*, février 1890.

niqué, le bacille typhique n'a pas sa forme ordinaire; il est beaucoup plus court et presque immobile, mais reporté dans du bouillon ordinaire, il reprend ses caractères habituels;

2° *Procédé de Péré* (1). — Péré agit sur une quantité d'eau beaucoup plus considérable, ce qui peut être très important dans certains cas où le nombre des germes est faible. Il met dans un ballon d'un litre stérilisé 100 cm³ de bouillon stérilisé, 50 cm³ d'une solution de peptone pure à 10 0/0 neutralisée et stérilisée, 700 cm³ de l'eau à analyser, 20 cm³ d'une solution d'acide phénique pur à 5 0/0 et enfin on complète le litre avec l'eau à analyser; on a ainsi 830 cm³ de l'eau en expérience et 1 gramme d'acide phénique par litre. On répartit le liquide en 10 vases stérilisés, fermés par un tampon de ouate, qu'on porte à l'étuve à 34°; s'il y a du colibacille ou du bacille typhique, les flacons se troublent et d'autant plus vite que la proportion de ces espèces est plus forte.

Dès que le trouble est apparent, on ensemence soit du bouillon ordinaire, soit, pour éliminer les autres espèces, des tubes de bouillon phéniqué préparés comme dans la méthode de Vincent, soit encore des tubes d'une eau peptonisée et phéniquée composée comme ci-dessus, mais en remplaçant l'eau en expérience par de l'eau stérilisée. On peut du reste prendre à volonté des intermédiaires entre le procédé de Péré et celui de Vincent, en faisant varier la quantité de l'eau analysée sur laquelle on agit.

3° *Procédé de Parietti* (2). — Cet auteur emploie une solution acide d'acide phénique contenant 5 grammes de cet acide, 4 grammes d'acide chlorhydrique, 100 grammes d'eau distillée; il ajoute à des tubes de 10 cm³ de bouillon, 3, 6 et 9 gouttes de cette solution phéniquée, et il ensemence ces tubes avec des doses croissantes de 1 à 10 gouttes de l'eau à analyser. On porte à l'étuve à 37°; le trouble produit par le colibacille et bacille typhique apparaît après 24 heures et on peut faire plusieurs passages successifs.

4° *Procédé de Pouchet et Bonjean* (3). — On agit sur 150 cm³ de l'eau en expérience, que l'on verse dans des ballons contenant

(1) Péré: « Contribution à l'étude des eaux d'Alger », voir *Annales de l'Institut Pasteur*, V, 4891.

(2) Parietti: « Metodo di ricerca de Bacille del tifo nelle acque potabili », voir *Rivista d'Igiene*, 4890.

(3) Pouchet et Bonjean: « Contribution à l'analyse des eaux potables », voir *Annales d'Hygiène*, février 1897.

100 grammes de bouillon, stérilisés et additionnés de 5 cm³ d'eau phéniquée à 5 0/0 ; on porte à l'étuve à 42°. En cas de trouble, on fait une série de passages de deux en deux jours dans des tubes de Vincent à 42°, et après trois passages, on ensemence du bouillon ordinaire à 36°. On pratique ensuite une injection intrapéritonéale sur un cobaye avec une culture âgée de 8 jours, à raison de 0^{cm}³,3 de bouillon par 100 grammes du poids de l'animal ; si celui-ci succombe, on fait des cultures avec le sang du cœur, le foie, la rate.

5° *Méthode d'Elsner*. — Holz avait déjà proposé une gélatine acide au suc de pommes de terre fraîches, qui, surtout si on y ajoute 0,05 0/0 d'acide phénique, ne laisse pousser qu'un petit nombre d'espèces, parmi lesquelles les deux que nous recherchons. Elsner (1) a fait adopter un milieu du même genre avec addition d'iodure de potassium ; voici comment on le prépare. On fait macérer pendant 3 ou 4 heures dans un litre d'eau 500 grammes de pommes de terre crues, pilées et râpées ; on tamise, on laisse déposer 12 heures, puis on décante et filtre le liquide. On y fait dissoudre à feu doux 15 à 20 0/0 de gélatine et on alcalinise avec la solution normale de soude (40 grammes de soude caustique pure par litre d'eau), de manière que la réaction reste faiblement mais nettement acide ; enfin, on filtre, clarifie au blanc d'œuf et stérilise. Au moment de s'en servir, on ajoute dans la gélatine maintenue fondue 1 0/0 d'iodure de potassium qui se dissout lentement, ou encore la quantité correspondante d'une solution stérilisée d'iodure à 10 0/0. On ensemence comme pour les cultures sur plaques ordinaires et on coule dans les boîtes de Pétri. Ce milieu ne permet guère qu'au bacille typhique, au colibacille et à quelques espèces liquéfiantes de végéter ; on peut se débarrasser de ces derniers par les bouillons phéniqués. Nous verrons que c'est un bon moyen de distinguer le colibacille du bacille typhique.

Grimbert propose de simplifier : il prend de la gélatine ordinaire à laquelle il laisse un degré d'acidité correspondant à 1 gramme d'acide sulfurique par litre (il faudrait alors 5 cm³ d'eau de chaux pour neutraliser 10 cm³ de cette gélatine acide). Il a proposé également de constituer artificiellement de toutes pièces un liquide ayant la composition moyenne du jus de pommes de terre ; on n'en voit pas l'utilité.

(1) Elsner : « Untersuchungen über electives Wachstum der Bacterium coli arten und des Typhus bacillus, etc. », in *Zeitschrift für Hygiene*, XXI, 1895.

(2) Grimbert : « Sur la préparation du milieu d'Elsner », *Société de Biologie*, juillet 1896.

CARACTÈRES DISTINCTIFS ET SPÉCIFIQUES DU BACILLE TYPHIQUE
ET DU COLIBACILLE

a) *Différenciation de ces deux espèces d'avec les autres.*

S'il s'agit de cultures sur plaques de gélatine, il est nécessaire parfois de passer en revue quelques-uns des caractères typhiques de nos deux espèces, pour les distinguer d'espèces d'apparence semblable et appelées pour cette raison *pseudo-typhiques* ou *éberthiformes*.

Lœsener ⁽¹⁾, ainsi que Macé, énumèrent comme suit ces caractères :

1° *Aspect des cultures sur plaques* : aspect bien connu de petites montagnes de glace, mamelonnées, transparentes (quelquefois opaques pour le colibacille), ayant 3 ou 4 mm de diamètre vers le cinquième jour (un peu plus grandes pour le colibacille), etc. Cet aspect n'est toutefois pas absolument spécial ;

2° *La gélatine n'est jamais liquéfiée* par nos deux espèces ;

3° *Forme et grandeur des éléments microbiens*. En général ce sont des bâtonnets de 2 à 3 μ de long sur 0,7 à 0,9 μ de large (un peu moins larges pour le colibacille) ; mais la forme et la taille varient beaucoup avec les milieux de culture et l'âge, en sorte qu'on peut dire qu'elles ne sont pas caractéristiques : nous savons déjà que la présence des antiseptiques les modifie considérablement ;

4° *Motilité*. C'est un bon caractère. Les bacilles typhiques sont très mobiles ; ils ont un mouvement latéral d'oscillation et un mouvement rapide de translation en vertu duquel ils traversent souvent le champ du microscope. Les colibacilles ont un mouvement plus lent et plus particulièrement de simple oscillation ;

5° *Cils vibratiles*. Cette motilité est due à la présence de cils vibratiles, longs et ondulés, au nombre de 8 à 14 pour le bacille typhique, de 4 à 8 seulement pour le colibacille : ceux du colibacille sont aussi moins longs, moins enchevêtrés et plus fragiles que ceux du bacille d'Eberth. Ces cils ne peuvent être mis en évidence que par des méthodes de coloration spéciales qu'il serait trop long de décrire ici (méthodes de Loeffler ⁽²⁾, de Nicolle et Morax ⁽³⁾, de Bunge ⁽⁴⁾, de Van Ermenghem ⁽⁵⁾, de Bowhill ⁽⁶⁾ ;

(1) Voir *Arbeiten aus dem K. Gesundheitsamte*, t. XI.

(2) Voir les articles de l'auteur dans *Centralblatt für Bakteriologie*, VI, 1887 et VIII, 1890.

(3) Voir l'article des auteurs dans les *Annales de l'Institut Pasteur*, VII, 1893.

(4) Voir les articles de l'auteur dans *Fortchritte der Medizin*, XI, 1894, nos 12 et 24.

(5) Voir les articles de l'auteur dans les *Travaux du laboratoire d'Hygiène et de Bactériologie de l'Université de Gand*, I, 1893.

(6) Voir l'article de l'auteur dans *Hygienische Rundschau*, n° 1, 1898.

6° *Décoloration par la méthode de Gram.* Les deux espèces se décolorent ;

7° *Culture sur pomme de terre.* Ces cultures sont assez caractéristiques. Après un ou deux jours à 37°, le bacille typhique ne donne pas de culture apparente, mais la surface de la pomme de terre paraît humide, brillante, comme vernissée, et elle contient beaucoup de microbes ; après un temps plus long, on a une mince couche un peu jaunâtre, parfois peu visible. Le colibacille croît plus vite et plus abondamment ; après un jour, la culture est déjà épaisse et après deux jours, on a un enduit épais, luisant et visqueux, enserrant parfois de petites bulles de gaz ;

8° *Le non développement dans la solution normale de Maassen* (1), *additionnée de glycérine* pour le bacille typhique. Le colibacille et autres bacilles éberthiformes réussissent au contraire plus ou moins bien dans cette solution.

9° *Culture dans les milieux lactosés.* Le bacille typhique cultivé dans du bouillon lactosé à 2 0/0 et additionné de craie ne fait pas dégager de bulles gazeuses ; le colibacille donne un dégagement de gaz abondant ;

10° *Culture dans le lait stérilisé.* Le bacille typhique se développe bien dans le lait, mais ne paraît pas changer le milieu ; le colibacille se coagule très vite par suite de la transformation du lactose en acide lactique ;

11° *Dans les bouillons peptonisés*, et en général dans les milieux contenant de l'albumine, le bacille typhique ne produit pas d'indol, tandis que c'est le contraire pour le colibacille. (On sait que la recherche de l'indol se fait au moyen de réactions caractéristiques sur lesquelles nous n'insisterons pas.)

12° *Culture sur artichaut* (Méthode de Roger). Le bacille typhique ne donne pas de culture apparente, tandis que le colibacille, le bacillus subtilis, le micrococcus prodigiosus et d'autres espèces donnent une coloration verte qui va en se fonçant ;

13° *Production de la réaction d'agglutination*, pour le bacille typhique seul, avec le sérum de malades atteints de fièvre typhoïde ou d'animaux immunisés. Rappelons qu'il faut toujours avoir une culture

(1) Voir l'article de Maassen *in Arbeiten des K. Gesundheitsamts* (1894), 9 Band, 401.

jeune (de un à deux jours au plus), — à moins qu'on ne maintienne son pouvoir agglutinant par l'addition d'un antiseptique, tel que le formol (Widal et Sicard) (1).

Parmi les espèces dont les cultures sur gélatine se rapprochent le plus des deux que nous étudions, il convient de signaler : *Bacillus lactis aerogenes*, qui donne des colonies un peu plus opaques que celles du colibacille, ne liquéfie pas la gélatine, mais y produit du gaz y déterminant des cassures ; il coagule le lait, transforme le lactose en acide lactique, et donne une culture épaisse sur pomme de terre. — *Bacillus fluorescens putridus*, qui forme des colonies s'étendant plus vite que celles du bacille d'Eberth et du colibacille, et s'entourant d'une auréole verdâtre diffusant dans la gelée ambiante ; la culture sur pomme de terre est mince, brillante, visqueuse, et au bout d'un certain temps devient rosée et contient des bulles de gaz. — Une bactérie violette que Macé rapporte au *Bacillus janthinus* de Zopf, qui ne se distingue que très tardivement du bacille typhique en ce que la colonie finit par liquéfier la gélatine et prend une teinte violette. — Un *micrococcus* de l'eau, qu'on reconnaît à la forme des éléments, les espèces que Weichselbaum a décrites sous le nom de *Bacillus aquatilis sulcatus*, etc.

Quant aux cultures dans les bouillons phéniqués, on y trouve assez souvent : *Bacillus mesentericus vulgatus*, qui forme rapidement à la surface des tubes de Vincent un voile épais, plissé, au-dessous duquel le liquide s'éclaircit vite ; il ne résiste pas à un deuxième passage en bouillon phéniqué fait dès que le tube se trouble. — Le *bacille rouge de Globig*, qui forme aussi un voile compact, avec éclaircissement du liquide par dessous. — Deux formes de *Streptocoques*, l'un troublant uniformément le liquide, l'autre formant de gros flocons dans le bouillon clair. — On trouve aussi quelques *Microcoques*, des *Cladothrix*, *Leptothrix* et un assez grand nombre de *bacilles* qui peuvent végéter, mais qu'il est généralement facile de distinguer de nos deux espèces éberthiques.

(1). D'après Widal et Chantemesse, l'agglutination est le meilleur moyen d'identification du bacille typhique : il suffit, en employant la méthode des mensurations, d'essayer son degré d'agglutinabilité vis-à-vis d'un sérum possédant un pouvoir agglutinatif puissant et connu. (Communication faite au Congrès d'Hygiène de Paris 1900.) — Voir également la méthode indiquée à ce Congrès par Fodor. (Inoculation parallèle de deux lapins, l'un avec le typhique authentique et l'autre avec la colonie étudiée, et comparaison de la réaction des deux sérums.)

b) Différenciation des deux espèces entre elles.

C'est là le point qui reste le plus délicat, et on n'est pas encore très sûr d'y réussir⁽¹⁾. Nous connaissons déjà les principales propriétés qui distinguent le bacille typhique du colibacille (voir précédemment, notamment les caractères 9° à 13°, c'est-à-dire l'action du colibacille sur le lactose, sur le lait, sur les bouillons peptonisés, la culture sur artichaut, enfin et surtout, la réaction d'agglutination du bacille typhique). Mais pour essayer ces caractères différentiels, comme généralement les deux espèces sont mélangées dans le bouillon, il faut commencer par tâcher de les séparer, et c'est par les cultures sur plaques qu'on peut espérer y arriver ; le colibacille étant généralement le plus abondant, il faut faire beaucoup de plaques, afin d'avoir d'autant plus de chances de rencontrer quelques colonies de typhique parmi les nombreuses colonies qui se développent. On cherchera naturellement plutôt le typhique parmi celles qui sont le plus transparentes et les moins développées ; au microscope, la plus grande motilité et le plus grand nombre de cils permettent parfois de se faire une quasi-certitude.

Voici les méthodes qui donnent les chances les plus sérieuses qu'on ait aujourd'hui de faire une différenciation plus certaine ; elles se répartissent en deux groupes, suivant qu'on opère avec des milieux colorés ou non.

I. — Milieux non colorés.

1° *Méthode d'Elsner*. Sur la gélatine d'Elsner que nous connaissons déjà (ou celle de Grimbert), le colibacille pousse beaucoup plus vite que le typhique ; après 24 heures à 20°, les colonies de colibacille ont déjà leur aspect habituel (à un faible grossissement, elles présentent une teinte brunâtre et sont granuleuses), tandis qu'au bout de 48 heures celles de bacille typhique ne sont encore que de petits points, transparents, semblables à des gouttelettes d'eau et à peu près incolores.

2° *Méthode de Piorkowsky*⁽²⁾. L'addition d'urine à un milieu rend le développement du colibacille beaucoup plus rapide que celui du typhique. Pour la gélatine, on prend de l'urine normale de deux jours, on y ajoute 1/2 0/0 de peptone, et 3,3 0/0 de gélatine ; on chauffe une

(1) Voir à ce sujet une récente thèse de Toulouse (1899), intitulée : Contribution à l'étude sur la différenciation et la recherche du Bacille typhique et du Colibacille, par Gantié. Ce travail donne tous les détails voulus sur la question.

(2) Voir les articles de l'auteur dans *Berlin. Klin. Wochenschrift*, 29 juin 1896 et 1899, n° 7.

heure à 100°, on filtre et met dans des tubes qu'on stérilise également à 100° par deux chauffages d'un quart d'heure. On fait les cultures avec ces tubes et on tient les plaques à 22°; après 20 heures, les colonies de colibacille sont arrondies, opaques et jaunâtres; celles de typhique seraient au contraire opalescentes, nuageuses, formées de filaments radiés sinueux;

3° *Méthode de Thoinot et G. Brouardel* (1). C'est ici de l'acide arsénieux qu'on ajoute aux bouillons de culture pour arrêter le développement du typhique: 1 gramme de cet acide par litre de bouillon suffit, tandis que le colibacille continue à pousser. Mais cette méthode a l'inconvénient d'écarter le bacille typhique plutôt que de le mettre en évidence; c'est l'inverse qu'il faudrait arriver à faire;

4° *Méthode de Mankowski*. On prend une gélose peptonisée (2) préparée avec une décoction de champignon. Le bacille typhique y pousse lentement en donnant une petite bande transparente humide, tandis que le colibacille donne rapidement une pellicule blanche, solide et sèche.

II. — Milieux colorés.

1° *Gélose fuchsinée de Gasser*. C'est de la gélose ordinaire additionnée avant stérilisation de quelques gouttes de fuchsine; on y fait desensemencements en strie; les cultures se colorent fortement, mais la gélose se décolore autour d'elles progressivement. Le phénomène se produit pour les deux espèces, mais il serait plus rapide avec le bacille typhique;

2° *Gélose lactosée au tournesol bleu de Würtz* (3) (2 0/0 de lactose et quelques gouttes de teinture de tournesol bleu). Le bacille typhique se développerait sans modifier la coloration bleue; le colibacille la fait rapidement virer au rouge, en commençant par le voisinage de la culture;

3° *Gélose lactosée à la rubine acide de Ramond* (4). On ajoute à la gélose ou à la gélatine 4 0/0 de lactose, de la solution de rubine jusqu'à nuance rouge-cerise, puis quelques gouttes de solution de carbonate de soude qui décolore complètement le milieu; on filtre et stérilise. Le bacille d'Eberth ne modifie pas ce milieu incolore, tandis que le colibacille y fait apparaître une coloration rouge intense;

(1) Voir l'article des auteurs dans *Société de Médecine des Hôpitaux*, 18 mars 1898.

(2) Voir l'article de l'auteur dans *Centralblatt für Bakteriologie*, XXVII, 1900.

(3) Voir l'article de l'auteur dans *Archives de médecine expérimentale*, IV, 1892.

(4) Voir l'article de l'auteur dans *Société de Biologie*, 1896, n° 28.

4° *Bouillon ou gélose lactosée au bleu de méthylène de Robin* ⁽¹⁾.

Après avoir coloré les milieux comme l'indique Robin par 4 cm³ par litre d'une solution aqueuse à 1 0/0 de bleu soluble pur, on ajoute une solution de potasse normale décime jusqu'à décoloration complète, et on lactose à 4 0/0. Le bacille typhique pousse sans changer le milieu, tandis que le colibacille le recoloré rapidement ;

5° *Gélose lactosée à l'urée et au tournesol bleu de Kashida* ⁽²⁾.

On ajoute 15 0/0 de gélose du bouillon neutre et qu'on maintient tel ; après clarification et filtration, on ajoute 2 0/0 de lactose, 1 0/0 d'urée et 30 0/0 de teinture de tournesol bleu ; on met en tubes et stérilise. Comme toujours le bacille typhique ne change pas le milieu, tandis que le colibacille le fait virer au rouge en moins de 20 heures par suite de la formation d'acide lactique, puis le ramène au bout de 24 heures au bleu par la transformation de l'urée en ammoniacque ; toutefois l'action du colibacille sur le lactose ou sur l'urée n'est pas absolument constante.

6° *Milieux lactosés à la phénolphtaléine*. — Cette substance (une trace) donne une coloration rose en solution alcaline et cette coloration disparaît avec un acide. Dans un milieu alcalin lactosé, le colibacille fera donc disparaître la coloration, tandis qu'elle persistera avec le bacille typhique. Abba ⁽³⁾, Graziani ⁽⁴⁾, Mérieux et Carré ⁽⁵⁾ ont donné des compositions détaillées des milieux avec lesquels ils utilisent cette réaction.

7° *Milieux lactosés à la fluorescéine*. — La fluorescéine en milieu alcalin donne une coloration jaune pâle avec une belle fluorescence verte ; le milieu devient-il acide, la fluorescence disparaît et la couleur jaune se fonce. Graziani et Gautié (ouvrages cités) donnent la composition des milieux.

8° *Gélose avec diverses couleurs d'aniline*. — Enfin Rothberger ⁽⁶⁾ a trouvé que le rouge de toluylène, la safranine, le vert malachite, le vert d'iode, l'induline, la nigrosine ne sont pas modifiés par le bacille typhique, tandis qu'ils sont décolorés ou transformés par le colibacille, etc., etc.

(1) Voir l'article de l'auteur dans *Société de Biologie*, 26 janvier 1897.

(2) Voir l'article de l'auteur dans *Centralblatt für Bakteriologie*, XXI, 1897.

(3) Voir l'article de l'auteur dans *Centralblatt für Bakteriologie*, XIX 1896.

(4) Voir l'article de l'auteur dans *Archives de Médecine expérimentale*, IX 1897.

(5) Voir l'article des auteurs dans *Lyon médical*, 13 novembre 1898.

(6) Voir articles de l'auteur dans *Centralblatt für Bakteriologie* XXIV et XXV, 1898 et 1899.

Bref, les caractères du bacille typhique sont généralement passifs, et ceux du colibacille, où plutôt des différentes variétés du colibacille, beaucoup plus actifs.

Recherche et isolement du spirille du choléra et des vibrions cholérigènes.

On ne peut plus guère parler aujourd'hui du spirille du choléra (spirille type de Koch) comme d'une espèce parfaitement définie et il convient de le faire rentrer dans le groupe des nombreuses espèces similaires, vibrions cholérigènes, qui ont été mises en évidence un peu partout dans ces dernières années. Y a-t-il là des espèces distinctes ou seulement des variétés d'une même espèce? Quoiqu'il en soit, les caractères microscopiques, les cils, la motilité, les caractères des cultures sur gélatine et surtout ceux des cultures dans les solutions salées de peptones, qui paraissent naguère si spéciaux au *Kommabacille* de Koch, ne peuvent plus le différencier des autres spirilles du groupe cholérique: tout au plus si la réaction du *rouge du choléra* et l'action pathogène sur le cobaye ont encore une valeur caractéristique un peu sérieuse. Toutefois la question de cette différenciation délicate du spirille type de Koch n'a peut-être pas pour l'eau une importance aussi grande qu'on pourrait le croire, et cela parce que tous les vibrions du groupe (y compris le *spirille de Finkler et Prior*) ayant vraisemblablement une origine fécale et pouvant engendrer sinon le choléra indien, au moins le choléra nostras ou des entérites cholériformes, il est clair que si on les trouve dans une eau, celle-ci doit être immédiatement et irrémédiablement condamnée.

Le ou les spirilles qui nous occupent poussent bien sur gélose et sur gélatine: on peut donc les rencontrer sur des plaques de culture ordinaires. Toutefois, quand on les recherche spécialement de cette manière, il vaut mieux pour gagner du temps prendre l'un des milieux suivants:

1° Elsner ⁽¹⁾ conseille une gélatine à 25 0/0, qu'on met à l'étuve à 27-28°. Il prend par litre d'eau 250 grammes de gélatine, 10 grammes d'extrait de Liebig, 10 grammes de peptone et 5 grammes de sel marin: on neutralise à la soude jusqu'à réaction légèrement alcoolisée, et on clarifie au blanc d'œuf.

2° Deycke ⁽²⁾ emploie une gélatine aux albuminates alcalins, qui per-

(1) Elsner « Zur Plattendiagnose der Cholera vibrio » in *Archiv für Hygiene*.

(2) Deycke « Elective Nährboden für Cholera bacillus » in *Deutsche méd. Wochenschrift*, 1893, n° 37 et 1894 n° 25, ainsi que dans *Centralblatt für Bakteriologie*, XVII, 1895.

mettrait d'avoir de belles colonies en 12 heures. On l'obtient en prenant pour 100 grammes d'eau, 18 grammes de gélatine, 2^g,5 d'aluminates alcalins, 1 gramme de peptones, 1 gramme de sel marin et 1 gramme de soude.

3° Schiller (1) recommande les plaques de gélose qui peuvent être portées à 37° : au bout de 6 heures, les colonies profondes sont déjà bien visibles comme des petits disques transparents d'un gris d'acier.

Il vaut beaucoup mieux chercher tout d'abord à isoler les spirilles cholérigènes en profitant de leur grande électivité pour les solutions de peptones salées. Dunham et Koch ont préconisé l'eau peptonisée à 1 0/0, avec 0,5 0/0 de sel marin ; il vaut mieux encore prendre le liquide indiqué par Metschnikoff et composé de : eau, 100 grammes ; gélatine, 2 grammes ; peptone, 1 gramme ; sel marin, 1 gramme : on le rend légèrement alcalin avec la soude, et Sanarelli conseille d'y ajouter 0^g,10 de nitrate de potasse. Le liquide fort complexe d'Ouchinsky (3) peut aussi convenir. On ajoute l'eau en expérience et on porte à l'étuve à 37°. Si l'eau contient des vibrions cholérigènes, le liquide se trouble très vite ; parfois au bout de six heures, la couche superficielle où se ramassent ces microbes très avides d'oxygène est déjà trouble et on a là une véritable culture pure : en y faisant des prélèvements pour de nouveaux ensemencements rapides dans le même milieu, on est encore plus sûr de l'isolement des espèces cherchées. Plus tard, le liquide se couvre d'un voile, comme le bouillon avec une culture pure.

Avec les cultures en solution de peptone salée, il est très facile d'ensemencer des plaques d'agar ou de gélatine (on porte directement avec une öse de platine le liquide prélevé à la surface de la gélose ou gélatine solidifiée d'avance dans le godet de Pétri) ou d'autres milieux, et de vérifier les caractères bien connus du spirille de Koch. On le distinguera facilement du spirille de Finkler et Prior, qui se développe et liquéfie la gélatine environ trois fois plus vite que lui, (rappelons la figure classique du gros entonnoir que forme le spirille de Finkler dans un tube de gélatine au lieu de la petite capsule que donne au début le spirille du choléra) : on sait aussi que, sur pommes de terre, le spirille de Koch ne se développe qu'au-dessus de 25° et produit une

(1) Schiller « Diagnose der Cholera bacillus mittelst Agarplatten » in *Deutsche med. Wochenschrift*, 1893.

(2) Voir *Zeitschrift für Hygiene*, II 1837 (Dunham) et tome XIV (Koch).

(3) Voir Ouchinsky « Recherches sur la nature des poisons de la diphtérie et du choléra », in *Archives de médecine expérimentale*, V, 1893 et aussi in *Centralblatt für Bakteriologie*, XIV, 1893.

couche brunâtre, tandis que le spirille de Finkler et Prior se développe à la température ordinaire et donne une couche muqueuse blanche à bords sinueux.

Pour les spécifications définitives du Kommabacille typhique, on recherchera enfin la réaction du rouge du choléra, l'action biologique sur les animaux d'expérience, et la réaction d'agglutination par le sérum cholérique.

La réaction du *Choleraeroth* s'obtient très vite, 5 à 6 heures après l'ensemencement avec les cultures du spirille de Koch en bouillon ou en solution salée de peptone : il suffit d'ajouter au liquide quelques gouttes d'acide chlorhydrique, ou sulfurique, ou oxalique purs pour avoir une coloration rose, un peu violacée qui fonce pendant une demi-heure ou une heure, persiste un jour, puis passe au brun. La coloration est plus forte, si on ajoute un peu de nitrates ; mais pour avoir un caractère différentiel sérieux, il faut que ceux-ci soient absolument purs et exempts de nitrites, en sorte qu'il vaut mieux ne pas en mettre. Cette réaction tient, d'une part, à ce que le microbe donne une abondante production d'indol aux dépens des matières albuminoïdes et notamment des peptones, et d'autre part à ce qu'il réduit les nitrates (qui existent toujours en petite quantité dans le milieu) à l'état de nitrites, et que l'addition d'un peu d'acide met l'acide nitreux en liberté : on l'appelle également réaction de l'indol nitreux et elle ne se produit dans ces conditions qu'avec les bactéries qui ont la double propriété de faire de l'indol et de réduire les nitrates. Signalons encore que le spirille de Finkler et Prior donne cette réaction, mais d'une manière plus lente et moins intense.

L'inoculation se fait surtout par la voie intrapéritonéale : le cobaye est très sensible au choléra, et les symptômes caractéristiques (notamment un fort abaissement de la température) débent dès une heure ou deux après l'inoculation pour se terminer par la mort 15 ou 16 heures plus tard. On ne retrouve qu'assez difficilement les spirilles dans les organes ou les humeurs. On peut aussi agir par la voie stomacale, mais il faut neutraliser l'action du suc gastrique, soit comme le fait Koch, soit plus simplement par l'alcool, comme l'a indiqué Doyen. D'après Zalobotny, le spermophile, petit rongeur de la Russie méridionale, serait très apte à contracter l'infection cholérique par la voie digestive, en sorte qu'il suffirait de mêler à ses aliments quelques gouttes de culture active du spirille de Koch. On comprend que nous ne puissions entrer ici dans tous les détails relatifs aux inoculations et aux phénomènes consécutifs.

En dernier lieu, le phénomène de l'agglutination, connu sous le nom de *phénomène de Pfeiffer* ⁽¹⁾, se produit comme suit : si on injecte dans le péritoine d'un cobaye une émulsion de vibrions cholérigènes additionnée d'une petite quantité de sérum d'animaux immunisés contre le choléra (ou de cholériques convalescents), il se produit une destruction extra-cellulaire des vibrions par les liquides de l'organisme, et au lieu des microbes habituels, on ne retrouve plus dans le liquide péritonéal un quart d'heure ou une demi-heure après l'injection que des granules arrondis et immobiles, représentant les spirilles dégénérés et morts. Cette réaction serait à peu près caractéristique. Metschnikoff, Bordet ⁽²⁾ ont montré qu'elle pouvait se produire, *in vitro*, en ajoutant à l'émulsion de la culture étudiée un mélange de sérum d'animal immunisé et de liquide péritonéal d'un cobaye sain. Blachstein ⁽³⁾ a également observé que la chrysoïdine en solution aqueuse provoquait l'agglutination des cultures ou émulsions du spirille de Koch (les cultures jeunes additionnées de 1/6 de solution de chrysoïdine à 0,25 0/0 s'éclaircissent et donnent de gros amas floconneux en une heure ou deux à 37°) ; mais Engels ⁽⁴⁾ a démontré que cette réaction était très variable, et de plus qu'elle se produisait avec quelques autres spirilles (entre autres celui de Finkler et Prior) : elle est bien moins caractéristique que celle avec le sérum.

Interprétation des analyses bactériologiques.

Il n'est pas difficile d'interpréter l'analyse qualitative, quand elle a décelé par les méthodes ci-dessus décrites la présence du bacille typhique ou du spirille du choléra dans l'eau. La chose est un peu plus délicate pour le Colibacille, et plusieurs auteurs, frappés de la fréquence de ce germe dans la nature inclinent à admettre certaines eaux qui le contiennent, parce que, disent-ils, dans bien des cas il n'est pas nocif, et qu'il serait d'ailleurs presque impossible de se procurer de l'eau exempte de ce microbe. Nous n'avons jamais partagé et nous ne partageons pas encore cette manière de voir : sans doute, si parmi de nombreuses analyses d'une même eau de boisson l'une d'elles rencontre accidentellement quelques colibacilles, ce serait être bien sévère que de condamner cette

(1) Voir les deux articles de cet auteur dans *Zeitschrift für Hygiene*, 1891 et 1895.

(2) Voir les articles de ces auteurs dans *Annales de l'Institut Pasteur*, 1895.

(3) Blachstein : « Ueber das Verhalten des Chrysoïdins gegen Choléravibrionen », in *Münch. med. Wochenschrift*, 1896, nos 44 et 45.

(4) Engels : « Ueber die Verwendbarkeit des Chrysoïdins bei der Cholera-diagnose », in *Centralblatt für Bakteriologie*, 1897.

eau; mais si l'on trouve fréquemment un assez grand nombre de colonies de cette espèce, si en d'autres termes on peut dire que l'eau est *habituellement* infectée par elle, nul doute pour nous que cette eau soit à rejeter ou à purifier. Ce n'est pas que les colibacilles qu'on ingurgiterait avec cette eau causeraient sûrement des maladies (il leur faudrait pour cela un certain degré de virulence qu'ils sont loin heureusement d'avoir toujours); mais c'est que leur présence habituelle révèle par leur origine même une contamination par les matières fécales, et qu'on est dès lors à la merci d'une redoutable éventualité, savoir que le producteur des matières fécales contagionnant l'eau soit un typhique ou un cholérique, et que le colibacille n'amène un beau jour ses terribles congénères. L'origine fécale du colibacille n'est du reste guère contestée: notre ami le docteur Malvoz (de Liège), qui a à son actif plus de 5 000 analyses d'eau, vient encore de déclarer que « chaque fois qu'une plaque de culture lui a montré de *nombreuses* colonies de *bactérium coli*, il a toujours trouvé qu'il y avait une relation directe de l'eau avec un foyer fécal, fumier, purin, etc., etc. »

Il est du reste tout à fait inexact de dire qu'il n'y a que fort peu d'eaux ne contenant pas le colibacille. Dans les nombreuses sources de la région de l'Est que Macé et nous avons analysées, le colibacille était plutôt exceptionnel, et dans les cas où on le rencontrait, sa présence s'expliquait souvent par les contaminations de surface au voisinage du griffon ou de la chambre de captage (il est vrai que le colibacille était au contraire habituel dans les puits, mais on sait que les puits dans les villages lorrains sont le plus souvent voisins des fumiers). Malvoz a fait la même constatation de la rareté du colibacille dans les bonnes sources bien captées. Il est donc généralement possible de trouver de l'eau sans colibacille, et en tout cas on a toujours la ressource de filtrer l'eau dont on dispose, avant de la livrer à la consommation. Enfin, à ceux qui, malgré les raisons ci-dessus, persisteraient à déclarer qu'on peut impunément distribuer de l'eau à colibacilles, après leur avoir demandé comment ils s'assureraient à tout moment que les colibacilles ne sont pas accompagnés de bacilles typhiques ou de vibrions cholériques et ne deviennent pas eux-mêmes virulents (1), nous leur demanderions encore s'ils consommeraient vraiment eux-mêmes sans arrière pensée et sans

(1) L'étude de la virulence du colibacille est une opération très compliquée: le meilleur procédé à suivre dans ce but est encore celui de l'injection intrapéritonéale au cobaye, ainsi que le recommande Blachstein. (Voir son article « Contribution à l'étude microbique de l'eau », in *Annales de l'Institut Pasteur*, VIII 1893).

dégout une eau dans laquelle on aurait dilué devant eux quelques grammes de matières fécales, fut-ce d'un individu sain : or l'eau à colibacilles n'est pas autre chose.

Il est plus difficile d'attribuer une signification un peu précise aux autres espèces. Trouve-t-on beaucoup d'espèces liquéfiantes, on est assez d'accord pour les rapporter à la putréfaction animale et par suite regarder l'eau comme suspecte. Il en est de même d'après l'expérience de Macé, pour *Bacillus fluorescens liquefaciens*, *bacillus violaceus*, *proteus vulgaris*, *proteus mirabilis*, *bacterium termo*, *bacillus Zopfii* et *micrococcus prodigiosus*. Le *bacillus fluorescens putridus* ne se rencontre que dans les eaux souillées par du purin ou des fumiers ; le *bacille pyocyanique* et le *bacillus lactis aerogenes* indiquent généralement comme le colibacille une provenance intestinale et sont un très mauvais signe. Quelques espèces vivant dans les premières couches du sol indiquent, du moins par leur abondance, une eau très superficielle, une véritable eau de drainage : ce sont *bacillus mycoïdes*, les *cladotrix*, le *penicillium glaucum*. Les moisissures assez rares dans l'eau, seraient un indice de stagnation quelque part.

Que signifie maintenant le nombre des germes relevés dans une analyse ? Au début, on avait attribué aux résultats de l'analyse quantitative une importance considérable, et Miquel avait même dressé un tableau classant les eaux en bonnes, médiocres, mauvaises, etc., etc., d'après le nombre seul de leurs bactéries au centimètre cube ; puis on tomba dans l'excès contraire et certains auteurs dénièrent et dénie encore toute valeur à la numération. A notre avis, elle ne mérite « ni cet excès d'honneur, ni cette indignité » ; elle n'est qu'un élément sans doute, mais un élément utile d'appréciation, et elle nous paraît surtout intéressante en ce qu'elle donne une idée de la facilité plus ou moins grande suivant laquelle les germes de la surface et des premières couches du sol passent dans les eaux.

Ainsi, il est clair, si on a des eaux profondes qui, comme celles de Liège ou de Bruxelles, ne donnent dans de nombreuses analyses jamais plus d'une dizaine de germes, qu'on pourra affirmer que les terrains filtrants fonctionnent comme un filtre parfait ; si, au contraire on trouve constamment quelques milliers de germes dans les eaux d'une nappe peu profonde (comme par exemple celle du calcaire du lias en Lorraine), on sera non moins certain que la filtration reste très imparfaite et que l'eau peut être ou devenir dangereuse, si on ne prend pas à la surface des mesures de protection spéciales : rien ne dit en effet que parmi ces

nombreux germes saprophytes, il n'y en a pas quelques-uns de pathogènes qui ont passé inaperçus, ou qu'il n'y en aura pas à un moment donné. D'un autre côté, quand on *suit* une eau par des analyses fréquentes, un accroissement brusque du nombre habituel des germes ne sera-t-il pas le meilleur avertissement qu'il vient de se passer quelque chose d'anormal ? Bref, la numération reste un bon moyen d'étude et de contrôle des eaux. Quant à donner une limite précise pour le nombre des germes admissibles dans une eau de boisson, on ne le peut évidemment, et il faut apprécier chaque cas en particulier, en s'entourant de tous les renseignements géologiques, chimiques, bactériologiques et autres. Nous pouvons dire cependant qu'au-dessous de 100 germes (exclusivement saprophytes) par centimètre cube, une eau est très pure ; de 100 à 3 ou 400, elle est encore pure ; au delà, elle devient suspecte et au-dessus de 1 000 on peut la déclarer franchement mauvaise : il serait bien étonnant d'ailleurs que dans un ou plusieurs milliers de germes on ne trouve pas déjà du colibacille ou d'autres espèces révélant nettement une contamination dangereuse.

Ceci posé, y a-t-il pour une nappe ou une rivière une *teneur microbienne normale*, comme nous avons vu qu'il existait une composition chimique normale ? En premier lieu, si on considère une rivière en un de ses points et si l'on y fait un grand nombre d'analyses bactériologiques, on remarque bien vite qu'il y a une certaine constance dans le nombre et dans la nature des microbes, tant que les eaux sont à un niveau ordinaire : cette teneur microbienne habituelle à l'état moyen de la rivière peut être dite *normale* et dépend des conditions relativement fixes du bassin à l'amont ; la flore microbienne elle-même, qui varie avec les régions et les climats, est assez fixe en un même lieu (sauf les variations saisonnières), en sorte qu'une rivière en un point a aussi une flore assez caractéristique. Mais il n'en est plus de même en temps de crue : les averses abondantes qui précèdent une crue produisent un ruissellement superficiel intense, qui entraîne avec des particules terreuses les myriades de microbes déposés à la surface du sol ainsi balayée et lavée ; ces microbes arrivant dans la rivière y produisent une augmentation très considérable du nombre des germes, en sorte qu'il paraît démontré ⁽¹⁾ qu'à toute crue hydrométrique correspond une

(1) Voir notre article en collaboration avec M. Macé : « Recherches sur la teneur microbienne des eaux de la Moselle et de la Meurthe » in *Annales d'hygiène*, novembre 1899, ainsi que celui de G. Kabrehl : « Bakteriologische und kritische Studien über die Verunreinigung und Selbstreinigung der Flüsse », in *Archiv. für Hygiene*, 1897.

crue microbienne. La teneur et la flore cessent donc d'être normales pendant une certaine période durant et après les crues : c'est évidemment un moment critique pour les distributions d'eau qui s'alimentent aux rivières, et pour les installations de filtrage correspondantes. En dehors des à-coups dus aux crues, il est clair que toute augmentation brusque du nombre de germes et toute apparition en masse d'espèces nouvelles indiquent une projection ou un apport momentané d'eaux souillées, déjections, etc., etc., et doivent attirer l'attention.

En second lieu, la chose est plus compliquée pour les nappes souterraines. Au point de vue qui nous occupe, il faut en effet distinguer ces nappes en deux catégories : d'une part les nappes profondes et recouvertes par des terrains filtrant bien (comme les grès et les sables), lesquelles sont réellement *aseptiques* (rappelons encore l'exemple des nappes qui alimentent Liège et Bruxelles); d'autre part, les nappes trop peu profondes ou recouvertes de terrains impropres à une bonne filtration. Alors que la teneur microbienne normale des premières et des sources bien captées qui en sortent est zéro, les secondes au contraire, ainsi que leurs sources et puits, contiennent toujours forcément un certain nombre de germes, qui n'ont pu être arrêtés dans les pores du sol pendant la descente des eaux depuis la surface jusqu'à la nappe. En d'autres termes, il existe en chaque point de l'écorce du globe un niveau au-dessous duquel les microbes (généralement véhiculés par les eaux descendantes) ne peuvent descendre, et ce niveau très variable suivant les lieux dépend naturellement de la constitution des terrains, de la finesse de leurs pores, etc., etc. : si la nappe est au-dessous de ce *niveau de l'asepsie terrestre*, elle sera et restera évidemment privée de tous germes; si au contraire, elle est au-dessus, elle recevra avec l'eau qui l'alimente un apport de germes plus ou moins fort.

Les nappes trop peu profondes pour être aseptiques ont donc une certaine teneur microbienne, mais il est bien difficile de parler ici d'une teneur normale. L'apport des germes dépend en effet de deux facteurs qui varient constamment tous les deux : c'est d'une part l'intensité de la pollution microbienne à la surface et dans les premières couches du sol, laquelle se modifie sans cesse avec la température, l'humidité, les saisons, les causes de souillure extérieures, etc. ; c'est d'autre part l'intensité de la pénétration des germes dans la profondeur, laquelle dépend essentiellement de la force et de la rapidité de la pénétration de l'eau de pluie dans le sol, c'est-à-dire des phénomènes météorologiques.

Il se passe pour l'intérieur du sol quelque chose d'analogue à ce que nous avons vu pour la surface lors des crues des cours d'eau : lorsqu'une forte averse trouve les pores du sol béants, elle y entraîne facilement les germes de la surface, et on conçoit que cet apport brusque produise une crue microbienne dans l'eau de la nappe et dans les sources. On a du reste une preuve que le phénomène se passe bien ainsi : c'est le fait que lors des pluies un peu intenses les sources émanant de nappes peu profondes se troublent ; le trouble est produit par des particules argileuses tenues en suspension et entraînées avec l'eau, et les microbes ne sont autre chose, eux aussi, que des corpuscules en suspension (1). (Tout ce qu'on peut voir d'un peu constant dans la flore bactérienne de ces nappes, c'est une sorte de caractère régional résultant sans doute des conditions géologiques et climatiques du pays : la flore des eaux participe naturellement de celle du sol, et celle-ci, de même que la flore végétale proprement dite, semble varier avec l'altitude et la latitude. Mais il faut reconnaître que cette flore microbienne du sol et des eaux est fort peu connue jusqu'ici et que sa répartition géographique l'est encore moins).

Une nouvelle question se pose : puisque la teneur de certaines nappes et sources varie fréquemment et notamment à la suite des pluies que peut bien indiquer le nombre trouvé dans une seule analyse, si on ne sait pas à quel moment et dans quelles conditions météorologiques l'eau a été prélevée ? On ne sait en effet si l'on a une moyenne, un maximum ou un minimum du nombre des germes que peut contenir l'eau, et on n'a aucune idée des variations, parfois énormes, que peut subir ce nombre. « Aussi, écrivions-nous dès 1897, faut-il pour bien connaître
« l'eau d'une nappe ou d'une source au point de vue microbien, la
« suivre pendant longtemps, c'est-à-dire en faire de nombreuses ana-
« lyses bactériologiques, dans les différentes saisons et dans toutes les
« conditions météorologiques possibles : il en est ici comme pour le
« débit, lequel ne peut être sérieusement connu qu'à la suite d'une
« série de jaugeages portant sur une et même plusieurs années. C'est pour-
« quoi nous croyons devoir donner une si haute importance dans l'appré-
« ciation d'une analyse bactériologique à la connaissance de l'état de
« l'atmosphère, de l'état de saturation du sol, etc., pendant une ou
« deux semaines au moins avant le jour du prélèvement. Nous pro-

(1) De nombreuses observations, ainsi qu'une vieille croyance populaire, font croire aussi que les épidémies — c'est-à-dire, pour les maladies d'origine hydrique, les passages des bactéries pathogènes dans l'eau de boisson — sont liés aux grandes pluies.

« posons donc de demander que ces indications soient toujours jointes
« à l'envoi de l'échantillon. »

Ce ne sera que lorsqu'on aura ainsi étudié pendant longtemps les eaux d'une même nappe qu'on pourra, grâce aux analyses successives des sources choisies et au nombre de ces sources, formuler des conclusions sur la *valeur hygiénique* des eaux de cette nappe (ou, ce qui revient au même, sur la *valeur filtrante* des terrains qui la surmontent). En portant ses recherches sur les nappes d'une même région comme nous l'avons fait pour celles de Meurthe-et-Moselle, on arrivera à les classer sous ce rapport : ainsi en étudiant plus de 600 analyses bactériologiques, nous sommes arrivés pour l'Est de la France aux conclusions suivantes :

I. — Les grès filtrent parfaitement, même sous de faibles épaisseurs, et donnent des eaux très pures : tels sont le grès vosgien, le grès infraliasique, le grès de Luxembourg et même le grès médioliasique.

II. — Les calcaires fissurés ne donnent des nappes pures que si leur épaisseur est considérable et atteint une cinquantaine de mètres; encore faut-il faire des réserves pour les sources vauclusiennes provenant le plus souvent de rivières souterraines. Ainsi les nappes profondes sont seules bien sûres : telles sont chez nous les grandes nappes méciococonchylienne, bajocienne et infracorallienne. Il faut y ajouter les eaux qui s'infiltrèrent profondément dans les marnes, telles que les nappes du gypse et la nappe dolomitique (quand la dolomie est recouverte par le keuper supérieur).

III. — Les calcaires minces et fissurés ne donnent que des eaux douteuses dont le nombre des germes, comme le débit d'ailleurs, augmente rapidement après des pluies intenses, et qu'il est absolument nécessaire de protéger efficacement. Tels sont les zones supérieures du muschelkalk, la dolomie-moellon (quand elle couronne les plateaux), le calcaire du lias, les calcaires bathoniens et principalement les couches si minces du calcaire ocreux, du calcaire callovien et de la base de l'astartien.

IV. — Les alluvions anciennes ou modernes ne donnent de l'eau pure et indépendante des souillures de la surface que si le gravier est d'un grain assez fin et si la couche est assez épaisse; il ne semble pas qu'on ait de sécurité à moins de 6 m de profondeur. Si l'on doit recourir à des drainages moins profonds, il faudra donc aussi assurer la protection du périmètre.

V. — Les eaux sont toujours très exposées aux contaminations dans leur trajet sous les éboulis, c'est-à-dire entre la source géologique et la source réelle. Ce trajet a donc besoin de la plus sérieuse protection; mieux vaut éviter ce passage dangereux en remontant les captations jusqu'aux sources géologiques et aux terrains en place.

VI. — Les sources qui naissent dans l'intérieur des villages ou des villes, et qui ont des habitations (avec leurs dépendances habituelles) sur leur périmètre alimentaire, sont généralement contaminées; elles doivent être rejetées de l'alimentation, à moins qu'on ne puisse les capter à nouveau à l'amont du centre habité et les y ramener par une conduite étanche.

Par une étude de ce genre, on aura, comme dit Malvoz⁽¹⁾, « une vue d'ensemble sur la valeur hygiénique des eaux d'une région, et cette vue

(1) Malvoz : « Microbes des eaux de la province de Liège » *Technologie sanitaire* 1^{er} novembre 1898.

« d'ensemble sera de la plus grande utilité pour l'office central qui
 « doit exercer une vigilance de tous les instants sur les diverses collec-
 « tions aquifères. De même que des observatoires ont été établis de tous
 « côtés pour dresser la carte du ciel, de même que des stations météoro-
 « logiques s'édifient pour l'étude de l'atmosphère, ainsi il est dési-
 « rable que l'étude générale des eaux au point de vue hygiénique soit
 « entreprise dans tous les pays, grâce à la création de laboratoires ré-
 « gionaux, travaillant d'après les mêmes vues scientifiques et d'après
 « des méthodes adoptées d'un commun accord ».

La nécessité de *savoir* une eau pour la bien connaître devient du reste un devoir impérieux pour les eaux déjà mises en service, surtout pour celles qui ne présenteraient pas toute sécurité. De même que le directeur d'un établissement de filtrage doit constamment analyser le produit de ses filtres et être prêt à rejeter celui qui devient mauvais, de même le directeur d'un service de distribution d'eau doit faire analyser très fréquemment les eaux des diverses provenances qu'il distribue et être prêt à supprimer de l'alimentation celles qui deviennent mauvaises ou simplement suspectes. Plus l'intervalle des analyses successives sera court, moins on aura de chances de laisser passer une contamination tant soit peu durable et par suite de laisser naître une épidémie : la répétition des analyses au moins toutes les semaines nous paraît s'imposer. (A Nancy, où on analysait tous les quinze jours les eaux de toutes les provenances, une contamination d'une de nos eaux a pu se produire entre le 13 septembre 1899 où l'eau était pure et le 2 octobre où elle était trouvée infectée, et causer un commencement d'épidémie typhique, cantonnée dans le réseau de distribution de cette eau : durant le mois d'octobre, il se produisit environ 160 cas dans ce réseau ; mais l'épidémie fut littéralement jugulée par la fermeture des robinets de l'eau coupable, fermeture qui eut lieu le 6 octobre, dès que M. Macé nous fit savoir le résultat de l'analyse du 2, annonce qui concordait d'ailleurs avec le signalement des premiers cas au Bureau d'hygiène. Nul doute que si nous avions analysé toutes les semaines, nous eussions évité une partie des cas en fermant les robinets huit jours plus tôt ; mais nul doute aussi que nous avons, grâce aux analyses bactériologiques, pu limiter à un mois la durée d'une épidémie qui aurait été sans doute beaucoup plus grande).

Nous concluons avec notre ami Kemna ⁽¹⁾ « que les eaux de distri-
 « bution doivent être l'objet d'une surveillance constante, tant chimi-

(1) Kemna « Les eaux potables » *Belgique médicale* 1899.

« que que bactériologique. Cette surveillance doit être sérieuse, exercée
« par des personnes compétentes et pénétrées du sentiment de leur
« responsabilité : elles tiennent entre leurs mains des milliers de vies
« humaines. Mais il ne faut pas demander à la chimie et à la bactério-
« riologie plus qu'elles ne peuvent donner ; leurs procédés de recher-
« ches sont encore bien insuffisants et le meilleur réactif de la qualité
« d'une eau, c'est encore la santé de la population qui la consomme.
« C'est ici que doivent intervenir les bureaux d'hygiène, centralisant
« les renseignements fournis par les médecins traitants : à ces derniers
« incombe le devoir de signaler les cas de maladies épidémiques. »

III. — RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ORIGINE ET LE TRAJET DES EAUX SOUTERRAINES.

Il est parfois très utile de compléter les renseignements fournis par les analyses en recherchant par la voie de l'expérimentation directe quels peuvent être l'origine et le trajet souterrains de certaines eaux : on reconnaît ainsi la provenance des infiltrations, et le soupçon — si l'expérience réussit — devient certitude.

La méthode est très simple et repose sur l'emploi de corps dissous ou de particules très fines tenues en suspension, que l'on mêle à l'eau avant son entrée à l'orifice présumé d'amont et que l'on cherche à retrouver à l'orifice d'aval. Sans parler des corps aussi grossiers que le son ou la balle d'avoine (lesquels ne peuvent réussir que si les passages souterrains sont très larges), on a employé pour ces expériences :

1° Les corps dissous, reconnaissables par la chimie. C'est principalement le sel marin, si facile à déceler grâce à sa réaction caractéristique avec le nitrate d'argent, qu'on utilise. Nous nous sommes assuré nous-même que 1 centigramme de NaCl était encore reconnaissable dans un litre d'eau distillée, ce qui fait une proportion de $\frac{1}{100\,000}$: toutefois, on est près de la limite. Du reste, il est clair qu'il faut s'assurer avant tout que l'eau de la source ne réagit pas naturellement avec le nitrate d'argent ; au cas où elle contiendrait déjà des chlorures (chose fréquente comme nous l'avons vu lors de contaminations organiques), il faudrait procéder par dosages chlorurométriques et le procédé deviendrait bien aléatoire.

C'est avec le sel que Haegler (voir son article dans « Deutsches Archiv für klinische Medizin » 1893) a démontré la communication des

fontaines de Lausen avec le ruisseau, le Furlerbach, et avec les eaux d'irrigation de la prairie voisine.

2° Les corps odorants. Nous n'avons trouvé que le saprol qui ait été employé dans ce but. D'après Nordlinger (méthode simple pour la recherche des contaminations de l'eau de boisson par les matières fécales dans « Pharmaceutisches Centralblatt » du 22 février 1894), une dilution de saprol à $\frac{1}{1000000}$ est encore reconnaissable.

On a également proposé le pétrole ou d'autres carbures liquides odorants.

3° Les substances colorantes. Nous devons renvoyer pour ce sujet à un article de M. Trillat : « Essai sur l'emploi des matières colorantes pour les recherches des eaux d'infiltration », paru dans les *Annales de l'Institut Pasteur* 1899.

L'auteur a étudié, comparativement à la teneur des eaux en sels et à la nature des terrains traversés, les propriétés colorantes des substances suivantes : auramine, safranine, rouge congo, fuchsine neutre, éosine, vert malachite, violet de Paris, bleu de méthylène et fluorescéine (couleurs basiques), fuchsine sulfurée (couleur acide) (1). Dans l'eau distillée, les solutions de tous ces corps à $\frac{1}{1000000}$ sont encore appréciables ; à $\frac{1}{5000000}$, l'éosine, l'auramine et la fuchsine acide deviennent invisibles, et les autres sauf la fluorescéine sont difficilement discernables. Enfin, la fluorescéine elle-même resterait encore reconnaissable jusqu'à une dilution de $\frac{1}{2000000000}$, si l'on se sert d'un petit appareil d'examen dénommé le *fluorescope*. Il se compose simplement de deux tubes en verre de 1^m,20 de longueur et 0^m,02 de diamètre, placés verticalement côte à côte, et fermés en bas par des bouchons dont la face interne a été passée au vernis noir, ou encore recouverte d'un disque de papier noirci : dans un de ces tubes, on verse jusqu'en haut l'eau à étudier et dans l'autre de l'eau naturelle pour servir de comparaison, puis on regarde de haut en bas suivant l'axe des tubes ; l'eau naturelle a une couleur bleu sombre, tandis que celle qui est influencée par la fluorescéine prend une teinte vert clair (que le fond noir fait bien reconnaître). Ajoutons que la fluorescence ne s'observe pas bien dans une eau trouble ou contenant des corpuscules en sus-

(1) On peut également employer avec assez d'avantage l'uranine et la mété-léosine.

pension et que dans ce cas, il convient de la filtrer avant d'en remplir le tube.

M. Trillat a montré que les sels calcaires (dans une eau marquant par exemple 40° hydrotimétriques), les terrains calcaires, la tourbe, le sol arable et l'humus, le fumier de ferme (en raison de sa teneur en ammoniacque et sels ammoniacaux) décolorent la plupart des substances citées : sauf pour la tourbe, la fluorescence reste toutefois visible après clarification du liquide ; de même la coloration de la fuchsine acide est régénérée même avec la tourbe par addition d'acide acétique. Voici d'ailleurs comment l'auteur résume les conclusions de ses expériences : on y voit aussi les doses et le mode d'emploi de la fluorescéine qui en définitive est le colorant de choix.

(a) Les matières colorantes, autres que les couleurs sulfoconjuguées telles que la fuchsine acide et la fluorescéine, sont à rejeter.

(b) Avant l'addition de la matière colorante, il sera nécessaire de déterminer la nature du terrain : j'ai démontré plus haut qu'elle avait une grande influence sur l'intensité de la coloration qui peut même devenir nulle dans certains cas.

(c) Il est impossible de donner une indication précise sur la quantité de fluorescéine ou de fuchsine acide à employer : elle est subordonnée à l'importance des cours d'eau, à la composition des terrains, des nappes souterraines, à la distance à franchir, etc. La dose de 100 grammes de fluorescéine peut déjà donner des résultats dans beaucoup de cas, comme dans l'exemple que j'ai relaté ; la dose de 1 kg. est énorme, car elle peut être, par l'emploi du fluorescope, décelée dans la dilution d'environ deux millions de mètres cubes.

(d) La fluorescéine sera dissoute dans de l'alcool additionné d'environ 5 0/0 d'ammoniaque.

(e) Les eaux de vidanges, le passage à travers des fosses ou du fumier, atténue la fluorescence : la fuchsine acide est momentanément décolorée, mais sa couleur réapparaît par addition d'acide acétique. Il s'ensuit que son usage peut être utilisé dans ces cas, même conjointement avec celui de la fluorescéine ».

Comme expériences tentées avec les colorants, nous citerons :

Celle de Kop qui, en 1877, prouva la relation qui existait entre le Haut Danube (entre Mœhringen et Immendingen) et les sources de l'Aach : 10 kg. de fluorescéine jetés dans le Danube firent apparaître 60 heures après une fluorescence dans l'Aach, laquelle dura 36 heures.

Celle de Paccard qui réussit en 1893, avec la fluorescéine, à démon-

trer la communication entre les entonnoirs de Boussort et les sources de l'Orbe : l'année précédente, MM. Forel et Goliez avaient échoué dans la même tentative en se servant de 1 kg. de violet d'aniline dissous dans l'eau acidifiée par l'acide acétique.

Celle de Dionis à Auxerre (épidémie de fièvre typhoïde de 1882-83) : Dionis versa une solution alcoolique d'aniline sur un fumier qui avait reçu les déjections d'une typhique, et vingt minutes après l'eau d'une petite source, contiguë à la grande source de Vallan qui alimentait Auxerre, devint rouge.

Celle de M. Feray, qui dès 1887, étudiait la région de l'Avre à l'aide de la fluorescéine.

Celle de MM. Jeannot et Thoinot, à Besançon (23 avril 1894) : on jette 4 kg. de fluorescéine dans le ruisseau de Nancray en amont des gouffres, et 93 heures après l'eau de la zone d'Arcier à Besançon apparaît colorée en vert et la coloration persiste six jours entiers.

Celle de M. Martel (27 septembre 1897), sur la contamination de la source de la Sauve (Gard) : 250 grammes de fluorescéine sont jetés dans un puits et la couleur verte apparaît 1 heure 1/2 après dans une source voisine ; or le puits recevait du purin qui passait de même dans la source.

Celle de M. Trillat, qui montra la communication d'une galerie captante le long de la Seine avec l'eau de la nappe souterraine venant du coteau, etc.

4° Les corpuscules très fins tenus en suspension. On pourrait songer à l'amidon cuit dont on recherchait la présence dans l'eau au moyen de l'iode. De même certaines levures, comme le *saccharomyces cerevisiæ* (levure de bière), le *saccharomyces mycoderma* (fleur de vin), qu'on reconnaît soit au microscope, soit par des cultures. (Tout récemment MM. Miquel et Cambier viennent d'expérimenter dans la région de l'Avre avec le *saccharomyces cerevisiæ*.) Enfin, le plus simple paraît encore d'utiliser les propriétés de certains microbes, faciles à reconnaître, à condition bien entendu qu'on se soit assuré qu'ils ne préexistent ni dans l'eau, ni dans le sol. Ainsi, Fränkel et Piefke (1) se sont servis du *bacillus violaceus* qui donne une belle couleur bleue, Kabrehl (2) d'un bacille chromogène rouge pour faire des expériences sur le passage des bactéries dans le sable : on pourrait également se servir des *bacillus pyocyaneus*, du *micrococcus prodi-*

(1) Versuche über die Leistungen der Sandfiltration, in Zeitschrift für Hygiene (1890).

(2) Experimentelle studien über Sandfiltration, Archiv für Hygiene (1895).

giosus (1) etc. Enfin, comme nous le savons déjà, la reconnaissance du colibacille n'est autre chose qu'une constatation du même genre, puisqu'elle prouve l'entraînement dans l'eau de matières fécales.

Une dernière méthode, qu'on pourrait appeler *hydraulique*, peut encore permettre dans certains cas de démontrer la relation entre une source et un cours d'eau qui se perd à l'amont. Elle consiste à supprimer ou à modifier momentanément le débit du cours d'eau supposé générateur et à étudier les variations parallèles du débit de la source, si elles se produisent. Le professeur Brink a appliqué ce procédé (en y ajoutant toutefois l'emploi du sel) aux cours d'eau du Karst et de l'Istrie, le Ponor et la Pollaccia.

Enfin, grâce aux méthodes précitées et notamment à l'emploi de la fluorescéine, on peut aller plus loin que la recherche d'une simple communication entre un point d'entrée et un point de sortie de l'eau, et on peut se faire une certaine idée de sa direction et de sa vitesse souterraines. Voici comment l'explique M. Janet dans sa conférence déjà citée du 16 juin 1900 à la Société géologique de France :

« On peut se servir de la fluorescéine pour étudier la marche des eaux dans une nappe souterraine. Il suffit d'observer un grand nombre de puits et de sources s'alimentant à cette nappe, dans la région du bétoire où l'on introduit la fluorescéine, et de noter, d'une manière précise, l'apparition de la coloration aux divers points d'observation considérés. Le lieu géométrique des divers points où la matière colorante arrive dans le même laps de temps est une courbe pour laquelle je propose le nom de *courbe isochronochromatique*. En construisant sur une carte ces courbes pour une durée de 10 heures, 20 heures, 30 heures, etc., on arrive à donner immédiatement idée de la manière dont l'eau absorbée par un bétoire se répartit dans une nappe souterraine. Les courbes éloignées les unes des autres indiquent une circulation rapide, les courbes rapprochées une circulation lente. Des expériences de cette nature ont été faites tout récemment, dans la région des sources de l'Avre, par MM. Albert Lévy, chef du service chimique de la Préfecture de la Seine et Marboutin, Chef-adjoint. » (Une figure facile à se représenter montre le résultat d'une de ces expériences pour une nappe circulant dans la craie turonienne.)

Dans les régions calcaires, toujours d'après M. Janet, l'étude des de-

(1) Ce dernier a été employé par M. le Dr Abba en 1896, pour l'étude du passage des bactéries dans les galeries filtrantes de Turin, le long de la Sangone. Voir *Relazione del servizio batteriologico del Ufficio d'igiene di Torino 1896*.

grès hydrotimétriques des différentes sources et des puits (à condition qu'ils ne soient pas contaminés) donne également une indication sur la circulation des eaux souterraines. L'eau ne se charge de calcaire que quand elle est en contact prolongé avec la roche : aussi, conçoit-on que dans les parties de la nappe où la circulation est rapide le degré de dureté reste faible, tandis qu'il soit plus fort là où il y a stagnation ou rétention. Ainsi dans la nappe de la craie turonienne alimentant les sources de l'Avre, le degré hydrotimétrique varie de 7° à 30°, et celui des sources varie entre ces deux extrêmes. Si l'on peut réunir un assez grand nombre d'observations, il est intéressant de réunir entre eux les points d'eau où la dureté est la même ; on a ainsi des courbes que M. Janet appelle *isogradhydrotimétriques*, et leur allure fournit des indications sur les zones de circulation lente ou rapide des eaux souterraines.

IV. — MALADIES D'ORIGINE HYDRIQUE : SERVICE DÉMOGRAPHIQUE ET ÉPIDÉMIOLOGIQUE POUR CES MALADIES.

Toute ville bien administrée doit se rendre compte de ce qui se passe dans son sein au point de vue hygiénique, et elle ne peut le faire que par l'organisation et le bon fonctionnement d'un service de statistique sanitaire, d'un *bureau d'hygiène*.

En ce qui regarde les maladies d'origine hydrique, comme du reste toutes les maladies contagieuses, le bureau d'hygiène doit centraliser les déclarations des cas morbides et des décès, déclarations que les médecins traitants sont tenus de faire aux termes de lois édictées dans la plupart des pays civilisés. Or, le directeur d'une distribution d'eau doit se tenir en relation permanente avec le bureau d'hygiène de sa ville : il doit être renseigné jour par jour sur les cas de fièvre typhoïde, choléra, dysenterie (1) qui se produisent, et les reportant à leur adresse sur une

(1) Nous ne considérons ici que ces trois maladies, non pas qu'elles soient toujours engendrées par l'eau de boisson, ni que ce soit les seules que puisse produire cette eau, mais parce qu'il n'y a guère qu'elles parmi les maladies d'origine hydrique qui aient franchement le caractère épidémique. Encore l'origine hydrique de la dysenterie — qu'elle soit amibienne, colibacillaire ou causée par une association de microbes divers, — n'est-il pas nettement établi, les agents qui la produisent étant plutôt liés aux premières couches du sol et pouvant, soit passer dans les eaux trop peu profondes, soit être véhiculés par les poussières. Quant aux diarrhées simples, au catarrhe gastro-intestinal, à l'ictère infectieux (maladie de Weil), ces maladies peuvent bien provenir de l'ingurgitation d'eaux putréfiées, contenant certains germes à virulence momentanément accrue, mais les cas en restent généralement isolés. Il en est de même des maladies parasitaires provenant d'œufs ou de larves apportés par l'eau :

carte, suivre ainsi constamment la répartition des épidémies ou de l'endémie dans les divers quartiers. D'autre part, il a toujours sous les yeux la carte de distribution de ses différentes eaux, et de la comparaison de cette carte avec celle des cas morbides, il tire des conclusions de la plus grande utilité pour contrôler les résultats des analyses. Qu'une épidémie commence à se dessiner, aussitôt il connaît le mal, soupçonne d'où il vient et devine par suite où il faut porter le remède : or il est clair que la rapidité et la sûreté d'action à ce moment peuvent sauver de nombreuses vies humaines. Bref, un service de distribution d'eau ne peut se désintéresser de la manière dont le milieu humain réagit avec le produit qu'il livre à la consommation : on ne comprendrait la chose en tout cas que pour une ville assez heureuse pour n'avoir que de l'eau impeccable, ou suivant notre expression de l'eau *immaculée et immaculable*; mais quel est le Directeur assez confiant pour pouvoir garantir cette impeccabilité ?

Pour être vraiment utiles, les informations d'un bureau d'Hygiène doivent être exactes, complètes et rapides. Ces conditions dépendent de la science et de la bonne volonté du corps médical : il faut en premier lieu un diagnostic sûr et précoce, en second lieu l'habitude de faire la déclaration de chaque cas aussitôt après son diagnostic. Mais une première difficulté s'élève : c'est la durée de l'incubation des maladies qui, notamment pour la fièvre typhoïde où cette durée est de deux à trois semaines, ne permet pas de reconnaître l'infection aussitôt après la dissémination des germes morbides (pour le choléra, l'incubation n'est que de deux à trois jours, et pour la dysenterie de trois à huit). Puis, les premiers symptômes déclarés, reste la difficulté de diagnostiquer le mal : or, assez facile pour le choléra et la dysenterie, le diagnostic est parfois

le lecteur que ces maladies intéresseraient en trouvera la classification dans le rapport du Dr Blanchard au Congrès d'Hygiène de Paris 1900, intitulé : « Du rôle des eaux et des légumes dans l'étiologie de l'helminthiase intestinale, » ainsi que dans les articles du même auteur « Les animaux parasites introduits par l'eau dans l'organisme » in *Revue d'Hygiène* 1890.

La malaria et le goitre (avec son triste compagnon le crétinisme) sont des endémies : la malaria est comme on sait principalement liée à la stagnation des eaux de surface, lesquelles attirent sans doute les moustiques porteurs de l'hématozoaire ; le goitre est plutôt lié au sol même, mais il se pourrait que l'agent goitrigène soit véhiculé parfois avec les eaux de ruissellement par des parcelles terreuses troublant l'eau de boisson mal captée.

Le rôle de l'eau dans l'étiologie du typhus exanthématique, de la peste et de la fièvre jaune est trop mal connu pour que l'on puisse en parler ; cependant il est probable que le parasite du typhus des armées (encore peu connu), le bacille d'Yersin et le bacille de Sanarelli peuvent vivre dans l'eau (notamment pour la fièvre jaune dans l'eau des fleuves au voisinage des embouchures).

très difficile pour la fièvre typhoïde, et on n'oubliera pas que certains cas (typhus ambulatoire) passent même complètement inaperçus. Pour ces raisons, on ne peut donc compter absolument sur la déclaration de tous les cas (encore moins pourrait-on compter réaliser la désinfection des selles de tous les typhiques, cholériques etc., d'une région et éviter de la sorte la dissémination des germes), quand bien même tous les médecins feraient scrupuleusement les déclarations voulues. Malheureusement, nous devons déplorer, en France du moins, que bien des praticiens omettent encore de faire la déclaration, rendue cependant obligatoire dans notre pays par la loi du 30 novembre 1892. Cette négligence, si elle persistait, rendrait vraiment bien difficile le contrôle de la qualité de l'eau qui devrait résulter de la statistique sanitaire : aussi nous semblerait-il opportun de rappeler aux médecins traitants que la déclaration des maladies contagieuses est non seulement pour eux un devoir légal, mais encore un devoir de conscience, et que son accomplissement peut permettre de sauvegarder leurs concitoyens de la contagion et de ses conséquences.

En France, l'article 45 de la loi du 30 novembre 1892 sur l'exercice de la médecine est ainsi conçu : « Tout docteur, officier de santé ou sage-femme est tenu de faire à l'autorité publique, son diagnostic établi, la déclaration des cas de maladies épidémiques tombés sous son observation et visés dans le paragraphe suivant.

« La liste des maladies épidémiques dont la divulgation n'engage pas le secret professionnel sera dressée par arrêté du Ministre de l'Intérieur, après avis de l'Académie de Médecine et du Comité Consultatif d'hygiène publique de France. Le même arrêté fixera le mode de déclaration desdites maladies. »

L'arrêté dont il est question ci-dessus est intervenu à la date du 23 novembre 1893, et la liste des maladies devant faire l'objet de la déclaration porte sous le n° 1 la fièvre typhoïde, sous le n° 7 le choléra et maladies cholériformes, puis sous les n° 8, 9 et 10 respectivement la peste, la fièvre jaune et la dysenterie. Chaque médecin a reçu un carnet à souche, et un cas étant reconnu, il n'a qu'à adresser en franchise au maire et au sous-préfet une feuille facile à détacher et portant tous les renseignements utiles.

La plupart des autres pays n'ont pas attendu si tard que la France pour rendre obligatoire la déclaration des maladies contagieuses. Ainsi, en Belgique un décret royal du 31 mars 1818 ordonne à tous les médecins de faire cette déclaration soit au bourgmestre, soit au bureau d'hygiène. Pour Bruxelles l'autorité communale promulgua le 18 novembre 1824 une ordonnance encore plus rigoureuse.

L'Angleterre jouit d'un code sanitaire complet. Dans chaque district, le *Medical officer of health* et le *Sanitary Inspector* sont chargés, entre autres choses, de rechercher les cas de maladies contagieuses. Des ordres du *Local Government Board* du 12 février et du 14 juin 1879 obligent tous les médecins de l'Assistance publique et des écoles à signaler aussitôt tout cas remarqué par eux, et à faire des rapports réguliers bi-mensuels sur les cas de maladie et de décès constatés parmi les pauvres. Enfin, en dehors des lois générales, d'innombrables *Local Acts* édictés par les autorités municipales ordonnent à tous médecins d'une ville de faire la déclaration en question. On peut citer

comme modèle du genre l'*Edinburgh Municipal and Police Act* de 1879, qui punit d'une amende de 50 francs tout praticien ayant omis de déclarer une maladie contagieuse, mais alloue aux médecins une somme de 3 francs pour toute notification dont le diagnostic est juste ; on comprend avec cela que les médecins d'Edinburgh n'hésitent pas à faire les déclarations !

En Suisse, la loi fédérale du 2 juillet 1886 n'oblige qu'à la déclaration des cas de choléra ; mais tous les cantons (sauf un ou deux) ont édicté des lois cantonales exigeant la déclaration pour les cas de fièvre typhoïde : les cantons de Berne, Vaud et Genève l'exigent également pour la dysenterie épidémique. La déclaration doit être faite par le médecin traitant, le chef de famille ou le propriétaire de l'immeuble.

En Allemagne, une loi d'Empire du 30 juin 1900 oblige, sous peine d'une amende de 10 à 150 marks et même de prison, non seulement le médecin traitant, mais encore le chef de famille, le patron, le propriétaire ou toute autre personne soignant ou approchant le malade de déclarer dans les 24 heures tout cas de maladie ou de décès causé par la lèpre, choléra asiatique, typhus exanthématique, fièvre jaune, peste et variole. On voit que la fièvre typhoïde ne figure pas dans le nombre, mais la loi laisse subsister toutes prescriptions plus étendues des règlements déjà en vigueur dans les Etats fédérés : or (loi, du 21 mars 1850, du 2^e septembre 1867, etc.) la déclaration était et reste obligatoire pour cette maladie et quelques autres (rougeole, diphtérie, scarlatines fièvre puerpérale). Dans chaque district, le *Kreisphysicus* est chargé de rappeler à qui de droit cette obligation ; dans les villes de plus de 5000 habitants, il existe également une Commission d'hygiène publique s'occupant activement de cette surveillance. En outre, les circulaires du 15 janvier et 23 mai 1881 demandent aux médecins de fournir des données statistiques hebdomadaires sur les maladies infectieuses, et chaque semaine le *Medizinalrath* doit adresser la liste des cas et décès constatés dans la province au K. Gesundheitsamt, à Berlin.

En Italie (loi du 22 décembre 1888), en Hollande (loi du 4 décembre 1872), en Suède, en Autriche et aux Etats-Unis la déclaration est également obligatoire.

Quant aux décès, ils sont soigneusement notés, avec leurs causes, dans tous les pays civilisés depuis pas mal de temps. Mais si le décès arrive encore assez vite dans le choléra pour servir d'avertissement, il faut reconnaître que dans la fièvre typhoïde il est beaucoup trop éloigné du début de la maladie pour que son annonce permette souvent de prendre des mesures préventives encore efficaces.

Dans les pays à armées permanentes, il y a une partie de la population qu'il convient de surveiller plus spécialement en ce qui regarde les maladies d'origine hydrique, notamment la fièvre typhoïde et la dysenterie : c'est l'armée, et cela tient à ce que le mal trouve en elle un milieu jeune, surmené et non acclimaté, le tout compliqué encore par les conséquences de la nostalgie, de l'encombrement etc. Aussi peut-on dire que dans une ville la garnison est le véritable réactif indicateur de l'état sanitaire au point de vue qui nous intéresse : le service des eaux ne devra donc pas négliger les renseignements qui lui viendront des médecins militaires.

(C'est ici le cas de rendre hommage aux efforts persévérants faits dans

les dernières années par le Ministère de la Guerre français pour procurer aux troupes de bonne eau de boisson : aussi la mortalité typhique qui vers 1884 était de 3,37 pour 1000 hommes est-elle descendue à 2,15 en 1888, à 1,61 en 1894 et encore au-dessous depuis lors. Il ne faut pas oublier toutefois que cette mortalité dans l'armée allemande est depuis longtemps au-dessous de 1).

Mais, nous objectera-t-on, tous les cas de fièvre typhoïde, choléra, dysenterie ne viennent pas de l'eau distribuée en ville : les uns ont été contractés au dehors ; les autres reconnaissent pour cause la contagion directe, par les linges, les vêtements, peut-être l'air lui-même ; d'autres enfin sont groupés autour d'un puits et constituent une petite *épidémie de maison*, sans rapport avec la distribution d'eau. Comment dès lors reconnaître la culpabilité d'une eau de service en cas de commencement d'épidémie ?

Deux caractères principaux permettent de soupçonner et souvent même d'affirmer — surtout s'ils concordent avec les résultats des analyses — cette culpabilité. C'est d'une part le caractère d'épidémie *massive* (1), qui se révèle dès le début brusque — véritable explosion — d'une épidémie d'origine hydrique : le germe morbide porté en même temps dans toutes les parties du réseau éclôt à peu près simultanément chez tous les individus qui étaient en état de réceptivité au moment où ils l'ont ingurgité avec l'eau ; de même la fin de l'épidémie arrive tout d'un coup dès que la distribution d'eau contaminée cesse. D'autre part, le second caractère n'est autre que la concordance entre la carte des cas morbides et le réseau où l'eau soupçonnée est en service : il arrive même, comme pour Sens et Paris (réseau de la Vanne), que deux villes distinctes, mais alimentées par la même eau, sont atteintes en même temps. Bref, lorsque cette double concordance en temps et en lieu est constatée, on ne peut guère nier la relation de cause à effet entre la contamination d'une eau et l'épidémie dessinée dans son réseau.

En dehors de leur intérêt local, les renseignements fournis par les statistiques sanitaires permettent encore au pouvoir central qui les réunit d'apprécier la situation hygiénique de telle ou telle ville, de telle ou telle région, et de savoir dès lors sur quelles parties du pays doivent porter plus spécialement tous les efforts. C'est ainsi qu'on peut vraiment juger de la qualité des eaux d'une ville et du degré de perfection

(1) Voir des exemples typiques dans le beau livre de MM. Brouardel et Thoinot : « La fièvre typhoïde. » 1895.

de son assainissement par le taux de la morbidité et de la mortalité typhiques, et même par celui de la mortalité générale qu'on y relève. D'après les auteurs allemands, une ville ne devrait pas avoir une mortalité par fièvre typhoïde de plus de 0,25 par an et par mille habitants, sans quoi on pourrait affirmer que l'eau de boisson est coupable (il resterait toutefois à distinguer entre l'eau des puits particuliers et celle de la distribution publique) : de même, les hygiénistes sont d'accord pour déclarer qu'une mortalité générale de plus de 22 par mille habitants est excessive et indique la nécessité de faire des travaux d'assainissement. Enfin, on peut juger des efforts qu'a faits une ville au point de vue hygiénique rien qu'à la diminution de la morbidité et de la mortalité qu'elle a obtenue : on pourrait presque deviner d'après cela la date à laquelle la ville a fait une adduction d'eau pure ou établi une bonne installation de filtrage.

Tableau de la mortalité par fièvre typhoïde, rapportée à 1.000 habitants dans les principales villes de France.

NOMS DES VILLES	NOMBRE D'HABITANTS recensement de 1896	MORTALITÉ TYPHIQUE		NOMS DES VILLES	NOMBRE D'HABITANTS recensement de 1896	MORTALITÉ TYPHIQUE		
		de 1886 à 1889 inclus	de 1890 à 1898 inclus			de 1886 à 1889 inclus	de 1890 à 1898 inclus	
Banlieue de Paris	Paris	2.536.834	0,452	0,200	Marseille	442.239	1,042	0,673
	Boulogne-sur-Seine	37.418	0,560	0,430	Toulon	95.276	1,062	1,092
	Neuilly	32.730	0,500	0,259	Nice	93.760	0,837	0,518
	Levallois-Perrot	47.315	0,675	0,377	Montpellier	73.934	1,187	0,589
	Saint-Ouen	30.713	0,672	0,336	Nîmes	74.601	0,717	0,537
	Clichy	33.895	0,500	0,347	Cette	32.729	1,075	0,574
	Saint-Denis	34.432	0,475	0,378	Béziers	48.012	1,030	0,479
	Aubervilliers	27.332	1,052	0,475	Perpignan	35.088	0,855	0,566
	Ivry	24.919	0,480	0,301	Pau	33.012	0,380	0,231
	Vincennes	27.450	0,310	0,136	Toulouse	149.963	0,802	0,358
	Montrouil-sous-Bois	27.087	0,317	0,225	Bordeaux	256.906	0,620	0,282
	Lillo	216.276	0,195	0,137	Perigueux	31.313	0,462	0,202
	Roubaix	124.661	0,270	0,235	Angoulême	38.068	1,832	0,374
	Tourcoing	73.353	0,327	0,237	Limoges	77.703	0,442	0,293
	Boulogne-sur-Mer	46.807	0,332	0,267	Clermont-Ferrand	50.870	0,625	0,136
	Dunkerque	39.718	0,267	0,314	Bourges	43.587	0,407	0,163
	Calais	56.940	0,337	0,269	Tours	63.267	0,772	0,382
	Douai	31.397	0,370	0,239	Le Mans	60.075	0,430	0,377
	Saint-Quentin	48.868	0,175	0,215	Versailles	54.874	0,445	0,326
	Amiens	88.731	0,377	0,318	Orléans	66.699	0,262	0,314
	Reims	107.963	0,442	0,304	Rouen	113.219	0,725	0,682
	Nancy	96.306	0,557	0,574	Le Havre	119.470	1,955	0,982
	Troyes	52.998	0,835	0,713	Saint-Nazaire	30.843	0,512	0,255
	Dijon	67.736	0,317	0,212	Nantes	123.902	0,517	0,481
	Bosancçon	57.756	0,927	0,348	Rochefort	34.392	0,655	0,283
	Lyon	466.028	0,295	0,238	Rennes	69.937	0,475	0,363
	Saint-Etienne	136.030	0,287	0,280	Brest	74.538	0,900	0,535
Grenoble	64.002	0,277	0,287	Lorient	41.894	1,830	1,142	
Avignon	45.107	0,687	0,517	Cherbourg	40.783	1,635	1,120	

Il ne nous appartient pas de faire ici de statistique. En ce qui regarde la France, il suffit du reste de renvoyer aux nombreux documents ⁽¹⁾ qu'a publiés l'éminent doyen de la Faculté de Paris, M. le Professeur Brouardel, à l'appui de la magnifique croisade qu'il poursuit contre la fièvre typhoïde. On nous permettra toutefois pour préciser la situation de rappeler dans le tableau ci-dessous la mortalité typhique qui était donnée dans un document officiel à l'Exposition pour un certain nombre de villes françaises pendant la période de 1890 à 1898 inclus (9 années) ainsi qu'à titre de comparaison les chiffres analogues de la période des quatre années précédentes (1886 à 1889 inclus) donnés par M. le Dr Thoinot ⁽²⁾. Cette comparaison montre qu'un sérieux progrès a déjà été fait; mais si l'on se rappelle les progrès bien plus grands encore faits en Angleterre et en Allemagne (voir les chiffres de la page 7), si l'on pense que depuis plusieurs années déjà Londres n'a plus qu'une mortalité typhique de 0,16 0/00, Edinbourg 0,14, Amsterdam 0,16, La Haye 0,02, Rotterdam 0,03, Copenhague 0,09 Stockholm 0,08, Berlin 0,09, Dresde 0,045, Breslau 0,10, Vienne 0,07 etc., on verra qu'il reste encore beaucoup à faire.

V. — PROTECTION DES NAPPES ET DES SOURCES : LÉGISLATION ET INSTRUCTION DES PROJETS DE DISTRIBUTION D'EAU.

L'ensemble des moyens indiqués ci-dessus — appréciations géologiques, analyses chimiques et bactériologiques, expériences de coloration, réaction morbide sur le milieu humain, — permettra au bout d'un certain temps de reconnaître si l'eau utilisée pour la boisson est et reste pure, ou si au contraire elle est soit généralement souillée, soit contaminée par intermittences. Dans le second cas — et il est malheureusement fréquent, — si l'on ne peut recourir à une autre eau meilleure, on doit de toute évidence chercher à supprimer ou tout au moins à diminuer dans la mesure du possible les chances et l'intensité de la contamination; les mesures à prendre dans ce but constituent la *protection*, et sont ou devraient être assurées dans chaque pays par des lois et règlements administratifs, malheureusement encore bien incomplets. Ces mesures se divisent naturellement en deux groupes :

(1) Voir notamment le « Recueil des travaux du Comité Consultatif d'Hygiène publique ».

(2) La fièvre typhoïde en France; étiologie et prophylaxie, in « Recueil des travaux du Comité Consultatif d'Hygiène publique XX », 1890.

1° *Protection des eaux superficielles (lacs et rivières)*. — Nous avons posé en principe que quand on s'adresse pour la boisson aux eaux de surface, il faut les filtrer ou les stériliser ; mais nous avons vu également qu'il y avait le plus grand intérêt à ce que l'eau brute à traiter soit déjà aussi peu souillée que possible. Il est donc nécessaire de protéger les cours d'eau contre les pollutions de toutes sortes qui les menacent : cette nécessité s'est surtout fait sentir dans les pays industriels ou à l'aval des grandes villes, et elle a engendré des réglementations sérieuses. Mais il serait peu logique de parler du remède avant d'avoir signalé les causes du mal, et comme nous n'arriverons à celles-ci qu'à l'occasion du déversement des égouts, nous renverrons également la question de protection des cours d'eau à la seconde partie de notre ouvrage.

2° *Protection des eaux souterraines (nappes et sources)*. — L'eau d'une nappe est impure (constamment ou momentanément), quand les terrains qui la surmontent ne réussissent pas à bien filtrer l'eau pluviale. Quant à l'eau d'une source elle peut être impure de deux manières : soit parce que la nappe qui l'engendre l'est elle-même, soit parce que, tout en émergeant d'une nappe pure, la source subit des contaminations à sa sortie, à la traversée des éboulis ou dans des ouvrages de captage mal établis. Pour ce dernier cas, nous avons suffisamment insisté sur ce qu'il y avait à faire : si l'on ne peut remonter la captation à la *source géologique*, il faudra tout au moins protéger la traversée des éboulis et alluvions comme il va être dit pour la surface du sol au-dessus d'une nappe septique.

Ceci posé, étant reconnu que les germes passent dans les eaux d'une certaine nappe alimentant les sources ou les drainages utilisés, que faut-il faire ? — Evidemment, empêcher le dépôt de tout germe pathogène (1) sur toute la surface de terrain dont les eaux vont gagner la source ou le drainage en question, en d'autres termes sur leur périmètre alimentaire. La première chose à faire sera donc de déterminer ce périmètre : c'est là une opération parfois délicate, qui revient à chercher les lignes de partage des eaux souterraines, problème analogue à ce celui qui se pose aux géographes quand il s'agit de déterminer les limites d'un bassin hydrographique. Ce sera l'affaire d'un géologue, qui devra s'inspirer de la connaissance détaillée de la tecto-

(1) On n'empêchera pas, en pareil cas, l'eau de contenir un certain nombre de germes, mais ce qu'il importe c'est d'être assuré que parmi ces germes il n'y en aura jamais de dangereux.

nique : « Pour les sources d'affleurement, dit M. Janet, les limites du « périmètre sont fréquemment déterminées par les plis synclinaux et « anticlinaux de la couche imperméable qui supporte la nappe ; pour « les sources de thalweg, elles résultent principalement de la position et « de la cote des vallées ». Il est clair qu'on devra s'aider, quand on le pourra, de la connaissance des courbes de niveau ou tout au moins de quelques points de la surface piézométrique de la nappe, des renseignements fournis par les *courbes isogradhydrotimétriques*, enfin des résultats des expériences de coloration et autres (*courbes isochronochromatiques*) signalées précédemment (voir p. 317 et 318).

Sur ce périmètre, qui peut être très étendu, il serait logique, comme le demande M. Duclaux dans son « Rapport général sur les enquêtes concernant les eaux de source distribuées à Paris », inséré au numéro du 25 décembre 1900 des *Annales de l'Institut Pasteur*, de poursuivre tous les cas de fièvre typhoïde (choléra sans doute aussi, s'il survenait), pour arriver à la désinfection complète des selles, linges, etc., de tous les malades, en un mot pour tuer tous les germes pathogènes à leur point de départ. M. Duclaux paraît compter sur l'efficacité de cette chasse au microbe dès son apparition et il propose de charger le personnel médical des régions intéressées de cette surveillance spéciale : ce n'est plus seulement la déclaration obligatoire de tous les cas morbides, c'est, en outre, la désinfection obligatoire de chaque déjection suspecte. « Désormais, conclut M. Duclaux, l'étude du périmètre d'alimentation des sources, des parcours souterrains des ruisseaux qui « les alimentent, des contaminations auxquelles elles sont exposées sur « ces parcours, devront précéder, au lieu de les suivre, tous les travaux d'adductions. On croyait jusqu'ici d'une manière relative, sinon « absolue, à la puissance filtrante du sol : or, s'il y a des régions où « cette puissance est efficace, il en est d'autres où elle est faible ou « nulle, et où les cimetières, les lavoirs, les fosses d'aisances sont une « menace permanente pour la circulation souterraine et les eaux de « sources. Ce sont ces régions plus particulièrement menacées qu'il « faudra éliminer tout d'abord ; quant aux autres où la menace est « moins pressante, il faudra, après leur avoir emprunté leurs eaux, les « soumettre à la surveillance médicale permanente, qui devient aujourd'hui et jusqu'à de nouvelles découvertes de la science la pièce maîtresse de la résistance à opposer à la pollution des eaux. La défense « a donc changé d'orientation et se fait dans une direction où elle est « plus facile, plus efficace et plus économique. »

Nous applaudissons de grand cœur aux mesures qu'indique l'éminent Directeur de l'Institut Pasteur, mais nous ferons remarquer tout d'abord que la question n'est pas aussi nouvelle qu'il paraît le croire. Dès 1897 ⁽¹⁾, nous écrivions ce qui suit : « La prophylaxie des maladies « épidémiques d'origine hydrique comprend deux termes : d'une part « des mesures propres à assurer la destruction du germe partout où « il se révèle, d'autre part, des mesures propres à prévenir sa diffusion ; « il faut poursuivre le microbe pathogène en tout lieu, puis, comme « on n'est pas sûr qu'il échappe à cette guerre d'extermination, il faut « à tout prix l'empêcher de passer dans les eaux de boisson et d'être « ramené avec elles dans l'organisme humain. Les mesures du premier « ordre sont surtout des mesures d'antisepsie individuelle et familiale « (bien que cependant l'autorité publique ait le droit et le devoir d'in- « tervenir pour assurer une désinfection trop souvent négligée par les « particuliers) : elles ont une grande importance, car, outre que conve- « nablement prises elles supprimeraient la contagion directe, elles « diminueraient également dans une large proportion la dissémination « des germes pathogènes dans le milieu ambiant. C'est ainsi que les « selles de tout malade atteint de fièvre typhoïde, choléra, dysenterie « devraient être désinfectées soigneusement sitôt après leur excrétion « (les selles sont à poursuivre ici à l'instar des crachats dans la tubercu- « lose) ; que les linges, vases, meubles, tapis, objets de toute sorte en « contact avec lui devraient également être étuvés ou désinfectés ; « qu'enfin les cadavres eux-mêmes, pour les individus morts de ces ma- « ladies, devraient être incinérés ou tout au moins enterrés en des « points du sol où l'on soit sûr que les germes rendus à la terre ne pas- « seront pas dans les eaux alimentaires. »

Mais, peu confiant dans l'efficacité absolue des mesures précitées, nous ajoutons : « Les mœurs de nos concitoyens sont encore loin « d'être conformes à ces exigences de l'antisepsie. Toutefois, quand « bien même les progrès que nous désirons de ce côté auront été « accomplis, il faut reconnaître que souvent encore le microbe échap- « » pera aux soins antiseptiques immédiats : le malade est souvent sous « le coup d'une affection sans le savoir, ou dans la période d'incuba- « tion ; il néglige parfois d'appeler un médecin, ou encore le diagnos- « tic est incertain, erroné, etc. Il faut donc de toute nécessité pour « suivre les germes au dehors de la chambre du malade, les poursuivre

(1) *Les Eaux potables et leur rôle hygiénique en Meurthe-et-Moselle.*

« dans les cabinets d'aisances, dans la rue même. De là une nouvelle
 « série de mesures qui touchent déjà à l'hygiène publique, puisque des
 » fosses mal étanches, des fumiers, mares à purin, etc., les germes
 « passent dans le sol et dans les nappes souterraines, quand le ruisel-
 « lement superficiel ne les entraîne pas dans les puits et sources. Les
 « mesures de ce genre se résument comme suit : interdiction de tout
 « dépôt de matières fécales dans les rues, ruelles, chemins, etc., et
 « interdiction de tout dépôt de fumier sur ou touchant la voie pu-
 « blique ; obligation d'avoir des fosses d'aisances et des fosses à purin
 « étanches et des égouts imperméables ; d'assurer l'asepsie des matières
 « de vidange ou de ne les répandre que sur des terrains n'ayant aucun
 « rapport avec l'eau de boisson ; construction de caniveaux, aqueducs,
 « chaussées pavées, etc., capables d'assurer l'évacuation facile des eaux
 « de surface et d'imperméabiliser la couche superficielle en vue d'em-
 « pêcher les infiltrations ; enfin protection des abords immédiats des
 « réceptacles de captage et des puits. »

Enfin, après avoir condamné en principe les puits des villages et des villes (pour la raison que dans l'intérieur des agglomérations la nappe souterraine est généralement contaminée en grand), après avoir reconnu qu'il y a des nappes et des sources aseptiques, mais qu'il en est également d'impures, nous concluons : « C'est le dogme de l'infail-
 « libilité des sources qui disparaît, mais le dogme de la nécessité de
 « protéger les nappes et les sources *exposées* vient le remplacer. Dans
 « tous les cas où on est obligé de recourir à des eaux peu profondes et
 « mal filtrées par le sol (alluvions, éboulis, calcaires trop minces ou
 « trop fissurés (1), etc.), il faut instituer un régime de protection pour
 « la surface alimentaire, c'est-à-dire que sur tout le périmètre de la
 « source ou de la nappe drainée, on doit prohiber le dépôt et le répan-

(1) On s'est surtout occupé de la protection des sources vaclusiennes, émergeant des calcaires épais et à grandes crevasses, cassures et cavernes. Ces sources sont généralement polluées par suite de la grande facilité avec laquelle les eaux de surface et ce ruissellement s'engouffrent dans des fissures ou des entonnoirs trop larges pour bien les filtrer (mardelles, bétoures, boit-tout, avens, etc.). Il est clair que pour protéger la nappe profonde, il faudra écarter les eaux superficielles des points où elles peuvent ainsi s'engouffrer, ce qui se fera en bouchant si possible les trous, crevasses et entonnoirs, ou encore en faisant traverser aux eaux ruisselantes la zone *perméable en grand*, au moyen de caniveaux, rigoles et pavages imperméables ; on pourra aussi chercher à capter les eaux souterraines à l'amont des points où se réunissent à la nappe les eaux dangereuses. Malheureusement, ces procédés diminuent d'autant le débit de la nappe : c'est ce qu'explique très bien M. l'Ingénieur en chef Babinet dans son rapport à la Commission du Ministère de l'Intérieur dont il est question un peu plus loin.

« dage des matières fécales, fumiers, purins, engrais d'origine animale, « boues de rues et de villes, eaux et ordures ménagères, etc. *La législation doit se mettre à la hauteur de cette nécessité.* »

Nous persistons à croire que rien n'est à retrancher de ce programme. Quand bien même le système de *défense médicale* préconisé par M. Duclaux fonctionnerait sérieusement, — ce que nous souhaitons vivement, — les villes et villages n'en devraient pas moins poursuivre avec énergie la suppression de tout dépôt de matières suspectes sur le bassin d'origine de leurs eaux potables : jamais on ne pourra être certain qu'un service de désinfection, si parfait soit-il, ne laisse pas passer des êtres aussi subtils que les microbes pathogènes, et enfin qui nierait, quand il s'agit de la santé et de la vie, que deux sûretés valent mieux qu'une ? Quand les périmètres à surveiller sont étendus, l'exécution de toutes ces mesures de désinfection et de protection devient du reste d'une extrême complication ; aussi plutôt que de recourir à de l'eau suspecte, qu'il faut défendre avec tant de peine, nous pensons que les villes doivent faire tous leurs efforts pour trouver une autre eau présentant naturellement toutes garanties de pureté, ou à défaut pour installer un bon système de filtration ou de stérilisation.

Nous venons de dire ci-dessus que la législation doit permettre d'instituer et de maintenir ce régime de protection *qualitative* de l'eau ; mais il existe également un autre genre de protection, une protection *quantitative*, qui consiste en ce que les communes doivent être assurées contre tous agissements tendant à faire diminuer le débit de leurs sources et captations : il est clair que la législation doit également donner toutes garanties aux communes sous ce rapport. Malheureusement dans aucun pays, croyons-nous, ces deux questions cependant importantes de droit public n'ont reçu encore une solution complète. Nous allons citer ce qui a été fait à ce sujet, en parlant de la procédure à suivre pour l'instruction des projets d'adduction d'eau.

*Instruction des projets d'adduction et de distribution d'eau ;
mesures de protection.*

Les services d'adduction et de distribution d'eau sont dans chaque pays des services essentiellement municipaux, mais il appartient au pouvoir central de les surveiller, de les guider et surtout de les encourager par des subventions.

I. — *France.* — En France, la direction générale existe, mais les subventions font malheureusement défaut. Le décret du 30 septembre

1884 a attribué au Comité Consultatif d'hygiène publique de France compétence « sur le régime des eaux au point de vue de la salubrité. » La circulaire du Ministre de l'Intérieur du 29 octobre suivant demandait aux préfets de soumettre au Ministre les projets de distribution d'eau, soumis préalablement aux Conseils d'hygiène d'arrondissement : le Ministre devait demander l'avis du Comité Consultatif. Toutefois le rôle de ce Comité ne fut bien établi que par la circulaire du 23 juillet 1892 : cette circulaire donna tous les détails voulus sur les renseignements à fournir (questionnaire à remplir), les prélèvements d'échantillons pour les analyses, etc. Cette procédure était excellente, mais elle était incomplète en ce qu'elle oubliait le rôle du géologue ; de plus elle centralisait à l'excès, et en faisant intervenir le Comité Consultatif pour les plus petites communes comme pour les plus grandes villes, elle rendait sa mission et celle de son Laboratoire véritablement impossible (rappelons, en outre, que nous avons toujours protesté contre les analyses bactériologiques faites à grande distance et contre les prélèvements d'échantillons faits par des personnes quelconques).

L'Administration s'est rendu compte de ces inconvénients, et à la suite du rapport du 17 mars 1900 de M. Monod, au nom d'une commission présidée par M. Brouardel et instituée par le Ministre de l'Intérieur pour étudier « l'instruction des projets de captage et adduction d'eau, le droit d'usage, l'acquisition et la protection des sources », une circulaire du 10 décembre 1900 a établi une nouvelle procédure qu'on pourra lire en détail dans le texte même que nous reproduisons ci-dessous. Cette circulaire, qui a paru au moment même où nous achevions ces pages, consacre officiellement le rôle de la géologie dans les questions d'eau, rôle sur l'importance duquel nous avons tant insisté dans les premières pages du présent ouvrage : nous ne regrettons plus qu'une chose, c'est qu'elle n'ait pas cru pouvoir mettre à la charge de l'Etat, comme le proposait la Commission, les frais d'études géologiques, chimiques et bactériologiques dont il s'agit, et qu'elle reste muette sur la question de subvention en faveur des communes trop pauvres.

Circulaire du Président du Conseil, Ministre de l'Intérieur et des Cultes, en date du 10 décembre 1900, à tous les Préfets.

Une circulaire d'un de mes prédécesseurs du 23 juillet 1892 a tracé les règles à suivre pour l'instruction des projets d'alimentation en eau présentés par les Communes.

Depuis lors, à la suite d'observations qui ont été échangées devant le Sénat le 30 mars 1899, mon administration s'est préoccupée de rechercher quelles mesures peuvent être prises pour abrégier les délais dans l'instruction des projets de captage et d'amenée des eaux destinées à l'alimentation publique.

Une Commission a été constituée à cet effet et elle a proposé des résolutions auxquelles j'ai donné mon assentiment.

L'instruction des affaires de cette nature se présente sous un double aspect, le point de vue scientifique, le point de vue administratif.

Une eau ne pouvant être utilisée pour l'alimentation qu'autant qu'elle a été reconnue salubre, la détermination de la salubrité de l'eau doit précéder l'examen de toutes les autres questions. Or il résulte des travaux scientifiques les plus récents que pour apprécier cette salubrité, l'analyse chimique ne suffit pas. Il faut y joindre l'analyse microbiologique et, en outre, utiliser les données fournies par la géologie sur la nature des terrains traversés par les eaux. L'examen géologique doit lui-même précéder l'analyse, car celle-ci est inutile si celui-là est défavorable ; on ne peut, en effet, utiliser une eau, si pure qu'elle soit à l'analyse, si elle demeure sujette à des causes de contamination. Cette étude préliminaire sera confiée aux collaborateurs du service de la carte géologique de France. A cet effet il sera dressé un tableau des géologues affectés aux différentes régions. Je vous ferai parvenir un exemplaire de ce tableau.

Si l'état géologique du terrain ne donne pas des résultats nettement défavorables à l'eau proposée, l'instruction sera poursuivie par l'analyse chimique et l'analyse bactériologique.

Le Comité consultatif d'hygiène publique de France, dans l'examen des projets d'amenée d'eau qui lui ont été soumis jusqu'à ce jour, a eu trop souvent à constater l'insuffisance et parfois l'inexactitude manifeste des analyses jointes aux dossiers de ces projets. On ne saurait ici s'entourer de trop de précautions et vous apporterez un soin extrême au choix de l'analyste que vous chargerez à la suite de l'avis du géologue de procéder aux analyses de l'eau.

Le paiement des indemnités qui seront la conséquence obligée des examens géologique, bactériologique et chimique et qui ne seraient pas élevées (on a calculé qu'en moyenne les indemnités dues au géologue et à l'analyste ne dépasseront pas ensemble 150 francs) sera naturellement à la charge des Communes comme les autres dépenses auxquelles les projets d'adduction d'eau donneraient lieu. Les Communes ne se plaindront pas d'avoir à acquitter une dépense préalable minime qui peut avoir pour conséquence de leur éviter les frais beaucoup plus considérables de la confection d'un projet.

Quand donc une Commune sera dans l'intention d'amener de l'eau potable, elle vous en avisera et vous enverra en même temps une délibération par laquelle elle s'engagera à payer les indemnités qui seraient dues au géologue et au chimiste que vous chargerez des examens géologique, bactériologique et chimique.

L'eau à utiliser ayant été reconnue salubre, à qui doit-il appartenir de donner l'autorisation nécessaire à l'exécution des travaux ?

Actuellement c'est le Ministre de l'Intérieur qui, sur l'avis du Comité consultatif d'hygiène publique de France, accorde, dans tous les cas, les autorisations d'aménée d'eau. Il a paru nécessaire de maintenir l'autorisation ministérielle pour les villes de plus de 5.000 habitants. En effet, dès que l'on se trouve en présence d'une agglomération importante, l'intérêt national se manifeste avec force, et l'intervention du pouvoir central s'impose.

L'épidémie qui sévit dans une ville est une menace immédiate pour toutes les campagnes environnantes et, de proche en proche, peut s'étendre très loin. En outre, beaucoup de ces villes possèdent des garnisons, et il importe que l'autorité militaire ayant assuré aux prix de grands efforts et de grandes dépenses une distribution d'eau pure dans les casernes, ces efforts et ces dépenses ne soient pas rendus inutiles par la contamination de l'eau que nos soldats boivent hors de la caserne. Ces villes sont au nombre de 584.

Les 35.586 autres Communes de France pourront obtenir du préfet l'autorisation nécessaire, en cas d'avis favorable du géologue, du chimiste et du Conseil départemental d'hygiène, le Conseil d'hygiène d'arrondissement (en dehors de l'arrondissement chef-lieu) préalablement consulté. Toutefois, si un tiers des membres du Conseil départemental d'hygiène, malgré l'avis favorable de ce Conseil, croyait devoir en appeler au Comité consultatif d'hygiène publique de France, l'affaire sera renvoyée devant le Comité et le Ministre de l'Intérieur.

En résumé, Monsieur le Préfet, les diverses parties de l'instruction d'une affaire d'adduction se poursuivront dans l'ordre que voici :

Lorsqu'une Commune voudra s'assurer le bienfait d'une aménée d'eau potable, elle vous en avisera en s'engageant à payer les indemnités de vacation au géologue et à l'analyste;

Vous chargerez le géologue désigné, comme il a été dit ci-dessus, de visiter les lieux et de vous adresser un rapport sur les conditions de pureté de l'eau et sur ses chances de contamination ;

Si le rapport du géologue est défavorable, vous le communiquerez à la Commune ;

Si le rapport est favorable, vous chargerez l'analyste choisi par vous de procéder à l'analyse de l'eau ;

Celui-ci s'entendra avec le Maire pour le prélèvement des échantillons, puis vous adressera les résultats de l'analyse chimique et bactériologique de l'eau ;

Lorsque le géologue aura constaté que le terrain est favorable, et qu'ensuite l'analyste aura constaté que l'eau est mauvaise, il est désirable que les deux praticiens se concertent pour rechercher si la mauvaise qualité de l'eau ne tiendrait pas à des causes accidentelles qu'il serait facile de supprimer.

Vous enverrez l'avis du géologue et celui de l'analyste au Maire de la Commune en l'engageant, s'il y a lieu à faire dresser un projet complet.

La Commune fera dresser ce projet par qui elle l'entendra et l'enverra au sous-préfet, lequel provoquera l'avis du Conseil d'hygiène de l'arrondissement et vous enverra le dossier avec la délibération de ce conseil.

Si la Commune intéressée a plus de 5 000 habitants ou si l'avis, soit du géologue, soit de l'analyste, est défavorable au projet et que cependant la Commune y persiste, vous m'adresserez le dossier pour être soumis au Comité consultatif d'hygiène publique de France, sur l'avis duquel je statuerai.

Si la Commune a moins de 5 000 habitants, et si les avis du géologue et de l'analyste sont favorables, vous statuerez après avis du Conseil départemental d'hygiène. Néanmoins, si la délibération du Conseil départemental d'hygiène est favorable à l'exécution et qu'un tiers des membres qui composent ce conseil demandent que l'affaire soit soumise au Ministre de l'Intérieur, vous me transmettez le dossier pour être soumis au Comité consultatif d'hygiène publique de France.

Si les travaux de canalisation doivent avoir une certaine importance, s'ils exigent une déclaration d'utilité publique, si des ouvrages d'art doivent être exécutés, si le captage de la source projetée doit modifier le régime des eaux de la vallée parcourue par le cours d'eau, si la Commune en même temps qu'elle fait une adduction d'eau potable, veut se servir de l'eau pour l'arrosage et demande une subvention sur les crédits de l'Hydraulique agricole, il va de soi que l'avis des comités d'hygiène n'est pas suffisant, car ceux-ci ne prononcent que sur la salubrité de l'eau. Leur avis doit être placé le premier, par la raison que si l'eau n'est pas salubre, tout devient inutile. Mais l'eau proposée reconnue salubre, il peut être nécessaire de prendre à d'autres points de vue l'avis des conseils techniques.

Il arrivera donc que le dossier, après avoir été examiné par le Conseil départemental ou par le Comité consultatif devra être transmis par vous ou par le Ministère de l'Intérieur à celui des Travaux publics, pour être soumis au Conseil général des ponts et chaussées; que de ce dernier Ministère il passera à celui de l'Agriculture pour être soumis à la Commission consultative de l'Hydraulique agricole. De là il devra encore le plus souvent aller au Conseil d'état.

Il a été reconnu que des simplifications sont quelquefois possibles en ce qui concerne le service des Ponts et Chaussées. Si des travaux à effectuer nécessitent l'avis technique de ce service, l'on pourra, même lorsque l'importance des travaux doit nécessiter la déclaration d'utilité publique, se contenter du rapport de l'Ingénieur en chef du département, rapport que vous devez joindre au dossier.

Il suffira à vous éclairer quand il s'agira des travaux faits dans les communes de moins de 5 000 habitants. D'ailleurs, dans nombre de cas, l'affaire devra aller quand même à la Commission de l'Hydraulique agricole, où elle trouvera les mêmes juges qu'elle eût trouvés au Conseil général des Ponts et Chaussées.

En ce qui concerne le Ministère de l'Agriculture, une note jointe à la présente circulaire indique le moyen de remédier au retard résultant de l'examen des

dossiers par la Commission de l'Hydraulique agricole. Il suffirait, pour que l'ins-truction hydraulique pût se faire concurremment avec les autres, que la Commune fit, à ce point de vue, un dossier distinct, dont une circulaire de M. le Ministre de l'Agriculture déterminera les éléments.

Vous voudrez bien m'accuser réception de la présente circulaire. Si, pour en assurer l'exécution, il vous paraissait nécessaire d'avoir sur certains points des explications plus complètes, vous pourriez utilement consulter le rapport pré-senté au nom de la Commission qui a établi les bases de cette nouvelle procé-dure et dont un exemplaire est ci-joint.

J'ajoute que je m'empresserai de vous faire parvenir sans délai les renseigne-ments que vous croiriez devoir me demander. Mais, dès maintenant, j'appelle votre attention sur le rôle important qui va échoir au Conseil départemental d'hygiène. Il ne devra pas se borner à apprécier les avis donnés par les géologues et les analystes. D'autres questions sont à étudier dans un dossier d'adduction d'eau que celle de la composition de l'eau et la constance de cette composition. Il faut examiner le mode de captage, chose essentielle. Il faut se rendre compte des dispositions adoptées pour mettre l'eau, soit au point de vue du captage, soit sur son parcours, à l'abri de toute contamination. Il faut encore rechercher si la quantité de l'eau qui sera obtenue par les travaux projetés correspondra à la population desservie.

On a trop souvent reproché aux Conseils d'hygiène de manquer d'initiative et d'activité. Pourtant ces assemblées sont habituellement composées d'hommes intelligents, instruits, dévoués au bien public. Il nous serait possible d'ailleurs, si vous le jugez utile, de leur adjoindre de nouveaux éléments. L'article 4 du décret du 18 décembre 1848, permet au Ministre de l'Intérieur de le faire. Il conviendrait, autant que les résidences le permettront, de comprendre, dans le Conseil départemental, un géologue correspondant du service de la carte et un analyste compétent. Cette adjonction tendrait à établir l'harmonie entre les différentes parties du service sanitaire.

Le régime nouveau institué par la présente circulaire, donnera une utile im-pulsion aux Conseils départementaux d'hygiène. Je ne doute pas, en effet, que ceux-ci ne mettent leur honneur à exercer avec clairvoyance et prudence les attributions nouvelles qui leur sont confiées et qui intéressent tellement la sau-vegarde de la santé publique.

*Le Président du Conseil,
Ministre de l'Intérieur et des Cultes.*

WALDECK-ROUSSEAU.

La Commission qui a préparé la circulaire ci-dessus avait également à indiquer les mesures à prendre en vue d'assurer aux Communes les droits d'usage aux eaux, ainsi que les moyens d'acquisition et de pro-

tection ⁽¹⁾ des sources. Elle devait répondre en somme, en ce qui regarde la France, au vœu suivant émis par le Congrès d'Hygiène de Paris (1900), à la suite d'un intéressant rapport de M. l'Ingénieur en chef Launay, intitulé : *Protection et épuration des cours d'eau et des sources ; mesures administratives* :

« Considérant que l'aménée à toutes les agglomérations d'une eau
« n'apportant aucun danger d'infection est une des mesures essentielles
« pour la préservation de beaucoup de maladies contagieuses, les pre-
« mière et troisième sections du 10^e Congrès international d'Hygiène
« invitent les Gouvernements à promulguer et à appliquer des lois
« comportant des mesures et des sanctions efficaces : 1^o Pour la por-
« tion des cours d'eau contre les eaux résiduaires des agglomérations
« et de l'industrie ; 2^o Pour la défense et la conservation de la pureté des
« eaux destinées à l'alimentation de toutes les agglomérations et la sté-
« rilisation de ces eaux, si elles sont contaminées ou facilement conta-
« minables. »

Or, déjà le projet de loi *pour la protection de la santé publique*, qui avait été déposé le 31 décembre 1891 à la Chambre et adopté par elle en première lecture le 27 juin 1893, prévoyait l'organisation légale de la protection *quantitative et qualitative* des sources et nappes. Malheureusement, ce projet, qui ne vint au Sénat que le 2 février 1897, doit subir d'importantes modifications votées par cette Assemblée ; toutefois, le Sénat a voté, en première lecture, un certain nombre d'articles, notamment ceux qui permettent d'imposer des travaux à une Commune quand son état sanitaire laisse à désirer. La Commission propose dès lors de détacher quatre articles ainsi votés, de les joindre aux trois premiers articles du projet de loi, et enfin d'ajouter à ces sept articles légèrement modifiés deux articles nouveaux qu'elle a étudiés : on aurait ainsi le projet de loi dont le texte est ci-dessous, lequel pourrait être voté rapidement et indépendamment du reste de la loi primitive. Nous n'avons rien à redire à ce texte qui est clair et précis et donne satisfaction aux vœux des hygiénistes : on pourra d'ailleurs

(1) Jusqu'ici, il n'y a en France de protection légale que pour les sources d'eaux minérales, en faveur desquelles la loi du 14 juillet 1858, stipule : Art. 2 : « Un périmètre de protection peut être assigné par un décret à une source minérale déclarée d'intérêt public. Ce périmètre peut être modifié si de nouvelles circonstances en font reconnaître la nécessité. » Quant aux autres sources et eaux souterraines, les communes peuvent bien recourir pour les acquérir aux formalités de l'expropriation, après déclaration d'utilité publique ; mais si elles veulent protéger leur périmètre, elles n'auraient d'autre moyen que d'acquérir tous les terrains, ce qui souvent serait impraticable et absurde.

se reporter pour les détails aux explications données par le rapport de la Commission.

Projet de loi réglant le droit d'usage, l'acquisition et la protection des eaux destinées à l'alimentation publique.

Art. 1^{er}. — Le droit à l'usage d'une source d'eau potable, c'est-à-dire le droit d'accès et de puisage à cette source, est acquis à toute Commune dont les habitants en jouissent depuis plus de trente ans.

Si ce droit n'est point acquis par la prescription, la Commune peut l'acquérir conformément à l'article 642 du Code civil (loi du 8 avril 1898).

Art. 2. — Le droit à l'usage d'une source d'eau potable implique, pour la Commune qui le possède, le droit de curer cette source, de la couvrir et de la garantir contre toutes les causes de pollution, mais non celui de dériver les eaux par des tuyaux ou rigoles. Un règlement d'administration publique déterminera, s'il y a lieu, les conditions dans lesquelles ce droit d'usage pourra s'exercer.

Art. 3. — L'acquisition de tout ou partie d'une source d'eau potable par la Commune dans laquelle elle est située peut être déclarée d'utilité publique par arrêté préfectoral quand le débit à acquérir ne dépasse pas 2 lit. par seconde. Cet arrêté est pris sur la demande du Conseil municipal et l'avis du Conseil d'hygiène du département. Il doit être précédé de l'enquête prévue par l'ordonnance du 23 août 1835. L'indemnité d'expropriation est réglée dans les formes prescrites par l'article 16 de la loi du 21 mai 1836.

Si le débit à acquérir dépasse 2 lit. par seconde, si la source est située hors du territoire de la Commune, ou si l'acquisition de la source nécessite l'expropriation de maisons, cours, jardins ou enclos attenants à des habitations, la déclaration d'utilité publique doit être prononcée par décret et l'indemnité d'expropriation est réglée dans les formes prescrites par la loi du 3 mai 1841.

Art. 4. — La décision déclarant d'utilité publique l'acquisition de tout ou partie d'une source pour le service d'une Commune spécifie, en même temps que les terrains à acquérir, les mesures nécessaires pour protéger la source, notamment contre toute pollution; s'il y a lieu, elle détermine un périmètre de protection de la source. Il est procédé dans les mêmes formes si de nouvelles mesures de protection sont reconnues nécessaires.

Il est interdit de polluer les terrains compris dans ce périmètre ou d'y introduire aucune matière fécale. Il est également interdit d'y pratiquer des excavations sans l'autorisation du Préfet.

L'indemnité due aux propriétaires pour acquisition de terrains et celle qui pourrait leur être due pour les terrains compris dans le périmètre de protection, sont réglées, suivant les cas prévus à l'article 3, dans les formes prescrites, soit par l'article 16 de la loi du 21 mai 1836, soit par le titre IV de la loi du 3 mai 1841.

Art. 5. — Lorsque pendant trois années consécutives, le nombre des décès dans une Commune a dépassé 22 par 1 000 habitants, le fait est signalé par l'Administration départementale au Conseil d'hygiène départemental, lequel, soit par lui-même, soit par le Conseil d'hygiène d'arrondissement, procède à une enquête sur les conditions sanitaires de la Commune.

Si cette enquête établit que l'état sanitaire de la Commune nécessite des travaux d'assainissement, notamment qu'elle n'est pas pourvue d'eau potable de bonne qualité en quantité suffisante, ou bien que les eaux usées y restent stagnantes au milieu des habitations, le Préfet invite le Conseil départemental d'hygiène à délibérer sur l'utilité et la nature des travaux jugés nécessaires. Le Maire est mis en demeure de présenter ses observations devant le Conseil départemental d'hygiène.

En cas d'avis du Conseil départemental d'hygiène contraire à l'exécution des travaux ou de résistance de la part de la Commune, le Préfet transmet la délibération du conseil au Ministre de l'Intérieur qui, s'il le juge à propos, soumet la question au Comité consultatif d'hygiène publique de France. Celui-ci procède à une enquête dont les résultats sont affichés dans la Commune.

Sur l'avis conforme du Comité consultatif d'hygiène publique, le Préfet met la commune en demeure de dresser le projet et de procéder aux travaux.

Si, dans le mois qui suit cette mise en demeure, le Conseil municipal ne s'est pas engagé à y déférer, ou si, dans les trois mois, il n'a pris aucune mesure en vue de l'exécution des travaux, ces travaux sont ordonnés par le gouvernement, et les dépenses, supportées par les Communes intéressées, conformément à l'article 35 de la loi du 16 septembre 1807.

Le Conseil général, statue, dans les conditions prévues par l'article 46 de la loi du 10 août 1871, sur la participation du Département aux dépenses des travaux ci-dessus spécifiés.

Art. 6. — Les puits ou galeries fournissant de l'eau potable empruntée à une nappe souterraine sont assimilés aux sources pour l'application des articles 1 à 4 inclus.

Art. 7. — L'abandon de cadavres d'animaux, de débris de boucherie, fumier, matières fécales et en général de résidus animaux putrescibles dans les failles, gouffres, bétoires ou excavations de toute nature autres que les fosses nécessaires au fonctionnement d'établissements classés est interdit sous les peines prévues par les articles 479 et 480 du Code pénal.

Les sources, puits, puisards, puits absorbants, bétoires, gouffres, failles et abreuvoirs susceptibles de contaminer les eaux potables sont assimilés aux mares insalubres visées par les articles 22 et 23 de la loi du 21 juin 1898

(Voici le texte de ces articles :

Art. 22. — Le Maire doit ordonner les mesures nécessaires pour l'assainissement et, s'il y a lieu, après avis du Conseil municipal, la suppression des mares communales placées dans l'intérieur des villages ou dans le voisinage des habitations, toutes les fois que ces mares compromettent la salubrité publique.

A défaut du Maire, le Préfet peut, sur l'avis du Conseil d'hygiène après enquête de commodo et incommodo, décider la suppression immédiate de ces mares, ou prescrire, aux frais de la commune, les travaux reconnus utiles.

La dépense est comprise parmi les dépenses obligatoires prévues à l'article 136 de la loi du 5 avril 1884.

Art. 23. — Le Maire prescrit aux propriétaires de mares ou fossés à eau stagnante établis dans le voisinage des habitations d'avoir soit à les supprimer, soit à exécuter les travaux ou à prendre les mesures nécessaires pour faire cesser toutes causes d'insalubrité.

En cas de refus ou de négligence, le Maire dénonce à l'Administration préfectorale l'état d'insalubrité constatée.

Le Préfet, après avis du Conseil d'hygiène ou du service hydraulique, peut ordonner la suppression de la mare dangereuse ou prescrire que les travaux reconnus nécessaires seront exécutés d'office aux frais du propriétaire, après mise en demeure préalable.

Le montant de la dépense est recouvré comme en matière de contributions directes sur un rôle rendu exécutoire par le Préfet.)

Toutefois, par dérogation aux dispositions de l'article 23 susvisé, s'il s'agit d'excavations naturelles et non agrandies de main d'homme, la dépense est à la charge, dans la proportion de leur intérêt, des Communes usant pour leur alimentation de l'eau qui risque d'être contaminée.

Les contestations auxquelles la répartition de cette dépense entre plusieurs Communes pourra donner lieu, seront portées en premier ressort devant le Conseil de préfecture du département où se trouve le point de contamination.

Art. 8. — Quiconque, par négligence ou incurie, dégradera les ouvrages publics ou communaux destinés à recevoir ou à conduire les eaux d'alimentation; quiconque, par négligence ou incurie, laissera introduire des matières excrémentielles ou toute autre matière susceptible de nuire à la salubrité dans l'eau des sources, fontaines, puits, citernes, conduites, aqueducs, réservoirs d'eau servant à l'alimentation publique, sera puni des peines portées aux articles 479 et 480 du Code pénal. Tout acte volontaire de même nature sera puni des peines portées à l'article 257 du Code pénal.

Art. 9. — L'article 463 du Code pénal est applicable dans tous les cas prévus par la présente loi. Il est également applicable aux infractions punies de peines correctionnelles par la loi du 3 mars 1822.

II. — *Belgique et Hollande* (1). — En Belgique, les administrations communales font aussi dresser les projets de distribution d'eau par qui bon leur semble : ce sont souvent les agents-voyers qui en sont chargés. Les projets sont examinés au point de vue hygiénique par la *Commission médicale provinciale* du lieu de situation : les analyses exigées sont faites par les Instituts bactériologiques créés par certaines provinces (Liège, Hainaut), ou par les Laboratoires des Universités. Au point de vue technique, c'est d'abord le service voyer de la Province qui examine les projets, puis il les soumet à l'Inspection Générale, rattachée au Ministère de l'Agriculture : l'approbation doit être donnée par la Commune, par la Députation permanente de la Province et par l'Etat, dans le cas habituel où la Province et l'Etat accordent des subventions.

La subvention de la Province varie d'une Province à l'autre, et peut atteindre le tiers de la dépense. Celle de l'Etat est subordonnée à la condition que l'eau sera mise à la disposition du public par un certain nombre de bornes-fontaines, et que la Commune exploitera elle-même sa distribution d'eau : elle est d'ordinaire du tiers de la dépense ; mais elle est ramenée au quart ou au cinquième pour les localités qui tirent un certain revenu des abonnements, et elle n'est pas accordée aux grandes villes, celles-ci pouvant obtenir une rémunération suffisante par la vente de l'eau aux particuliers.

Il n'existe pas de loi pour la protection des sources : l'Etat demande d'ordinaire aux Communes d'acquérir une certaine zone de terrain aux abords des sources, zone que l'on clôture et qu'on ne livre ni à la culture, ni même à la pâture.

En Hollande, les villes et les communes sont maîtresses absolues de leur alimentation en eau : elles ne reçoivent aucune subvention. Du

(1) Ces renseignements nous ont été donnés gracieusement par notre ami, M. Van Lint, directeur de la Technologie sanitaire, de Bruxelles.

reste, en raison de la nature du pays, il y a peu de distributions d'eau basées sur la captation de sources.

III. — *Angleterre* (1). — Ce qui se rapporte à l'approvisionnement d'eau est contenu dans une loi spéciale, le *Public Health Water Act of 1878* : en outre, quelques-unes des dispositions contenues dans les lois antérieures, *Waterworks clauses act of 1847 et 1863* n'ont pas cessé d'être en vigueur. Il faut y ajouter le *Public Health act for London 1891*.

C'est le Local Board of Health qui est chargé de veiller à ce que toute habitation dans son district puisse, à tous les étages, s'approvisionner de bonne eau potable pour les besoins du ménage.

Quand le manque ou la pénurie d'eau, dans une maison, a été signalé, soit par le Medical officer of Health, soit par une plainte quelconque, le Local Board of Health examine les moyens de fournir de l'eau à frais modiques (*reasonable cost*), et sur ses conclusions, le Local Government Board ordonne à la Municipalité de faire exécuter les travaux nécessaires : les travaux ainsi ordonnés sont à la charge des particuliers intéressés. En cas de désaccord sur l'interprétation des mots *frais modiques*, le Local Government Board tranche la difficulté comme suit : après avoir dressé le tarif de la fourniture de l'eau suivant les conditions habituelles du district, il examine si les travaux à faire exigent une somme dont l'intérêt est égal ou inférieur à ce tarif, et dans ce cas, ce sont les particuliers qui doivent payer les travaux ; en cas contraire, la commune se chargerait de la dépense, sauf à faire payer une redevance annuelle aux particuliers. A la campagne, un puits étant construit pour l'usage commun, l'autorité peut imposer une redevance raisonnable à tous les propriétaires qui en font usage et qui ont leurs maisons à une distance maxima de 183 m.

En principe, aucune maison ne peut être bâtie ou reconstruite sans que le propriétaire présente un certificat du Local Board of Health, déclarant qu'il se trouve à portée de l'eau potable en quantité suffisante. Enfin, les mêmes autorités sont chargées, bien entendu, de surveiller la qualité des eaux d'alimentation : les frais d'inspection et d'analyses sont supportés par les Communes. Quant à la protection, tout propriétaire de terrains est tenu de veiller à ce que l'eau des puits et sources qui s'y

(1) Une partie de ces renseignements proviennent de l'ouvrage de Palmberg : « Traité d'hygiène publique dans les différents pays d'Europe » ; les autres nous ont été donnés par notre ami, M. Kemna qui connaît à fond l'Angleterre.

trouvent ne soit pas souillée et ne devienne pas, d'une manière quelconque, nuisible à la santé publique : si une fosse à immondices est dans un étal tel qu'elle souillerait l'eau des sources ou puits voisins, il est défendu de s'en servir tant qu'elle n'a pas été convenablement réparée. Le Local Board of Health peut toujours ordonner la mise hors d'usage d'un puits, d'une citerne ou d'un aqueduc dont l'eau lui paraît dangereuse ou suspecte, et il avise aux moyens de conjurer le péril.

Pour les projets des villes, les Municipalités anglaises font dresser les plans, soit par leurs ingénieurs ordinaires, soit par des spécialistes : on sait qu'elles recourent souvent à l'intermédiaire de Compagnies concessionnaires. Les Villes et les Compagnies d'eau ne peuvent emprunter, ni augmenter leurs capitaux qu'avec l'autorisation du Parlement, qui se trouve ainsi juge suprême des grands projets. Tous les plans sont donc envoyés à ce que l'on nomme un Comité spécial de la Chambre des communes : ce Comité entend toutes les réclamations ou oppositions et fait pratiquer une enquête de *commodo et incommodo*.

Disons encore qu'à Londres, le Gouvernement a un inspecteur spécial qui doit s'aider d'un chimiste et d'un bactériologiste pour contrôler constamment la qualité des eaux.

IV. — *Allemagne* (1). — C'est le Wurtemberg qui a commencé (dès 1865) à s'occuper de l'organisation d'un service d'approvisionnement d'eau, et il a eu la bonne fortune de s'attacher pendant de longues années l'ingénieur Ehmann. Le service technique ainsi créé est chargé d'examiner gratuitement tous les projets des Communes et de vérifier les comptes dans les cas importants : la direction même des travaux est laissée au choix des Communes. Exception a été faite toutefois pour l'important projet de la « Rauhe Alb » qui a été exécuté et subventionné par l'Etat (rappelons qu'il s'agissait de grouper 108 villages, représentant 42.000 habitants, pour leur donner une alimentation d'ensemble.)

Dans le Grand-Duché de Bade, les projets d'adduction d'eau dépendent depuis 1878 de la Direction des routes et des travaux hydrauliques : les agents de l'Etat étudient et après approbation de la Direction exécutent les projets, directement et sans rémunération de la part des Communes ; ils vérifient et surveillent, en outre, les projets dressés

(1) Ces renseignements nous ont été fournis d'une part par M. Frühlings, professeur à l'Ecole polytechnique de Dresde, et d'autre part par M. Brenner, président du Bureau technique pour les approvisionnements d'eau à Munich.

par des spécialistes indépendants. Il n'y a de subvention qu'en cas d'intérêt spécial pour l'Etat.

La Bavière, à l'exemple du Wurtemberg a, depuis 1878, un Bureau technique spécial pour les approvisionnements d'eau, rattaché au Ministère de l'Intérieur. Ce Bureau (qui exposait précisément à Paris les résultats très remarquables de son activité) étudie les projets et surveille les travaux et ensuite l'exploitation, sans rétribution de la part des Communes : il apprécie et contrôle également les projets dressés par d'autres ingénieurs. L'Etat donne des subventions se montant généralement au quart de la dépense. Cette organisation nous paraît vraiment parfaite.

En Alsace-Lorraine, d'après un décret du 29 mars 1878, les projets et travaux communaux d'adduction d'eau sont de la compétence des ingénieurs agricoles, qui sont défrayés à ce sujet comme pour les travaux d'amélioration des cours d'eau : les subventions ne sont accordées qu'à ceux de ces travaux qui sont confiés à ces ingénieurs (instructions du 13 juillet 1880).

Dans les pays de l'Allemagne du Nord, la direction et le contrôle techniques des distributions d'eau ne sont pas organisées officiellement, mais le contrôle hygiénique est très sérieusement exercé par les autorités médicales superposées : le Kreisphysicus, le Regierungs-Medizinalrath, la « Wissenschaftliche Deputation für das Medizinalwesen » et au-dessus de tout, le Reichsgesundheitsamt (dont nous connaissons déjà l'action et la surveillance sur les installations de filtrage). Il rentre dans la mission du Kreisphysicus d'inspecter les puits et fontaines de son arrondissement, pour s'assurer que l'eau débitée est de bonne qualité, et en cas contraire, les autorités locales peuvent prescrire telles mesures qu'elles jugent convenables. Une circulaire du 24 août 1899 du Ministre de l'Intérieur et des Affaires médicales insiste sur l'importance du choix d'une eau pure pour l'alimentation publique et demande un examen sérieux des nouveaux projets et une surveillance constante des installations existantes (1).

Il n'existe pas de loi pour la protection des eaux souterraines ; mais

(1) Nous apprenons au dernier moment qu'il est question d'installer à Berlin, dans le local du Laboratoire de la Société d'Agriculture allemande, une Station centrale pour toutes les recherches et vérifications relatives d'une part à la qualité des eaux de boisson, d'autre part à la clarification et épuration des eaux d'égout. Cette Station dépendrait de la Division des Affaires médicales au Ministère des Cultes, et serait dirigée par une Commission comprenant des représentants des autres Ministères intéressés : elle fonctionnerait dès le 1^{er} avril prochain et apporterait l'unité de méthode dans les travaux futurs.

il en est question dans des projets de loi sur le régime des eaux en Prusse et en Saxe. Actuellement, on peut obtenir, par une action civile, réparation du préjudice causé par une contamination des eaux qui serait reconnue par des experts.

V. — *Autriche-Hongrie*. — En Autriche, le Bezirksarzt remplit le même rôle que le Kreisphysicus de Prusse : il existe aussi des Conseils provinciaux de santé (Landessanitätsrath) et un Conseil supérieur (oberster Sanitätsrath), qui peuvent être consultés ; mais les questions d'eau potable restent généralement des affaires municipales.

La Hongrie a organisé, depuis 1890, et plus complètement depuis 1897, à l'exemple de la Bavière, un Bureau d'Ingénieurs sanitaires qui constitue la 5^e section de la Direction des Eaux au Ministère de l'Agriculture. Ces ingénieurs sont chargés de dresser et d'exécuter gratuitement (sauf leurs frais sur place) pour les Communes, les projets de distribution d'eau et d'assainissement : leur activité a déjà donné d'importants résultats relatés dans une brochure de M. Kalman de Farkass.

VI. — *Italie*. — Rappelons seulement que la loi sanitaire italienne, qui date du 22 décembre 1888, prescrit formellement que : « Toute Commune « doit être pourvue d'eau potable reconnue pure et de bonne qualité : là « où il n'en est pas ainsi, la Commune peut être obligée par le Préfet à « s'en procurer en quantité suffisante. » Le règlement pour l'application de la loi donne au Ministre de l'Intérieur le pouvoir de syndiquer plusieurs Communes en vue d'une adduction d'eau : on sait que le Gouvernement essaie en ce moment de former un immense syndicat pour desservir en eau potable toute la province des Pouilles, de Foggia au golfe de Tarente. Les Préfets ont pour les éclairer un médecin provincial et un Conseil sanitaire provincial.

VII. — *Russie* (1). — Sauf les distributions d'eau déjà anciennes de Tsarskoë-Sélo et de Moscou qui relèvent du Ministère des voies de communication, les questions d'alimentation d'eau des villes russes dépendent des Conseils municipaux et du Ministère de l'Intérieur. Les projets dressés par les Ingénieurs choisis par les villes, sont examinés par le Comité technique du Ministère de l'Intérieur et ne peuvent être exécutés qu'après son approbation : l'Etat n'intervient pas dans la dépense. Des Congrès bisannuels réunissent les Ingénieurs, les repré-

(1) Renseignements donnés par notre camarade d'école M. de Timonoff, professeur à l'Institut des Voies de communication, à Saint-Petersbourg.

sentants des Municipalités et les Médecins hygiénistes, et discutent de tous les points intéressant l'art de l'Ingénieur sanitaire.

VII. — *Etats-Unis*. — La plupart des Etats de l'Union ont un *State Board of Health*, qui doit approuver les projets d'alimentation des villes et fait faire les analyses : nous avons vu l'activité de quelques-uns de ces Conseils. Il n'existe pas encore, du moins que nous sachions, de loi pour la protection des eaux superficielles ou souterraines, mais nous avons sous les yeux un vœu émis dans ce sens, il y a peu d'années par l'American Water-Works Association.

Janvier 1904.

D^r ED. IMBEAUX

REVUE TECHNIQUE
DE
L'EXPOSITION UNIVERSELLE
DE 1900

COURBEVOIE

IMPRIMERIE E. BERNARD ET C^{IE}

14, RUE DE LA STATION, 14

BUREAUX A PARIS, 29, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

Revue Technique
DE
L'EXPOSITION UNIVERSELLE
DE 1900

*Par un Comité d'Ingénieurs,
d'Architectes, de Professeurs et de Constructeurs*

Directeur

G. JACOMET *

DIRECTEUR-INGÉNIEUR DES POSTES ET TÉLÉGRAPHES
DIRECTEUR
DE L'ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE
EN RETRAITE

QUATRIÈME PARTIE

Génie Civil

—
TOME I

PARIS

E. BERNARD & C^{ie}, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
29, Quai des Grands-Augustins, 29

—
1902

CHAPITRE II

Assainissement des Villes.

§ I. — Eloignement et traitement des immondices liquides (eaux usées et matières fécales).

Généralités. — Il ne suffit pas de distribuer une eau pure et abondante à la cité, il faut encore assurer son *assainissement*, — et par ce terme nous entendons l'éloignement ou la suppression sur place de toutes les causes d'insalubrité, avant qu'elles puissent devenir dangereuses pour la santé des habitants. Or, comme dans tout organisme vivant, ces causes de danger résultent soit de la formation et de l'accumulation rapide — et qui serait bientôt intolérable — des produits de déchet de la vie normale elle-même, soit de la présence de membres malades et en quelque sorte gangrenés dans le corps social. Il faut donc munir l'organisme urbain, d'une part, d'émonctoires convenables, c'est-à-dire capables d'éloigner ou de détruire en temps utile toutes les *immondices*, d'autre part, de procédés de défense, suffisants pour étouffer, au plus tôt, tout péril de contagion naissante : puis, ces appareils installés, il faut encore, bien entendu, en assurer et en surveiller le bon fonctionnement en permanence. D'après cela, nous passerons donc en revue tout d'abord les moyens d'évacuer ou de rendre non nuisibles les immondices, ce qui nous conduira à faire trois paragraphes suivant qu'il s'agit des immondices liquides, solides ou aériennes, et nous consacrerons ensuite un dernier paragraphe aux moyens d'éteindre les foyers de contagion dès leur apparition au sein de l'agglomération urbaine.

Nous donnons le nom général d'immondices à tous les produits de déchet de la vie humaine, animale et industrielle d'une cité. Une bonne partie de ces produits sont liquides ou du moins faciles à entraîner par l'eau (qui est, il faut le reconnaître, un véhicule des plus commodes pour entraîner les corps ténus ou faciles à dissocier en particules té-

nues) ; telles sont les eaux de lavage des rues, cours, maisons, voitures, etc., celles de lavage du linge et des habits, les eaux de toilette et de bains, les eaux ménagères, les eaux industrielles, les urines et les matières fécales, ces dernières se diluant très facilement, du moins à l'état frais, dans une quantité d'eau suffisante. Cet ensemble constitue ce qu'on appelle les *eaux usées* et les *eaux-vannes* (c'est en somme ce qu'est devenue l'eau distribuée, après qu'elle a servi aux différents usages auxquels elle est destinée), et ces liquides sont tellement chargés de principes nocifs qu'il faut les évacuer au plus vite. Mais il s'y ajoute, du moins par intermittences, d'autres eaux qui, si elles sont pures au moment de leur chute, ne tardent pas en balayant les toits et surtout le sol si souillé des villes à se charger également de substances nuisibles : nous voulons parler des *eaux pluviales* qui deviennent ainsi semblables aux eaux de lavage des rues, et qui, indépendamment des dangers de submersion, doivent être évacuées au même titre très rapidement. Enfin, il se mêle souvent encore à toutes ces eaux le produit des sources qui peuvent naître dans l'intérieur de l'agglomération, ainsi que l'apport de ruisseaux venant du dehors et reçus dans les égouts à leur entrée en ville. Tout cela forme ce que M. Bechmann appelle très justement l'*efflux urbain* (vulgairement les *eaux d'égout*, ou le *sewage* des Anglais).

On a comparé souvent cet efflux au sang veineux, l'eau de la distribution représentant le sang artériel : la comparaison est juste et peut être poussée plus loin. Ainsi nos corps possèdent un organe merveilleusement adapté au rôle si important de régénération du sang veineux par un contact intime avec l'oxygène de l'air, et ce n'est qu'après cette *épuration* que le sang peut rentrer dans la circulation générale. De même, le plus souvent, les villes ne peuvent sans danger, soit pour elles, soit du moins pour les villes et campagnes voisines, rejeter leur efflux dans la circulation générale des eaux superficielles ou souterraines, sans l'avoir épuré de manière à lui enlever toute nocuité. Le champ ou usine d'épuration fonctionne donc comme un gigantesque poumon dans lequel les substances nuisibles, séparées de l'efflux, transformées et oxydées, seront susceptibles d'être utilisées à nouveau ou réunies sans danger à la masse terrestre. Ainsi, après les procédés d'évacuation, nous aurons à étudier les procédés d'épuration de l'efflux urbain : auparavant, afin de préciser les données du problème, nous devons dire quelques mots du volume et de la composition de cet efflux.

Volume des eaux d'égout. — Le volume de l'efflux total est très variable suivant les moments, ce qui tient à ce qu'il se compose d'une partie relativement fixe, les eaux usées et les eaux-vannes, et d'une partie sujette au contraire à de très grandes variations, les eaux pluviales.

Le cube des urines et matières fécales fourni journellement ou annuellement par la population est facile à connaître : Heiden l'évalue en moyenne comme suit par tête d'habitant, et il donne en même temps la teneur en substances diverses.

	POIDS FOURNIS par jour et par tête			POIDS FOURNIS par an et par tête		
	Matières fécales	Urines	Ensemble	Matières fécales	Urines	Ensemble
	gr.	gr.	gr.	kg.	kg.	kg.
A l'état naturel . . .	133,0	1200,0	1333,0	48,50	438,0	486,5
Teneur en substances so- lides (sèches) . . .	30,3	63,0	93,3	11,0	23,0	34,0
Matières organiques . . .	25,8	50,0	75,8	9,4	18,2	27,6
Azote	2,1	12,1	14,2	0,8	4,4	5,2
Substances minérales . . .	4,5	13,0	17,5	1,6	4,8	6,4
Acide phosphorique . . .	1,64	1,8	3,44	0,6	0,66	1,26
Potasse	0,73	2,22	2,95	0,27	0,81	1,08

Cela ferait donc par 1 000 habitants un cube annuel de 486^l,5, dont 11 t de substances solides non dissoutes à entraîner par les liquides. Lehmann et Wolff, donnent des chiffres voisins : 33^l,17 de matières fécales, et 428^l,29 d'urine, soit ensemble 471^l,46 pour 1 000 habitants, comprenant 37,6 0/0 d'hommes adultes, 34,63 0/0 de femmes, 14,06 0/0 de petits garçons et 13,70 0/0 de petites filles. Il est clair que dans une ville où subsistent encore des fosses fixes ou mobiles, il faudrait déduire la partie de la population dont les excréments échappent à la canalisation.

Le volume des eaux usées est déjà plus difficile à calculer. Si l'eau employée provenait exclusivement de la distribution, il devrait y avoir un rapport assez constant (en dehors des pluies) entre le débit de l'aqueduc adducteur et celui de l'égout collecteur, et en raison des pertes, la différence serait un déficit pour ce dernier. Il en est ainsi

pour certaines villes, où le déficit existe, même malgré l'apport des pluies ordinaires (on sait que le produit des grandes averses s'écoule généralement à la rivière, soit directement, soit par des déversoirs, et n'est dès lors pas compté dans le débit du collecteur) : ainsi Paris distribue 220 lit. par tête et par jour et n'évacue que 192 lit. en moyenne ; Londres distribuait en 1889 175 lit. et n'en évacue que 135. Mais, ailleurs, le supplément d'eau tiré en dehors de la distribution, soit des puits et sources existant dans l'intérieur de la ville, soit des cours d'eau qui la traversent, est assez important pour intervertir les rôles ; enfin, il est clair que l'apport des pluies ordinaires est d'autant plus intense que la surface habitée est plus étendue proportionnellement, c'est-à-dire que la population est moins dense. C'est de la sorte qu'en 1889 Berlin, qui ne distribuait que 64^{lit},3 par tête et par jour à ses 1 193 000 habitants, évacuait 103 lit. moyennement ; la différence de 38^{lit},5 était fournie par la nappe souterraine et par les pluies ordinaires : en 1899, ces chiffres sont devenus 79^{lit},7 pour l'eau distribuée et 120 lit. pour l'eau évacuée par 1 787 356 habitants, soit une différence de 40^{lit},3. De même Lyon, qui ne distribue que 130 lit. en évacue 220 par tête et par jour, et cela sans compter les 75 000 m³ d'eau que l'industrie lyonnaise rejette journellement au Rhône.

Quoiqu'il en soit, il semble, si on ne doit recevoir que les eaux usées et les eaux-vannes à l'exclusion des eaux pluviales (système séparatif) dans la canalisation, qu'il suffira de projeter celle-ci en vue d'un débit moyen sensiblement égal à celui de l'eau distribuée (majoré, s'il y a lieu, de l'eau tirée d'autres provenances) : les auteurs allemands parlent de 180 lit. par tête et par jour, mais nous connaissons en Allemagne même des villes canalisées tout récemment sur la base de 100 lit. seulement ; en France, M. Debaue indique 150 lit. comme un chiffre convenable. Toutefois, il ne faudrait pas baser le calcul des tuyaux sur cette simple moyenne : il y a en effet des variations de débit horaires et saisonnières assez importantes. Pour en tenir compte, on admet en France que l'écoulement de l'efflux journalier se fait en 12 heures, ce qui revient à prendre pour maximum horaire le douzième de ce débit journalier. Les observations faites en Allemagne ont permis d'évaluer à 7 0/0 du débit journalier le débit de l'heure la plus chargée (et à 3 0/0 celui de l'heure qui l'est le moins), et d'évaluer le maximum journalier estival à 1 fois 1/2 la moyenne annuelle : d'après cela, le débit horaire maximum serait de $7 \times 1,5 = 10,5$ 0/0 du débit journalier moyen, chiffre un peu plus fort que 1/12.

Restent les eaux pluviales. Or, si les petites pluies et même les pluies ordinaires d'été ne *profitent* guère plus aux égouts qu'aux cours d'eau (d'après Büsing, il faut une chute d'eau de plus de 2 mm par jour pour qu'on en sente l'effet dans la canalisation des villes allemandes), il en est tout autrement des grandes averses et des orages, lesquels projettent brusquement sur le sol imperméabilisé d'une ville des quantités d'eau considérables. Il importe donc avant tout de connaître le climat et le régime pluviométrique du pays : mais, sans parler des pluies torrentielles des régions tropicales, il arrive à peu près partout en Europe que le produit d'une forte averse est tel qu'il ne peut être pratiquement reçu dans les collecteurs, encore moins envoyé aux champs ou usines d'épuration.

A Paris, on a vu le 9 septembre 1865, une chute d'eau de 52 mm en une demi-heure et le 20 septembre 1867, une de 41 mm en vingt minutes. A Berlin, le 10 septembre 1867, 24 mm en quinze minutes ; à Zürich, le 3 juin 1878, 51^{mm},2 en une demi-heure et 76^{mm},5 en dix minutes ; à Cologne, le 22 juin 1889, 77 mm en une heure et quart ; à Milan, le 7 septembre 1881, 26 mm en une demi-heure ; à Rome, en 1878, 89 mm en une heure ; à Genève, le 30 mai 1827, 462 mm en trois heures ; à Bruxelles, le 4 juin 1839, 113 mm en trois heures ; à Londres, le 1^{er} août 1846, 100 mm en une heure ; à Marseille, le 15 septembre 1872, 240 mm en deux heures ; à Bar-le-Duc, le 15 juillet 1868, 80 millimètres en une demi-heure ; à Stuttgart, le 23 juillet 1883, 149 mm en trois minutes ; à Chicago, de 75 à 150 mm en dix minutes., etc., etc. Quant aux maxima journaliers, il n'est pas rare qu'ils dépassent 200 à 300 mm. A Viviers, on a relevé en une journée 360 mm ; à Villeneuve (Hérault), 578 mm en 26 heures, dont 185 mm tombés en deux heures ; enfin, le commandant Rozet affirme qu'à Gênes, en octobre 1882, il serait tombé 812 mm en 24 heures !

Pour fixer les idées, M. Bechmann montre que l'orage du 9 septembre 1865, s'il avait intéressé les 7 800 hectares qu'occupe Paris, aurait fourni en trente minutes 4 056 000 m³ d'eau correspondant au débit colossal de 2 250 m³ par seconde ! Il est vrai que l'eau tombée n'arrive pas toute simultanément aux émissaires : les filets subissent en route des retards qui prolongent la crue en durée, et abaissent son maximum ; mais il n'en faut pas moins songer à un moment donné à ne plus recevoir dans les égouts ou à en rejeter les eaux de grandes pluies, c'est-à-dire qu'il faut se limiter dans le calcul des dimensions des canaux. C'est ainsi qu'à Paris, Belgrand n'a compté que sur une pluie de 125 lit. par hectare et par seconde (soit 45 mm par heure, chiffre inférieur de plus de moitié à l'orage du 9 septembre 1865), et il a admis en outre que le tiers seulement de ce volume, soit 42 lit., se rendait à l'égout immédiatement (pratiquement, cette règle a bien réussi, et dans les rues ordinaires les égouts suffisent généralement à l'écoulement, les déversoirs n'exis-

Composition moyenne des Eaux d'égout de différentes villes (en mmgr. par litre).

NOMS DES VILLES	Matières en suspens.			Matières dissoutes										Azote total	
	minérales	organiques	azote contenu d. mat. or. an.	Total	mat. organiq. (perte au feu)	azote des mat. organiq.	azote ammoniacal	acide phosphorique	potasse	chaux	magnésie	acide sulfurique	chlore		acide nitrique
I. — Villes pratiquant le « Tout à l'Égout » :															
16 villes anglaises (moyenne de 50 analyses)	241,8	205,1	.....	722,0	.....	22,1	55,2	.....	.....	.....	.....	.....	106,6	0,03	77,3 ⁽¹⁾
Paris { Collecteur de Saint-Denis	221,0	.....	.....	.....	1518,0	140,0	40,0	89,0	484,0	56,0	.....	.....	.....	.....	140,0
Paris { Collecteur de Clichy	652,0	.....	.....	.....	733,0	43,9	17,0	35,0	403,0	18,0	.....	.....	.....	.....	.....
Dantzig	226,0	356,0	.....	683,0	161,0	11,6	53,2	44,0	111,0	14,0	24,0	70,0	0	64,8 ⁽¹⁾	
Berlin (moyenne de 30 analyses)	382,6	701,9	.....	1088,2	313,2	108,8	31,6	72,9	107,5	20,8	72,6	264,6	0	108,8	
Breslau (— 72 —	204,7	200,0	.....	772,2	242,7	18,0	73,8	19,6	60,4	81,8	21,2	77,0	182,8	.....	91,8
Halle (— 3 —	188,8	105,2	38,1	2791,4	589,7	59,1	89,1	43,4	180,7	232,1	326,8	715,0	.....	182,9	
Francfort-sur-Mein	387,0	806,0	45,0	898,0	517,0	11,0	63,0	.....	77,0	.....	71,0	30,0	.....	119,0	
Moyenne (Paris excepté)	271,2	445,7	41,6	1161,5	364,7	24,4	66,9	25,6	89,5	121,7	18,7	114,3	252,3	.....	107,4
II. — Villes ne recevant pas les matières fécales dans les égouts :															
16 villes anglaises (moyenne de 50 analyses)	178,1	213,0	.....	824,0	.....	19,7	44,8	.....	.....	.....	.....	.....	115,4	0	64,5 ⁽¹⁾
Zurich (moyenne de 4 analyses)	36,1	91,5	14,5	480,0	182,2	18,5	8,8	8,5	89,2	.....	.....	.....	22,7	.....	131,3
Munich { Efflux du jour	49,0	31,0	.....	381,0	160,0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Munich { Efflux de la nuit	84,0	77,0	.....	342,0	219,0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Breslau	210,8	.....	.....	729,2	333,8	2,6	24,7	.....	.....	.....	.....	.....	78,7	.....	40,5 ⁽¹⁾
Dortmund (moyenne de 7 analyses)	185,5	244,3	18,1	965,9	283,8	26,2	27,2	13,2	49,7	127,5	27,0	90,5	134,6	.....	73,5
Ottensen	218,8	442,0	24,1	1817,2	367,2	20,7	47,6	23,1	81,2	147,2	.....	.....	628,1	.....	92,4
Essen	105,2	213,4	19,3	843,2	229,6	12,2	38,1	13,1	65,0	76,8	.....	234,0	.....	69,6	
Brunswick	447,5	635,0	54,5	857,5	390,0	92,5	42,2	29,4	122,5	32,4	89,2	213,1	.....	147,0	
Halle (moyenne de 5 analyses)	402,0	423,4	23,9	1633,0	329,0	21,3	67,8	27,6	176,0	275,2	354,8	209,1	.....	112,9	
Moyenne (Munich, Zurich et Ottensen excep.)	263,7	345,8	28,9	975,3	313,1	16,4	40,5	24,0	80,0	150,5	29,7	89,9	164,1	.....	84,6

(1) Non compris l'azote des matières en suspension.

tant que sur les collecteurs). Dans beaucoup d'autres villes, on a pris des chiffres encore notablement plus bas, mais nous y reviendrons avec quelques détails à propos du calcul des sections des égouts.

Composition des eaux d'égout.—Il semblerait *a priori* que le sewage doit être bien différent et bien plus chargé de matières nuisibles dans les villes où les égouts reçoivent les matières fécales : il n'en est rien cependant, ou du moins, ainsi qu'on peut le constater, par le tableau ci-contre emprunté à König, la différence n'est pas bien sensible.

Cette faible différence tient sans doute à la dilution plus grande qui se fait dans les villes pratiquant le tout à l'égout : ces villes jettent beaucoup plus d'eau que les autres dans la canalisation, et la proportion se trouve presque rétablie.

Rien de plus variable toutefois que la composition des eaux d'égout, non seulement d'une ville à l'autre, mais dans une ville d'un quartier à l'autre et principalement d'un moment à l'autre. Entre les villes et les différents quartiers d'une même ville, les différences tiennent surtout à la densité et aux habitudes de la population, ainsi qu'à l'influence parfois très grande des apports d'eaux industrielles ; entre les diverses périodes de la journée ou de l'année, elles tiennent aux variations horaires de la consommation de l'eau, et aussi aux intermittences des chutes de pluie, à l'intensité et à la durée des averses, etc. Enfin, il est clair qu'une ville peut modifier la composition de son eau d'égout en augmentant ses ressources en eau : c'est sans doute la raison qui a fait tomber la teneur moyenne totale de l'eau des égouts de Paris en matières suspendues et dissoutes de 2^{es},908 par lit. en 1878, (d'après A. Durand-Claye), à 1^{er},645 (collecteur du Nord) et 1^{er},273 (collecteur d'Asnières) en 1899 (d'après M. Bechmann). Ces derniers chiffres sont voisins de ceux des autres capitales : le sewage de Londres a moyennement une teneur totale de 1^{er},257 (dont 612 milligrammes de matières en suspension et celui de Berlin de 1^{er},425 (dont 670 milligrammes de matières en suspension). A Paris, les matières organiques n'entrent en général que pour un tiers environ de la teneur totale, et les matières minérales sont dès lors deux fois plus abondantes (ce qui pourrait bien provenir de la projection fréquente des boues liquides dans les égouts) : la proportion des matières organiques est plus forte à Berlin, Breslau, Dantzig, etc., et atteint près de moitié. Aux Etats-Unis, le sewage est d'ordinaire plus dilué qu'en Europe, ce qui tient à la plus grande abondance de l'eau distribuée : ainsi à Worcester (Massachusetts) on ne trouve que 0^{es},364 de

matières en suspension et 0^{gr.},284 de matières dissoutes. La moyenne du sewage de Lawrence pendant plusieurs années donne :

	mmgr.
Ammoniaque libre	18, 6
Ammoniaque albuminoïde	6, 6
Chlore	67, 3
Oxygène	34, 4
Bactéries par cm ³	891, 000

Les variations de composition dans une même journée ont été étudiées par divers auteurs. A Fribourg-en-Brigau, Lubberger donne les chiffres suivants pour l'efflux ordinaire (1893) :

HEURES	DÉBITS horaires	COMPOSITION DE L'EFFLUX (mmgr. par litre).					
		Matières organi- niques	Chlore	Acide nitrique	Ammo- niaque	Acide phos- pho- rique	Potasse
De 4 à 5 h. matin	196 m ³	21	28	18	6	10	2
De 9 à 10 h. —	217	250	37	37	65	35	27
De 3 à 4 h. soir.	365	194	32	10	34	15	27
De 9 à 10 h. —	271	143	33	2	31	14	13
Journée entière	7093 m ³	156	32	18	40	17	20

Pour une ville d'Angleterre, Rideal (1) donne les chiffres ci-dessous qui montrent en même temps la différence en temps sec et en temps d'orage :

TEMPS	HEURES	DÉBITS en 24 h.	Composition de l'efflux (mmgr. par litre).						
			Matières dissoutes	Chlore	Oxygène consommé	Ammoniaq.		Azote nitrique	Azote nitreux
						libre	alumi- noïde		
Temps sec	de 10 h. m. à 5 h. s.	235 m ³	775	122, 5	72, 3	80	15	0	0
	de 6 h. s. à 1 h. m.		450	62, 5	69, 1	29	6	»	»
	de 2 h. m. à 9 h. m.		340	42, 5	55, 7	9	3, 5	»	»
Après un orage	de 10 h. m. à 5 h. s.	360 m ³	544	77, 5	35, 8	115	41, 2	0, 56	0
	de 6 h. s. à 1 h. m.		456	52, 5	26, 6	35	17, 5	0, 14	trace
	de 2 h. m. à 9 h. m.		344	37, 5	7, 4	45	55	trace	très sen- sible

(1) S. Rideal. *Sewage and the bacterial purification of sewage*, 1900.

A Berlin, d'après Weyl (1894), l'azote total de l'efflux ordinaire varie de 98 milligrammes à 7 heures du matin, à 127 milligrammes à midi, et 87 milligrammes à 5 heures du soir : Vogel (1896) donne des chiffres un peu différents, 63 milligrammes de 8 à 9 heures du matin ; 168 milligrammes de 10 heures à midi, et 74 milligrammes à 3 heures du soir. La teneur de l'eau en principes divers⁽¹⁾ augmente donc dans la matinée et jusqu'un peu après midi, pour diminuer ensuite et passer par un minimum dans la nuit. Dans les villes très industrielles, la composition se sent de la nature et des habitudes des diverses manufactures : ainsi à Roubaix, Grandeau donne les chiffres ci-dessous (en milligr. par litre) :

	Résidu fixe	Graisse	Azote organique	Azote ammoniacal	Acide phospho- rique	Potasse
Efflux du dimanche. (Repos des manu- factures.)	1300	35	6	1	44	108
Efflux des jours ouvriers						
à 5 h. du matin.	7700	2421	102	25	350	497
à 11 h. du matin.	5467	1232	85	5	293	267
à 5 h. du soir .	4567	1335	53	16	136	282
Moyenne. .	5911	1663	80	15	259	348

L'influence des chutes de pluie est aussi très considérable. Loin d'amener une dilution et de diminuer la teneur de l'eau d'égout en matières étrangères, les averses produisent l'effet inverse, en raison notamment de l'entraînement d'énormes quantités de matières et plus spécialement de matières minérales enlevées aux chaussées et à la surface du sol, des toits, etc., ou poussées plus avant sur les radiers des égouts eux-mêmes. Ainsi, en ce qui regarde l'eau qui ruisselle sur les chaussées, Rœchling a trouvé à Londres qu'elle entraînait les quantités suivantes de matières :

(1) Surtout en chlore par suite de l'urine.

	MATIÈRES en suspension		MATIÈRES dissoutes		AZOTE		CHLORE
	organi- ques	miné- rales	organi- ques	miné- rales	ammo- niacal	orga- nique	
Eau de pluie ruisselant :	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.
1° Sur les chaussées pavées en bois.	834, 3	9805, 7	1171, 4	4621, 4	68, 8	42, 5	540, 0
2° Sur les chaussées macada- misées.	777, 1	20205, 5	385, 7	1785, 7	35, 4	24, 9	244, 0
Composition de l'efflux en temps de sécheresse. . .	212, 0	179, 0	276, 0	571, 0	45, 1	5, 5	150, 0
Composition de l'efflux par la pluie	514	1828	631		74		»
Composition moyenne de l'an- née.	258	354	645		80		»

Ces chiffres donnent une bonne idée du formidable coup de balai qu'une averse produit dans les rues et de son effet sur les eaux d'égout, qui ne deviennent pas plus riches (au contraire) en matières dissoutes, mais se chargent de matières en suspension. De même, Weyl indique qu'à Francfort-sur-Mein, alors qu'on a par le temps sec 148 milligrammes de corps en suspension par litre, et 838 milligrammes de matières dissoutes, on trouve en temps de pluie 1 000 gr. de corps en suspension (dont 797 milligrammes de substances minérales) et 488 milligrammes de substances dissoutes.

Enfin, la composition de l'eau d'égout en quelque sorte une fois constituée ne reste pas constante : au bout de fort peu de temps, surtout si elle devient stagnante, cette eau est le siège des processus très complexes de la fermentation et de la putréfaction. Les phénomènes qui s'accomplissent grâce à la pullulation successive ou alternative de diverses espèces de microbes aérobies et anaérobies, tendent à aboutir à une simplification de la molécule organique et à une dissociation des corps composés en des éléments plus simples : il y a généralement dégagement de gaz et d'odeurs putrides, formation de corps colloïdes et de peptones aux dépens des albuminoïdes, puis de corps cristallisables, leucine, tyrosine, glyco-colle, etc., puis de composés ammoniacaux et enfin de nitrites, et comme dernier terme de nitrates. Cette série de transformations sur lesquelles nous reviendrons plus en détail, ne doit s'exécuter

qu'en dehors de la ville, et c'est elle qui, dirigée convenablement, constitue l'épuration : pendant l'évacuation même, l'hygiéniste ne doit chercher qu'à éviter un commencement de fermentation.

La composition bactériologique des eaux d'égout est plus complexe et plus variable peut-être encore que leur composition chimique. C'est par centaines de mille et par millions que se comptent les bactéries d'un centimètre cube de sewage, et les espèces rencontrées sont des plus variées : les bactéries des matières fécales et celles du sol y dominent tout naturellement, soit ensemble, soit alternativement, suivant les périodes de sécheresse ou de pluies ; les bactéries pathogènes y végètent plus ou moins longtemps, mais il faut reconnaître que, vu leur peu de résistance, elles sont d'ordinaire rapidement étouffées par des espèces plus banales ; les anaérobies sont très abondantes, surtout comme nous venons de le dire à certaines périodes de la fermentation ; enfin, à côté des microbes proprement dits, on peut trouver toutes les variétés de la faune et de la flore microscopiques, et principalement les êtres qui n'ont pas grand besoin d'oxygène pour vivre (puisque les eaux d'égout ne contiennent pas ou peu d'oxygène dissous). L'analyse bactériologique ne diffère pas essentiellement de celle des eaux potables, mais il faut faire des dilutions très étendues, rechercher les anaérobies par les méthodes qui leur sont propres, etc. : la méthode de Miquel, des dilutions fragmentées dans les bouillons, est ici préférable, et de beaucoup la plus exacte, mais on sait qu'elle exige un matériel énorme ; la diagnose des espèces devient aussi très compliquée. Enfin, certaines espèces ne poussent que sur des milieux spéciaux : tels sont notamment les *microbes nitrificateurs* qui, soupçonnés par Schløesing et Müntz, ont été assez bien déterminés par les récents travaux de Winogradsky (1), et d'après cet auteur ne pousseraient que dans des liquides de culture absolument privés de matières organiques.

Mais comment jugera-t-on du degré d'impureté d'une eau d'égout ? Le nombre des germes au centimètre cube est souvent donné comme criterium, mais il est clair qu'il n'a pas grande signification. La teneur totale en matières tant suspendues que dissoutes n'est pas non plus un bon indice, car parmi ces matières il faudrait savoir combien il y en a d'inertes (silice, argile, chaux, etc.). Il semble bien que ce qui fait le degré d'impureté, c'est la quantité de matières *fermentescibles* et par

(1) Voir divers Mémoires de cet auteur dans *Annales de l'Institut Pasteur*, 1890 et 1891 ; *Archives des Sciences biologiques de Saint-Petersbourg*, 1891 et 1899 ; *Centralblatt für Bakteriologie*, 1896.

conséquent de matières organiques, celles-ci étant susceptibles de décomposition : mais l'évaluation de ces matières organiques n'est pas facile (voir page 272) et c'est ici que commencent les discussions. Les uns, avec le D^r Thumm (1) chimiste des essais d'épuration des eaux d'égout de Hambourg par le procédé biologique, mesurent le *degré d'oxydabilité*, c'est-à-dire la quantité d'oxygène qu'il faut fournir à l'eau, en l'empruntant au permanganate de potasse, pour oxyder les matières organiques (2) : or, nous savons déjà que le résultat varie suivant que le milieu est acide ou alcalin, que l'urée n'est pas attaquée, que la réaction est gênée par la présence des nitrites, des chlorures, des sels de fer et de manganèse, etc. D'autres, notamment le D^r Nietner, jugent du degré de souillure en recherchant l'*azote organique*. Mais Thumm critique le procédé employé pour cette recherche (ce procédé, qui a été adopté par la Commission d'appréciation des expériences de Schweder à Gross Lichterfelde (1898 et 1899), consiste à calculer la différence entre l'azote total et l'azote ammoniacal volatil, tous deux évalués par la méthode de Kjeldahl, après destruction et expulsion de l'azote des nitrates), et dit que les nitrates devraient être évalués directement par une méthode colorimétrique, que l'azote ammoniacal ne vient pas forcément de corps négligeables comme impureté, etc. Bref, on peut dire qu'il n'y a pas de méthode permettant de représenter véritablement tous les corps qui forment en bloc la souillure d'une eau : il faut se contenter d'une indication partielle ou mieux de plusieurs simultanément (nombre de germes, oxydabilité par le permanganate en milieu acide et

(1) Voir le Mémoire « Zur Frage über die Natur und Anwendbarkeit des biologischen Abwasser-Reinigungs-Verfahren » publié par l'Institut d'Hygiène de Hambourg dans « Vierteljahr für öffentliche Gesundheitspflege, XXXI, 4 » ainsi que les articles successifs du D^r Thumm et du D^r Nietner dans « Gesundheits-Ingenieur » de 1899 et 1900.

(2) Il est bon de dire que la question de signification du degré d'oxydabilité ou de la quantité d'oxygène consommé (oxygen test) a été discutée attentivement dans les réunions de la Society of Chemical Industry à Manchester (janvier et avril 1898). Les conclusions suivantes ont été élaborées :

1^o L'oxygène consommé (emprunté au permanganate acide) pendant les trois premières minutes indiquerait les nitrites, les sels de fer, l'hydrogène sulfuré, et les matières en putréfaction décomposant le permanganate au premier contact ;

2^o L'oxygène consommé entre 3 et 15 minutes indiquerait les matières facilement putréfiables ;

3^o L'oxygène consommé entre 15 minutes et 4 heures indiquerait les matières capables de se putréfier, mais avec lenteur.

Ainsi, Scudder a trouvé que l'efflux de Salford absorbait en 3 minutes 8,7 d'oxygène, en 12 minutes 10,7, en 225 minutes, 13,1 et en 4 heures, 32,5, ce dernier chiffre étant quatre fois plus élevé que celui des trois premières minutes.

en milieu alcalin, oxygène dissous, azote total ⁽¹⁾, azote organique, ammoniacque albuminoïde, azote nitreux et nitrique et juger d'après cela de l'ensemble.

Nous signalerons, cependant, une méthode nouvellement indiquée par MM. Dibdin et Tudichum (article du *Journal Society of Chemical Industry*, 1900). Elle consiste à noter les quantités d'oxygène dissous ⁽²⁾ que l'eau étudiée prend au bout d'intervalles de temps successifs à une autre eau parfaitement aérée avec laquelle on la met en contact. Ainsi, on dédouble l'échantillon avec autant d'eau bien aérée, et ayant mis le tout dans un vase choisi de manière que la hauteur d'eau égale le diamètre, on recherche tous les jours ou plusieurs fois par jour la teneur du mélange en oxygène (en employant de préférence le procédé volumétrique) : l'oxygène disparu est employé naturellement à l'oxydation des matières organiques de l'eau d'égout, et on a une bonne idée de celles-ci ainsi que de la rapidité avec laquelle elles se modifient; toutefois, d'après Scudder la diminution d'oxygène en trois jours ne serait appréciable qu'avec des eaux absorbant plus de 1,4 partie d'oxygène du permanganate (1 grain par gallon) en quatre heures. Ce moyen expérimental est en somme une réduction de ce qui se passe en grand dans un cours d'eau quand il reçoit un égout : la teneur de l'eau du fleuve en oxygène diminue après le confluent, l'eau propre fournissant son oxygène à l'eau sale, et cela jusqu'à ce que les emprunts faits à l'air atmosphérique aient rétabli l'équilibre. Les auteurs estiment ainsi qu'un million de mètres cubes d'eau de la Tamise absorbe par jour 10¹,5 d'oxygène : ils admettent également que l'abaissement de la teneur d'un fleuve en oxygène au-dessous de 50 0/0 cesserait d'être tolérable.

On sait aussi que Dibdin étudie l'effet physiologique de l'eau d'égout sur la santé des poissons. Ceux-ci sont assez peu sensibles aux contami-

(1) Les auteurs anglais attachent une certaine importance au rapport de l'azote total au chlore. Dans les matières fécales fraîches, ce rapport est voisin de 1, en sorte qu'il en sera encore de même dans une dilution de ces matières avec de l'eau pure, et si ultérieurement le rapport diminue, cela prouve que l'azote est disparu partiellement par la voie gazeuse pendant la fermentation ; le processus terminé et ayant abouti à la nitrification, le rapport ne changera plus, mais sera petit. C'est ce rapport que l'on appelle *residual ratio*.

(2) On peut aussi, bien entendu étudier l'oxygène dissous dans l'eau à étudier et suivre ses variations, comme l'a indiqué Winkler et comme l'indique Rideal (ouvrage cité) ; mais dans un sewage un peu chargé, il n'y a pas ou très peu d'oxygène, et c'est pourquoi il vaut mieux ajouter une autre eau aérée qui en apporte.

nations de nature fécale et leur mort indiquerait plus spécialement l'existence dans l'eau de poisons minéraux : elle ferait évidemment exclure cette eau des rivières, mais l'inverse — c'est-à-dire le fait que les poissons vivent — ne veut pas dire évidemment que le sewage est acceptable.

Enfin, dans les recherches faites en 1899 à Manchester, on est revenu au procédé de Dupré (1884) qui consiste à étudier comment se putréfie l'eau mise à l'étuve à température constante. Après avoir pris son degré initial d'oxydabilité en trois minutes, on la met cinq jours à l'étuve à 27°, et on détermine à nouveau l'oxygène consommé en trois minutes : s'il s'est fait une putréfaction pendant ce temps, le second nombre sera notablement plus élevé que le premier, en raison de la plus rapide oxydabilité des produits de la putréfaction ; si au contraire l'eau s'est bien conservée, il y aura une légère diminution. Ce procédé est nommé *incubator test* : le Mersey and Irwell Joint Board l'applique aussi, mais en mettant l'eau à 18° pendant sept jours, ce qui prolonge inutilement l'opération.

Un mot encore de la *richesse* que représente le sewage comme engrais, richesse qu'on laisse perdre inutilement quand on le jette directement dans les cours d'eau et qu'on utilise au contraire, mais seulement en partie, quand on fait de l'épandage ou de l'épuration. Les matières utiles sont :

L'azote organique que Vogel estime à	1 fr. 00 le kg.
L'azote ammoniacal	— 1 fr. 50 —
L'acide phosphorique	— 0 fr. 375 —
La potasse. . . .	— 0 fr. 10 —

Si nous appliquons ces chiffres aux termes du tableau de König (voir ci-dessus) pour les villes qui ont le tout à l'égout, nous trouvons une valeur totale de 0 fr. 184 le mètre cube. Si on écarte les matières en suspension qui peuvent être sédimentées préalablement on trouve encore 0',142 pour la valeur des matières dissoutes. Il est clair que les vidanges seules ou les eaux-vannes et usées du système séparatif sont beaucoup plus riches : il en est de même de l'efflux des villes industrielles, sinon comme engrais, du moins comme valeur commerciale : ainsi le tableau de Grandeau nous montre les quantités énormes de graisses que contient l'eau de Roubaix, mais les diverses tentatives faites pour l'extraction et l'utilisation industrielle de ces graisses n'ont pas encore donné jusqu'ici des résultats avantageux. (Nous apprenons toutefois qu'une nouvelle

Société se forme pour appliquer un procédé de séparation des graisses par l'acide sulfurique et espère réussir). Les chiffres élevés ci-dessus ne veulent pas dire qu'on doit s'attendre à trouver la fortune dans le traitement du sewage : l'extraction des matières utiles est en effet difficile et onéreuse, et nous estimons, du reste, comme les Ingénieurs américains, que les villes doivent beaucoup moins se préoccuper de faire cette extraction que de se débarrasser d'une manière rapide et convenable de leurs eaux d'égout. Quand on fait de l'hygiène publique, il est difficile de songer à des bénéfices commerciaux, et il suffit bien, au lieu de gagner de l'argent, de gagner des vies humaines, ou, comme disent les Anglais, *des années de capital-vie*.

1° EVACUATION HORS VILLE DES IMMONDICES LIQUIDES.

Le principe qui domine toute la question d'évacuation des immondices liquides ou solides se résume en deux termes :

1° Les produits de déchet doivent être éloignés de la maison sitôt leur formation, et en tout cas avant qu'ils aient eu le temps d'entrer en fermentation ;

2° Ces mêmes produits doivent également être éloignés de la ville au plus vite, et toujours avant d'avoir commencé à subir les modifications qui les rendraient nocifs.

Or, dans les bourgs et villages et même dans certaines villes arriérées, chaque maison ne cherche qu'à se débarrasser isolément et pour son propre compte des immondices qu'elle produit, sans songer à s'associer aux maisons voisines ou à l'action publique (on peut déjà s'estimer heureux quand elle ne se contente pas de les déverser purement et simplement dans la rue ou d'en infecter la nappe souterraine) : c'est ce que l'on peut appeler le *système d'évacuation individuelle*. Au contraire, dans les temps civilisés, il n'est plus possible aux villes tant soit peu importantes de se désintéresser de la question : en matière d'hygiène, la solidarité la plus étroite unit tous les membres d'un groupe, et il appartient dès lors à l'autorité municipale d'installer et de faire fonctionner un *système d'évacuation générale*, c'est-à-dire desservant le groupe entier. Pour les immondices liquides, ce système consiste essentiellement dans une ou plusieurs *canalisations*, la pesanteur ou l'action de machines élévatoires attirant les liquides au dehors de la cité par l'in-

termédiaire de tuyaux plus ou moins grands. Mais une lutte, qui est loin d'être terminée, s'est élevée entre les partisans d'une canalisation unique, recevant par conséquent les matières fécales avec toutes les eaux usées et les eaux pluviales ordinaires, et les partisans de la double canalisation, où un réseau spécial est affecté aux matières fécales (avec ou sans les eaux ménagères) et un autre réseau plus ou moins complet aux eaux pluviales : le premier système est dit des *égouts unitaires* ou plus simplement *système unitaire*, et le second *système séparatif*. Il résulte de là une division toute naturelle dans l'étude de la question.

A) *Système d'évacuation individuelle.*

Nous passerons très vite sur ce système, qui est plutôt l'absence de système, et qui représente tout l'opposé du progrès. Généralement, dans ce cas, les eaux pluviales des maisons gagnent superficiellement la rue, où elles se réunissent dans les caniveaux latéraux (quand il en existe) aux eaux de pluie tombées sur les rues et places, pour courir suivant les déclivités vers le cours d'eau le plus voisin. Il arrive souvent qu'à un moment donné, le ruissellement de ces eaux de surface devenant très gênant, on a couvert le ruisseau qu'elles forment et créé ainsi un émissaire souterrain, ou même un réseau de canaux plus ou moins étendu : c'est l'embryon d'un réseau d'égouts.

Les eaux ménagères sont le plus souvent déversées devant chaque maison, et gagnent le caniveau, parfois en stagnant et se mêlant au purin des fumiers voisins : dans les caniveaux, qui sont loin d'être toujours pavés, elles coulent comme elles peuvent, et, notamment pendant les périodes de sécheresse, deviennent bientôt infectes et répugnantes ; bref, on compte presque toujours sur les pluies pour faire des chasses et balayer le tout. D'autres fois, les maisons ont établi des puisards ou puits perdus pour recevoir les eaux ménagères : cela réussit dans les terrains absorbants, mais bien entendu au détriment de la nappe souterraine et de la qualité des puits alimentaires voisins.

Quant aux matières fécales, il est difficile de s'en débarrasser et, en dehors des cas où on se contente d'un simple trou en terre ou d'un puisard, il a fallu véritablement s'ingénier pour trouver des solutions un peu acceptables. Comme on est encore obligé de recourir à l'une d'elles soit dans les campagnes, soit dans les villes qui ne remplissent pas leurs devoirs municipaux, nous en dirons quelques mots.

1° *Fosses fixes*. — La fosse fixe, qui *conserve* les matières fécales, est la négation même du principe d'éloignement immédiat posé plus haut. Son principal inconvénient est donc de laisser fermenter les matières et dégager par suite des gaz infects et toxiques, lesquels se répandent dans la fosse d'abord, puis par les tuyaux de chute dans les cabinets d'aisances et les appartements, enfin, par le tuyau d'évent dans l'atmosphère. Les émanations et les dangers sont à leur comble le jour — ou la nuit — où il faut ouvrir la fosse pour la vidanger : ce moment est terrible pour les habitants non seulement de la maison, mais du quartier, et cela quels que soient les perfectionnements apportés au système d'épuisement (procédés de vidange ⁽¹⁾ dits *atmosphériques*, *pneumatiques*, *hydro-barométriques*, avec combustion des gaz, comportant une pompe à vapeur et des tonnes métalliques hermétiquement fermées : système Merryweathers en Angleterre, systèmes Richer, Lesage, Talard, Comandré, Loiseau, Philippot et Keller, etc., en France, systèmes Schneitler, Klotz, Fischer, Breyer, etc., en Allemagne, tous appareils trop connus pour que nous insistions).

D'autres inconvénients se font encore sentir. En premier lieu, l'étanchéité est le plus souvent illusoire, le béton et la maçonnerie comportant d'ordinaire, au moins après un certain temps, des fissures par lesquelles les liquides septiques s'infiltrent dans le sol et gagnent la nappe souterraine (aussi dans les villes à fosses fixes faut-il abandonner radicalement tous les puits comme eau de boisson). L'imperméabilité, même avec la double paroi recommandée par Sander, est donc une utopie, et si pour l'assurer on prend, comme à Augsbourg, un revêtement en fonte ou comme dans le système Schleh des parois en tôle de fer recouvertes d'asphalte, il faut avouer que rien ne justifie plus la fixité de la fosse et qu'il vaut mieux s'en tenir alors à un récipient métallique mobile.

En second lieu, la ventilation, malgré la présence du tuyau d'évent s'élevant au-dessus du toit, est toujours bien imparfaite et chacun sait que dans certaines conditions atmosphériques (grosses chaleurs, approche d'un orage, etc.) le sens des courants d'air peut se renverser. Sander, d'Arcet et d'autres ont bien indiqué de faire déboucher le tuyau d'évent dans une cheminée, et de préférence dans celle de la cuisine, afin de profiter du tirage ; Pettenkofer a recommandé l'installation d'un bec de gaz brûlant à la partie supérieure du tuyau ; Page a ima-

(1) Le premier de ces procédés fut imaginé par Latour en 1842 (voitures-réservoirs).

giné un brûleur plus perfectionné (trois cloches en fonte superposées et munies de trous) pour brûler les gaz à leur passage ; Schleh, outre qu'il renforçait les procédés d'obturation, a proposé d'attirer les gaz dans des vases renfermant l'un du sulfate de fer ou un sel manganique pour retenir l'ammoniaque et l'acide sulfhydrique, l'autre de l'acide sulfurique pour décomposer les gaz carburés et les acides gras ; Girard et Pabst ont proposé plus simplement de faire traverser aux gaz de la fosse une colonne remplie de fragments de coke arrosés d'acide sulfo-nitreux ; Montupet et Flament (ce dernier par son *appareil atmosphérique à évent*) ont cherché à faire monter plus sûrement les gaz de la fosse et même ceux des cuvettes et tuyaux de chute grâce à l'adjonction au-dessus du toit d'aspirateurs-ventilateurs, etc., tous ces appareils ingénieux ne sont que des palliatifs, et le mal subsiste. Du reste, est-il bon de débarrasser l'intérieur de la maison des gaz et odeurs infectes pour les répandre au-dessus d'elle et tout à l'entour dans le voisinage ? — sans compter que dans des localités bâties en étage sur un coteau, les maisons supérieures reprendront l'air vicié par les tuyaux d'évent des inférieures.

En dernier lieu, la fosse fixe prohibe l'usage de l'eau dans les cabinets : pour ne pas remplir la fosse trop vite, on s'abstient de laver ce qui en a cependant tant besoin. Cependant, on a essayé d'admettre l'eau dans

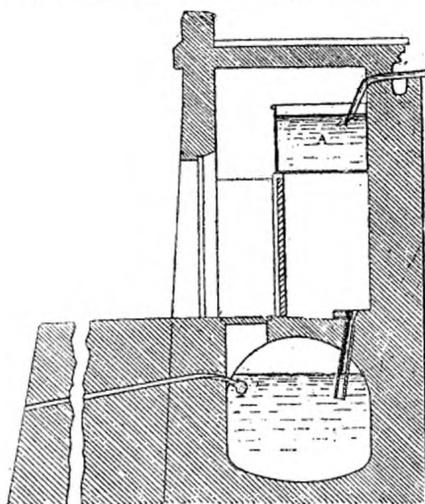


Fig. 76. — Fosse à siphon, système Deplanque.

les fosses, mais il faut les mettre en communication avec l'égout : c'est le *système diviseur fixe*. Nous dirons quelques mots des systèmes proposés dans ce sens vers 1860 par Deplanque et par Mouras, parce qu'ils s'appuient sur une idée reprise tout récemment, l'épuration automatique du contenu.

Le système Deplanque ou de la *fosse à siphon*, fig. 76, cherche à désinfecter en même temps qu'à diviser les matières. La fosse ne comporte pas de tuyau d'évent ; elle est fermée aussi hermétiquement que possible et le tuyau de chute

plonge dans l'intérieur, de manière à tremper dans le liquide, ce qui assure une obturation hydraulique pour les cabinets. D'autre part, un tuyau recourbé au niveau des naissances de la voûte plonge également par sa petite branche, tandis que la grande va se déverser dans l'égout. La fosse est d'abord remplie d'eau de chaux jusqu'au niveau du point culminant du tuyau : dès lors, toute projection de matières solides ou liquides entraînera l'écoulement à l'égout d'un égal volume du liquide. On espère que les matières organiques solides ou dissoutes se combinent avec la chaux et forment un précipité tombant au fond de la fosse : l'appareil fonctionnerait jusqu'à ce que le niveau de ce précipité atteigne l'orifice du tuyau. Mais il est clair que la désinfection par la chaux est à peu près illusoire, parce que peu à peu, et surtout si l'on jette de grandes quantités de liquides, l'eau de chaux est diluée ou disparaît : Deplanque proposait, pour répondre à cette objection d'ajouter de temps en temps de l'eau de chaux dans la fosse, de s'en servir pour laver les cabinets, etc.

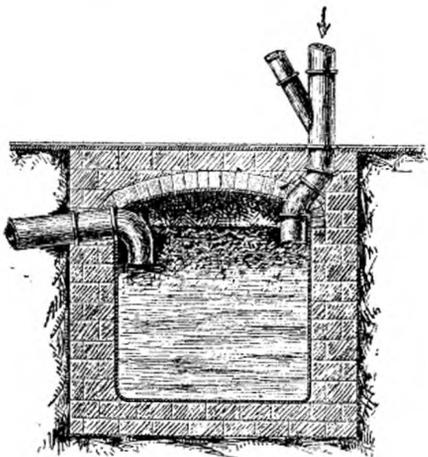


Fig. 77 (a). — Fosse Mouras.

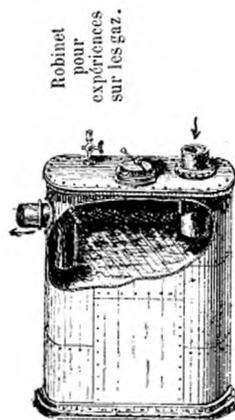


Fig. 77 (b).
Vidangeuse automatique
Mouras.

Dans la fosse Mouras, fig. 77 (a), aussi bien que dans la vidangeuse automatique mobile, fig. 77 (b) et que dans la tinette-siphon du capitaine Augier, le tuyau de chute et le tuyau de départ (ce dernier siphonnant) plongent toujours dans le liquide. Le contenu de la fosse se partage en trois : au fond, un précipité définitif sédimenté, et qui va en s'accroissant lentement ; au-dessus une croûte épaisse et noirâtre formée des matières solides, plus légères que l'eau, et entre les deux un liquide relativement clair, dont une certaine quantité s'écoule à l'égout

à chaque nouvelle projection. Or, que se passe-t-il ? Nous le savons aujourd'hui : grâce à la protection de la croûte supérieure, les microbes anaérobies, dont le rôle est de fluidifier les corps solides azotés et même la cellulose, travaillent à leur œuvre et arrivent, si on leur en laisse le temps à faire dissoudre la plus grande quantité des matières ; la fosse Mouras n'est en d'autres termes, que le *septic tank* de Cameron, dont nous parlerons longuement plus loin. Mouras avait deviné le travail qui se fait ainsi, car il écrit :

« Il se fait à l'intérieur de la vidangeuse un travail de fermentation complètement imprévu, qui dissout dans un temps plus ou moins court les matières fécales les plus solides, et divise les corps étrangers en grains ou filaments si tenus qu'on les voit à peine flotter dans le liquide trouble, sans que celui-ci forme de dépôt adhérent aux parois des vases ou des tuyaux dans lesquels il s'écoule. Une expérience démonstrative faite avec une vidangeuse à parois de verre a révélé les faits suivants :

1° Des matières fécales, introduites avec de l'urine, des eaux de savon et de vaisselle sont complètement délayées au bout de vingt-cinq jours : les corps légers, tels que débris d'aliments non digérés, papiers, etc., après avoir sur-nagé un certain temps, finissent par disparaître et comme se dissoudre dans la masse liquide ;

2° L'eau qui sort de la fosse n'a qu'une très faible odeur ;

3° Une vessie adaptée à l'aide d'un tube au-dessus de la fosse d'expérience ne se gonfle pas, mais s'aplatit davantage ; donc au lieu de dégagement de gaz, il y a plutôt absorption ;

4° Lorsqu'on débouche la fosse, on ne constate que très peu d'odeur ; mais si on la laisse longtemps ouverte, les gaz se dégagent et répandent une odeur nauséabonde ;

5° La désagrégation des matières en suspension semble être d'autant plus active qu'il y entre plus d'eau : donc le remplissage de la fosse par l'eau et la fermeture hermétique sont les deux conditions nécessaires et suffisantes pour le fonctionnement de la vidangeuse automatique.

Ces résultats sont obtenus par la simple transformation matérielle de la fosse d'aisances ordinaire et si barbare, sans appel à aucun agent nouveau, à aucune force étrangère, à aucun ingrédient chimique, par ce seul fait que la fosse transformée et remplie d'eau se prête à la mise en jeu d'une force de la nature complètement imprévue et ignorée jusqu'ici. Qui aurait pu soupçonner que les déjections contiennent naturellement et portent avec elles le principe de fermentation et de désagrégation nécessaire et suffisant pour les fluidifier et les rendre immédiatement utilisables ? »

La fosse Mouras a été très employée à Bordeaux (où d'après Mauriac en 1889, sur 31 000 maisons, 17 000 n'étaient pas reliées à la distribution d'eau municipale), Marseille et d'autres villes du Midi. Le professeur Pagliani, à l'École supérieure d'Hygiène de Rome, a cherché à épurer le liquide sortant de la fosse en lui faisant traverser une autre fosse remplie de tourbe. Dans la fosse perfectionnée de Bordeaux, il y a aussi une seconde fosse à la suite de la première, mais elle ne contient pas de

désinfectant et fait en somme une seconde décantation et épuration à la suite de la première.

On trouve encore dans le même ordre d'idées la fosse Goldner, qui, très semblable à la fosse Mouras, laisse évacuer les liquides par un siphon ; elle comporte en plus une bonde de fond qui permet d'écouler brusquement à l'égout tout le contenu de la fosse (si toutefois le précipité solide n'est pas trop adhérent au radier). Du même type est encore la fosse à *séparateur-siphon* et à *vidange hydraulique* qu'Amoudruz a installée depuis 1881 à Genève et aux environs : cette fosse d'abord remplie d'eau écoule à l'égout par son siphon une certaine quantité de liquide à chaque projection de matières. Elle est reliée à la distribution d'eau par un tuyau qui de temps en temps produit un jet violent capable d'entraîner tout le contenu dans l'égout : c'est donc un Tout à l'Égout intermittent greffé sur une fosse Mouras.

Tout récemment les frères Schmidt, de Weimar, ont combiné tous les perfectionnements dont une fosse fixe avec système diviseur paraît suscep-

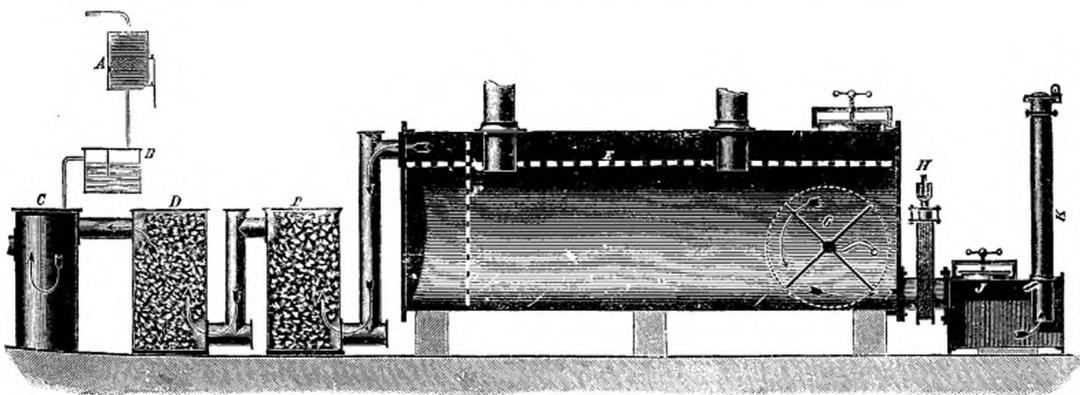


Fig. 78. — Fosse fixe métallique des frères Schmidt (de Weimar) avec appareils de clarification, de désinfection et de vidange.

- A Réservoir à effet d'eau.
- B Réservoir contenant le désinfectant.
- C Caisse où se fait le mélange pour la désinfection du liquide.
- D, D Caisnes filtrantes pour la clarification du liquide.
- E, F Tamis horizontal et tamis vertical.
- G Roue à palettes pour détacher le précipité du fond.
- H Robinet de fermeture (de 200 mm).
- J Fosse de révision pour les corps solides ne pouvant être pompés.
- K Tuyau d'aspiration pour la vidange pneumatique.

tible. Leur appareil, fig. 78, est une tonne métallique hermétiquement fermée : les tuyaux de chute y plongent en-dessous du tamis horizontal E et les liquides s'écoulent par trop plein dans un tuyau qui les conduit

à volonté, soit directement à l'égout, soit aux caisses filtrantes DD après lesquelles ils peuvent être désinfectés par mélange avec un antiseptique dans la caisse C. Du côté opposé à la vidange des liquides vers l'égout, se trouvent adaptés des appareils pour faciliter la vidange pneumatique par le tuyau K. La roue à palettes G a pour effet de râcler le fond de la tonne et de mettre en mouvement le précipité solide qui peut être collé au fond. La fosse J a pour but de retenir les objets volumineux qui ne pourraient être aspirés, mais peuvent cependant passer par le gros robinet H.

Enfin nous devons citer les installations de la maison Friedrich et C^{ie} à Leipzig, où l'on cherche à obtenir, outre la séparation des matières solides, la désinfection. Comme on le voit par la fig. 79, la fosse est double : une fosse principale B et une seconde fosse dite de contrôle C lui faisant suite.

Dans la fig. (a), le tuyau de chute débouche dans une avant-fosse A où les matières se mêlent au désinfectant; dans la fig. (b) le désinfectant est contenu dans un récipient à part et est déversé directement dans la

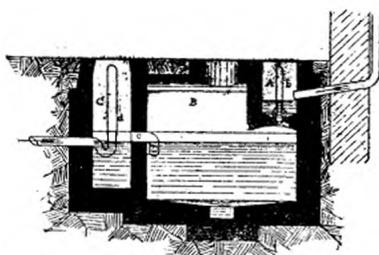
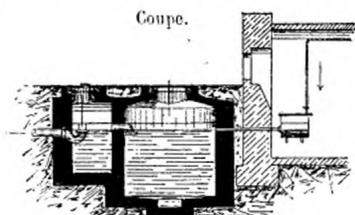


Fig. 79 (a). — Fosse à désinfection de Friedrich (de Leipzig).



Plan.

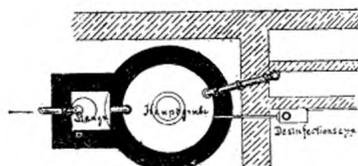
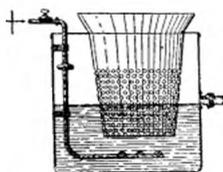
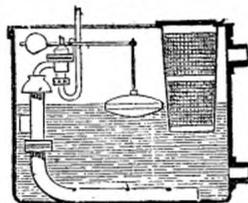


Fig. 79 (b). — Fosse à désinfection de Friedrich (de Leipzig).



Manœuvré à la main



Manœuvré automatiquement

Fig. 79 (c). — Détails des appareils de désinfection.

fosse. Les liquides passent de B dans C par un siphon, et s'écoulent

également par un siphon de C dans l'égout ; les matières solides s'accumulent au fond de la fosse principale et sont vidangées de temps en temps. Quant aux désinfectants employés, ils sont en poudre un peu humide et versés dans le vase de zinc perforé qui est représenté par la fig. (c) et qui plonge dans le réservoir d'eau de lavage : on emploie ainsi la chaux éteinte principalement, le chlorure de magnésium, l'acide phénique, l'hydrate d'alumine et l'oxyde de fer hydraté. On sait qu'à Leipzig, on utilise beaucoup aussi dans le même but le mélange dit *masse de Süvern*, lequel est obtenu en éteignant 42^{kg},5 de chaux vive avec 102 kg. d'eau dans une auge et y mêlant pendant l'extinction 8^{kg},5 de goudron de houille et autant de chlorure de magnésium dissous dans une pareille quantité d'eau : la masse a l'aspect d'une bouillie et se dilue avec de l'eau. (L'effet de la masse de Süvern a été étudié en 1868 et 1869 par Haussmann, Delbrück, mais la bactériologie n'était pas encore née). On ne reçoit les liquides des fosses dans l'égout que si au sortir du réservoir de désinfection ils présentent une réaction alcaline.

Ceci nous amène à dire quelques mots des tentatives faites pour arriver à désinfecter les selles dans les fosses : elles ont été nombreuses, et si elles avaient réussi à empêcher la fermentation et le dégagement de gaz, il faut reconnaître qu'elles auraient atténué une bonne partie des inconvénients des fosses fixes au point de vue hygiénique.

Les corps essayés se groupent en deux catégories les absorbants (terre, humus, tourbe, poudre de charbon, cendres, menue paille, son, etc.) dont il y a peu à dire, et les stérilisants et décomposants (chaux, sulfates de cuivre, fer, zinc ou plomb, chlorures, sublimé, acide phénique, crésol, lysol etc.). Depuis longtemps déjà (1882) Erismann a montré qu'aucun de ces corps à dose pratique n'empêche le dégagement de gaz : le sublimé qui réussirait le mieux est trop cher, et le sulfate de fer — le désodorisant perpétuel de Kuhlmann — ne diminue que de moitié la production des gaz. Le difficile est du reste de pratiquer un brassage convenable des matières avec le désinfectant ; les microbes à tuer sont enrobés dans des masses au milieu desquelles l'agent bactéricide ne pénètre pas. En 1895, Vincent ⁽¹⁾ a étudié l'action des différents antiseptiques : le sulfate de cuivre à 6 0/00, le chlorure de chaux à 8 0/00 tuent le bacille typhique et le spirille du choléra dans les selles ; il en est de même pour le lysol, le solutol et le solvéol à 10 0/00

(1) *Chemisches Centralblatt*, 1895. I. 610.

mais ils reviennent beaucoup plus cher ; le goudron, le sulfate de fer, la chaux, le crésol, n'ont pas la valeur qu'on leur attribuait. Bref, Vincent recommande pour désinfecter avec sécurité des selles soit 10 grammes de sulfate de cuivre acidifiés par 10 grammes d'acide sulfurique pour 1 000 grammes à traiter, soit 8 grammes de chlorure de chaux additionnés d'acide chlorhydrique. Petermann (1) en 1897 a trouvé des résultats à peu près semblables ; il recommande aussi l'acide phosphorique. Sonntag, en 1890, avait préconisé l'eau fortement ozonisée, mais la chose n'est pas pratique : du reste l'eau ozonisée contient d'ordinaire du chlore et des composés oxygénés du chlore, auxquels il faut sans doute rapporter une partie de l'action antiseptique. Quant à la prétendue incrustation que la chaux produirait autour des microbes en se combinant avec l'acide carbonique dégagé par la fermentation, on comprend bien que c'est là une simple vue de l'esprit, dont rien ne confirme la réalité : cet emprisonnement du microbe dans une gaine de calcaire néoformé serait vraiment par trop providentiel. (Rappelons encore, mais pour mémoire seulement les noms des principaux procédés proposés pour la désinfection des fosses et matières fécales : procédé de Zeitler, procédé de Wilhelmy, procédé de Hartmann, tous trois très semblables à ceux de Friedrich et de Süvern déjà cités et utilisant des mélanges divers de sels de fer, d'alumine, de chaux, de magnésie et d'acide phénique ; désinfecteur de Jennings au chlorure d'aluminium ; procédé de Desbrousses au pétrole ; procédé Langstone Jones, à Londres ; procédés Tuch et Wilhelmy, Rössemann, Mahlow, Gläser, Goodson à Berlin ; procédé Röber, à Dresde ; procédé E.-J. Mallet à New-York etc.).

Un mot encore des complications qu'entraîne la fosse fixe pour les appareils des cabinets. La présence des gaz dans la fosse oblige à une occlusion aussi hermétique que possible de la cuvette, ou si l'on veut du sommet du tuyau de chute : or on ne peut compter ici sur l'occlusion hydraulique, puisque l'eau est en quelque sorte prohibée.

C'est à l'Exposition de 1853, qu'apparurent les premiers modèles perfectionnés d'appareils hermétiques : parmi eux, il faut surtout citer en France, le *système Haward* et le *système Rogier-Mothes*, qui se sont beaucoup répandus et ont servi de prototypes à un assez grand nombre de systèmes analogues : appareils *Gaudinat*, *Guinier*, *Leguay*, *Valdo*, *Pion*, *Cazaubon*, etc. En Angleterre, on trouve de même les

(1) *Journal d'Agriculture pratique*, 1897. nos 46 et 47.

valve-closets Underhay, Lambeth, Hellyer, Bolding etc. Inutile de dire qu'une grande amélioration est résultée de l'adaptation d'un siphon en dessous de ces appareils, comme dans le type anglais *Jennings* et ses nombreux dérivés, lorsqu'on a pu admettre les effets d'eau et avoir ainsi les *water-closets* (1).

2° *Récipients mobiles (Abfuhrsystem).*

En principe, le système des récipients mobiles peut être accepté par l'hygiène, mais à la condition formelle que les récipients, toujours her-

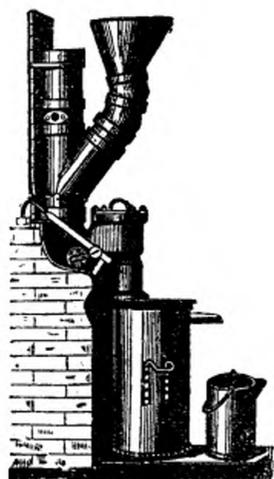


Fig. 80.
Tonne métallique de Heidelberg
(Maison C. Maquet)
avec siphon
et tuyau de ventilation.

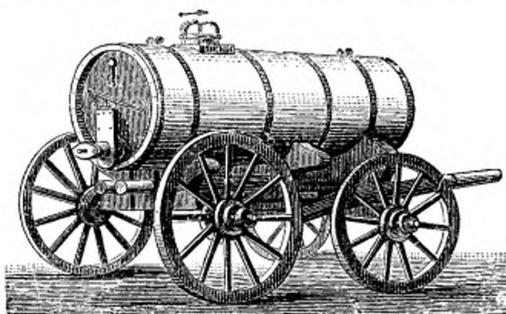


Fig. 81. — Tonnes-voitures de Heidelberg (Maison C. Maquet) sur deux ou quatre roues.

métiquement clos, soient enlevés très fréquemment (par exemple tous les jours) et avant fermentation des matières.

(1) Bien qu'il y en eût une ample collection à l'Exposition, nous n'entrerons dans aucun autre détail sur les appareils des cabinets d'aisances : sièges, siphons, cuvettes, réservoirs de chasse, urinoirs etc., qui regardent plutôt l'hygiène de l'habitation que l'hygiène publique. Il suffira du reste au lecteur de jeter un coup d'œil sur les catalogues des nombreuses maisons qui fabriquent ces appareils. Citons en France les maisons E. Jacob à Pouilly-sur-Saône, Pillivuyt et Dupuit à Mehun-sur-Yèvre, Rogier et Mothes, Flicoteaux, Geneste-Herscher, Barbas, Tassart et Balas à Paris, etc. En Angleterre, outre les marques déjà énoncées, les systèmes Doulton, Bowes, Scott and Western, Macfarlane (cuvettes à auge) ; Duckett, Adams, Tylor, (closets à valve et siphon) ; Doulton, Duckett, Twyford, Shank, Twycliffe, Winsor (closets wash-out ou wash-down, avec siphon sans valve) etc. En Allemagne, nous avons déjà cité les importantes maisons de Heidelberg, Leipzig et Weimar et il y en a naturellement une foule d'autres.

On peut imaginer ainsi un service qui enlève quotidiennement la tinette de chaque maison et remette à la place une tinette de rechange qui a été nettoyée et stérilisée à l'usine : reste à vider les tinettes, à les stériliser et à traiter leur contenu au dépotoir, mais si celui-ci est éloigné de la localité desservie, les habitants n'auront pas à souffrir de ces opérations. Au lieu de tinettes proprement dites, on peut aussi avoir des tonnes montées sur deux ou quatre roues, suivant leur importance, de telle sorte qu'un homme ou un cheval n'a qu'à les emmener. Telles sont les tonnes et tonnes-voitures de la maison Curt Maquet (anciennement Fischer) à Heidelberg, dites *tonnes de Heidelberg*. La fig. 80 montre une tonne transportable avec siphon et tuyau de ventilation, ainsi que son seau de trop plein ; la fig. 81 montre des tonnes montées sur deux ou quatre roues. Le Dr Mittermaier a exposé le système dans une brochure de 1897 intitulée : *Das Heidelberger Tonnensystem, seine Begründung und Bedeutung*. Les frères Schmidt, de Weimar (maison déjà citée) fabriquent aussi des appareils de ce genre qui paraissent bien compris, et on pourrait citer beaucoup d'autres maisons. Le raccord entre le récipient mobile et le ou les tuyaux de chute est toujours un peu délicat : en outre, il y a danger en cas de projections trop abondantes que les matières ne débordent par un trop plein ou ne refluent par les tuyaux de chute. Comme on l'a vu, les tinettes peuvent être munies d'un siphon placé au-dessus d'elles : avec une fermeture hermétique, nous comprenons moins l'utilité de leur ventilation.

Comme pour les fosses fixes, on a cherché à désinfecter les matières dès leur arrivée dans les tinettes, afin d'éviter un enlèvement si fréquent. Les fameuses *tinettes Goux* ne sont autre chose que des tonneaux préparés en conséquence, c'est-à-dire pour recevoir les matières dans un mélange pulvérulent de composition assez complexe. Les tinettes *Bonnefin* cherchent à réaliser la désinfection au moyen du sulfate de fer. Le *système Moule*, très répandu en Angleterre consiste à employer la terre réduite en poussière ou des cendres, de la tourbe etc., qui venant recouvrir chaque déjection, la désodorisent et la désinfectent (1) en formant un compost d'ailleurs précieux pour l'agriculture.

La fig. 82 montre une de ces garde-robes à terre (*earth-closet*) imaginées par Moule, telle que les construit en France, la maison E. Jacob

(1) Récemment, Stutzer, Gartner, Frankel et Klipstein, Löffler et Abel ont démontré la puissance stérilisante de la tourbe et de l'humus : elle est due à la présence des acides humiques. Voir *Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft*, 1893 et 1894.

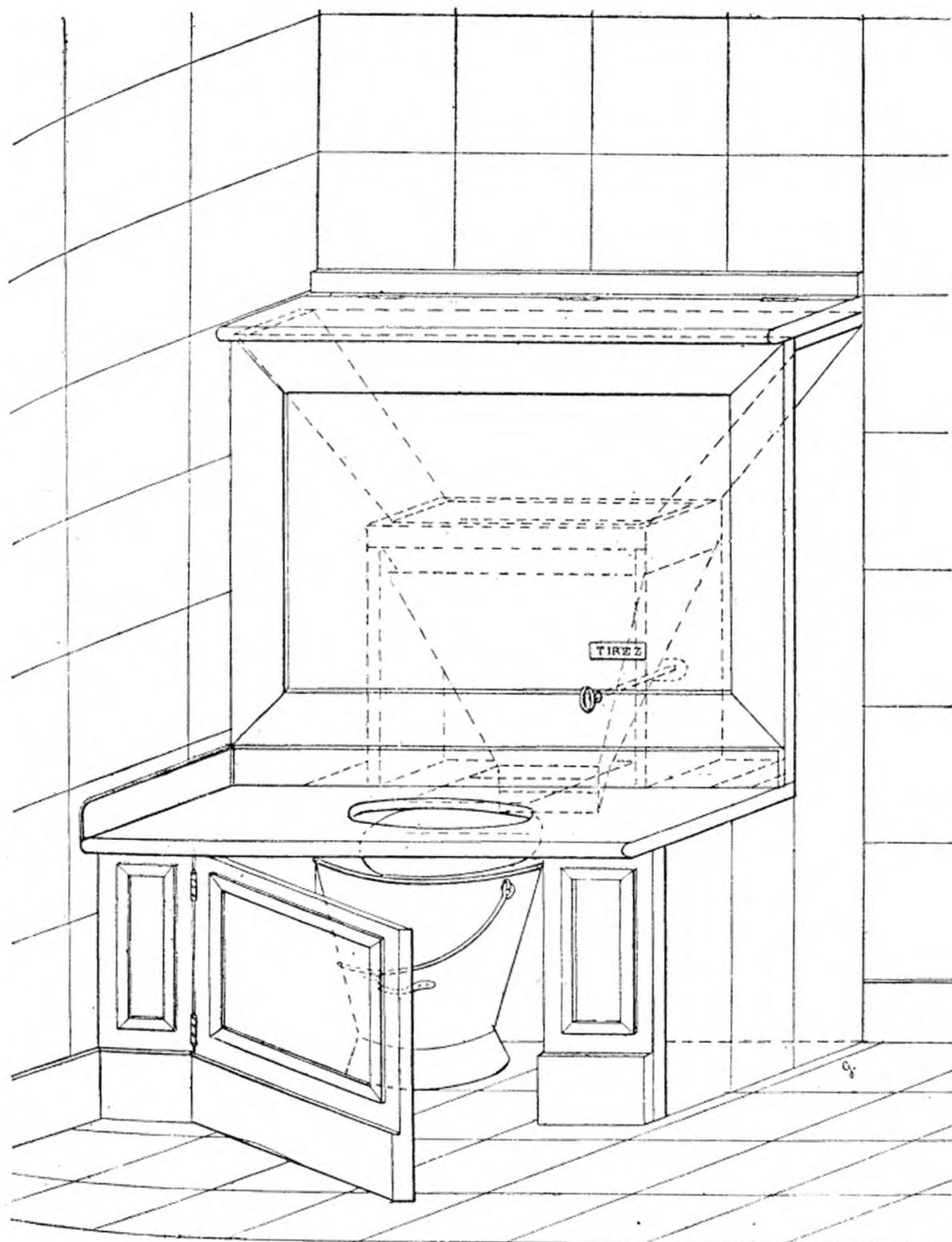
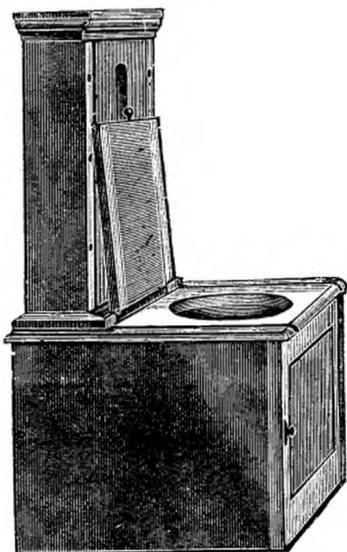


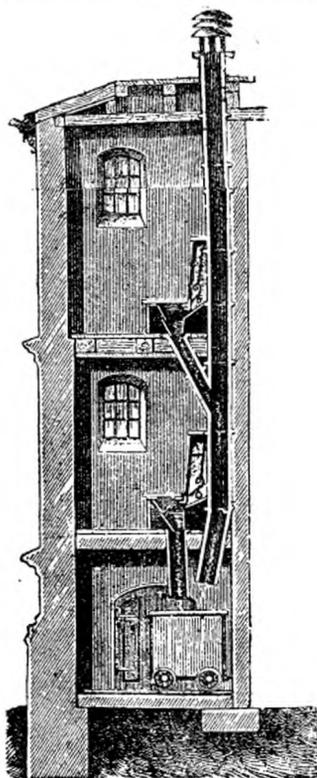
Fig. 82. — Garde-robes à terre (earth-closet) de la maison Jacob.

(de Pouilly-sur-Saône). En Allemagne, il faut citer les *Torfstreukslette* ou *Mullkloslette* de Grevenberg dit « le Triump », de C. Maquet (fig. 83), de Poppe (fig. 83 bis), de Fischer dit « l'Universal », de Bischleb et Kleucker, de Passavant (fig. 84). Le système est



Détail du siège et réservoir à terre.

Fig. 83. — Torfstreukslett de la maison C. Maquet (de Heidelberg).



appliqué au moins partiellement dans plusieurs villes anglaises, à Hull, Glasgow, Manchester, Leeds, Nottingham, Birmingham, etc.; à Rochdale on recourt à un désinfectant chimique, le chlorure de chaux ou la chaux phéniquée et à Leicester, on désinfecte soigneusement au sublimé à 5 0/00 les tinettes venant des maisons où se trouvent des cas de maladies infectieuses.

Nous apprenons par l'Exposition de la ville de Stockholm au palais du Congrès que les matières fécales dans cette ville sont exclusivement recueillies dans des tonnes cylindriques en tôle d'acier, lesquelles sont enlevées et remplacées à toute demande par les soins du service municipal moyennant une taxe de 0^r,70 par tonne : ces tonneaux fermés hermétiquement, sont conduits dans des wagons au dépotoir, où on les vide et nettoie au moyen d'une machine qui était représentée par un modèle ; puis ils sont lavés par un très fort jet d'eau froide et par un

brossage, rechargés sur wagon et ramenés en ville. Quant aux matières elles sont brassées pour en faire un magma homogène, puis refoulées par l'air comprimé dans la fabrique de poudrette, où elles sont mélangées à la tourbe dans une proportion d'environ 88 kg. pour 12 kg. de tourbe.

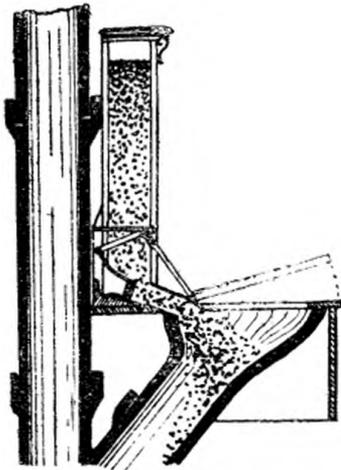


Fig. 83 bis. — Torfstreuklosett de Poppe.

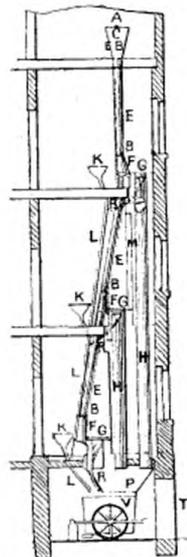


Fig. 84. — Cabinets d'aisances à terre perfectionnés de Passavant (Francfort).

Légende de la fig. 84.

- A, Couverture.
- C, Crible.
- EB, Réservoir de terre.
- E, Conduite de terre.
- K, Vidoir et conduite pour l'urine.
- G, Siège.
- F, Conduite de terre pour chaque cabinet.
- L, Conduite séparée pour l'urine.
- H, Descente des cabinets (30 à 35 cm de diamètre intérieur).
- M, Fourreau en bois de la descente des cabinets.
- P, Entonnoir de la voiture.
- V, Voiture-réservoir avec compartiment pour l'urine.
- Q, Appui de la voiture.
- R, Conduite spéciale pour l'urine.
- T, Porte en fer du logement de la voiture.

On voyait également à l'Exposition, les dessins de l'appareil qui permet l'hiver de dégeler les matières des tonnes : c'est une citerne de 15 m de long, dans laquelle sont déposées les tinettes et où elles sont avancées mécaniquement d'une extrémité vers l'autre, tout en plongeant dans de l'eau chauffée par de la vapeur.

Bon nombre de villes allemandes ont encore le système des tonnes : Heidelberg, Stuttgart, Brême, Weimar, Augsburg, Emden, Greifswalde, Karlsruhe, etc. Le contenu en est transformé en poudrette suivant des procédés divers : à Brême, procédé Venuleth et Ellenberger avec addition d'acide sulfurique ; à Augsburg, procédé Podewils par dessiccation (décrit par Holdefleiss dans *Chemische Zeitung*, 1894) ; procédé Schwartz, procédé Dietzell, tous deux avec addition de chaux ; procédé Hennebutte et Vauréal (Société des produits chimiques du Sud-Ouest à Paris) appliqué à Karlsruhe et consistant à traiter les matières par un sel de zinc ou de manganèse, à faire des gâteaux à la presse hydraulique du dépôt solide, et à extraire l'ammoniaque du liquide additionné de chaux, etc. Nous recommandons l'appareil utilisé à Greifswalde pour le

nettoyage et la stérilisation des tonnes vides par un jet de vapeur mélangée d'eau : la fig. 85 le fait comprendre suffisamment.

Bref, les tinettes mobiles peuvent être recommandées, comme l'a

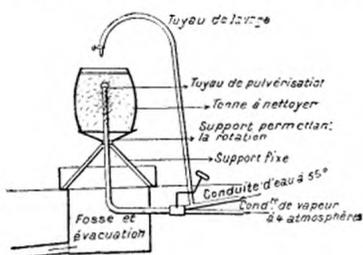


Fig. 85. — Appareil pour nettoyage et stérilisation des tonnes à Greifswalde.

fait Pettenhofer, dans les campagnes et les villes, qui ne disposent pas d'eau en abondance, toujours bien entendu sous la réserve d'un enlèvement très fréquent et de soins minutieux dans les raccords et le nettoyage des récipients. Outre la complication de l'enlèvement et du remplacement incessants des tonnes, un gros inconvénient résulte précieusement de l'impossibilité de laver les cabinets à grande eau (on a été

jusqu'à séparer l'urine des fèces lors de l'émission même, closet norvégien ou suédois de Marino, closet Renard, closet Mehlhose, closet Töpfer : comme pour les fosses fixes, l'introduction de l'eau a conduit

au *système diviseur*, qu'on a appelé « l'hyprocrisie du Tout à l'Égout » et aux *tinettes filtrantes*.

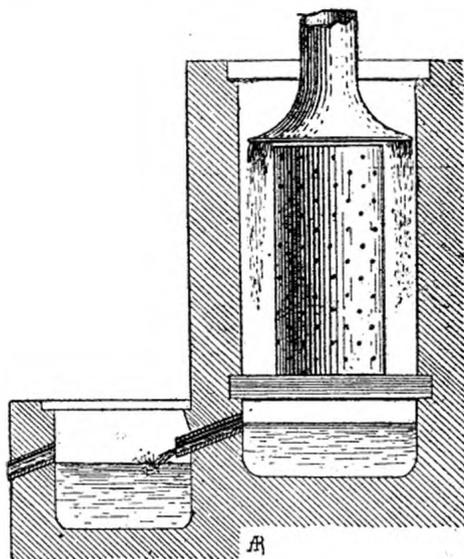


Fig. 86. — Appareil diviseur, système Dugléré.

C'est en 1834, que *Payen et Dalmont* eurent les premiers l'idée de séparer les liquides des solides et en même temps de désinfecter ces derniers par la projection d'une poudre absorbante. En 1840, parut l'appareil *Huguin*, qui s'inspirait du même principe que le précédent et fut essayé à Paris ; ensuite en 1850 les appareils de *Gourlier* et de *Dugléré* : c'était d'abord deux fosses fixes contiguës, séparées par une cloison perforée laissant passer les liquides, mais Dugléré recourut bientôt aux récipients mobiles (fig. 86) ; les liquides à ce moment allaient au ruisseau.

En 1860, on trouve le système *Canier* avec son double cône renversé ; puis un peu après le système *Mossélmann*, qui est une tinette filtrante dans chaque compartiment de laquelle on cherche à désinfecter et fixer les matières fertilisantes par de la farine de chaux. La tinette *Blanchard et Chateau* laisse filtrer de même les liquides au travers d'une couche absorbante de tourbe, crottin lavé et séché, etc. ; celles de *Baudin* et de *Pétri* sont analogues ; *Mercier* eut ensuite l'idée

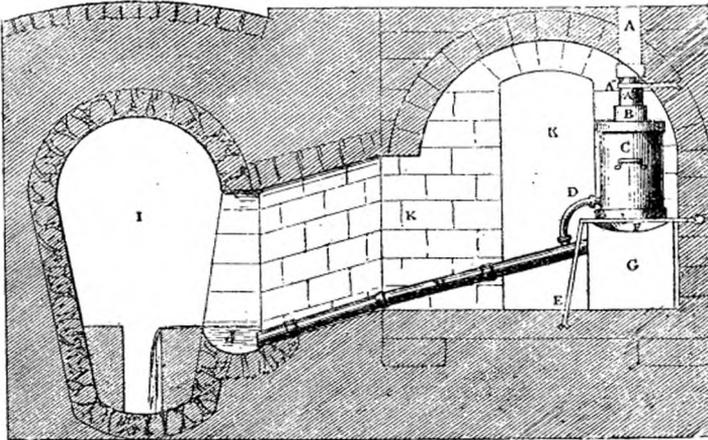


Fig. 87 — Installation et raccordement à l'égout d'une tinette filtrante à Paris.

de ventiler les tinettes en leur adaptant des tuyaux d'évent analogues à ceux des fosses fixes : c'est évidemment la chambre où se placent les tinettes qu'il importe de ventiler plus spécialement. *Cazeneuve, Richer, Béliard et Chenaux, Guinier, Marville, Chesshire, Taylor, Tacon, Fortin-Hermann* et autres perfectionnèrent encore plus ou moins la tinette, et finalement, on est arrivé au type de la tinette filtrante adopté par la ville de Paris, et connu de tout le monde (voir la fig. 87 qui montre l'installation de la tinette filtrante d'une maison et son raccordement avec l'égout, et la fig. 88, qui montre le détail de la tinette elle-même.)

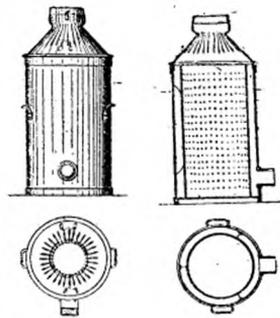


Fig. 88. — Type de tinette filtrante adopté par la Ville de Paris.

Les appareils du système diviseur florissaient à l'Exposition de 1867.

Une commission nommée par le Ministre de l'Instruction publique déposait en 1868, un rapport, dont les conclusions dithyrambiques sont curieuses à citer :

- « 1° Dans tous les cas qui peuvent se présenter, il convient d'adopter un système diviseur.
- « 2° Les systèmes diviseurs mobiles sont préférables aux diviseurs fixes, malgré le prix plus élevé de la vidange, à cause de la facilité qu'ils donnent d'enlever rapidement et sans odeur les matières putrescibles ;
- « 3° Dans l'état actuel, et sans penser que l'on ait atteint la perfection, le *séparateur* qui donne les meilleurs résultats est l'appareil Duclère ;
- « 4° Il convient de perdre les liquides urineux, immédiatement après leur séparation, en leur faisant prendre la voie que suivent les eaux ménagères (dont l'écoulement est réglé à Paris par le décret du 10 mars 1852) ;
- « 5° Dans les cas exceptionnels et très rares où le liquide ne peut pas être perdu immédiatement, le recevoir dans une fosse construite conformément aux prescriptions très sages de l'Administration de la police, et l'extraire ensuite après désinfection préalable. »

On conçoit qu'après un tel éloge, ce système hybride qu'est le système diviseur se soit répandu rapidement à Paris. Aussi, alors qu'en 1867, on trouve à peine dans la capitale 600 chutes munies de tinettes filtrantes (toutes les autres maisons avaient naturellement des fosses fixes), on en trouve déjà 14 000 en 1878 ; en 1894, au moment de la nouvelle loi, on trouve 63 437 fosses fixes, 34 718 tinettes-filtrantes et 16 103 tonneaux mobiles ; enfin à la fin de 1899, par suite des progrès encore assez lents du Tout à l'Égout, il n'y a plus que 54 668 fosses fixes, 26 142 tinettes filtrantes et 12 996 tonneaux mobiles (sur environ 80 000 maisons, il y en avait alors 18 000 pratiquant le Tout à l'Égout). Les tinettes-filtrantes sont sans doute destinées à disparaître : elles ne suppriment ni l'infection de l'égout, ni l'obligation de la vidange, du transport des tonnes et des opérations du dépotoir.

À côté des appareils du système diviseur, il faut citer aussi les *dilueurs*, qui ont pour but de faciliter l'écoulement à l'égout des matières dissociables, tout en retenant les corps durs et volumineux. Tel est le système Miotat qui a été proposé pour Paris, mais n'a pas été adopté : les eaux de lavage et de pluie doivent faciliter l'entraînement des matières fécales, et la séparation est facilitée, par la boîte en fer grillagée (fig. 89). — Les *siphons dilueurs* de Geneste-Herschler (fig. 90) ou de Lafforgue (fig. 91) qui se placent à la base des tuyaux de chute, ne sont pas non plus beaucoup répandus ; ce sont cependant des appareils de transition assez recommandables et qui répondent à Paris à l'article VI du règlement du 9 mai 1896, disant :

- « Dans les maisons existantes, pourront être conservés les anciens

« appareils des cabinets, munis d'effets d'eau suffisants, mais à la condition qu'il soit établi une chasse d'eau à la base du tuyau de chute et une occlusion hermétique permanente avant le débouché dans l'éégout. » Pour le siphon Geneste-Herscher, un réservoir de chasse doit renouveler de temps en temps l'eau du siphon; l'appareil Lafforgue fait lui-même réservoir de chasse. Il est naturellement plus simple d'installer un appareil de chasse ordinaire à la tête amont de la canalisation réceptrice de la maison.

Citons encore le *collecteur sanitaire* de Harven que la municipalité d'Anvers proposait récemment pour les fosses fixes. Ce n'est pas autre chose qu'un diviseur-dilueur, laissant écouler les urines et les liquides qu'une solution de créoline à 3 0/00 s'efforce de désinfecter. Un rapport de MM. Leclerc et F. Putzeys (*Bulletin du service de santé et de l'hygiène publique de Belgique*, juillet 1900) lui est défavorable.

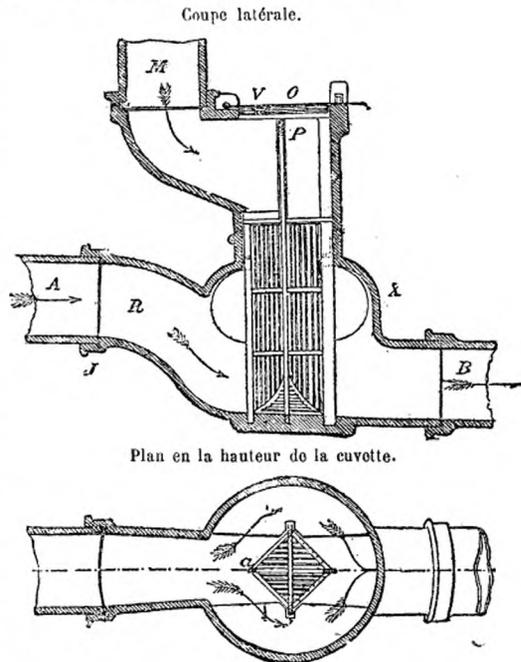


Fig. 89. — Dilueur Miotat.
A, Tuyau des cabinets. M, Tuyau des eaux ménagères et pluviales. — B, Tuyaux d'évacuation à l'éégout. — a, Boite en fer grillagée du dilueur.

3° Autres procédés industriels. — Destruction et stérilisation des matières fécales par la chaleur.

La stérilisation des matières fécales par les procédés chimiques étant difficile, on a cherché à l'obtenir par la chaleur. — Il y a une vingtaine d'années déjà, Scheiding (1) proposa un *Feuerabtritt*, composé d'un fourneau pour comburer les parties solides des fèces et d'une poêle (Urinpfan) pour évaporer l'urine, le tout à installer dans les sous-sols, à l'aplomb des tuyaux de chute des cabinets de la maison.

L'idée ne s'est développée quelque peu qu'en Allemagne. J. D.

(1) Communication de Scheiding au 4^{me} Congrès du *Verein gegen Verunreinigung der Flüsse*, à Mayence.

Smead ⁽¹⁾, Seipp et Weyl ⁽²⁾, W. Lönholdt ont projeté et établi quelques cabinets à feu dans divers établissements (fabriques Hilpert à Nuremberg, Dürr à Düsseldorf, etc.). La fig. 92 montre l'appareil de Seipp et Weyl : ce sont deux cylindres qui reçoivent les matières au bas du tuyau de chute et peuvent être animés d'un certain mouvement de rotation actionné par la porte des cabinets (pour remuer et étaler les matières en mince couche) ; ils sont chauffés dans un foyer et les gaz sont en-

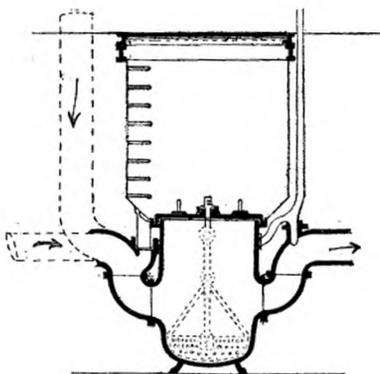


Fig. 90. — Siphon-dilueur de Geneste-Herscher.

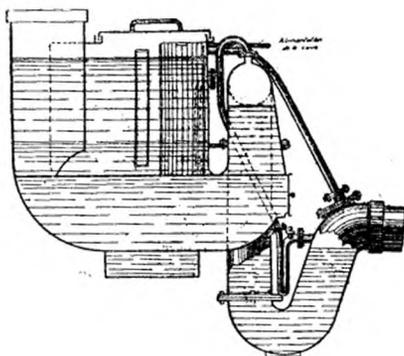


Fig. 91. — Siphon-dilueur Lafforgue.

trainés dans une cheminée. Une des plus récentes installations de *Feuerlatrinen* est celle de la caserne (400 hommes) du 2^e régiment d'artillerie de la garde à Nedlitz, près Postdam ⁽³⁾ : elle a été faite par la maison Arnheim de Berlin, suivant des améliorations indiquées par Weyl. Il faut 200 à 300 grammes de charbon par homme et par jour, ce qui revient à environ 1 centime et demi.

König cite encore l'appareil que Sindermann a établi à l'Hôtel de la ville de Paris, à Breslau : les matières sont transformées de suite à haute température en gaz (qui sert à l'éclairage), acide carbonique, goudron, huile et ammoniacque, et ces derniers corps sont traités comme ceux qui sortent des usines à gaz.

Enfin, au lieu de brûler les matières, on peut les stériliser par simple cuisson ou par la vapeur. Ainsi, de toutes les salles de l'hôpital Moabit à Berlin consacrées aux cholériques, part une conduite étanche allant déverser les selles des malades dans une chaudière centrale où elles sont littéralement cuites. Au lazaret cholérique de Newcastle-on-Tyne, on a

(1) *Fortschritte der Krankenpflege*, octobre 1892.

(2) Berlin, *Klin. Wochenschrift* 1894.

(3) Voir l'article de Weyl dans *Gesundheits Ingenieur* du 31 mars 1891.

voulu éviter les conduites et on a installé dans chaque salle un véritable autoclave en fonte, dans lequel on amène de la vapeur à 2 atmosphères pour agir sur les matières: on peut aussi naturellement y stériliser les crachats et autres objets ou liquides infectés. La fig. 93 suffit à faire comprendre le fonctionnement de ce stérilisateur: après l'opération, le contenu est chassé par la vapeur dans une cuve de refroidissement où la température est abaissée à 38° avant le rejet à l'égout. D'après König, ces appareils réussissent bien avec les selles diarrhéiques des cholériques, typhiques et

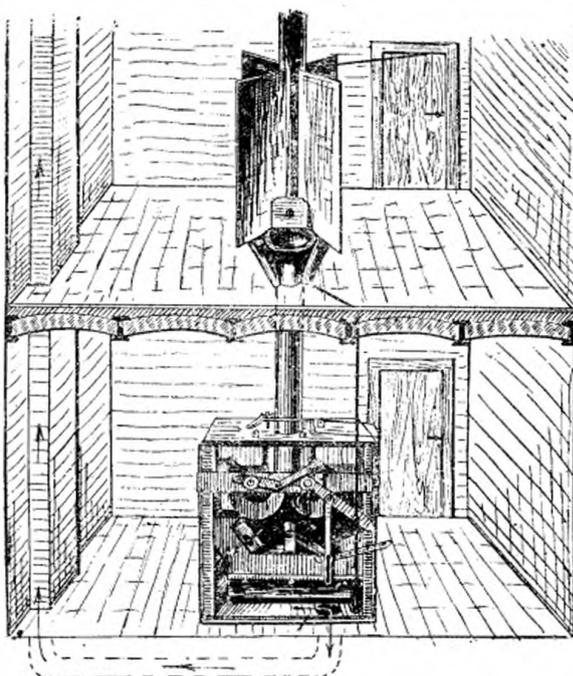


Fig. 92. — Feuerklosett de Seipp et Weyl.

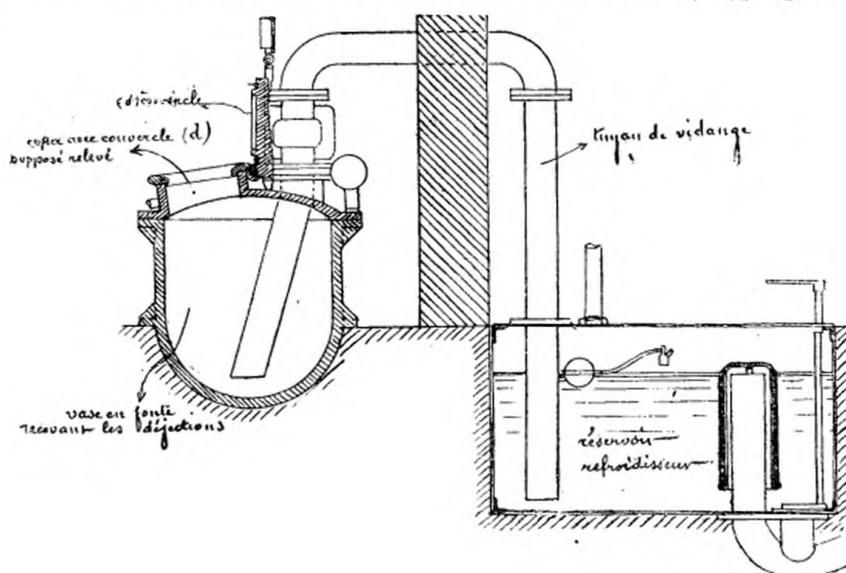


Fig. 93. — Appareil de stérilisation à la vapeur des selles cholériques dans les salles du lazaret de Newcastle-on-Tyne.

dysentériques, mais des selles plus solides auraient besoin d'être délayées, ce qui serait une opération dégoûtante et compliquée.

En Russie, l'idée de la destruction des déjections humaines par le feu a aussi fait l'objet de quelques tentatives. — Dès 1883, Swiecianowski (1) installa à Varsovie un appareil de combustion: l'urine, au lieu d'être évaporée, était absorbée par de la tourbe. — En 1892, à l'Exposition d'électricité de Moscou, Kozloff exposait un four spécial: du réservoir où tombent les matières, elles sont déversées sur un fourneau en fonte de forme particulière, chauffé à blanc en bas, et sont ainsi carbonisées;

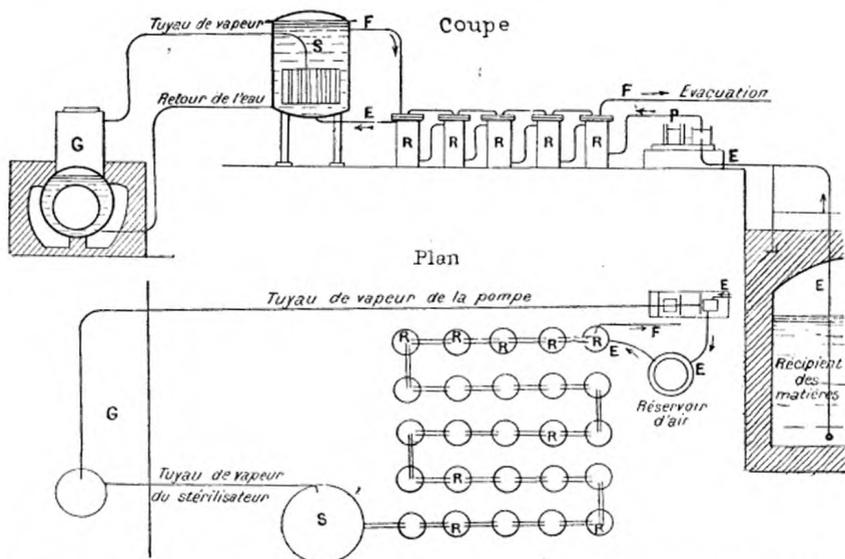


Fig. 94. — Appareil de M. Perrachon, pour la stérilisation des vidanges de la Société coopérative des propriétaires de Lyon.

Légende : G Générateur de vapeur. — S Stérilisateur. — R Récupérateurs. — P Pompe aspirante et foulante. — EE Conduite des vidanges brutes. — FF Conduite des vidanges stérilisées.

ce qui en reste est jeté dans l'intérieur du fourneau où il est incinéré. L'air et les gaz du réservoir et les gaz qui se développent au-dessus du fourneau sont amenés par des tuyaux spéciaux dans son intérieur pour y être comburés; les gaz qui se dégagent du fourneau sont attirés par un autre tuyautage dans un récipient et dans des boîtes métalliques remplies d'eau, puis ceux qui ne sont pas absorbés là vont dans un autre

(1) J. Swiecianowski — *Appareils de dessiccation pour les matières fécales, appliqués aux latrines et aux égouts.*

four servant spécialement à augmenter le tirage du premier et à absorber sa fumée. Il résulterait de cette disposition d'un double four que les gaz rejetés à la cheminée sont absolument inodores, ce qui n'arrive pas avec les autres systèmes. Le système Kozloff ⁽¹⁾ a été installé en 1896 dans un orphelinat de Kazan (150 personnes) et donne satisfaction.

En France, nous ne connaissons guère comme stérilisation un peu en grand des matières fécales par la chaleur que l'installation de la « Société coopérative des propriétaires de Lyon pour les vidanges ». L'inventeur de l'appareil, M. Perrachon, a bien voulu nous en communiquer le dessin (fig. 94) et nous en donner une description que nous ne pouvons mieux faire que de reproduire :

« L'installation comporte comme disposition générale :

« 1° Un stérilisateur S. C'est un récipient parfaitement étanche contenant à l'intérieur un appareil de chauffage cylindrique tubulaire immergé complètement dans le liquide à stériliser et qui reçoit la vapeur d'un générateur placé à proximité si possible ; l'eau provenant de la condensation de la vapeur qui a servi au chauffage retourne directement au générateur.

« La vapeur a son débit réglé par un robinet d'admission.

« Le stérilisateur est pourvu de tous les appareils de sûreté et de bonne marche, tels que indicateurs du niveau du liquide, manomètre, thermomètre, soupapes de sûreté, etc.

« 2° Un certain nombre de récupérateurs RRR destinés à prendre la chaleur du liquide stérilisé et la transmettre au liquide à stériliser.

« Chacun de ces récupérateurs est composé de deux vases concentriques ; le liquide contaminé passe dans le vase extérieur et le liquide stérilisé dans le vase intérieur.

« Dans la figure ci-jointe, l'arrivée du liquide à stériliser se fait par le bas du premier récupérateur, circule de l'un à l'autre et arrive à la partie inférieure du stérilisateur. Le liquide stérilisé sort par le haut du stérilisateur par le tuyau F pour passer à l'intérieur de tous les récupérateurs et ensuite aller se perdre dans le Rhône.

« L'alimentation se fait soit avec une pompe comme à Lyon, soit avec un réservoir en charge selon la nature du liquide à stériliser.

« Cet appareil est à jet continu et peut traiter des quantités considérables de liquide, ce n'est qu'une question de dimensions plus ou moins grandes à lui donner.

(1) Kozloff et Liaponnoff : Communication faite en 1896 à la Société Médicale de Kazan.

« Le liquide s'écoule continuellement après avoir séjourné dans le stérilisateur le temps imposé, à la température indiquée ».

M. le Dr G. Roux, de Lyon, nous dit avoir procédé à de nombreuses analyses bactériologiques du liquide sortant de cet appareil et rejeté au Rhône, et il a toujours trouvé que la stérilisation était absolue : c'est là une preuve de l'efficacité de l'appareil et il y a lieu par suite de le recommander.

Quoiqu'il en soit de ces essais de destruction et de stérilisation, et quelque satisfaite que l'hygiène puisse en être, il faut toutefois reconnaître que ces procédés, bons pour des maisons ou établissements isolés, ne constituent pas une solution des plus commodes pour les grandes villes. On serait conduit en tout cas à grouper les maisons d'un même quartier pour un même foyer, ce qui ramène aux canalisations : l'entraînement des matières par l'eau, et surtout par des chasses d'eau, reste donc toujours le grand moyen d'évacuation, et les appareils à feu, à vapeur, à terre, etc., ne sont guère en somme que des expédients assez coûteux et par suite peu employés.

*B) — Système d'évacuation générale à double canalisation
dit système séparatif.*

Le système séparatif (separate-system, Trennsystem) évacue les eaux-vannes et généralement aussi les eaux ménagères d'une ville ou d'un quartier par une canalisation spéciale, qui ne reçoit pas ou ne reçoit que fort peu d'eaux pluviales : celles-ci s'écoulent de leur côté d'abord superficiellement, puis quand il est nécessaire par des canaux souterrains, mais toujours de manière à gagner le plus directement possible les rivières ou ruisseaux naturels : c'est donc un *Tout à l'égout*, mais un *Tout à l'égout* avec séparation.

Le principe sur lequel est basé le système suppose qu'on peut recevoir sans épuration préalable les eaux de pluie et de lavage des rues dans les cours d'eau, et c'est contre cette admission que s'élèvent les partisans à outrance et on peut dire à tout prix du système unitaire. On se rappelle qu'au Congrès d'Hygiène de Vienne (1887), notre regretté Maître A. Durand-Claye chercha à démontrer que ces eaux de pluie et de lavage étaient au moins aussi chargées de matières étrangères et de microbes que le reste du sewage, et suivant lui devaient dès lors être écartées des rivières au même titre que les eaux-vannes. Il y a là une exagération et une erreur : nous reconnaissons (et il suffit pour s'en

convaincre de se reporter à la composition des eaux ruisselant sur les chaussées de Londres) que le lavage des rues par une averse donne des eaux très chargées, mais elles sont surtout chargées de matières minérales (sable, argile, chaux, etc.) inertes et peu nuisibles, et de microbes saprophytes ⁽¹⁾, et leur teneur n'est pas comparable comme qualité à celle des eaux-vannes. Il est vrai que les poussières des rues contiennent accidentellement certains microbes pathogènes, ceux de la tuberculose et ceux des fièvres éruptives notamment ; mais ces germes ne résistent pas longtemps, ni dans les poussières sèches ni dans l'eau, et ne propagent pas les infections correspondantes par voie aqueuse : reçus dans les cours d'eau, à titre exceptionnel, ils y sont rapidement étouffés. Du reste, si l'on voulait écarter des rivières les eaux de lavage des toits et des rues, il faudrait en écarter aussi les eaux de pluie qui ruissellent dans les campagnes, eaux qui ont lavé les champs cultivés et fumés et qui, comme nous l'avons déjà dit (page 308), produisent une crue microbienne en concordance avec toute crue hydrométrique : ce serait la lutte contre le ruissellement superficiel, et cette lutte est vraiment impraticable.

Nous estimons donc ⁽²⁾ que, dans une ville bien tenue, on peut sans grand inconvénient écouler directement à la rivière les eaux de pluie et de lavage des rues, les eaux des fontaines publiques et des bains, les eaux de condensation et aussi les eaux industrielles après qu'elles auront subi un traitement chimique convenable : c'est contre les eaux-vannes et les eaux ménagères qu'il faut garder toute la rigueur des prohibitions légales.

D'ailleurs, on est bien obligé — nous l'avons vu plus haut — de jeter au fleuve les grandes eaux d'orage et de ménager dans ce but des déversoirs, nous allions dire des échappatoires, aux égouts unitaires. En

(1) Witlin et Mazuschita ont montré que les poussières sèches sont bien moins chargées de bactéries que les boues des rues : on n'y rencontre guère comme pathogènes que les staphylocoques, le *b. pyocyaneus* et le *b. liquefaciens*, espèces fort résistantes, mais en somme peu dangereuses ; le soleil et la sécheresse tuent les autres espèces. (Voir l'article de Mazuschita — *Archiv. für Hygiene*, XXXV, 1899 — page 252).

(2) Nous partageons ainsi l'avis de nombreux hygiénistes étrangers, notamment :

Vogel — *Die Verwerthung der städtischen Abfallstoffe*, Berlin, 1896.

Weyl. — *Hygienische Rundschau*, 1896, page 671.

Fischer (de Kiel). — *Zeitschrift für Hygiene*, XXIII.

Hüppe. — *Hygienische Rundschau*, 1897, page 1203.

Schmidtmann et Proskauer. — *Vierteljahrsschrift für ger. Medizin*, XIII et XIV, etc. etc., et cela sans compter les partisans résolus du système séparatif.

vain, pour justifier ces déversements des grandes pluies, Durand-Clayé prétend-il qu'après un premier lavage l'eau d'une pluie persistante devient plus pure : personne n'a constaté cette décroissance de l'impureté des eaux ruisselantes à un moment donné, et nous avons vu au contraire le nombre des germes augmenter d'ordinaire jusqu'au moment du maximum hydrométrique. L'efflux qui arrive à la rivière pendant la durée d'une averse est d'ailleurs un mélange des eaux tombées à diverses périodes sur les différentes parties du bassin : avec celles qui viennent de tomber sur une zone rapprochée du débouché, il en arrive d'autres qui sont tombées plusieurs heures auparavant sur une zone plus éloignée, etc., en sorte qu'il n'y a pas en réalité de second flot passant après le premier sur une surface déjà lavée, mais bien un amalgame variable des flots provenant d'époques diverses et arrivant simultanément des diverses régions du bassin de réception de la pluie (1), flots qui sont plus ou moins chargés d'impuretés suivant les pentes, l'état de la surface du sol, l'intensité et la durée de l'averse, la distance de l'émissaire, etc. A notre avis, le seul moyen d'éviter aux rivières un apport d'eaux pluviales trop chargées c'est de tenir la surface des rues et places aussi propre que possible : il faut que la ville se fasse une *bonne toilette quotidienne*.

Donc, puisqu'il faut déverser à la rivière les eaux de pluie à un moment donné, il n'y a pas de limite absolument tranchée entre le système séparatif et le système unitaire, ce dernier ne pouvant jamais être véritablement *complet* : en fait, on trouve tous les intermédiaires, depuis les canalisations exclusivement réservées aux matières fécales (comme dans les procédés Liernur, Berlier et autres qui restent plutôt dès lors des procédés de vidange), jusqu'aux doubles conduites superposées de Buenos-Ayres, laissant aller aux champs d'épuration avec le sewage proprement dit le produit des pluies *ordinaires*, et n'écoulant au fleuve par les grands émissaires directs que le surplus en cas de fortes pluies. De plus, dans bon nombre de villes, les deux systèmes se combinent : souvent les petites rues ne sont canalisées qu'en tuyaux, n'admettant pas les eaux pluviales, lesquelles suivent les caniveaux ; dans les faubourgs (Elberfeld et Giessen), dans les parties basses et voisines des

(1) Le lecteur qui serait désireux de se rendre un peu mieux compte de cette superposition au débouché des apports des différentes zones arrosées par une averse pourrait se reporter à notre article « Essai-Programme d'Hydrologie » inséré dans le 5^me cahier de la *Zeitschrift für Gewässerkunde* de 1899 ou encore à la théorie du ruissellement superficiel déjà esquissée dans notre Mémoire « La Durance », in *Annales des Ponts et Chaussées*, janvier 1892.

rivières (Karlsbad, Cologne, etc.), il y a parfois grand avantage à recourir au système séparatif qui règne ainsi dans une ou plusieurs zones ; bref il n'y a pas antagonisme, mais il y a à faire dans chaque cas particulier un choix et un partage rationnels entre les deux systèmes, en combinant aussi convenablement que possible leurs avantages respectifs. Au point de vue hygiénique, nous ne voyons vraiment pas quelle serait l'infériorité sur les égouts unitaires avec déversement des grandes eaux (lesquelles sont alors mélangées de matières fécales), d'un système de canalisations recevant les eaux-vannes, les eaux ménagères et si l'on veut une partie des eaux des cours et toitures pour les envoyer à l'épuration, tandis que les caniveaux, les thalwegs et quelques grands émissaires couverts évacueraient directement les eaux de pluie vers la rivière : ce système protège plutôt mieux le cours d'eau, puisqu'ainsi il ne reçoit en aucun cas aucune matière fécale.

Les avantages d'un tel système ont déjà été énumérés fréquemment :

1° Le premier est l'économie d'établissement. Il faut bien entendu pour que cette économie soit réelle que les circonstances locales et topographiques permettent au réseau d'*égouts d'eaux pluviales* de rester rudimentaire : il sera généralement limité à un petit nombre d'émissaires placés sous les grandes voies se dirigeant vers le fleuve, et par conséquent conçu dans le système *perpendiculaire*. Le réseau d'*égouts d'eaux-vannes*, étendu lui à toutes les rues, sera pour la plupart d'entre elles en tuyaux, beaucoup moins grands que des égouts visitables, placés moins profondément et par suite bien moins coûteux (1) : les collecteurs seuls, réunissant les canalisations d'un groupe de rues, seront à grande section.

2° L'économie d'exploitation peut aussi être très importante, notamment s'il faut relever mécaniquement le sewage. Il est clair dans ce cas qu'il y aura un énorme avantage à n'avoir affaire qu'à un débit régulier et dépassant peu, comme nous l'avons vu, l'apport de la distribution d'eau, au lieu que dans le système unitaire on a des masses bien plus grandes et des variations énormes (du fait même des pluies). En outre, nous savons que les pluies entraînent dans les égouts une grande quantité de sable et autres matières inertes qu'il faut en retirer ultérieurement à grands frais.

3° L'épuration ou le traitement portant sur un cube réduit de matières toujours semblables à elles-mêmes sera également bien plus facile

(1) La moindre profondeur prend une grande importance quand le niveau de la nappe souterraine est très rapproché du sol.

et plus économique avec la séparation. Les eaux de pluie viennent évidemment délayer inutilement (à ce point de vue) le sewage, et pour les écarter ensuite il faut multiplier les surfaces des bassins d'épuration ou des champs d'épandage. Un sewage plus chargé (mais de volume bien moindre) et plus constant comme débit et comme composition paraît aussi se prêter mieux à l'application des nouvelles méthodes d'épuration bactérienne. Si l'on voulait retirer les produits utiles des matières, on économiserait également l'évaporation de masses d'eau importantes.

4° Le système séparatif se prête beaucoup mieux à l'absence de pente et à l'installation d'un procédé d'aspiration ou de refoulement : le système unitaire exige d'assez fortes déclivités pour assurer l'entraînement des matières solides.

5° Les chasses, comme l'écoulement en général, se font mieux dans des tuyaux à petite section, ce qui fait que les égouts unitaires exigent beaucoup plus d'eau et entraînent les villes à des dépenses considérables d'adduction d'eau (ainsi à Paris, Périssé pense qu'un remède à l'accroissement incessant du volume d'eau nécessaire consisterait à établir des tuyaux du système séparatif dans les égouts actuels. *Revue d'hygiène* 1898). En revanche, les égouts unitaires comptent sur les pluies pour produire des chasses naturelles : il est vrai que pendant la saison sèche il n'en faut pas moins des chasses artificielles. On peut aussi introduire, pour obtenir des chasses naturelles, une certaine quantité d'eau de pluie dans les tuyaux du Trennsystem, en y faisant déboucher quelques tuyaux de chute, venant des toits.

6° Avec la double canalisation, les maisons ne risquent pas de voir leurs caves et leurs sous-sols inondés par les reflux des égouts : de plus les gaz sont peu abondants et il y a moins à se prémunir contre eux, ce qui permet de supprimer les siphons de pied ainsi que les siphons des bouches d'égout et de simplifier un peu l'installation des branchements particuliers.

Par contre, le système séparatif a contre lui sa complication, et une certaine délicatesse qui en font une machine moins simple et plus sujette à se détraquer que le système unitaire. Les obstructions des tuyaux sont assez fréquentes et assez pénibles à faire disparaître ; l'état de la canalisation est difficile à surveiller, et la moindre fuite infecte gravement le sol ; on ne peut absolument jeter ni boues, ni eaux de lavage ou d'arrosage des chaussées dans la canalisation, etc. Les égouts unitaires ont les avantages inverses, et nous ne nions pas, quand on peut y mettre le prix, qu'ils constituent le système le plus simple et le plus

commode pour une grande ville. Cependant, on aurait grand tort de vouloir partout y recourir sans discussion et sans une étude préalable comparative, tenant compte de tous les éléments de la question et notamment de ce qui existe déjà. Nous sommes convaincu que dans bien des cas, surtout quand on est limité comme dépenses d'établissement, d'exploitation ou d'épuration, on trouvera un avantage très sensible à adopter le système séparatif, au moins partiellement. La discussion reste donc ouverte, quoiqu'en ait dit en 1892 ⁽¹⁾ M. Hobrecht, l'ingénieur de l'assainissement de Berlin, qui la déclarait épuisée en faveur du système unitaire.

Du reste, depuis qu'en 1848 lord Morpeth a proposé la double canalisation, ce système a été fréquemment employé en Angleterre et il l'est de plus en plus. En 1892 même le Local Government Board signalait au moins 40 villes appliquant plus ou moins complètement le *separate-system* : citons entr'autres Oxford, Reading, Leicester, Eastbourne, Aldershot, Wolverhampton, Dudley, Wimbledon, Sutton, Henley, Wallingford, Teddington, Croydon, Heston, Isleworth et Hornslow, etc., qui ne sont pas des petites villes ⁽²⁾. Un bon nombre de ces villes ont été conduites à cette solution quand la *Thames Conservancy* les a empêchées de continuer à déverser leur sewage dans le fleuve : elles ont donc affecté leurs anciens égouts débouchant en Tamise aux eaux pluviales et construit un réseau neuf pour les eaux-vannes qui sont conduites à l'épuration. Le système Shone, dont nous parlerons plus loin, est très fréquemment usité en Angleterre : il l'est aussi dans bon nombre d'autres villes du monde : Moscou, Kiew, Sydney, Bombay, Karachi, Capetown, Wellington (N.-Z.), Arad (Hongrie), Rio-de-Janeiro, Valparaiso, Rangoon (Birmanie), etc., ainsi que dans beaucoup de villes des Etats-Unis. L'Amérique est en effet la seconde patrie du *separate-system*, et depuis l'expérience de Memphis il s'y est très répandu (plus de 40 villes en 1898) : nous ne pouvons que renvoyer le lecteur désireux d'avoir plus de détails aux deux beaux livres suivants du colonel Waring : *Sanitary drainage of houses and towns* et *Sewerage and land drainage*, ainsi qu'aux ouvrages : *The separate-system of sewerage*, de Stanley and Pierson, *Sewerage disposal in the United States*, de Baker, *Sewerage*, de Folwell, etc. (Voir aussi l'article de M. Ronna : De l'assainissement des villes et des cours d'eau aux Etats-Unis, au *Bulletin de la Société d'encouragement*, 1896.)

(1) Hobrecht. — *Rapport sur l'assainissement d'Alexandrie*, 1892.

(2) A Londres même, on a admis que pour les extensions nouvelles le système séparatif était préférable, afin de ne pas surcharger les collecteurs.

L'Italie s'est déclarée de bonne heure pour le système séparatif. Dès 1886, Pagliani (1), Casana (2), puis un peu après Bentivegna (3), Fichera (4), Castiglia (5), la Commission des égouts de Naples (6), le Conseil supérieur des travaux publics se prononcèrent en sa faveur. En fait il a triomphé à Turin, et il a été imposé pour les parties basses et moyennes de Naples : de nombreux projets ont été dressés dans le sens séparatif et attendent une prochaine exécution (Palerme, Catane, Macerata, Spezia, Nepi, Anguillara, etc.). Le professeur Canalis dans son bel article « *Intorno al sistema di canalizzazione separata* » (*Rivista d'Igiene*, 1898) recommande vivement la séparation aux villes de la province de Ligurie, villes qui ont des distributions d'eau et présentent généralement de fortes déclivités permettant aux eaux pluviales de courir rapidement à la mer.

L'Allemagne n'est venue qu'un peu plus tard au Trennsystem, en raison sans doute de l'exemple de Berlin. Cependant, dès l'année 1896 (articles de *Gesundheits-Ingénieur* des 15 et 30 septembre 1896), l'ingénieur Herzberg disait nettement « qu'on ne devait pas songer pour les villes « petites et moyennes au système de Berlin et qu'il ne convenait pas d'y « faire arriver dans les égouts les eaux de pluies : en les écartant des « égouts, on diminue les frais, on favorise la circulation dans les tuyaux « de section réduite et on diminue la quantité de matières à traiter. » Dans deux articles de 1896 et 1897 (7), l'ingénieur Metzger (Bromberg) soutient aussi la même thèse.

La question fut jugée assez importante pour être portée en 1897 devant la vingt-deuxième assemblée du « *Deutscher Verein für Öffentliche Gesundheitspflege* » à Karlsruhe. Le professeur Gärtner, d'Iéna (à qui nous devons de vifs remerciements pour les nombreux documents qu'il a bien voulu nous communiquer), et Herzberg, étaient rapporteurs, et tous deux favorables au Trennsystem (voir leur rapport dans *Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege*, 1898, XXX).

(1) Pagliani. — *Fognatura cittadina*, 1886, et article in *Rivista d'Igiene*, 1891.

(2) Casana. — *Fognatura di Torino* 1886.

(3) Bentivegna. — *Trattato della fognatura cittadina*, 1889, et *La canalizzazione distinta a circolazione continua*, 1890.

(4) Fichera. — *Progetti di massima pel risanamento di Catania* 1887, et article in *Rivista d'Igiene*, 1892.

(5) Castiglia. — *Progetto per la fognatura di Palermo*.

(6) *Relazioni della Commissione per l'ispezione deilavori di fognatura di Napoli*, 1893.

(7) Metzger. — *Ein neues System der Städteentwaerrung*, 1896. — et *Über Trennungssysteme*, in *Gesundheits-Ingénieur*, 1897. Voir aussi un autre article « *Hygienische Bedeutung des Trennsystem*, dans *Hygienische Rundschau*, 15 mars 1898.

Voici leurs conclusions :

1. — L'évacuation des matières fécales et des eaux usées ne répond pas actuellement dans la plupart des villes aux exigences de l'hygiène.
2. — Le système unitaire est parfaitement capable de réaliser cette évacuation, en même temps que celle des eaux pluviales ; toutefois l'écoulement en temps de grandes pluies présente de très sérieuses difficultés. De plus, ce système revient généralement trop cher tant d'établissement que d'exploitation, pour les villes moyennes et petites.
3. — Il n'y a généralement pas d'inconvénient au point de vue hygiénique à recevoir dans les cours d'eau les eaux de pluie des rues et des toits.
4. — L'application du système séparatif serait un grand progrès sur la situation actuelle de la plupart des villes.
5. — Le système séparatif a, relativement au système unitaire, le désavantage de conduire aux rivières en temps de pluies toutes les saletés des rues, tandis que le système unitaire, par les orages, y déverse une partie de ces saletés, mais après mélange avec les matières fécales et les eaux usées : ce dernier inconvénient peut être, suivant les cas, plus sérieux que le premier.
6. — Le système séparatif a, relativement au système unitaire, l'avantage d'un coût moindre pour l'établissement du réseau, ainsi que les avantages suivants :
 - a). Il n'exige que des machines et chaudières plus petites et des tuyaux plus étroits pour l'élévation et l'éloignement du sewage.
 - b). Les champs d'épuration (ajoutons les bassins de purification bactérienne) restent de bien moindre étendue.
 - c). Le fonctionnement des machines et de l'irrigation devient régulier et peut n'avoir lieu que de jour ;
 - d). Si on installe des bassins de clarification, ceux-ci restent bien plus petits ;
 - e). Si on emploie les procédés chimiques de désinfection, il faut beaucoup moins de désinfectants et de précipitants, et on a de plus grandes chances de réussite ;
 - f). Dans beaucoup de cas, notamment s'il faut désinfecter les déjections de malades, il est plus facile d'adjoindre un procédé de traitement mécanique et de désinfection que si l'on a affaire au système unitaire.
7. — Pour savoir si dans une ville on devra recourir à un système ou à l'autre (nous ajouterons ou à une combinaison des deux) il faut examiner les conditions hygiéniques, topographiques et économiques locales et comparer les prix de revient et d'exploitation des deux systèmes.

La discussion fut chaude et brillante, mais les partisans et les adversaires du système séparatif cessèrent d'être irréconciliables : Fränkel et Kirchner s'élevèrent encore contre l'admission dans les cours d'eau des eaux pluviales des rues, mais ils reconnurent aussi le danger des déversements des égouts unitaires, — et cependant il faut opter entre ces deux maux. Bref, le système séparatif a pris de ce jour définitivement rang de cité en Allemagne.

Nous devons ouvrir ici une petite parenthèse pour signaler l'état de l'assainissement dans les villes allemandes de plus de 5 000 âmes, état que donne le professeur Gärtner au début de son magistral rapport de

Karlsruhe. Nous y voyons qu'en 1892, sur les 565 villes, 453 ont encore des fosses fixes, 24 des tonnes mobiles, 68 ces deux systèmes ensemble, et 20 seulement reçoivent les matières fécales dans les égouts. Le tiers des villes n'ont aucune canalisation, 227 en ont une partielle, généralement défectueuse, et 152 ont un réseau complet d'égouts, dont une seule d'après le système séparatif. Aucune ville de 5 à 10 000 âmes n'a le tout à l'égout, et sur les 310 villes de 10 à 100 000 habitants, 10 seulement ont ce système (soit seulement 3 0/0). Des 379 villes plus ou moins complètement canalisées, 302 déversent directement dans les cours d'eau, 43 épurent mécaniquement, 15 chimiquement et 19 font de l'épandage agricole. On sait qu'à l'Exposition figurait une grande carte de l'Empire allemand indiquant, outre l'alimentation en eau, la manière dont les villes de plus de 15 000 âmes se débarrassent de leurs eaux-vannes et eaux usées : des signes font connaître si la ville est canalisée en tout ou en partie, si elle a des tonnes ou des fosses, si elle fait de l'épandage, etc. Par cette carte comme par l'état de Gärtner on voit qu'il y a encore énormément à faire du côté des égouts en Allemagne. (Nous aurions voulu donner au lecteur une idée de la situation en France sous ce rapport, et, aussi bien pour l'alimentation en eau que pour l'éloignement des immondices, nous avons adressé il y a bientôt un an aux municipalités des 588 villes françaises de plus de 5 000 habitants un questionnaire à remplir : malheureusement, faut-il le dire, presque aucune ville ne nous a répondu. Mais nous ne sommes que trop certain que ce silence cache souvent un tableau assez triste et qu'il y a plus à faire encore en France qu'en Allemagne : le petit nombre de projets d'assainissement dont a à s'occuper le Comité consultatif d'Hygiène publique montre que les progrès sont bien lents).

Dans ces dernières années quelques villes allemandes ont réalisé leur assainissement par le Trennsystem. Ce sont : Norderney (projet de la maison Börner et Herzberg, de Berlin) qui n'a dépensé que 190 000 marks alors qu'un projet d'égouts unitaires eût atteint 420 000 ; Tempelhof, Allenstein, Binz suivant des projets de la maison Erich Merten par le système Shone ; Greifswald (23 000 habitants) a en vue un projet de la même maison qui coûterait 580 000 marks sans l'installation d'épuration de 70 000 marks ; Luckenwalde (20 000 habitants) vient d'adopter un projet semblable ; Soest, Sylt, plusieurs localités de la banlieue de Berlin sont canalisées complètement en séparatif ; Elberfeld, Homburg et Giessen le sont partiellement. Pour Giessen on était en présence de trois projets, l'un de Stenernagel, un second de Lindley, tous deux

en égouts unitaires, et un troisième de Herzberg entièrement en séparatif. Sur un rapport de Gaffky du 26 novembre 1898, on adopta le système unitaire seulement pour la vieille ville (Altstadt), plus basse que le reste, et le séparatif pour les faubourgs et quartiers neufs, dont le sewage va se déverser dans les collecteurs de l'Altstadt.

Enfin nous donnerons quelques détails sur la canalisation exécutée en 1898 par la ville de Zoppot (8000 habitants en temps normal et 4000 baigneurs à la saison) d'après le mémoire de Böttger dans *Zeitschrift für Bauwesen*, 1899, IV et VI. C'est le projet de la maison Börner et Herzberg de Berlin qui a été adopté : les tuyaux reçoivent les eaux-vannes et les eaux ménagères et ont été calculés à raison de 100 lit. par tête et par jour ; les eaux de pluies, des bains et des industries n'y sont pas reçues, sauf de distance en distance quelques tuyaux de descente des eaux des toits qui servent tant à produire des chasses qu'à assurer l'aération. Les tuyaux ont des diamètres jusqu'à 0^m,40, et sont en poterie avec manchons et joints en corde de chanvre et mastic d'asphalte ; dans certaines parties où ils sont posés en plein dans la nappe souterraine, ils sont en fonte. Il y a des regards circulaires chaque 70 m, et les tuyaux sont toujours rectilignes entre deux regards ; les pentes sont supérieures à 0^m,001. La ville est divisée en deux zones : le sewage de la ville haute va directement par la gravité aux champs d'épandage créés dans les dunes ; celui de la ville basse est reçu dans un puits circulaire de 345 m³ de capacité, suffisant pour emmagasiner le produit d'une nuit, d'où une pompe le relève tous les jours pour l'envoyer à l'épandage. Pour l'épuration, on a calculé la surface du terrain nécessaire à raison de 1 hect. pour 900 habitants (tandis qu'avec les égouts unitaires, il faudrait un hectare pour 300 personnes). Mais il a fallu abaisser le niveau de la nappe souterraine des dunes en creusant un grand fossé médian de 2 m de profondeur. La dépense totale a été de 315 181 marks (dont 191 803 pour la canalisation), soit 32^m,5 par tête, et les frais d'exploitation annuels atteignent 13 000 marks, soit également 1^m,30 par tête. Cette installation nous paraît un modèle de ce qu'on peut faire dans des conditions semblables pour une petite ville.

En France même, malgré l'exemple souvent trop hypnotisant de la capitale, le système séparatif a relevé la tête. Cannes l'applique depuis bientôt 20 ans et s'en trouve bien (tuyaux en grès de 0^m,15 à 0^m,50) ; Trouville a adopté le système Liernur en 1897 ; Caen, Nîmes et Epinal l'étudient ; Levallois-Perret a un système dérivé du système Berlier ; Monaco relève ses eaux d'égout par des éjecteurs Shone ; Toulon a

adopté en principe il y a deux ans un projet d'assainissement du système Shone, avec épuration par le procédé Howatson ; en regard du projet Gogéard en égouts unitaires, Rouen étudie également un projet en séparatif avec éjecteurs Shone et maintien des égouts actuels pour les eaux pluviales (1) ; Nice a de même en regard du grandiose projet de l'ingénieur Masson (égouts unitaires), un projet plus modeste du docteur Camous en tuyaux de fonte, réservés aux matières fécales et accrochés aux parois des égouts actuels qui eux seraient laissés aux eaux pluviales. Enfin, Reims exposait à Paris en même temps que le plan de ses champs d'épandage un projet d'assainissement très soigneusement étudié par M. l'ingénieur en chef Bourguin et nettement conçu suivant le système séparatif, déjà préconisé dans une étude intéressante de MM. Portevin et Langlet en 1891 : ce projet qui peut servir de modèle pour une ville de l'importance de Reims (108 000 habitants) mérite que nous nous y arrêtions un instant, car il répond de tous points à la conception que nous nous faisons d'une étude parfaite en ce genre.

La ville de Reims, pour un développement d'environ 120 km. de rues, et une surface de 15.0 hect. n'a actuellement que 44 km. d'égouts, exécutés à des époques diverses avec des sections défectueuses, et souvent peu étanches : les eaux ménagères n'arrivent à ces égouts qu'après un trajet plus ou moins long dans les caniveaux ; quant aux matières fécales, elles sont reçues encore en grande partie dans des fosses. Les pentes des égouts et des collecteurs sont généralement très faibles : depuis 1888, le sewage ordinaire est envoyé aux champs d'épandage (dont nous parlerons plus tard), mais en temps de pluies un peu abondantes, les déversements dans la Vesle sont fréquents et nombreux. Or, la Vesle est une très petite rivière dont le débit descend à 100 lit. et même 25 par seconde, et on ne pourrait guère y maintenir de tels déversements le jour où les égouts recevraient les matières fécales. De plus, la plupart des égouts actuels étant hors d'état de recevoir ces matières, mais pouvant très bien continuer à écouler les eaux pluviales, il était tout indiqué de songer à constituer un réseau pluvial avec la plus grande partie du réseau existant, et d'installer entièrement à neuf un réseau complet de canalisation pour les eaux-vannes, lesquelles seraient envoyées seules à l'épandage.

Le projet a donc été conçu dans cet ordre d'idées (Voir fig. 95). On a commencé par visiter soigneusement les égouts existants et par déterminer ceux (en petit nombre) qui pourraient être incorporés comme collecteurs au réseau des eaux-vannes (le collecteur supérieur de la rive droite allant de la place de l'Hôtel-Dieu à la place Royale, et de là vers les champs d'épandage en passant par les rues des Consuls, Saint-Thierry et Lecointre, ainsi que le collecteur de la rive gauche, ainsi conservés dans leur ensemble). Le réseau pluvial serait

(1) Le projet Gogéard, comportant 115 423 m de canalisations, est évalué 6 980 000 fr., avec 105 333 fr. de dépenses annuelles d'exploitation, tandis que le projet Howatson-Shone, avec 149 535 m de canalisation (soit 34 112 m de plus que le précédent, et en outre les 20 775 jonctions pour raccordement des maisons) ne coûterait que 6 554 215 fr. d'établissement et 82 380 fr. de frais annuels : de plus, les 4 secteurs pourraient être canalisés successivement, par ordre d'urgence.

formé des autres égouts actuels et complété seulement par quelques tronçons faisant ensemble de 4 à 5 km. seulement. Il aurait ainsi pour collecteur général sur la rive droite le collecteur inférieur actuel qui longe le canal de l'Aisne à la Marne, du Pré-des-Moines au siphon des Clairmarais; lors des fortes pluies, ce collecteur déverserait les eaux surabondantes à la Vesle par les quatre siphons existants et par un cinquième à construire près du pont tournant de la rue de Venise. Au contraire, tant que le niveau des seuils de ces déversoirs ne serait pas atteint, le collecteur conduirait toutes ses eaux au siphon de Clairmarais et les rejetterait dans le collecteur des eaux-vannes qui arrive au même point et les emmènerait aux champs d'épuration: ce n'est donc qu'après une certaine durée de pluie que les déversements à la Vesle auraient lieu, et l'on éviterait ainsi le principal reproche adressé au système séparatif, qui est de laisser aller aux rivières les premières eaux de pluie assez fortement contaminées dans les grandes agglomérations. Le réseau pluvial aboutissant au collecteur se composerait de cinq branches principales établies suivant la pente générale du terrain et recoupant la ville dans toute sa largeur, savoir:

- 1° Collecteur rue des Moulins — Rue du Barbâtre;
 - 2° Collecteur rue du Jard — Rue de Cernay;
 - 3° Collecteur rue de Vesle — faubourg Cérés;
 - 4° Collecteur rue de l'Arquebuse — Boulevard Lundy — rue Haute-Saint-André — Boulevard Jules-César;
 - 5° Collecteur rue du Mont-d'Arène — Place de la République — rue Danton.
- Sur la rive gauche, le réseau pluvial borné à quelques branchements serait à peu près nul.

La canalisation des eaux-vannes comprendrait deux collecteurs principaux: le collecteur supérieur actuel déjà cité et un collecteur inférieur à construire dans la partie basse de la ville, partant de la rue Ruisselet, suivant les rues des Capucins, Hinemar, Clovis, Jeanne-d'Arc, de Châtivesle, Saint-Brice et aboutissant à un siphon à construire à Clairmarais contre le siphon actuel; les eaux ayant traversé le canal par ce siphon iraient aux champs d'épuration comme aujourd'hui par le fossé à ciel ouvert qui longe le canal (c'est à la sortie du siphon que le collecteur pluvial déverserait également les eaux des petites pluies à mêler au sewage). Un collecteur secondaire recevrait en outre les eaux comprises entre le canal et le précédent collecteur, dans lequel il viendrait se déverser au boulevard de la République. Tous les collecteurs seraient visitables et de forme ovoïde avec 1 m de plus grande largeur et 1^m,80 de hauteur. Au contraire, toutes les canalisations d'eaux-vannes formant un réseau complet dans toutes les rues seraient en tuyaux de grès vernissé, d'un diamètre variant entre 0^m,20 et 0^m,45: ces tuyaux seraient posés à 2^m,50 de profondeur, afin de faciliter le débouché des eaux ménagères, et dans les larges artères une double canalisation placée sous les trottoirs (comme à Berlin) donnerait plus de commodité aux propriétaires riverains. Des réservoirs de chasse très nombreux et cubant 500 et 1 000 lit. (on sait qu'ils sont indispensables avec les tuyaux) seraient établis à l'origine et aux points hauts des conduites élémentaires. M. Bourguin a pu prévoir pour tous les tuyaux une pente égale ou supérieure à 0,003 par mètre; les pentes des collecteurs ne descendent que très rarement au-dessous de 0^m,50 par kilomètre ce qui est très convenable.

Les tuyaux ont été calculés sur un chiffre de 100 lit. d'eaux usées par tête et par jour. De plus, on s'est proposé de recevoir dans le réseau d'eaux-vannes une bonne partie des eaux industrielles (lesquelles se montent à 25 000 m³ par jour à Reims): en prenant 20 000 m³ pour les 400 000 habitants de la rive droite de la Nesle, cela fait 200 lit. par tête de ce fait. Comme on peut compter en moyenne 400 habitants par hectare il faudrait donc écouler moyennement par jour et par hectare 30 000 lit., soit en comptant comme d'habitude 12 heures pour cet écoulement un débit par seconde et par hectare de $\frac{30\,000}{12 \times 60 \times 60} = 0 \text{ lit. } 70$. (Rappelons

qu'au lieu de ce chiffre modique, l'écoulement des eaux de pluie donnerait jusqu'à 25 lit. par seconde et par hectare). On a ensuite établi pour chaque rue un tableau donnant, d'après le nombre d'habitants, le volume d'eaux usées à prévoir, ainsi que le volume des eaux industrielles comptées spécialement (dans les rues nouvelles, on a admis un minimum de un habitant par mètre courant).

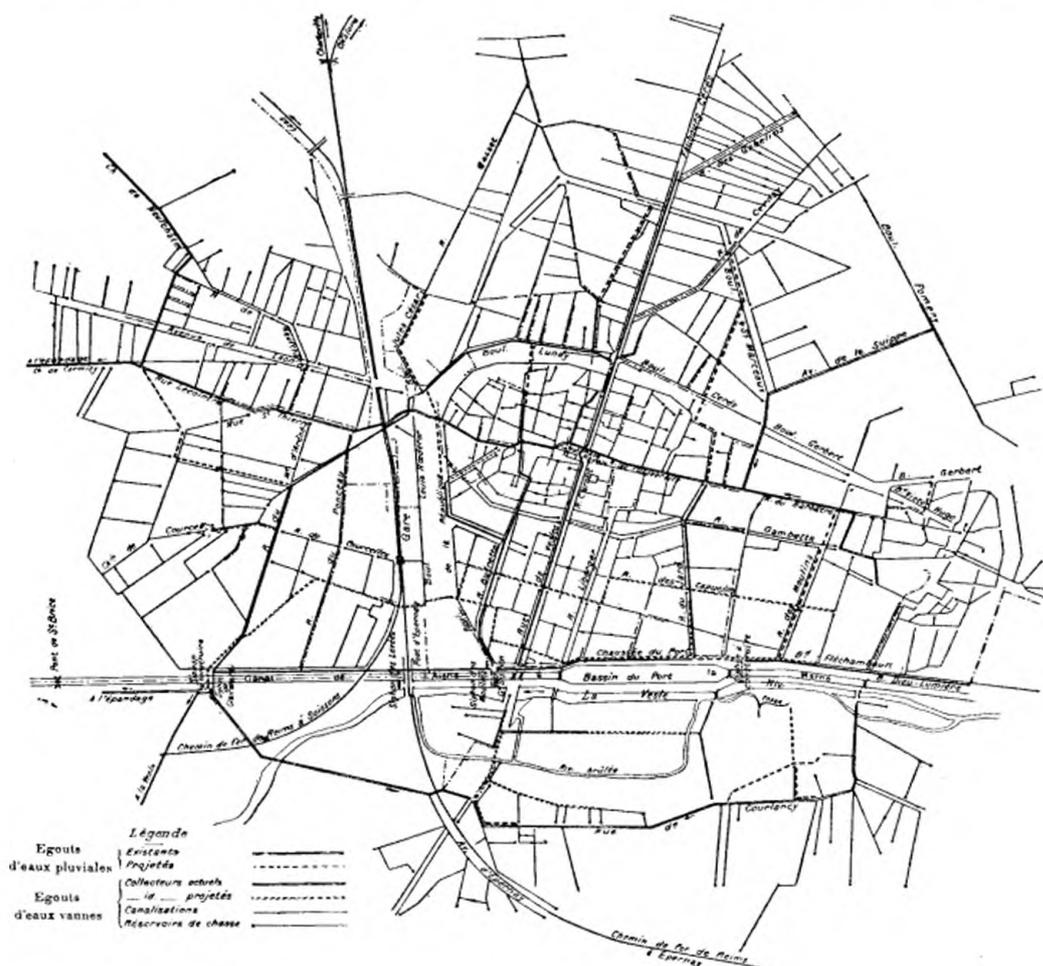


Fig. 95. — Projet pour l'assainissement de Reims par le système séparatif.

La pente du tuyau desservant chaque rue étant connue, on a déterminé le diamètre à adopter de manière que le tuyau à moitié plein écoule le débit voulu. Ainsi un tuyau de 0^m,20 à moitié plein, avec une pente de 0,004 débite 10 lit. par seconde, ce qui lui permettrait donc de desservir 14 hect., soit 1400 m de longueur de rue dans les conditions moyennes ci-dessus rappelées. Enfin, des regards sont ménagés à tous les changements de direction, à toutes les jonctions de tuyaux, et en outre, on ajouterait tous ceux qui seraient nécessaires pour réduire la distance maxima à 50 m.

L'évaluation de la dépense se monte à 350000 fr. pour le réseau d'eaux-vannes, mais en y comprenant la construction immédiate des branchements particuliers jusqu'à 1^m,50 des façades des maisons, laquelle est estimée à

268 000 fr. En outre, l'aménagement et le complément du réseau d'eaux pluviales coûterait 500 000 fr. Le total de 4 000 000 de francs, correspondant à une dépense de 37 fr. pour chacun des 108 000 habitants d'aujourd'hui et de 20 fr. pour les 200 000 habitants en vue desquels le projet est conçu, ne paraît pas du tout exagéré (N'oublions pas toutefois pour comparer ces chiffres avec ceux de Zoppot, que les frais d'épuration ne sont pas compris dans ceux de Reims: pour l'épuration, la ville paie à la Compagnie des Eaux-Vannes, une redevance annuelle de 0 fr. 0045 par mètre cube, soit 58 000 fr. pour 35 à 36 000 m³ par jour, ou encore de 0 fr. 50 à 0 fr. 55 par habitant et par an). Disons encore à titre de comparaison qu'un projet d'assainissement en égouts unitaires eût coûté sensiblement plus cher, car pour canaliser en grands égouts les 76 km. de rues actuellement non desservies, il faudrait dépenser 76 000 × 50 fr. = 3 800 000 fr.; puis pour remanier environ 30 km. des égouts actuels à transformer en collecteurs et à rendre capables de recevoir le tout à l'égout, il faudrait encore près de 30 000 × 100 = 3 000 000 fr., soit en tout près de 7 000 000 de francs.

Après ces vues d'ensemble sur le système séparatif, arrivons aux procédés spéciaux qu'il met en œuvre, c'est-à-dire aux divers systèmes séparatifs connus et appliqués.

On les divise suivant que la gravité suffit à l'écoulement du sewage (système Waring), ou suivant qu'on recourt à l'aspiration (système Liernur, système Berlier et son dérivé le système de Levallois-Perret) ou à la compression (système Shone).

1° *Système Waring*. — Il n'y a plus que peu de chose à en dire, car le système Waring n'est autre que le système séparatif lui-même fonctionnant par la gravité. C'est en 1879, qu'il fut appliqué pour la première fois à Memphis (Etats-Unis); son auteur en avait posé les principes comme suit (d'après M. Lavonine):

« 1° Emploi pour la construction des égouts de conduites de faible diamètre uniquement affectées à l'évacuation des eaux-vannes, à l'exclusion des eaux de pluie;

« 2° Ventilation obtenue dans les conduites et les branchements en communication avec les maisons particulières par un certain nombre de prises d'air et de cheminées d'appel s'élevant au-dessus des toits.

« 3° Communication directe de chaque branchement particulier avec la conduite, sans interposition d'aucun diaphragme ni aucune fermeture hydraulique;

« 4° Lavage journalier des conduites au moyen de chasses pour lesquelles on utilise l'eau accumulée dans des réservoirs placés à leur origine d'amont. »

A Memphis, les tuyaux sont en poterie vernissée de 0,15 à 0,25 de diamètre: les collecteurs en poterie ou en fonte ont de 0^m,30 à 0^m,50. Les pentes ne descendent pas au-dessous de 0,005 pour les canalisa-

tions et de 0,0017 pour les collecteurs. Pour un réseau de 68 km. on installa 180 bassins de chasse automatiques, de 500 lit. de capacité.

Dès 1880, le système avait un défenseur convaincu dans l'Ingénieur Eliot Clarke qui écrivait (1). « Les égouts séparateurs à sewage coûtent de 20 à 26 000 francs par kilomètre, soit 69 0/0 moins cher que les égouts recueillant en plus les eaux pluviales et souterraines : cela n'excède pas les ressources dont disposent les communes qui reculent devant la construction d'égouts à grande section. Au cas où les deux canalisations seraient établies au complet, le coût total représenterait une dépense de 2/3 plus forte que pour une seule ; mais il est rare que la canalisation pour les eaux pluviales et souterraines, soit aussi développée que celle pour le sewage, car elle peut être tracée presque toujours suivant les directions les plus courtes vers le cours d'eau.

« D'ailleurs, si les eaux pluviales au début de la chute sont chargées des détritiques des chaussées, elles ne sont pas aussi nuisibles dans les cours d'eau que celles des égouts, et de toute manière, elles sont accidentelles.

« Quoiqu'il en soit, l'obligation de *traiter* le sewage, impose comme mesure hygiénique de le recueillir à part. »

On nous pardonnera ces citations déjà anciennes en raison de leur intérêt et de l'importance des principes mêmes qu'elles posent. Le système s'est répandu très vite aux Etats-Unis (où en 1884, on citait déjà une dizaine de villes l'ayant appliqué) et en Angleterre. On sait qu'en Amérique les dotations des villes en eau sont beaucoup plus élevées qu'en Europe : le volume des eaux usées est donc déjà assez important par lui-même, et on est dès lors tout naturellement porté à ne pas y joindre encore les eaux pluviales (dont on n'a nullement besoin pour laver les égouts). Toutefois, pour les petites villes où le réseau pluvial est nul ou à peu près, on s'est demandé s'il ne convenait pas d'admettre dans la canalisation une certaine fraction des pluies, et on a admis en fait des proportions variables allant jusqu'à 40 ou 50 0/0 de la chute d'eau qui tombe en 24 heures (par exemple 0^m,05) : pour les grandes villes, la chose cesse très vite d'être possible et on ne pourrait plus recevoir que les pluies ordinaires, en les faisant entrer non dans les tuyaux élémentaires, mais seulement dans les collecteurs (comme dans le projet de Reims).

(1) Eliot Clark : *The separate system of sewage*, 1880.

On sait qu'un essai du système Waring, a été fait à Paris dans le quartier du Marais, en 1883 (1) ; mais bien qu'il ait donné des résultats satisfaisants, on s'en est tenu là, ne lui trouvant pas de supériorité sur le système unitaire.

Les tuyaux Waring en grès vernissé de 0^m,152 de diamètre desservent les écoles de la rue des Quatre-Fils, celles de la rue des Hospitalières-Saint-Gervais, et les latrines publiques du marché des Blancs-Manteaux : la conduite est posée dans l'égout de la rue Vieille-du-Temple et va déboucher dans le collecteur Rivoli par l'intermédiaire d'un siphon (pour éviter que l'air de l'égout rentre dans la conduite).

L'égout étant déjà encombré par d'autres conduites, on a dû loger le tuyau de 0,152 généralement dans l'intérieur des maçonneries, sauf dans quelques parties où on a pu l'accrocher aux piédroits sur des consoles, comme le colonel Waring eût voulu le faire partout (fig. 96 a et b). La pente est partout supérieure ou égale à 0,003.

La circulation de l'air dans la conduite Waring étant indispensable, l'air y est appelé d'une part par des cheminées de ventilation qui s'élèvent dans les maisons desservies au-dessus des combles, d'autre part par des prises d'air ménagées de distance en distance dans la rue (il paraît que ces dernières sentent quelquefois mauvais). Aux points où l'égout de la rue Vieille-du-Temple, reçoit des égout latéraux, il a fallu faire siphonner la conduite pour ne pas obstruer le passage dans ces égouts : l'aération a été maintenue comme le montre la fig. 97, au moyen d'un siphon renversé et d'une prise d'air dans le trottoir.

Les chasses sont assurées par cinq réservoirs de chasse du système Field-Waring (fig. 98) : un de 700 lit. est à l'extrémité amont de la conduite principale dans la rue des Quatre-Fils ; un de 425 lit. est à l'origine de la branche de la rue des Rosiers ; un autre de pareille capacité est voisin du siphon au débouché dans le collecteur Rivoli, afin d'en

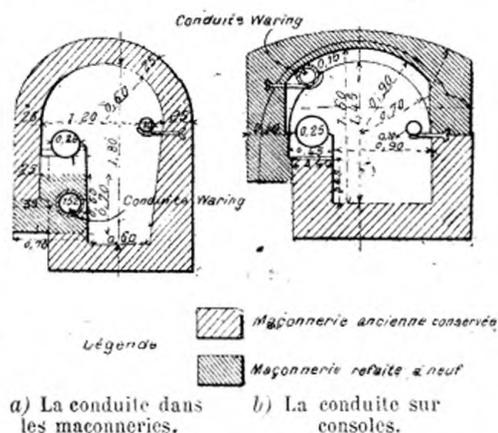


Fig. 96. — La conduite Waring dans l'égout de la rue Vieille-du-Temple à Paris.

(1) Voir pour les détails la notice de M. E. Pontzen : *Première application à Paris de l'assainissement suivant le système Waring*, notice à qui nous empruntons les figures ci-après.

le colonel Waring place sous les cuvettes, un siphon obturateur en fonte de forme spéciale (fig. 99), qui tout en faisant fermeture hydraulique, arrête grâce à une courbure et un étranglement bien étudiés.

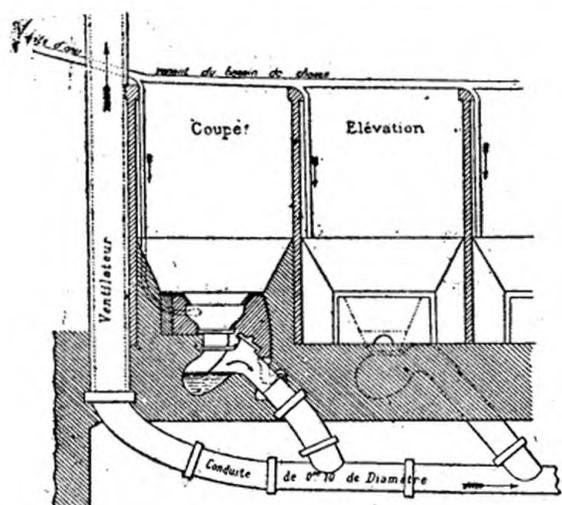


Fig. 99. — Dispositions adoptées pour les cabinets des écoles desservies par le syst. Waring.

2° *Système Liernur*. — Le système Liernur est le plus ancien des systèmes séparatifs, puisqu'il date de 1867 (essais à Prague en 1869), et c'est aussi celui qui a fait couler le plus d'encre pour ou contre

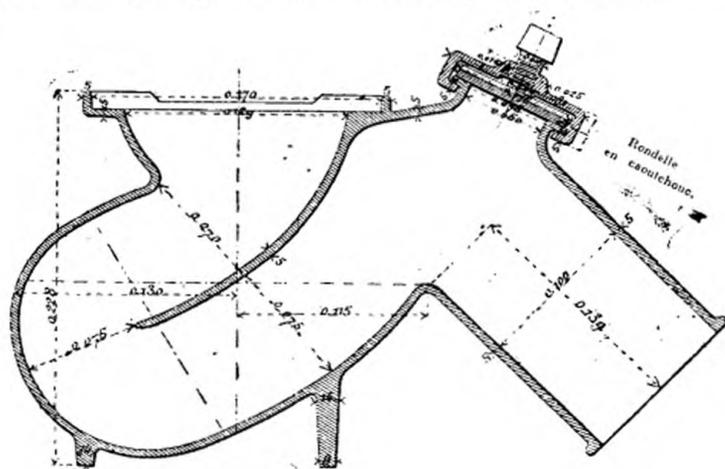


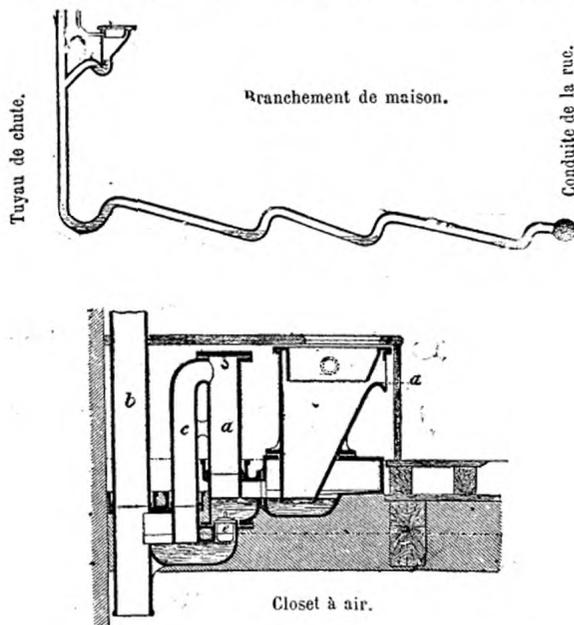
Fig. 99. — Détail du siphon-obturateur des cabinets, système Waring.

lui (!). (Toutefois dès 1862, Aristide Dumont avait proposé pour Paris le système aspirateur, avec une usine d'aspiration à Clichy ; les fosses

(!) On trouvera toute la littérature qui le concerne dans l'ouvrage de Büsing « Die Städtereinigung » faisant partie du *Handbuch der Hygiene* de Weyl.

étaient supprimées, et les clapets des tuyaux de chute devaient être munis du purgeur Tredgold). Il a été appliqué en Hollande à Leyde, Dordrecht et principalement Amsterdam, et tout récemment en France à Trouville (En Allemagne, il n'a eu que des applications très partielles, dans des casernes à Prague, Olmutz, Brünn, dans un hôpital à Hanau, etc.) Il figurait à l'Exposition.

Le système consiste essentiellement dans l'aspiration des matières par une usine centrale, mais grâce à l'intermédiaire de réservoirs de dis-



Légende du closet à air : (a) Devant du haut de l'entonnoir. — (b) Tuyau de chute. — (c) Tuyau de communication. — (d) Tuyau de débordement. — (e) Poids obturateur.

Fig. 100. — Branchement et closet à air du système Liernur, à Amsterdam.

trict dans lesquels se fait le vide : ce vide fait appel une ou plusieurs fois par jour aux matières provenant du groupe de maisons desservies par le réservoir. Il faut donc une conduite spéciale pour faire le vide dans les réservoirs de district, et une conduite collectrice, naturellement en fonte, pour emmener à l'usine leur contenu. L'usine réceptrice doit être éloignée de la ville et une usine de traitement y est adjointe.

A Amsterdam, l'installation du système Liernur dans les quartiers pé-

riphériques (on sait que la vieille ville ne peut guère que jeter tout dans les canaux, heureusement lavés par des chasses d'eau du Zuiderzée) remonte à une trentaine d'années et donne une satisfaction suffisante. Primitivement, l'inventeur avait imaginé des appareils ingénieux, mais compliqués pour éviter autant que possible toute introduction d'eau dans les conduites ; les branchements avaient la forme compliquée de la fig. 100, et les closets dits *closets à air* réalisaient en réalité l'*obturation fécale*, évidemment peu attrayante. Les eaux ménagères devaient et doivent encore être exclues de la canalisation et par conséquent suivre les rues pour gagner les canaux découverts les plus voisins. Ce sont là de sérieux inconvénients : aussi depuis quelque temps admet-on à Amsterdam les water-closets, et à Trouville, Liernur reçoit-il les eaux ménagères dans les conduites. A Amsterdam, le Service municipal a également simplifié le système primitif dans les maisons : le récipient d'aspiration, sa grille et le *compensateur*, qui compliquent à Trouville chaque raccordement n'existent pas, et il n'y a qu'un compensateur par groupe de tuyaux de chute. Disons encore que l'eau reste si bien exclue des cabinets que le volume de vidange récolté par jour et par tête ne s'élève qu'à 3 lit. 1/2, soit une addition de 2 lit. 1/4 seulement au volume journalier moyen des matières excrémentielles.

Au 31 décembre 1896 (1), sur 32 000 maisons environ, Amsterdam en avait 5 038 (correspondant à 83 225 habitants) raccordées à la canalisation pneumatique Liernur, tandis que 3287 attendaient l'extension toujours retardée du réseau : ce retard paraît provenir d'un désaccord entre les autorités municipales qui voudraient résoudre en même temps la question des eaux ménagères. Le fonctionnement des conduites Liernur est cependant régulier, et les obstructions ne se produisent guère que dans les maisons et les branchements par suite de la projection inconsidérée de corps étrangers : ainsi en 1896, pas d'obstruction dans le tuyau central, trois seulement dans le tuyau central de transport, 85 dans les tuyaux de rue, 261 dans les branchements et 480 dans les maisons même. Le prix de revient est peu élevé : d'après M. Sanches, directeur du service, les frais de premier établissement ne seraient que de 22 francs par tête et la dépense d'exploitation de 1 franc par habitant et par an. Mais une difficulté sérieuse s'est produite au sujet de l'emploi des matières arrivées à l'usine : on avait espéré les vendre

(1) Note de voyage de MM. Lenthéric et Salles, Ingénieurs, et Maroger, maire de Nîmes (8 janvier 1898). Voir également Badois et Biéber : *L'Assainissement comparé de Paris et des grandes villes d'Europe* (1898, chez Béranger).

comme *engrais flamand*, mais on ne trouva pas de preneurs (elles étaient trop diluées au dire des agriculteurs), et la nature marécageuse des terrains empêchait du reste de songer à l'épandage. En 1892, la municipalité se résolut, de compte à demi avec un fabricant d'acide sulfurique, à extraire le sulfate d'ammoniaque, et l'opération a bien réussi à tous points de vue. En voici la description sommaire empruntée à l'ouvrage de MM. Badois et Bieber :

Le principe consiste à séparer l'ammoniaque par l'addition d'une faible quantité de chaux, celle-ci produisant aussi la clarification du liquide, puis à vaporiser et à combiner alors l'ammoniaque avec l'acide sulfurique dilué pour former du sulfate d'ammoniaque.

La première opération à laquelle les eaux sont soumises dès leur arrivée à l'usine est une décantation préalable dans une série de bassins *ad hoc*. La masse boueuse, de couleur foncée, qui se dépose, se vend directement aux cultivateurs, à la condition que ceux-ci viennent la chercher dans leurs bateaux ; ce qui n'est pas ainsi écoulé entre dans la composition des composts formés avec les boues et fumiers tirés des ordures ménagères, et, dans cet état, constitue un engrais très apprécié.

Le liquide trouble sortant des bassins de décantation est ensuite intimement mélangé avec 10/0 de chaux à l'état de lait de chaux. Cette addition provoque la clarification complète du liquide, et la formation d'une boue de couleur beaucoup plus claire que la première, retenant presque tout l'acide phosphorique et une partie de l'azote organique qui étaient contenus dans l'eau primitive. Cependant, les cultivateurs, paraît-il, ne connaissent pas la valeur de cette boue, la couleur ne leur inspire pas confiance, mais, après qu'elle a été jetée au canal, dans un bassin spécial et y a séjourné quelque temps sous l'eau, ils en font plus de cas, la teinte étant devenue plus foncée, et ils la payent volontiers aux dragueurs qui la retirent du fond de l'eau.

Le liquide clarifié est envoyé dans un appareil de distillation chauffé par un courant de vapeur. L'ammoniaque se volatilise et se rend dans l'acide sulfurique dilué, où elle forme du sulfate d'ammoniaque. Ce sel se dépose lorsque la liqueur est saturée ; il est cristallin et blanc. Il ne reste plus qu'à le faire égoutter avant de le transporter au magasin.

Quant au liquide résiduaire, il est déversé au canal, emportant avec lui toute la potasse qui était renfermée dans l'eau de vidange et dont on renonce à tirer parti.

En somme, par le procédé employé à Amsterdam, on ne recueille des principes fertilisants contenus dans les vidanges qu'une partie de l'azote, soit un peu plus de 50/0. On avait pensé pouvoir en retirer une proportion plus forte en faisant passer les boues qui se déposent pendant la clarification dans un filtre-pressé pour en faire des tourteaux. On recueillait alors ainsi une plus grande partie de l'azote organique, mais on n'a pas poursuivi ces essais parce qu'on n'a pas trouvé facilement des acheteurs pour ce produit et que le seul bénéfice assuré de l'opération était de pouvoir reprendre et utiliser les eaux ammoniacales contenues dans ces dépôts et qui s'écoulaient des filtres.

Le projet d'assainissement de Trouville a été exécuté en 1897 et fonctionne régulièrement depuis lors : il avait été approuvé par le Comité Consultatif d'Hygiène publique dans ses séances des 12 décembre 1892 et 4 décembre 1893, à la suite du rapport de MM. Brouardel et Thoinot

(Voir ces rapports dans les comptes rendus des travaux du Comité)⁽¹⁾. Les fig. 101, 102 et 103, avec les légendes qui accompagnent chacune d'elles suffisent à faire connaître les dispositions du projet.

La dépense a été d'un million en chiffre rond, alors qu'un projet du Tout à l'Égout unitaire s'élevait à 2 684 000 francs. Pour se raccorder, chaque maison a dû exécuter les travaux suivants :

Raccordement du tuyau de chute au récipient d'aspiration, coût :	20 fr.
Récipient d'aspiration avec grille.	— 70
Ventouse de ce récipient	— 16
Compensateur	— 20
Robinet sous le trottoir et accessoires de pose	— 80
Total.	206 fr.

plus certains travaux variables tels que tuyau de prise d'air, tuyau de raccordement qui amènent la dépense au voisinage de 400 francs. (A Amsterdam où on a simplifié, elle n'est que de 240 francs).

Au dire de la Municipalité et de M. Thoinot, le fonctionnement est très satisfaisant, et le plus grand nombre des maisons de Trouville ne tarderont pas être reliées à la canalisation. Le prix annuel de l'abonnement est de 6 fr. 07 par mètre carré de surface occupée par l'appartement, caves et greniers comptés.

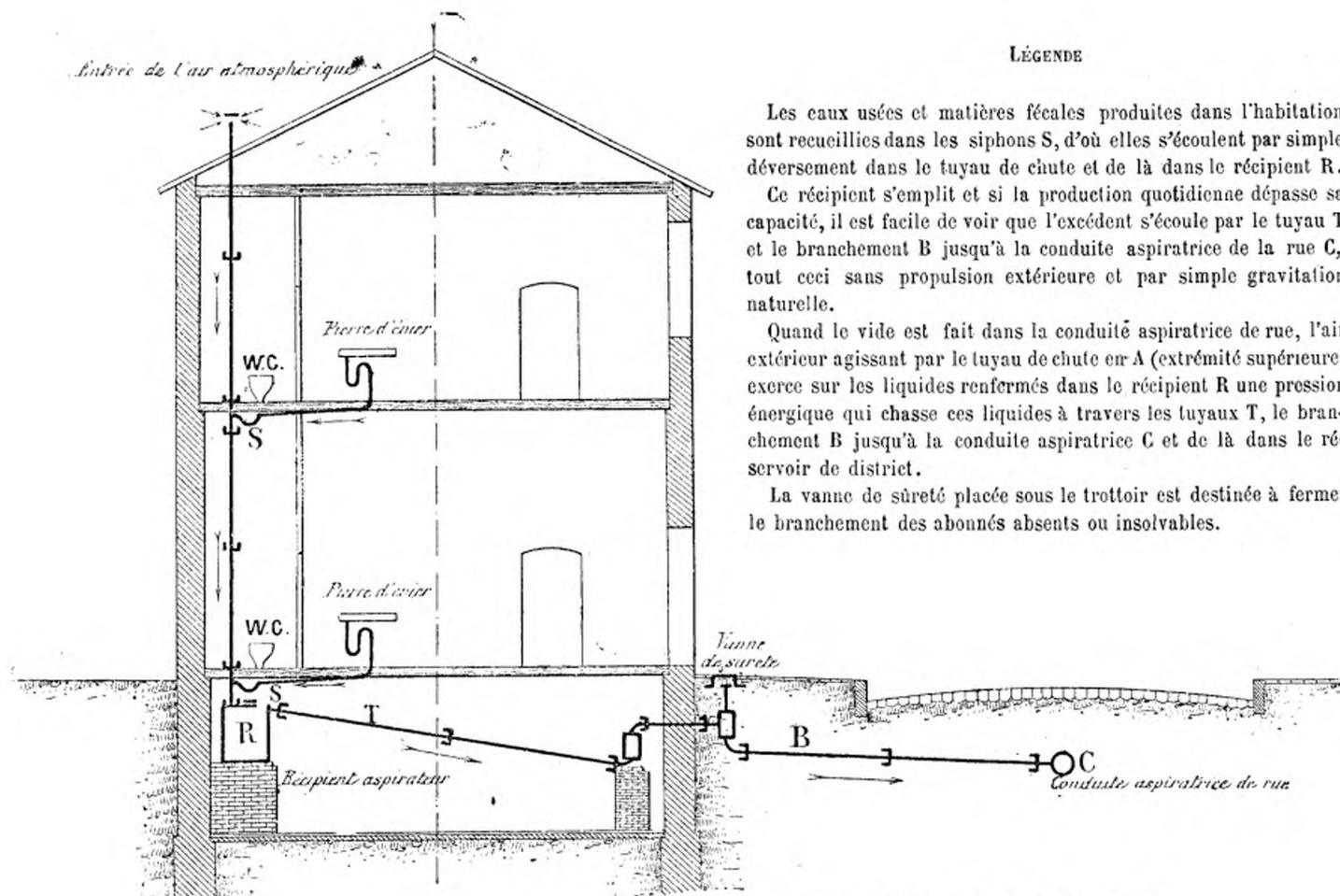
Quant au traitement des matières, il se fait dans de très bonnes conditions hygiéniques à l'usine de Touques située à 2 km. de la ville. Les matières aspirées par l'usine y sont véritablement stérilisées par ébullition avant d'être converties en poudrette. Après avoir été acidifiées d'acide sulfurique (à raison de 17 grammes par tête et par jour), elles sont conduites dans un *chauffeur* spécial, où elles sont portées à 101 ou 102° ; du chauffeur, elles vont à un évaporateur spécial pour y être concentrées, puis aux pulvérisateurs. Là elles sont appliquées en couche très mince sur des cylindres chauffés à haute température ; le séchage s'opère rapidement et l'engrais peut être livré à l'agriculture.

L'hygiène ne peut évidemment qu'approuver pleinement cette association de la stérilisation des matières avec le système aspirateur.

3° *Système Berlier et système de Levallois-Perret.*

Le système Berlier, né en 1881, est aussi un système aspirateur ; mais l'aspiration se fait directement au point de départ des matières, lesquelles sont attirées dans un réservoir situé hors ville et où les machines font le vide. Le système reçoit sans difficulté l'eau des water-closets et les eaux

(1) Voir également l'article de M. Thoinot dans les *Annales d'Hygiène*, janvier 1899.



Les eaux usées et matières fécales produites dans l'habitation sont recueillies dans les siphons S, d'où elles s'écoulent par simple déversement dans le tuyau de chute et de là dans le récepteur R.

Ce récepteur s'emplit et si la production quotidienne dépasse sa capacité, il est facile de voir que l'excédent s'écoule par le tuyau T et le branchement B jusqu'à la conduite aspiratrice de la rue C, tout ceci sans propulsion extérieure et par simple gravitation naturelle.

Quand le vide est fait dans la conduite aspiratrice de rue, l'air extérieur agissant par le tuyau de chute en A (extrémité supérieure) exerce sur les liquides renfermés dans le récepteur R une pression énergique qui chasse ces liquides à travers les tuyaux T, le branchement B jusqu'à la conduite aspiratrice C et de là dans le réservoir de district.

La vanne de sûreté placée sous le trottoir est destinée à fermer le branchement des abonnés absents ou insolvables.

Fig. 401. — Système Liernur à Trouville. — Schéma de l'installation et du raccordement d'une maison.

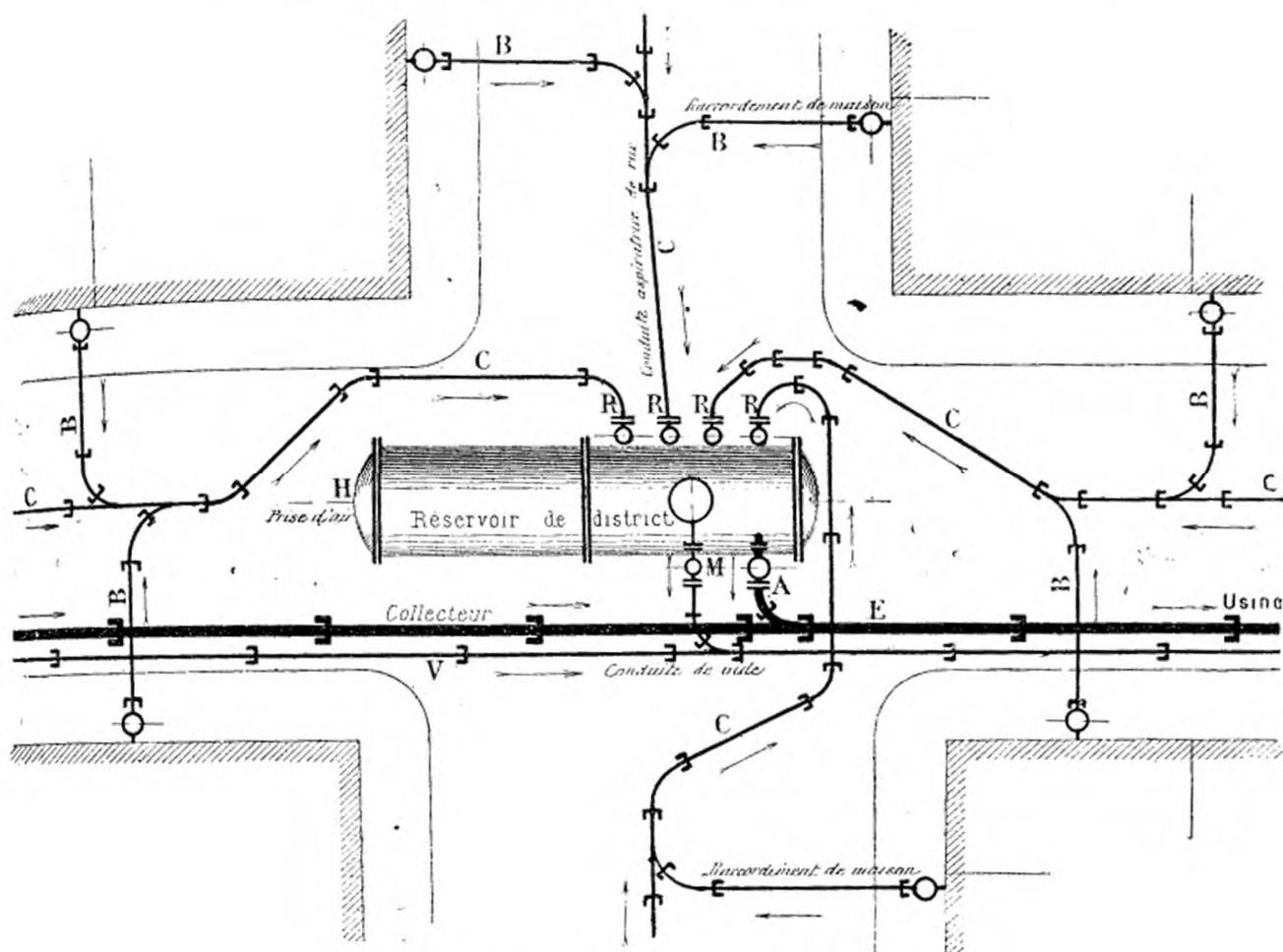


Fig. 402. — Système Liernur à Trouville
Plan d'un réservoir de district et des conduites qui y aboutissent.

LÉGENDE

La figure ci-dessus représente un réservoir de district (cylindre en fonte) et le groupe de conduites qui y aboutit; ce sont : les conduites de rue C qui se terminent par les robinets R; le collecteur général E, aboutissant à l'usine et relié au réservoir de district par le robinet A; 3^e la conduite de vide V, aboutissant à l'usine et reliée au réservoir de district par le robinet M.

On exécute la vidange d'un district et l'envoi de ses matières et eaux usées à l'usine, de la manière suivante (les canalisations E et V étant reliées à l'usine à des réservoirs sous dépression):

Toute la journée, les robinets R restent ouverts, de sorte que le réservoir se trouve en partie occupé par les évacuations du district. L'employé unique qui fait la tournée avec une clef de manœuvre opère comme il suit :

I. — Il ferme les robinets R et ouvre le robinet M, ainsi le vide s'établit dans le réservoir de district.

II. — Il ferme le robinet M et ouvre les robinets R, ainsi toutes les matières accumulées dans les conduites des rues et des maisons sont précipitées dans le réservoir de district.

III. — Il ferme les robinets R et ouvre le robinet A et une prise d'air H, ainsi les matières sont expédiées à l'usine par le collecteur E.

IV. — Il ferme le robinet A, ouvre les robinets R et l'opération est terminée. Le tout dure 10 à 12 minutes pour tout un quartier.

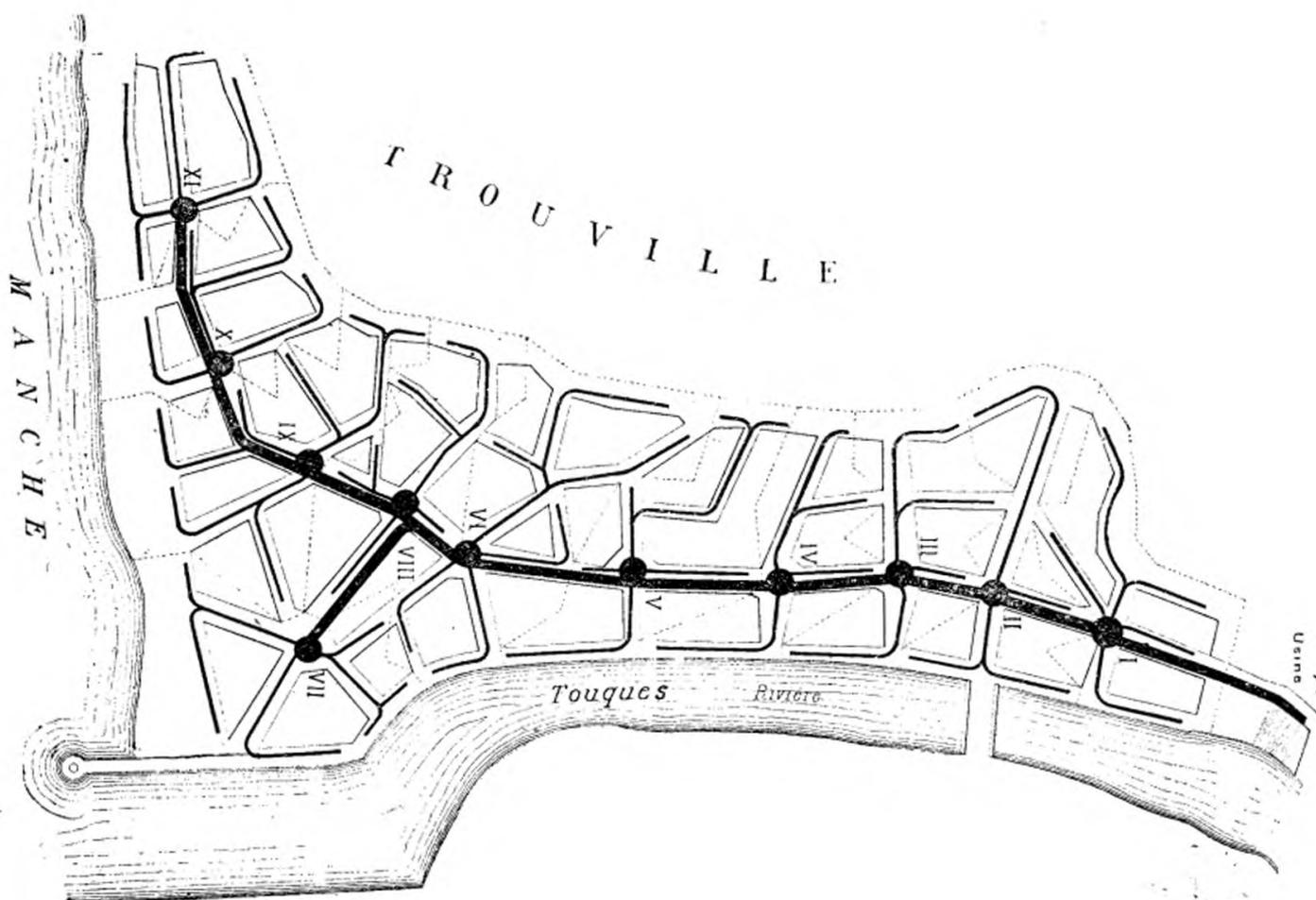


Fig. 103. — Système Liernur à Trouville. — Schéma du réseau.

LÉGENDE

La ville de Trouville est partagée en 11 districts. Au centre de chacun d'eux et au point le plus bas se trouve placé un réservoir de district auquel aboutissent d'une part les conduites des rues, d'autre part, le collecteur. Ce collecteur est un tuyau de fonte qui va à l'usine d'aspiration et par lequel sont expédiées les matières recueillies dans les réservoirs de districts.

La conduite figurée par un trait large sur la figure ci-contre représente le collecteur qui desservant tous les réservoirs de district, aboutit à l'usine.

Les traits pointillés indiquent les délimitations des zones ou des districts desservis par chaque réservoir.

L'employé chargé d'exécuter chaque jour la vidange de toute la ville part de l'usine, il s'arrête à chaque réservoir de district 10 à 12 minutes pour faire la manœuvre des robinets décrits ci-contre.

En tenant compte du temps nécessaire pour aller d'un réservoir de district à l'autre, cet agent mettra en tout 3 heures pour l'enlèvement complet de toutes les déjections de la ville accumulées en 24 heures dans les tuyaux de la canalisation.

usées de toute sortes. Il comportait dans chaque maison, au bas du tuyau de chute, un appareil *récepteur* et un appareil *évacuateur* assez compliqués (fig. 104), sur la description desquels nous n'insisterons pas. Berlier avait proposé en outre d'établir de distance en distance pour régulariser l'écoulement des *réservoirs d'équilibre*, au sommet desquels s'abouche une petite canalisation aspirant les gaz (ces réservoirs d'équilibre sont ainsi bien voisins des réservoirs de district de Liernur). Les

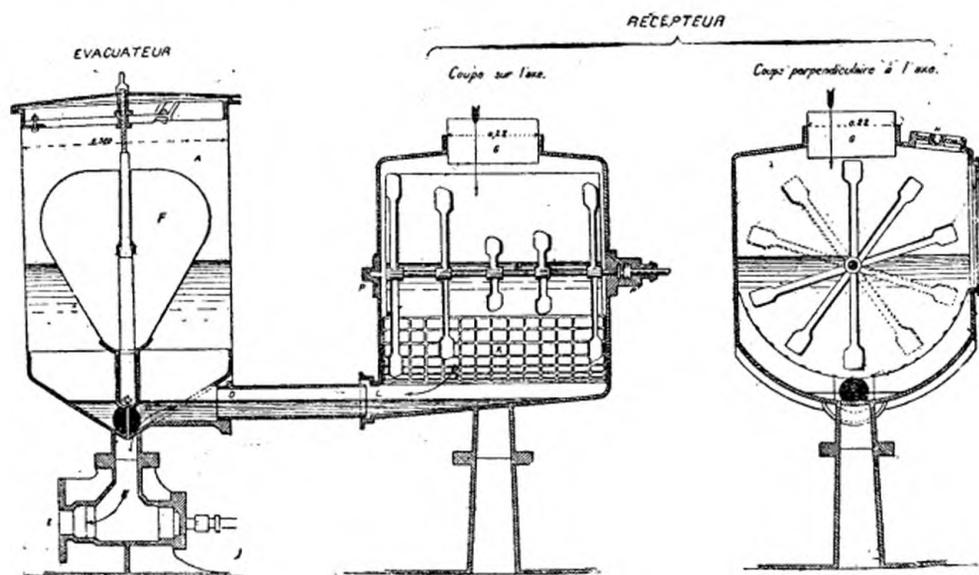


Fig. 104. — Système Berlier. — Appareil de maison.

Légende : (A) Appareil évacuateur. — (C) Clapet en caoutchouc. — (D) Communication avec l'appareil récepteur. — (E) Communication avec la canalisation. — (F) Flotteur métallique. — (H) Regard permettant l'inspection dans l'intérieur du récepteur. — (J) Malaxeur à branches chantournées. — (PP) Garnitures étanches. — (K) Grille demi-circulaire. — (L) Communication avec l'évacuateur. — (M) Axe de la manivelle. — (G) Chutes.

canalisations sont en fonte et sont munies de robinets de décharge, de valves et de clapets de sûreté spéciaux. L'usine se place au point bas de la région à desservir ; mais les matières ne font qu'y passer, car elle les refoule en même temps vers leur lieu de destination finale.

Le système Berlier a été expérimenté à Paris dans les VIII^e et IX^e arrondissements (il y avait 277 chutes en 1887) et notamment à la caserne de la Pépinière ; mais il ne fut pas maintenu. Il rencontra un adversaire résolu dans l'apôtre du tout à l'égout en France, Durand-Claye, qui lui reprochait notamment la complication des appareils de maison (Rapport au congrès de Vienne 1887), la conservation des matières dans

le récepteur tant qu'il n'est pas plein, la difficulté d'avoir des obturations hydrauliques, d'aérer les tuyaux de chute, etc., etc. Les critiques de Durand-Claye paraissent exagérées, et le système amélioré et simplifié, peut certainement donner d'excellents résultats : c'est ce qu'il fait à Levallois-Perret entre les mains de la Compagnie de Salubrité qui l'a transformé.

L'appareil de maison de Levallois-Perret est déjà plus simple, moins volumineux et moins coûteux que celui de Berlier. C'est une caisse

Coupe sur l'axe.

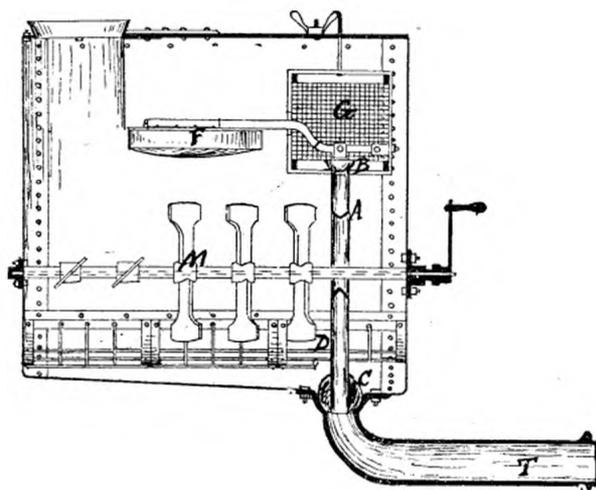


Fig. 105. — Système de Levallois-Perret. — Appareil de maison.

(Il est aujourd'hui simplifié par la suppression du malaxeur et de l'orifice supérieur du tube).

oblongue de 0^m,80 sur 0^m,40 en plan et 0^m,80 de hauteur, en tôle galvanisée, dans laquelle débouchent les tuyaux de chute de la maison (fig. 105). L'évacuation est double : elle se fait à mi-hauteur par un tube A qu'obture un clapet de caoutchouc B relié à un flotteur F, et dont l'ouverture est entourée d'un grillage en fil de laiton G ; le tube est lui-même mobile et porte à sa base un boulet en caoutchouc C obturant la tubulure d'évacuation T à la base de la caisse. Une grille demi-circulaire DD garnit le fond de cette caisse, et un malaxeur M horizontal se meut au-dessus d'elle pour le râcler : il est actionné de l'extérieur, la caisse étant et restant hermétiquement fermée. Cet appareil coûte 120 fr. Actuellement la Compagnie de Salubrité nous fait savoir qu'elle simplifie

encore davantage l'appareil d'immeuble : il est fait désormais en ciment armé et sans mécanisme intérieur ; la grille et le flotteur subsistent, mais le tube intérieur est remplacé par une tringle et il n'y a plus qu'un orifice inférieur.

C'est depuis le 1^{er} novembre 1892 que le système de la Compagnie de Salubrité fonctionne à Levallois-Perret, sans aucune difficulté ni inconvénient : actuellement 800 immeubles sont desservis et il y a 34 km. de canalisation. Le cube journalier correspond à environ 28 lit. par tête, les eaux usées étant mêlées aux eaux-vannes. Les branchements sont généralement de 0^m,100 de diamètre tandis que les conduites de rues ont de 0^m,125 à 0^m,325 : elles sont soit posées en terre, soit placées dans les collecteurs parisiens qui traversent la localité. On sait que l'usine de Levallois-Perret, placée dans la ville même, rejette tout simplement le produit de l'aspiration dans le collecteur d'Asnières (voir plus haut les égouts de Paris) : il est clair que dans d'autres villes, il faudrait songer à faire aussi l'épuration. Quant au degré de vide produit, il varie suivant les points de la conduite : dans les cuves réceptrices de l'usine, il atteint 50 à 55 cm. de mercure, mais vers l'extrémité opposée du réseau il n'est plus que de 20 à 25 cm ; la vitesse théorique correspondante varie de 7^m,30 à 12 m. Ajoutons encore que lors de l'ouverture des clapets, il se produit des petites rentrées d'air, qui produisent dans les conduites un courant gazeux continu vers l'usine.

On trouvera du reste la description détaillée de l'usine et des installations de Levallois-Perret dans le compte rendu des travaux du 1^{er} Congrès d'assainissement et de salubrité — Paris 1895.

Les essais faits dans ces dernières années pour remplacer les pompes à faire le vide par des *éjecteurs* à vapeur ont bien réussi, et ce sont ces appareils très économiques que la Compagnie de Salubrité se propose d'employer à l'avenir (tout en les doublant par une batterie de pompes).

Une application très intéressante du système de la Compagnie de Salubrité a été faite à l'Exposition même pour l'assainissement des quais de la rive gauche de la Seine, sur les deux kilomètres de longueur compris entre le pont Alexandre III et le pont d'Iéna. Nous empruntons la description suivante au *Monde Industriel* (Décembre 1900).

« Sur les bas-ports de ces quais étaient installés tous les restaurants des pavillons étrangers et de nombreux W.-C. et urinoirs.

« L'enlèvement des eaux souillées et matières de toute sorte provenant de ces établissements ne pouvait se faire directement par l'égout qui se trouve en contre-haut, et d'ailleurs de l'autre côté de la tranchée du chemin de fer des Moulineaux.

« Leur déversement dans la Seine, sous les yeux des visiteurs, était encore plus impossible.

« La Compagnie de Salubrité de Levallois-Perret fut chargée d'établir sous le pont de l'Alma une usine d'aspiration pneumatique faisant le vide dans une canalisation horizontale en fonte posée tout le long du quai et dans laquelle se déversaient les eaux des cuisines et restaurants et les matières des W.-C. et urinoirs. L'originalité de cette installation consistait en ceci, que la force motrice mise à la disposition de la Compagnie pour actionner l'usine était l'air comprimé fourni par la canalisation Popp qui passe sur le pont de l'Alma. Au lieu de mettre en mouvement une pompe à vide, à l'aide de cet air, la Compagnie trouva plus simple de le faire agir dans un éjecteur où il provoquait un appel d'air qui faisait le vide dans la cuve et par suite dans la canalisation y venant aboutir.

« Lorsque la cuve était pleine, ce dont on était averti par une sonnerie électrique à contact actionnée par un flotteur, il suffisait d'y envoyer l'air comprimé et le liquide chassé alors dans une canalisation de refoulement de 100 m de longueur traversait en siphon le chemin de fer et allait se déverser dans l'égout du quai d'Orsay.

« Cette installation a fonctionné pendant six mois, sans interruption, sans arrêt ni accroc, et a répondu de la façon la plus complète aux besoins d'une exploitation intense et poursuivie tous les soirs jusqu'à minuit pour recommencer à 6 heures du matin ».

Enfin, pour achever de bien faire connaître ce système qui paraît excellent de tous points, nous croyons intéresser quelques lecteurs en mettant sous leurs yeux le projet que la Compagnie de Salubrité vient de dresser pour l'assainissement de la ville d'Avignon et dont elle veut bien nous donner la primeur.

La Ville, qui s'étend dans la plaine de jonction du Rhône et de la Durance autour du rocher des Doms, n'a actuellement que des fosses ; mais un certain nombre de canaux découverts appelés les *sorguettes* reçoivent les eaux pluviales et de lavage, qui se mêlent à leurs eaux. Les sorguettes et les quelques tronçons d'égouts existants continueraient leur rôle et représenteraient ainsi le réseau pluvial. Le réseau d'égouts-vannes serait constitué entièrement à neuf, comme l'indique le plan, fig. 106, par des tuyaux en fonte desservant toutes les rues et ayant les diamètres et longueurs ci-après :

21 800 m de 0^m,125, 4 950 m de 0^m,150, 2 950 m de 0^m,200, 4 500 m de 0^m,250, 4 075 m de 0^m,300 et 900 m de 0^m,350, en tout 33^k,325 de canalisations.

La ville se trouve, sauf le rocher des Doms, presque partout au même niveau, mais elle présente des parties basses, véritables cavettes formant en temps de crues des centres d'inondation. La canalisation pneumatique devant, pour un bon fonctionnement, présenter une déclivité continue depuis les points les plus éloignés jusqu'à l'usine d'aspiration, on profiterait de la voie qui con-

tourne intérieurement les remparts pour établir un collecteur principal dans lequel viendraient se jeter des collecteurs auxiliaires recevant les canalisations élémentaires ramifiées dans chacun des bassins correspondant aux dépressions. Ces bassins, qu'on peut voir facilement sur le plan, sont au nombre de 14, séparés par des lignes de crêtes constitués par les points hauts, et ils s'inclinent tous dès lors vers le collecteur. Celui-ci devra être assez profondément établi (de 4 à 5 m); partant de la porte Saint-Lazare à la cote 14^m,80, il arriverait à la porte Saint-Roch à la cote 14^m,30 et à l'usine à la cote 13; comme le terrain de l'emplacement de l'usine est à 16,80, les cuves d'aspiration ne seront enterrées que de 3 à 4 m (tandis qu'à Levallois-Perret il a fallu les descendre à 7 m au-dessous du sol).

Les tuyaux doivent être munis de joints en caoutchouc d'un système spécial

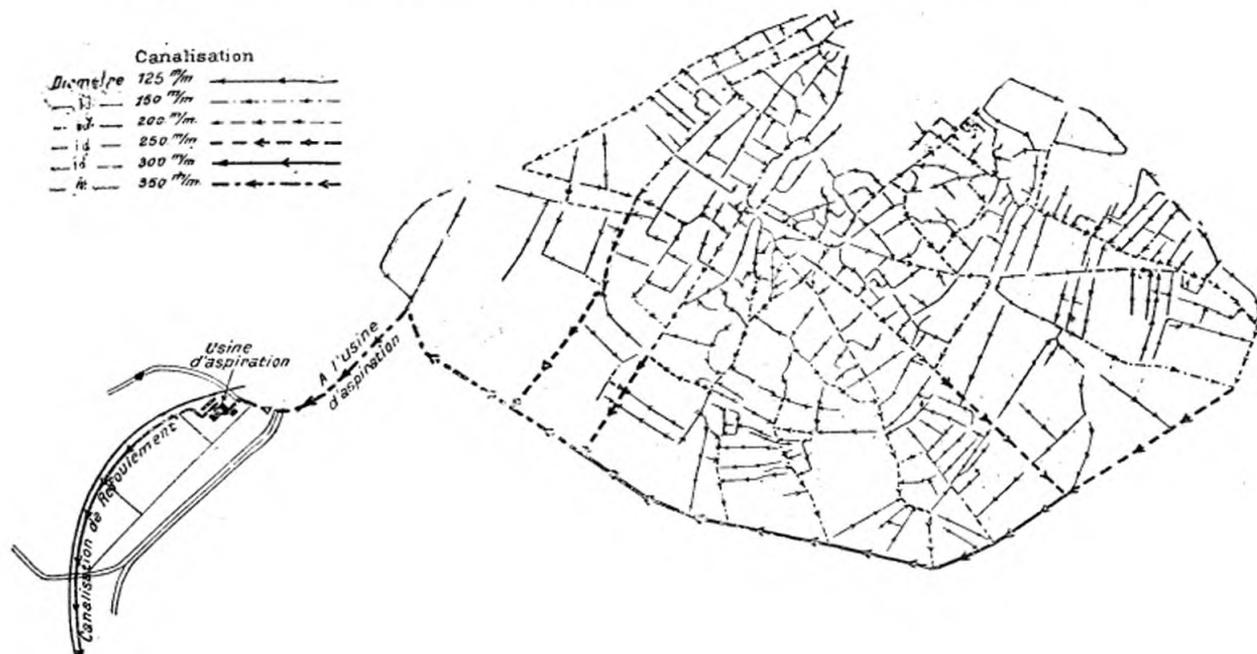


Fig. 106. — Projet d'assainissement d'Avignon par le système de Levallois-Perret. (Plan général de la canalisation).

breveté, que la Compagnie de Salubrité a étudiés en vue de résister à une pression qui s'exercerait de dehors en dedans et de faciliter tous les raccordements avec les immeubles. Ils seront en moyenne à 2^m,50 en dessous du sol des rues et des vannes au nombre de 80, permettront d'isoler à volonté les différentes parties du réseau. Les branchements particuliers seront des tuyaux de même nature, mais ayant seulement 0^m,400 de diamètre. L'appareil récepteur dans les immeubles est l'appareil aussi simplifié que possible dont nous avons déjà parlé.

L'usine d'aspiration serait située à 400 m des remparts, ce qui n'a aucun inconvénient, puisque les matières ne feront que la traverser en vases clos.

Le plan et la coupe longitudinale de la fig. 107 (a et b) font voir l'usine projetée, analogue du reste à celle de Levallois-Perret. Le bâtiment principal est divisé en trois salles: la première renferme les générateurs; la seconde le moteur, pompes et éjecteurs; la troisième les cuves d'aspiration avec leur colonne barométrique, les pompes pour le relèvement des liquides et tous accessoires. On prévoit une batterie de quatre éjecteurs et une batterie

de deux pompes aspirantes et foulantes, ces deux batteries devant servir à faire le vide dans les cuves et pouvant se suppléer l'une l'autre. L'air évacué et refoulé par les appareils à vide doit être conduit par une canalisation particulière sous les foyers des chaudières, qu'il traverserait pour être épuré et désinfecté avant d'être rejeté dans l'atmosphère par la cheminée. Les trois cuves

* Cuve de relèvement.

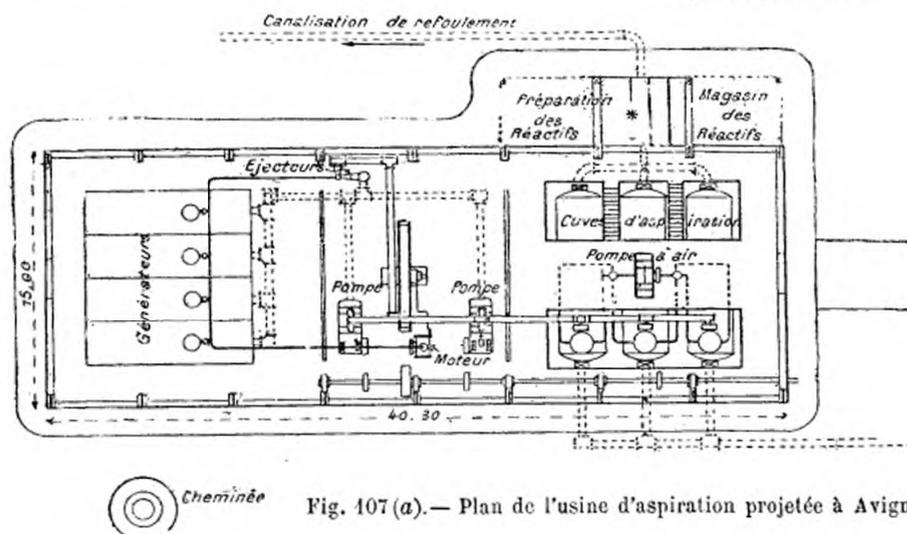


Fig. 107 (a).— Plan de l'usine d'aspiration projetée à Avignon.

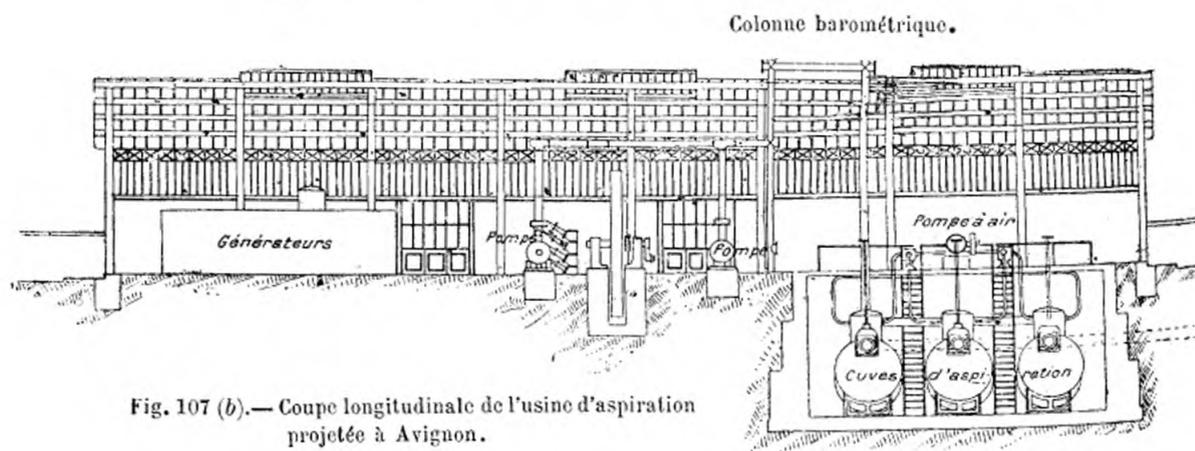


Fig. 107 (b).— Coupe longitudinale de l'usine d'aspiration projetée à Avignon.

ont 9 m de longueur sur 2^m,50 de diamètre : par le moyen de vannes, elles peuvent être alternativement mises en communication avec le réseau qui vient y aboutir par le collecteur. Quand une cuve est pleine, une pompe de compression permet d'y envoyer de l'air comprimé qui chasse les matières dans la cuve de relèvement située à 5 ou 6 m de hauteur au-dessus du sol. La colonne barométrique qui s'interpose entre les appareils à vide et les cuves d'aspiration (siphon dont la branche plongeante a plus de 40 m de hauteur) a pour but d'éviter que le liquide aspiré ne reflue jusqu'aux pompes, lorsque la cuve est pleine et que par mégarde on n'en a pas interrompu à temps la communication avec les pompes.

De la cuve de relèvement, les liquides iraient par une conduite de 0^m,250 gagner l'usine de traitement, qui est prévue à une distance de 3 km, près du pont de la Durance, au milieu des terrains à irriguer. On a projeté simplement un

grand bassin de réception suivi de bassins en terre, dans lesquels s'effectueraient le dépôt et dont le liquide clarifié gagnerait les champs arrosés : l'engrais déposé dans les bassins une fois aggloméré serait retiré, séché et empilé. La Compagnie de Salubrité avait pensé à ajouter des réactifs chimiques, d'abord dans la cuve de relèvement, puis dans le bassin de réception : mais en présence du peu de succès du traitement chimique et de l'avenir qu'a le traitement bactériologique la Compagnie nous dit que toutes ses préférences seraient pour ce dernier. Nous ne pouvons que l'approuver entièrement, les liquides sortant des lits bactériens restant chargés de principes utilisables pour la culture.

La dépense de ce beau projet est évaluée comme suit :

1 ^o Canalisation, vannes, regards, etc. etc.	587 217 fr.
2 ^o Usine d'aspiration { Terrains et bâtiments	245 025 »
{ Machinerie	211 200 »
3 ^o Usine de traitement (serait à revoir).	55 000 »
4 ^o Honoraires des ingénieurs et frais généraux (10 0/0).	109 844 »
TOTAL.	1 208 286 fr.

prix qui semble très modéré pour une ville de 47 000 âmes, où tout est à faire, et ne donne que 25 à 26 francs par tête.

4^o *Système Shone*. — C'est surtout un procédé de relèvement des eaux d'égout, appliqué à une canalisation du système séparatif. Nous ne pouvons mieux faire que d'en reproduire la description telle que la donne la Compagnie nationale de Travaux d'utilité publique et d'assainissement, concessionnaire du système pour la France (pour l'Allemagne, c'est la Société Erich Merten qui a cette concession).

« Le système Shone est applicable partout où les eaux vannes doivent être surélevées, et il peut être décrit en quelques mots comme un système de stations disposées en vue du surélévage des eaux d'égout, mises en action au moyen de l'air comprimé provenant d'une usine centrale. Ainsi toute la ville à assainir est divisée en districts, chacun ayant sa station et son point d'évacuation séparés. Toutes ces stations rejettent leurs eaux et les matières dans une conduite générale aboutissant au lieu d'évacuation finale.

Les avantages de ce système sont très nombreux ; les principaux sont les suivants :

1^o En divisant la partie à assainir en bassins, on recueille nécessairement les eaux à des points plus élevés, tout en donnant une pente suffisante aux canalisations, qu'en ayant une station unique de pompes ; il en résulte une économie de force, les eaux amenées à un seul point bas devant être remontées d'autant plus haut.

2^o Possibilité d'un nettoyage rapide, complet et automatique du réseau d'un bassin, c'est-à-dire de la surface qui comprend toutes les maisons desservies par la station d'éjecteurs, par suite de l'emploi de tuyaux de petits diamètres, et dans lesquels l'accumulation des gaz est chose impossible.

3^o Séparation absolue des canalisations de chaque bassin ou district de l'ensemble du réseau. Il en résulte que dans le cas où une épidémie quelconque éclaterait dans l'un des bassins, elle ne pourrait se propager dans les bassins non contaminés, comme cela arrive fréquemment lorsqu'il y a un réseau unique pour tout l'ensemble assaini.

4^o Inutilité de faire des tranchées profondes dans les rues et de donner aux canalisations des grandes sections ; ce qui réalise une économie notable dans les frais de premier établissement.

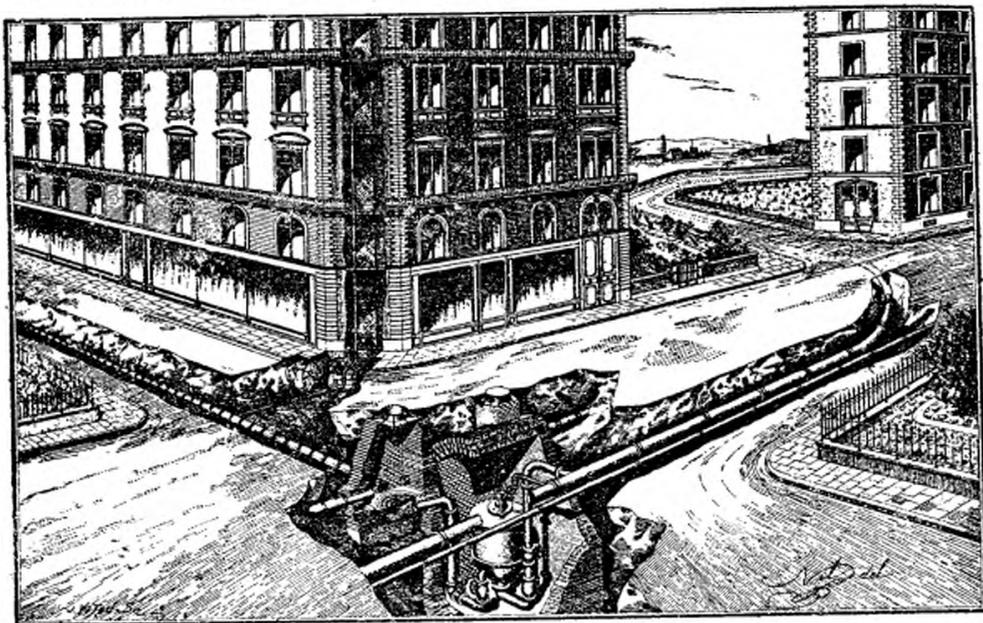
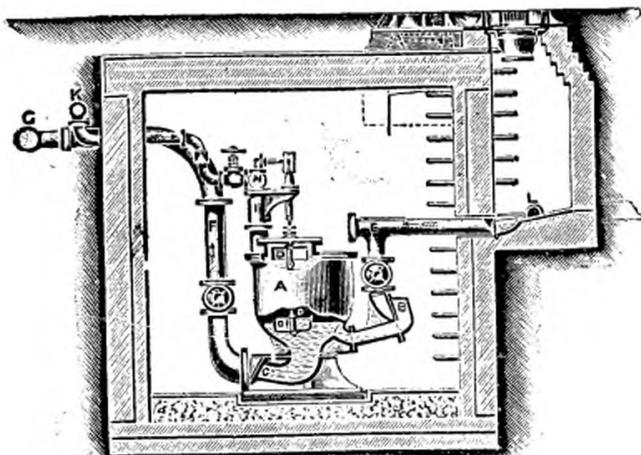
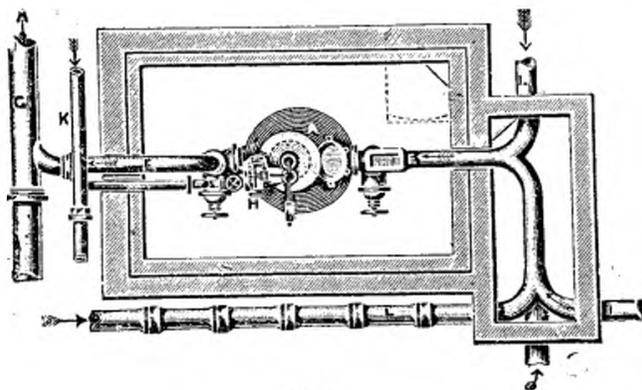


Fig. 408. — Vue du système Shono à un carrefour de rues.



Coupe verticale.



Plan.

Fig. 409. — L'éjecteur Shono dans une chambre en briques.

Légende :

- A Corps de l'éjecteur.
- B Valve d'entrée (à clapet).
- C — de sortie (—).
- D Cloche actionnant la valve automatique.
- D¹ Godet —
- D² Tringle —
- H Valve automatique.
- G Départ du sewage.
- I Entrée de l'air comprimé.
- K Tuyau d'amenée de l'air comprimé
- L Tuyau d'arrivée du sewage.

5° Possibilité de donner rapidement au système d'assainissement une extension qui soit en rapport avec l'augmentation de la population et de la surface à assainir, ce qui permet de restreindre les dépenses aux seules nécessités immédiates et de ne pas imposer aux contribuables des charges basées sur l'augmentation future de la population, augmentation qui est quelquefois problématique.

Le grand inconvénient de l'emploi de plusieurs stations ayant chacune des pompes ordinaires, en dehors des questions hygiéniques, réside dans l'élévation des dépenses journalières occasionnées par l'emploi à chaque usine d'équipes complètes d'employés, mécaniciens et chauffeurs.

C'est pour obvier à cet inconvénient que M. Shone a imaginé son système d'éjecteur que l'on peut établir dans le sous-sol des rues et qui fonctionne à l'aide de l'air comprimé. Ces appareils placés en différents points d'une ville, peuvent être mis en mouvement par une usine unique⁽¹⁾ produisant l'air comprimé, qui est envoyé à chaque éjecteur par une canalisation spéciale de petite dimension. L'éjecteur est tout simplement un récipient en fontes ou en tôles de fer placé dans une cave construite sous le sol des rues (la fig. 109 le représente dans une chambre souterraine en briques) et dans lequel les eaux vannes viennent s'écouler directement. Lorsque l'appareil est rempli, l'air comprimé s'introduit automatiquement et agit sur la surface totale des eaux vannes ; celles-ci sont alors précipitées en quelques secondes dans le tuyau de sortie en y formant une véritable chasse ; l'opération se répète aussi souvent que l'éjecteur est rempli. C'est l'invention de cet appareil qui a rendu pratiquement possible l'application à l'assainissement des villes *du système sectionnel*, c'est-à-dire par bassins ou districts séparés, ayant chacun une station de machines élévatoires mises en action par l'air comprimé produit dans une usine unique.

La fig. 110 donne la coupe verticale d'un éjecteur pneumatique Shone, de construction courante, pouvant élever l'eau propre, les eaux vannes, boueuses, chimiques et les liquides de toute nature, même les liquides chauds. Les éjecteurs sont construits dans toutes les dimensions ou tailles adaptées au but pour lequel on veut les établir. Pour les eaux vannes, boueuses ou contenant des matières solides, on doit donner la préférence aux éjecteurs dont la partie basse a la forme hémisphérique.

La force motrice employée est l'air comprimé ; l'appareil fonctionne de la manière suivante :

Les eaux vannes, arrivant des canalisations par le tuyau d'entrée A, s'élèvent progressivement jusqu'à la partie supérieure en refoulant l'air provenant des opérations précédentes. L'air contenu dans la cloche D se comprime de plus en plus au fur et à mesure de l'élévation de l'eau dans l'éjecteur. Cette eau continuant à monter, arrive au-dessus de la cloche D et l'air, se comprimant d'autant plus dans cette dernière, arrive à la soulever, et, par suite, agit sur la tige qui fait alors fonctionner la soupape de distribution E. Par ce mouvement automatique l'air comprimé qui vient de la Station centrale est introduit dans l'éjecteur et agit immédiatement sur toute la surface du liquide, poussant tout le contenu par la partie évasée du fond de l'éjecteur, à travers le tuyau de sortie B, soit vers un point de déversement, soit dans un tuyau de fonte formant conduite de refoulement. Les eaux vannes ne peuvent remonter vers le tuyau A, car à cet instant le clapet se referme par la pression. Le liquide passe hors de l'éjecteur jusqu'à ce qu'il atteigne le dessus du godet C. Celui-ci restant plein, le poids de l'eau qu'il contient est suffisant pour le faire descendre et faire ainsi manœuvrer la tige de haut en bas, ce qui occasionne en même

(1) Nous ferons remarquer que l'électricité permet aussi bien, et même mieux que l'air comprimé, cette répartition de la force produite par une usine centrale entre plusieurs stations isolées. Des pompes électriques mues par une usine centrale pourraient donc rendre les mêmes services que le système Shone (voir page 235-3°).

temps le déplacement de la soupape distributrice de l'air comprimé E. La soupape se trouvant déplacée l'air comprimé ne pénètre plus et l'air contenu dans l'éjecteur peut, au contraire, s'échapper au dehors.

Au même instant le clapet du tuyau de sortie B retombe, retenant ainsi le liquide évacué, tandis que le clapet du tuyau d'arrivée A s'ouvre par la pression du liquide provenant des canalisations pour leur laisser ainsi passage, puis l'opération recommence.

La position de flottaison du godet C et de la cloche D est combinée de telle sorte que l'air comprimé ne peut pas s'introduire dans l'éjecteur tant qu'il

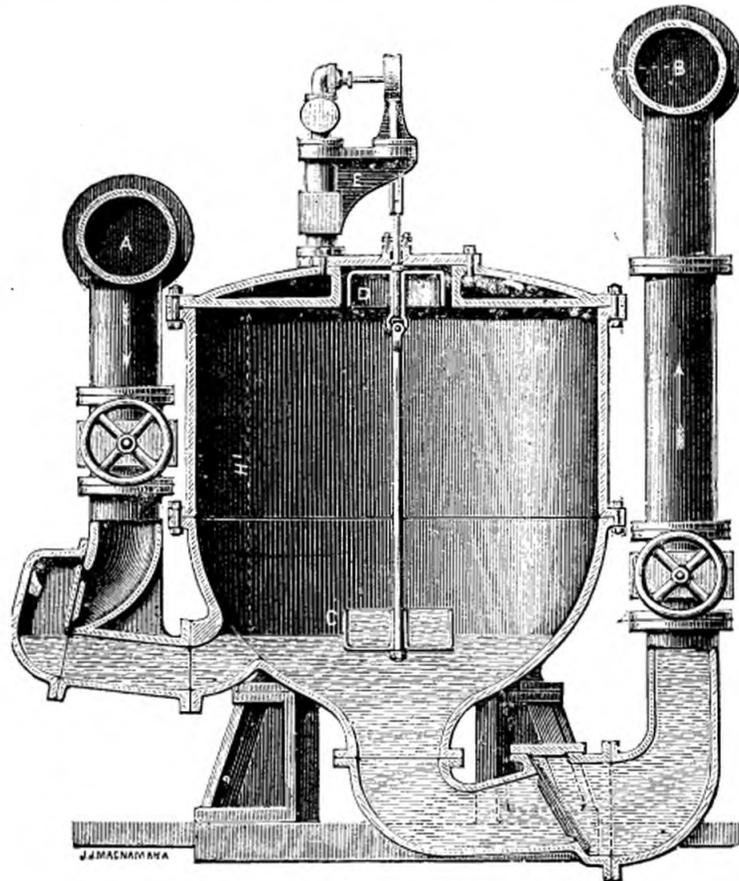


Fig. 110. — Coupe de l'éjecteur Shone.

n'est pas rempli par les eaux vannes, et qu'il ne peut s'échapper qu'à partir du moment où l'éjecteur est vidé jusqu'au niveau prévu.

L'air comprimé destiné à agir dans l'éjecteur est produit à une station centrale et amené aux divers appareils par des conduites en fonte posées sous les rues.

Les principaux avantages de l'éjecteur sont les suivants :

- 1° Les pièces de fatigue sont peu nombreuses et peu compliquées.
- 2° La paroi intérieure de l'appareil étant en fonte dure ne peut pas être attaquée par les eaux vannes avec lesquelles elle vient en contact, ce qui n'est pas le cas avec les cylindres et pistons de pompes.
- 3° La perte par frottement, comme dans le cas d'une pompe, est évitée, l'air comprimé agissant directement sur le liquide sans intervention de mécanisme.

formant ainsi un piston à air absolument sans frottement et sans possibilité de perte ou de fuite quelconque.

4° La disposition de la cloche et du godet n'est pas exposée aux dérangements que pourrait subir un simple flotteur.

5° La petite soupape automatique pour régler l'admission est la seule partie ouvrée de l'appareil. Elle ne fait qu'un mouvement de quelques centimètres chaque fois que l'éjecteur se vide. Cette soupape ne vient en contact qu'avec l'air comprimé.

6° Les clapets d'entrée et de sortie sont aménagés pour s'ouvrir de toute la section de leurs tuyaux respectifs. Ils donnent libre passage ainsi à tous les corps solides que le tuyau d'entrée peut amener.

7° Le tuyau de sortie part du fond de l'éjecteur de telle sorte que les matières solides, boues, sables, amenés par les eaux vannes, sont évacuées d'abord de l'éjecteur.

8° Il en résulte que les eaux vannes ne doivent pas criblées ou filtrées avant d'entrer dans l'éjecteur. Lorsqu'on emploie des pompes cette opération est nécessaire et il faut de plus procéder continuellement au nettoyage des grilles et au curage des puisards dans lesquels on a aspiré l'eau.

9° Chaque fois que le contenu d'un éjecteur se précipite dans la conduite d'écoulement il forme une véritable chasse.

10° L'éjecteur constitue un moyen de séparation absolue entre les égouts de chaque district et la conduite de refoulement formant collecteur général.

L'emploi d'air comprimé dans les mines, dans le percement des tunnels et comme force motrice dans une foule de cas, démontre qu'avec des tuyaux bien proportionnés et bien ajustés les pertes par fuite et par frottement sont insignifiantes.

Le système Shone réalise une grande économie de chauffage et de frais de personnel comparé avec les systèmes ordinaires de refoulement au moyen de pompes, surtout lorsqu'il est nécessaire d'établir plusieurs stations de pompes élévatoires à plusieurs endroits.

A Warrington on se sert des éjecteurs pour refouler les matières vidangées, du centre de la ville jusqu'à Longford, par une conduite en fonte d'une longueur d'environ 3,700 m, ce qui réalise une économie directe à la Municipalité, en transports seulement, de 2,000 livres sterling par an. A Southampton, on s'en sert également pour refouler les boues, par un tuyau en fonte de 100 mm de diamètre, et d'une longueur d'environ 1,300 m; un travail analogue se fait également à Plymouth, à Shirley et à Freemantle.

Dans les villes où les ordures ménagères sont incinérées, le calorique provenant des fours spéciaux peut être utilisé pour faire la chauffe des générateurs à vapeur actionnant les compresseurs. La station centrale de compression peut être établie à proximité de ces fours destructeurs, système du reste adopté à Southampton, à Preston, à Eastbourne et dans d'autres localités. Les compresseurs peuvent être également installés soit aux usines à gaz, soit près des pompes des services d'eau, soit partout où on peut utiliser la vapeur ou la force hydraulique. »

Disons encore que le système Shone se prête bien à la ventilation des égouts de la canalisation, au moyen de cheminées d'aération à établir de distance en distance près des regards : l'air est attiré de la canalisation et du regard par le vide partiel produit dans une tuyère où s'échappe l'air venant de l'éjecteur. Le procédé (Shone et Ault) peut s'appliquer à la ventilation d'égouts ordinaires en amenant un courant d'air comprimé directement à la tuyère.

L'éjecteur peut également servir à tout relèvement partiel des eaux d'égout, soit pour un quartier bas à relier à l'ensemble d'un réseau unitaire, soit à l'arrivée dans une usine de traitement, soit encore pour les vases déjà déposées. Au lieu d'air comprimé comme moteur, on peut aussi se servir d'une chute d'un égout à niveau plus élevé ou de l'eau de la distribution, par l'intermédiaire d'un appareil appelé compresseur (gravity compressor). La fig. 111 représente une élévation de ce genre au moyen de l'eau sous pression : A est le tuyau de prise d'eau de la distribution, B l'écoulement de cette eau, C la valve automatique d'admission d'eau au gravity compressor et D la valve automatique correspondant à l'éjecteur.

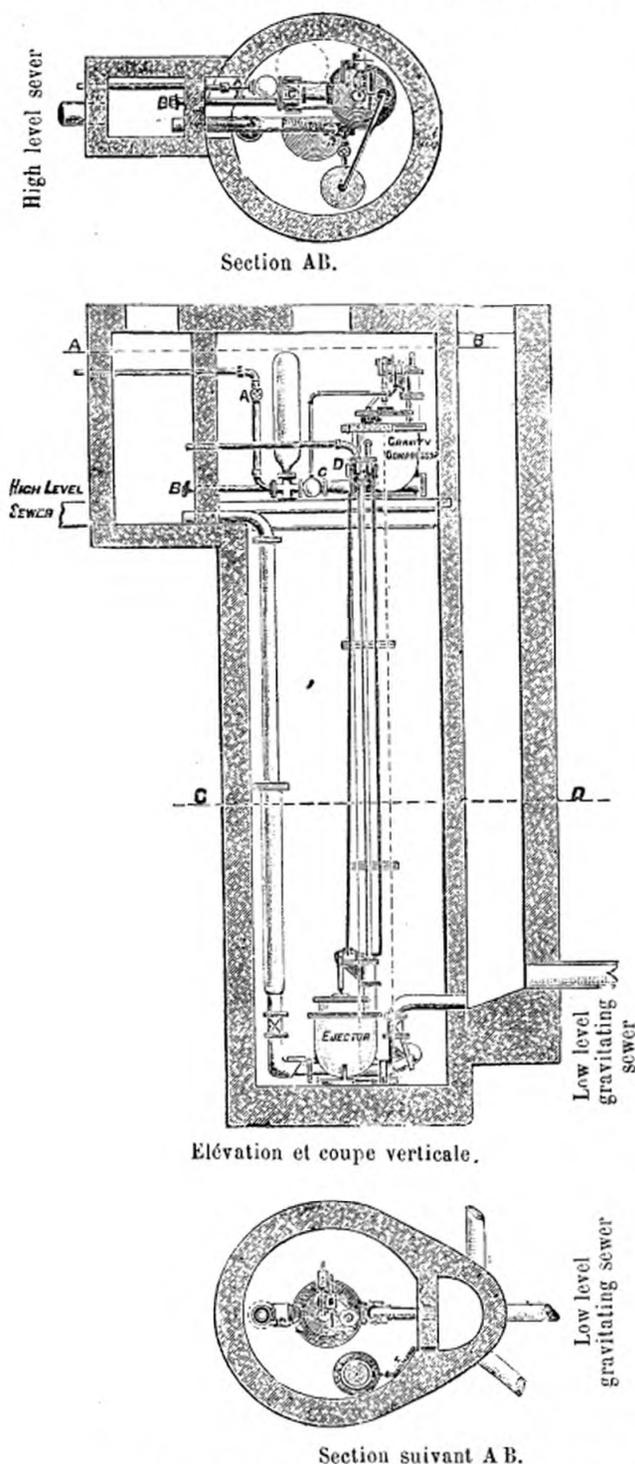


Fig. 111. — Relèvement du sewage par l'éjecteur et compresseur Shone (ce dernier étant actionné par l'eau de la distribution).

Nous avons déjà dit que de nombreuses villes, principalement en Angleterre, se servaient de l'éjecteur Shone. Dans la deuxième édition (1901) de son ouvrage *Sanitary Engineering*, le colonel Moore reproduit, avec un plan à l'appui, la description du réseau de Southampton donnée par Bennett, l'ingénieur de cette ville : nous ne pouvons qu'y

renvoyer le lecteur. Le même ouvrage montre également le réseau de la ville de Rangoon (avec un plan détaillé), dont l'assainissement a été décrit par Smith au congrès d'assainissement de 1895. Nous extrayons le passage suivant de cet article :

« Rangoon devint possession anglaise en 1852 ; c'était alors une plantation de bambous avec des habitations en planches et des huttes construites sur pilotis enfoncés dans un marais périodiquement inondé par les eaux de sources ou les hautes marées.

« Située au bord et près de l'embouchure d'un fleuve, à 33 milles de la mer, Rangoon est presque de niveau, parallèlement au fleuve, mais très légèrement en pente dans une direction à angle droit. Son sous-sol marécageux est formé d'un limon vaseux laissé par les eaux et quelque peu durci à la surface, mais d'autant plus vaseux et mouvant qu'on descend plus profondément.

« La population, qui était de 8 860 habitants en 1826, s'élevait à 61 138 en 1863 et à 98 745 en 1872 ; aussi le sol marécageux de cette ville finit-il par être absolument contaminé par ses habitants.

« En 1873, on a remplacé les quelques fosses primitives par le « pail system ».— Des seaux étaient transportés par des charrettes jusqu'à la jetée sur les bords du fleuve, puis vidés. L'air était vicié la nuit par une abominable puanteur, résultant du transport et du lavage de ces seaux. La situation devint intolérable et les autorités cherchèrent le moyen d'y porter remède.

« On en vint à décider l'établissement d'un réseau d'égouts d'après le principe qui consiste à séparer entièrement les eaux résiduaires (eaux usées et eaux vannes) des eaux pluviales. Cette solution fut adoptée après une étude approfondie de la situation générale de la ville, au double point de vue météorologique et topographique.

« Les pluies, qui atteignent environ 2^m,54 par an, tombent réellement en six mois ; normalement, la chute annuelle serait de 5^m,08 ; cependant, les fortes pluies ne se produisent que durant une courte période pendant laquelle elles atteignent une hauteur de 0^m,1375 par heure.

« Dans ces conditions, un système d'égouts pour recueillir à la fois les eaux résiduaires et les eaux pluviales aurait entraîné à une dépense considérable en raison des difficultés presque insurmontables résultant de la nature mobile du sous-sol. Il faut remarquer, en outre, que l'exécution d'un pareil travail eût été absolument nuisible à la santé publique. En Angleterre, où la pluie n'atteint pas le quart de ce qui tombe à Rangoon et où les plus fortes pluies ne représentent qu'une fraction de celles qui se produisent dans cette dernière ville, les systèmes combinés qui, dans certaines villes, réunissent toutes les eaux, ont parfois des conduites de 2^m,50 et même de 3 m de diamètre, et, dans la généralité des cas 0^m,90 à 1^m,80 de diamètre. Dans le système appliqué à Rangoon, la plupart des canalisations n'ont que 0^m,15 de diamètre, et la plus importante, au point de déversement 0^m,525.

« Quand on songe aux diamètres qu'il aurait fallu donner à certains égouts pour transporter les eaux résiduaires et les eaux météorologiques à Rangoon, et quand on pense que, pendant six mois de l'année, il pleut fort peu ou même pas du tout, il faut reconnaître que l'écoulement des eaux résiduaires dans des conduites de grande section pendant la saison de sécheresse serait très lent et peu abondant. Comme cette situation se prolongerait durant un temps quelquefois très long, les eaux des égouts entreraient rapidement en décomposition et produiraient des gaz pestilentiels ; en même temps, les grands espaces libres de l'égout permettraient l'accumulation de ces gaz, tout prêts à se répandre dans l'atmosphère.

« D'ailleurs, aucun projet d'égouts, qu'il reposât sur le système combiné ou sur le système séparé, ne pouvait être adopté à Rangoon sans comporter

l'emploi de pompes ou de procédés élévatoires disposant d'une force suffisante pour relever les eaux vannes à une hauteur telle que leur déversement pût être assuré en tout temps à l'endroit choisi. La ville a été divisé en 22 districts, comportant chacun son éjecteur etc., etc. ».

Ajoutons que l'effet de l'assainissement de Rangoon n'a pas tardé à se faire sentir. En 1890, avant les travaux, la mortalité était de 54,89 0/00 dans les quartiers de Taroktan et de Sule et de 53,06 dans le reste de la ville : en 1895, après les travaux, ces chiffres étaient devenus respectivement 30,61 et 38,54.

En France, nous ne connaissons que Toulon et Rouen qui s'occupent du système Shone. Le projet de Toulon, qui figurait à l'Exposition, faisait déjà partie de l'installation de la Compagnie nationale des Travaux d'utilité publique et d'assainissement à l'Exposition d'Hygiène de 1895. Voici ce qu'en dit alors M. Launay dans son rapport sur cette Exposition :

« Personne n'ignore que, depuis cinquante ans, les principaux ingénieurs qui s'occupent, en France, de l'assainissement des villes, ont multiplié les études pour arriver à assainir Toulon. Ceci n'a rien de surprenant pour qui connaît la topographie générale de Toulon et de ses environs et pour qui sait combien sont étroites les rues de la vieille ville et combien sont hautes et anciennes les maisons qui bordent ces rues. Cette partie de la ville est construite pour ainsi dire au niveau de la mer, les maisons sont érigées sur des fondations qui ne présentent pas une bien grande solidité ; par suite il était impossible de songer à établir les canalisations à des profondeurs suffisantes pour leur donner des pentes susceptibles d'assurer le parfait écoulement des eaux vannes et de la vidange. On n'y serait parvenu qu'en établissant des points bas grâce auxquels on aurait obtenu des pentes factices, sans avoir besoin pour cela de donner de trop grandes profondeurs aux tranchées dans lesquelles on doit placer les canalisations. Mais comment penser à recueillir à ces points bas les eaux résiduaires pour les refouler ensuite vers l'endroit où l'on pourrait soit les déverser à la mer, soit les employer comme épandage ? Il ne fallait pas songer à se servir des pompes ordinairement utilisées pour un tel travail, car c'eût été remplacer le mal actuel par un mal nouveau qui pouvait faire naître la crainte d'inconvénients plus grands que ceux du régime présent, je veux dire à la toupine, le torpilleur et même le jet au ruisseau.

M. Tasson propose de résoudre le problème par l'emploi des éjecteurs Shone et le projet vient d'être soumis au Comité consultatif d'Hygiène publique de France.

Les éjecteurs Shone, dont un spécimen (type de 227 lit.) et un modèle de démonstration figurent à l'Exposition de la Compagnie, sont des appareils qui remplacent avantageusement les pompes, et dont le grand mérite est de permettre que toutes les opérations du refoulement se passent en vases clos, sans le moindre contact avec l'atmosphère. Ils sont employés, avec succès, depuis plus de quinze ans, dans un certain nombre de villes d'Angleterre, ainsi que dans les États-Unis de l'Amérique du Nord, le Brésil, les Indes Anglaises et la Russie.

Les éjecteurs sont placés dans des souterrains en maçonnerie qui permettent d'établir les stations sous le sol des rues ou des places publiques ; ces appareils fonctionnent automatiquement, un simple regard de visite suffit à chaque station pour qu'un ouvrier puisse aller de temps en temps procéder au graissage

des appareils. Il en résulte que dans les villes ayant peu de pente rien n'empêche, sans le moindre inconvénient, les stations d'éjecteurs et, par suite, le nombre des points bas ; on peut ainsi, sans qu'il soit besoin d'établir le réseau des canalisations à une grande profondeur, donner aux drains les pentes voulues pour qu'il ne se produise pas de dépôt, c'est-à-dire assurer aux eaux vannes, conformément à ce que réclament les ingénieurs, une vitesse de 0^m,75.

Les éjecteurs fonctionnent à l'aide de l'air comprimé ; une seule usine suffit pour assurer le service de toute une ville, ce qui n'est pas le cas quand on emploie des pompes ordinaires. C'est encore là un des grands mérites de ce genre d'appareils.

Indépendamment des services qu'ils peuvent rendre au point de vue de l'assainissement des villes, les éjecteurs peuvent être employés soit pour l'élévation des eaux potables dans certains cas déterminés, soit pour alimenter les réservoirs des water-closets avec des eaux de rivière, dont le prix est moins élevé que celui de l'eau de source, et même avec de l'eau de pluie. »

On ne peut que regretter que Toulon n'ait pas encore commencé la mise à exécution de ce projet. On sait que les eaux d'égout devaient être épurées par le procédé « Howatson », dont nous parlerons plus loin, avant d'être rejetées dans le port.

c). — **Système d'évacuation générale par un seul réseau d'égouts, dit système unitaire.**

Par la comparaison qui précède avec la double canalisation, nous savons déjà ce qu'est le système unitaire (Combined system, Schwemm-system) : un réseau unique, dans lequel se fait le *water-carriage* de toutes les matières, avec l'écoulement des eaux pluviales et de toutes les eaux usées. Cette solution excellente a été adoptée dans un grand nombre de villes et dans presque toutes les capitales.

On peut toutefois lui reprocher son prix élevé, lequel tient à ce que pour recevoir les eaux pluviales il faut presque partout des canalisations à grande section et autant que possible visitables. On atténue sensiblement la portée de ce reproche quand on laisse ruisseler les eaux pluviales sur une certaine longueur dans les tronçons de rues élémentaires à la périphérie de chaque zone, et qu'on s'y contente de tuyaux pour les eaux usées, jusqu'aux points où on reçoit souterrainement les eaux de surface. D'un autre côté, on doit regretter aussi les déversements en rivière qui deviennent obligatoires lors des pluies d'une certaine durée ou d'une certaine intensité ; cet inconvénient sera d'autant moindre que les égouts et les collecteurs seront de plus grandes dimensions et sous ce rapport on ne peut que constater la supériorité du réseau de Paris sur celui de Berlin. Enfin, on a dû chercher à rendre les grandes sections plus favorables à l'écoulement des débits faibles (qui sont en

somme le cas habituel) : pour cela (aussi bien du reste que pour permettre de passer facilement) on a été conduit pour les égouts ordinaires à la forme ovoïde, fortement rétrécie dans le bas, et mieux encore à la forme préconisée par Durand-Claye (fig. 120) avec *cunette* arrondie pour l'écoulement du sewage en temps sec et banquette latérale disposée un peu au-dessus ; quant aux collecteurs et émissaires, on adopte généralement pour la même raison une cunette centrale entre banquettes comme dans les collecteurs de Paris (fig. 119), de Lyon (fig. 142), de Bruxelles, de Marseille, de Dresde, etc., ou une cuvette latérale comme dans les types 9 et 10 bis, de Paris, les collecteurs de Cologne (fig. 147), etc. (Pour en finir avec cette question de forme, disons encore que les ingénieurs anglais et américains s'en tiennent souvent à la forme circulaire ; comme ceux de Londres, les collecteurs de la plupart des villes américaines sont en briques et circulaires. Il reste en outre entendu que la forme circulaire est acquise aux petites sections non visitables : au-dessous de 0^m,50 de diamètre, on recourt donc exclusivement aux tuyaux, mais dès qu'on dépasse, il vaut mieux franchement arriver aux formes ovoïdes visitables.)

Quand, malgré les petits inconvénients ci-dessus, une ville est décidée à s'assainir par le Tout à l'Égout unitaire, il faut étudier comment on établira le réseau, les collecteurs et les émissaires, et finalement comment on se débarrassera du sewage. C'est évidemment sur ce dernier point qu'il faut se fixer en premier lieu, puisque de cette solution dépend la connaissance du ou des lieux d'aboutissement des émissaires. Si nous supposons cette partie du problème résolue, il reste à tracer le réseau, à déterminer en chaque point la pente et la profondeur de l'égout, puis le débit à attendre et par suite la section, à préciser s'il y a lieu l'emplacement des usines de relèvement, celui des déversoirs, des bassins de chasse, etc., etc. On ne peut naturellement aborder cette étude qu'après avoir réuni tous les documents voulus sur la densité de la population, l'importance des industries, la topographie du périmètre à drainer, le régime des pluies, celui de la nappe souterraine, celui du cours d'eau qui généralement traverse la ville, celui des affluents que recueilleront les égouts, etc. Cela fait, les égouts élémentaires devront en principe se ramifier dans toutes les rues ; les collecteurs s'établiront d'après la meilleure convenance, suivant l'un des types auxquels on est convenu de donner les noms ci-dessous ou suivant des types intermédiaires.

1° *Système perpendiculaire*. — Suivant ce système, qui est celui du passé, chaque collecteur va le plus directement possible au cours

d'eau et s'y déverse. On infecte ainsi le fleuve dans l'intérieur même de la ville, et si son débit n'est pas très considérable vis-à-vis de l'efflux urbain la chose est absolument intolérable : de toute manière, elle est à condamner radicalement, et on ne peut maintenir à la place des anciens débouchés que les déversoirs nécessaires à l'échappement des eaux en grandes pluies.

2° *Système de détournement latéral.* — (Abfangsystem, Intercepting sewers). — Pour protéger la traversée du fleuve, on construit sur les deux rives et parallèlement à elles deux collecteurs qui recueillent les apports des égouts perpendiculaires et les conduisent hors de la ville : si on jette alors leur débit dans le cours d'eau, on a bien protégé la ville elle-même, mais on continue à infecter l'aval, ce qui est inadmissible dans bien des cas et notamment si les localités d'aval puisent leur eau de boisson à la rivière. Ce système est celui qui règne actuellement à Lyon le long du Rhône et de la Saône (fig. 141) : on le trouve aussi à Dantzig, à Cologne (fig. 146) et dans beaucoup d'autres villes. A Londres, les deux collecteurs qui aboutissent l'un à Barking, l'autre à Crossness, peuvent être regardés comme des intercepting sewers : cependant le réseau des collecteurs de chaque partie de Londres (d'un côté et de l'autre de la Tamise) se rapproche plutôt de la forme en éventail.

3° *Système en éventail.* — C'est le type même du réseau ramifié que forment naturellement les égouts d'un même groupe, en partant du tronc commun pour remonter vers les branches. Il régnera dans les villes ou parties de villes plates et indépendantes des cours d'eau. Ainsi à Karlsruhe, la ville en éventail par excellence, à Breslau (fig. 112), réseau de la rive gauche.

4° *Système parallèle, ou par étages.* — Si la ville est bâtie sur un plan faiblement incliné, mais continu, on est amené à créer deux ou plusieurs collecteurs parallèles, mais situés à des niveaux différents (avec des communications entre les étages). C'est le cas de Reims (voir fig. 95) avec ses deux collecteurs actuels haut et bas ; c'est aussi le cas de Francfort qui a un service haut et un service bas pour chacune des deux rives du Mein (La fig. 113 en donne une idée, mais on pourrait se reporter pour plus de détails à l'article de M. Hirsch « Travaux d'assainissement à Francfort-sur-le-Mein » dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1891.)

5° *Système par bassins ou par zones.* — Souvent une ville com-

prend un certain nombre de bassins ou vallons limitrophes ; chacun a alors son réseau propre et son collecteur spécial. C'est le cas des quatre bassins de Paris (fig. 118), des quatre zones de Milan (fig. 149), des vingt bassins de Marseille (fig. 139). Les collecteurs de chaque zone se réunissent entre eux ou suivant les cas marchent isolément vers leur lieu de destination.

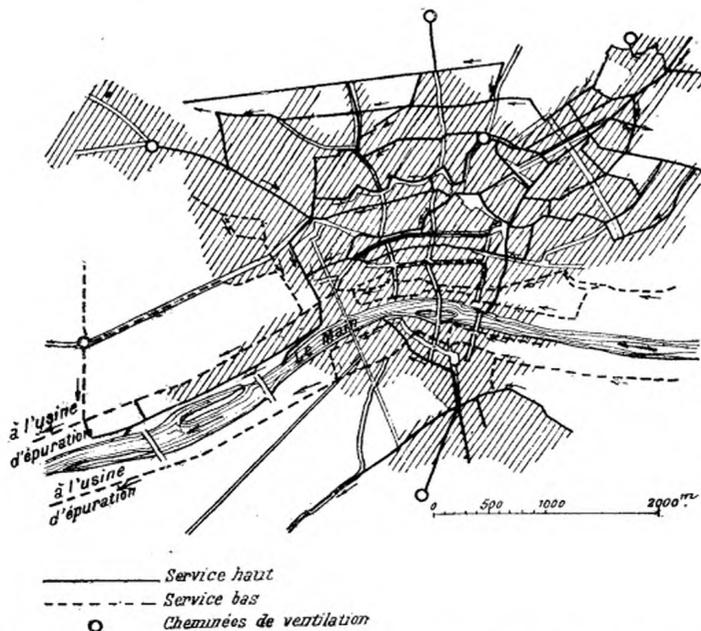


Fig. 143. — Les égouts de Francfort-sur-le-Mein. — Plan des Collecteurs (syst. parallèle).

6° *Système radial*. — Alors que les divisions ne sont pas aussi nettement indiquées par la topographie, on peut aussi diviser la ville en secteurs plus ou moins réguliers, ayant chacun leur réseau (indépendant des réseaux voisins), leur émissaire et s'il y a lieu leur usine élévatrice : c'est, comme on sait, le système de Berlin, avec ses 12 Radial-system et ses 12 stations de pompage (fig. 143). On a l'avantage de pouvoir se contenter de canaux de moindre section et de faciliter la répartition du sewage entre plusieurs régions d'épandage tout autour de la ville ; en revanche, on multiplie le nombre des émissaires, qui entre Berlin et les Rieselfelder ne sont pas au nombre de moins de sept.

Les collecteurs tracés, on fera les calculs nécessaires pour déterminer le débit de l'égout de chaque rue, puis de ce débit en regard duquel on

mettra la pente, on déduira la section à adopter et la vitesse à attendre. Nous savons déjà, connaissant la surface à drainer et le nombre de ses habitants, calculer le volume des eaux usées (voir p. 317 et aussi le calcul pour le projet de Reims), mais ici ce volume disparaît presque vis-à-vis de celui des eaux de pluie à admettre dans l'égout. Or, pour ce dernier, on peut considérer deux cas : le cas d'une pluie continue qui, une fois les premières heures passées, entre en entier dans les égouts et doit être prise sans réduction (on admet généralement pour les villes d'Europe le chiffre de 6 mm par heure pour une pluie d'une certaine durée, et on obtient ainsi un débit de 16^{lit},66 par seconde et par hectare de bassin drainé), et le cas d'une forte averse qui étant généralement de courte durée n'arrive aux égouts qu'en subissant des réductions dues à l'évaporation, à l'absorption par le sol et au retard des filets ruisselants, réductions dont il faudrait savoir tenir compte. La pluviométrie de la région permettra de voir laquelle de ces deux considérations conduit au chiffre le plus élevé, mais c'est généralement la seconde : de là l'obligation d'étudier les fortes averses et les coefficients de réduction dont leur écoulement est susceptible. Encore ne peut-on d'ordinaire faire entrer en ligne de compte les chutes d'eau véritablement exceptionnelles (voir p. 319), qui constituent des phénomènes très rares, et doit-on s'en tenir à la plus forte intensité des *grandes averses habituelles* (c'est-à-dire qu'on voit plusieurs fois par an). C'est pour cette intensité de la grande averse habituelle que Belgrand a admis 45 mm par heure, soit 125 lit. par hectare et par seconde ; à Rome, à Mannheim et à Milan on a admis le même chiffre ; à Turin, Fribourg et Königsberg des chiffres supérieurs et se rapprochant de 200 lit. ; mais à Vienne, Berlin, Londres et dans la plupart des villes anglaises et américaines on s'en tient au chiffre certainement trop bas de 70 l.h.s. (litres par hectare et par seconde).

Quoi qu'il en soit, c'est sur le chiffre adopté qu'il faut faire porter maintenant les coefficients de réduction, lesquels sont au nombre de deux, un *coefficient de retard* que les auteurs les plus récents désignent par φ et un *coefficient de déperdition*, (évaporation et absorption réunies) ψ . La détermination de φ et de ψ pour chaque égout est un travail délicat et compliqué. Aussi plusieurs Ingénieurs l'abrègent-ils en adoptant un chiffre uniforme : nous savons déjà que Belgrand a adopté une réduction de $\frac{1}{3}$ et s'en est tenu pour le débit maximum des égouts parisiens à 42 lit. par seconde et par hectare desservi ; Hobrecht à Berlin a pris aussi pour l'intérieur de la ville le tiers des 64 l.h.s.

admis pour la pluie, soit 21 l.h.s., mais pour les quartiers excentriques avec jardins, il est descendu à la moitié seulement de ce dernier chiffre ; à Rome, on a forcé le rapport jusqu'à 1/2 (soit 62 l.h.s.) et même 2/3 (83 l.h.s.) ; à Londres, le rapport varie de 1/3 à 1/2, ce qui donne de 23 à 35 l.h.s.) ; à Vienne on a pris 3/8, soit 27 l.h.s. ; à Hambourg 1/2, soit 39 l.h.s., etc. Bref, suivant Krug ⁽¹⁾, on pourrait s'en tenir à 25 ou 30 l.h.s. Mais les expériences et les travaux récents de Bürkli-Ziegler ⁽²⁾, de Mank ⁽³⁾, de Brix ⁽⁴⁾, de Baumeister ⁽⁵⁾, de Hobrecht ⁽⁶⁾, et surtout le beau mémoire de M. Frühling: « Ueber Regen und Abflussmengen für städtischen Entwässerungskanäle », in *Civil-Ingenieur*, 1894, ont permis de serrer le problème de plus près. La question a été très bien exposée par MM. Maserà et Poggi dans leur magnifique ouvrage sur les égouts de Milan : « Le fognature di Milano » (rapport de l'*Office technique municipal*, 1897) qui figurait en belle place à l'Exposition (Hygiène italienne) : la discussion des valeurs à adopter pour φ et ψ y est complète et de plus l'ouvrage indique une méthode graphique pour le calcul du débit des égouts, laquelle a été imaginée dès 1887 par l'*Ufficio tecnico* et se trouve très semblable à celle de Frühling. Nous ne pouvons évidemment que renvoyer à ces ouvrages et spécialement aux deux derniers, qui entrent dans une analyse détaillée du phénomène ⁽⁷⁾.

Dans la formule $Q = \varphi \cdot \psi \cdot A \cdot P$, où Q est le débit maximum par seconde cherché pour l'égout, A la surface en hectares de son bassin drainé, et P la

(1) H. Krug. — *Die Drucklinie der Rohrnetze*, in *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, 1897.

(2) Bürkli-Ziegler. — *Grösste Abflussmengen bei städtischen Abflusskanälen*, in *Gesundheits-Ingenieur*, 1882.

(3) Mank. — *Welche Maximalwassermenge haben städtischen Kanäle thatsächlich abzuführen*, in *Deutsche Bauzeitung*, 1884.

(4) Brix. — *Die Kanalisation von Wiesbaden*, 1887.

(5) Baumeister. — *Städtische Strassenwesen und Städtereinigung*, 1890 (Berlin).

(6) Hobrecht. — *Die modernen Aufgaben des grossstädtischen Strassenbaues*, etc., 1890 (Berlin).

(7) Au moment où nous avons déjà écrit ces lignes, nous recevons un article de Fischer (Magdeburg) expliquant comment il a calculé les sections pour les égouts de Berlin (*Gesundheits-Ingenieur* du 15 juin 1901). Les données du problème consistaient à admettre, outre le sewage de 450 habitants par hectare à raison de 200 lit. par tête et par jour, le produit d'une pluie commençant pendant 10 minutes avec une intensité horaire de 25 mm (soit pour 10 minutes une chute de 4^m,17), puis se continuant avec une intensité horaire de 10 mm. Pour le sewage, Fischer admet que le débit journalier maximum est 1,5 fois le débit moyen et que le débit horaire maximum est aussi 1,5 fois la moyenne, ce qui donne par hectare un apport de $1.5 \times 1.5 \left(\frac{450 \times 200}{86400} \right) = 21.34$ par hectare et par seconde. Pour la pluie, l'intensité de 25 mm correspond à 70 l.h.s., et celle de 10 mm à 28 l.h.s. Le coefficient d'absorption est d'abord pris de 0.90, pour les

grande averse habituelle admise en l. h. s., le coefficient φ dépend évidemment et principalement de l'étendue du bassin et des pentes et autres conditions d'écoulement qu'on y rencontre. Aussi Bürkli-Ziegler, d'après des expériences faites en Angleterre, a-t-il proposé l'expression $\varphi = \frac{1}{\sqrt[n]{A}}$ où $n = 4$, ou 5, ou 6 suivant que l'inclinaison du bassin est plus ou moins forte : ainsi à Mannheim, pour des pentes faibles, on a pris $\sqrt[4]{A}$, à Königsberg $\sqrt[5]{A}$, et à Wiesbaden $\sqrt[6]{A}$. On peut alors facilement établir un tableau des valeurs de φ pour des valeurs de A de 1, 2, 5, 10, 20, etc., hectares, ou même encore les représenter, comme dans l'ouvrage de Milan, par le graphique ci-dessous établi pour la formule $\varphi = \sqrt[4]{A}$ adoptée à Milan.

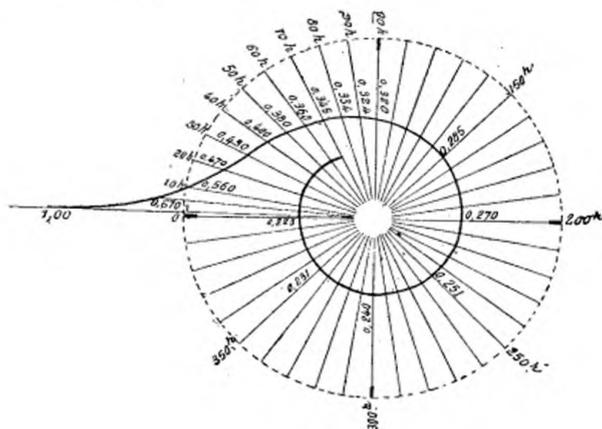


Fig. 414

Diagramme des valeurs du coefficient de retard φ d'après la formule $\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{A}}$

(Les surfaces en hectares sont portées sur la circonférence).

zones très bâties ou à pentes raides, de 0,60 pour les zones plus plates, de 0,30 pour les quartiers de villas, et de 0,15 pour les parcs, jardins, gares, etc. Puis, pour le coefficient de retard, l'auteur partage le territoire en un certain nombre de régions présentant dans leur intérieur une certaine unité et se desservant chacune par un canal, dont on étudie l'écoulement au point où il en sort. Cet écoulement est représenté par une courbe (abfluscurve) dont les abscisses sont les temps à partir de l'origine de la pluie et dont les ordonnées sont les quantités d'eau fournies au système de drainage de la région par l'averse type. Un émissaire recevant les eaux de plusieurs régions ainsi étudiées, pour avoir le débit maximum auquel il devra satisfaire en un point donné, on n'aura évidemment qu'à superposer les courbes des régions desservies, mais en déplaçant l'origine de chacune d'une longueur correspondant au temps que met le liquide à arriver du point de sortie de la région au point de l'émissaire pris comme station d'étude. L'ordonnée maxima sera ainsi inférieure à la somme des maxima des courbes superposées, et la différence représente l'influence du retard. Cette méthode est évidemment inspirée de celle usitée en hydrologie superficielle pour tenir compte de l'effet des affluents sur la crue d'un fleuve, et on ne peut que l'approuver.

Quant à ψ , il dépend, en outre des conditions météorologiques (qu'il est difficile de faire entrer en ligne de compte et qui font l'évaporation) de la perméabilité du bassin (laquelle fait l'absorption), c'est-à-dire de la manière dont il est composé en surfaces imperméables et surfaces plus ou moins perméables. Frühling propose de subdiviser la surface drainée et d'y appliquer les coefficients ci-dessous :

Toits métalliques et en ardoise.	$\psi = 0,95$
Toits ordinaires	0,90
Surfaces pavées en asphalte	0,85 à 0,90
— — en bois ou pavés maçonnés	0,80 à 0,85
— — en pierres avec joints au sable	0,60 à 0,70
— — en cailloux	0,40 à 0,60
Chaussées en macadam	0,25 à 0,45
Surfaces en gravier.	0,15 à 0,30
Jardins et espaces plantés	0,00 à 0,25

Il est un peu compliqué de faire cette subdivision : aussi à Milan, a-t-on simplifié en prenant :

Pour les parties centrales de la vieille ville	$\psi = 0,70$ à 0,90
(presque entièrement occupées par les maisons)	
Pour les quartiers voisins du noyau central et ayant encore peu de jardins.	0,50 à 0,70
Pour les quartiers neufs, où les maisons sont entourées de jardins.	0,25 à 0,50
Pour les jardins, places de manœuvre, cime- tières, etc.	0 à 0,25

(Brix avait déjà appliqué pour Wiesbaden un mode de calcul et des chiffres très semblables).

Il est bien évident que des calculs de ce genre faits de proche en proche sur les égouts et collecteurs reviennent à limiter la portée de ceux-ci, et qu'à un moment donné il faudra ménager des déversoirs. Ceux-ci devant naturellement commencer d'autant plutôt sur le trajet et être d'autant plus nombreux, ils fonctionneront de même d'autant plus fréquemment que les hypothèses faites pour l'averse et les coefficients auront été plus réduites et par suite plus éloignées des maxima réels. On sait qu'à Paris les déversements n'ont pas lieu plus de huit à dix fois par année, mais il n'en est pas de même à Londres, Berlin et autres villes où on a réduit les sections (les tuyaux de poterie de 0^m,21 à 0^m,48 de diamètre règnent dans les trois quarts des rues de Berlin, ce qui a évidemment procuré une sensible économie de premier établissement). Ce qui importe, c'est qu'au moment où le déversoir va fonctionner la dilution du sewage par l'eau de pluie soit suffisante pour que le mélange puisse être toléré dans le fleuve : or cette dilution sera donnée par le rapport du débit de l'égout au moment où l'eau atteint la crête du déversoir et le volume habituel du sewage en temps sec. Büsing nous donne ce rapport pour quelques villes allemandes : il est de 2,1 seulement à Düsseldorf, de 3,4 à Hambourg

de 4 à Francfort, 4,5 à Königsberg, 5 à Chemnitz et Wiesbaden, 6,4 à Berlin, 7 à Emden, 9,5 à Stettin, etc.. Nous n'avons pu trouver le chiffre de la dilution pour Paris au moment du déversement, mais il est évidemment beaucoup plus élevé que ces derniers nombres. Remarquons encore qu'on ne saurait exiger à ce sujet les mêmes conditions partout : il est clair que la dilution acceptable pourra être bien moindre quand le déversement se fait dans un fleuve d'un grand débit, comme le Rhin et l'Elbe pour Dusseldorf et Hambourg. Le Local Government veut qu'au moment du déversement la dilution soit d'au moins cinq fois le volume du sewage ordinaire (1).

Au sujet des déversoirs ou plutôt des procédés de déversement (voir

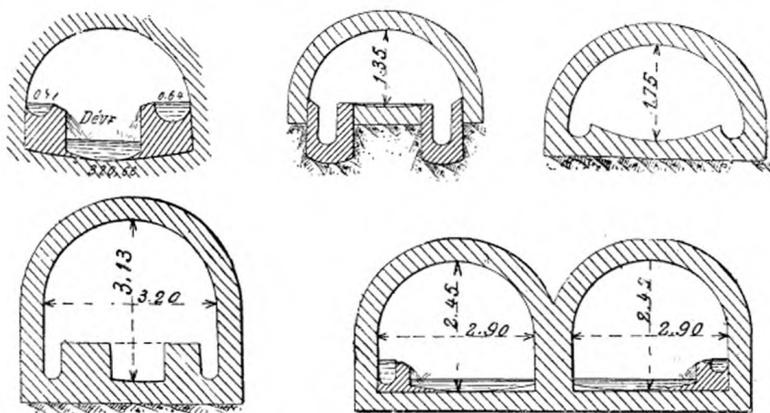


Fig. 145. — Transformation des anciens égouts d'Épinal et de Nîmes en vue de la surverse (d'après M. de Montricher).

plus loin les déversoirs de fond et de superficie de Paris, fig. 121), nous devons signaler les deux procédés spéciaux dits l'un de la *surverse*, et l'autre de l'*interception*. Le système de la surverse a été indiqué par M. de Montricher dans sa communication au Congrès d'assainissement de 1895. Il consiste comme dans le type d'égout Durand-Claye, à faire écouler les eaux-vannes ménagères, ainsi que les eaux des petites pluies, dans des cuvettes établies latéralement contre les piédroits des égouts, tandis que les eaux d'orage déborderaient de la cuvette pour se répandre et s'écouler sur le radier de la largeur restante de l'aqueduc : en temps normal la cuvette seule débite, en temps de grande pluie sa crête *déverse* tout le long dans la grande section. Le système s'applique

(1) Voir également à ce sujet les articles de Martin dans le *Journal of the Sanitary Institute*, XX, 4.

surtout aux égouts des villes qui ne sont généralement pas aptes à recevoir le « Tout à l'égout » (radiers plats, radiers en terre, etc.) et qu'on a toutefois grand intérêt à conserver pour leur faire conduire au cours d'eau les eaux d'orage : ce qui coule dans les cuvettes peut en effet être conduit aux champs ou usines d'épuration, tandis que ce qui coule par intermittences sur le grand radier peut être dirigé vers le fleuve. M. de Montricher donne des exemples de applications qu'on pourrait faire de ce système aux villes d'Epinal

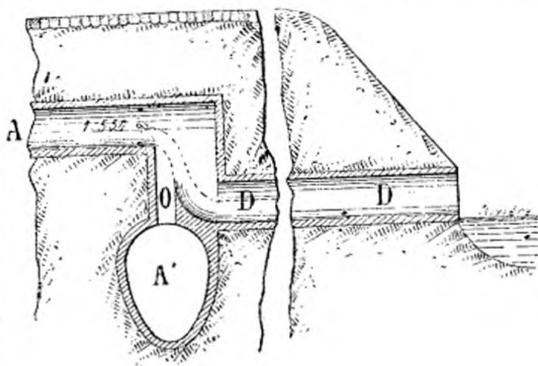


Fig. 116. — Le déversoir-intercepteur à Manchester.

et de Nîmes : la fig. 115 montre des sections d'anciens égouts de ces villes qu'il propose de transformer ainsi en vue de la surverse.

Le système du *déversoir-intercepteur*, appliqué par Bateman à Manchester (fig. 116), consiste à établir en un point donné un orifice vertical O par lequel en temps ordinaire le sewage venant de A tombe dans l'égout A' réservé aux eaux-vannes et ménagères pour les conduire à l'épuration : les dimensions de l'orifice sont calculées de telle sorte qu'il ne laisse passer qu'un certain débit, et il arrive dès lors qu'en temps de grande pluie ce débit étant dépassé, l'excédant s'écoule à la rivière par le déversoir proprement dit DD. MM. Bateman et Parsons ont également appliqué tout récemment ce procédé à Buenos-Ayres (1). Ainsi qu'on le voit par la fig. 117, la ville est divisée en zones, d'après la topographie : à l'exception de la zone B, on a établi partout un double réseau d'égouts, un premier réseau pour l'écoulement des matières usées et des petites pluies et un second pour l'évacuation des eaux d'orage directement au fleuve. Les zones A, C et D sont ainsi divisées en 29 sections, ayant chacune son réseau : les eaux de chaque section arrivent au point bas et traversent là une chambre de réglage, laquelle comporte l'orifice vertical décrit pour Manchester et faisant passer par une cheminée verticale le sewage ordinaire dans l'égout inférieur dit *collecteur-d'interception*. En temps d'orage ce qui ne peut passer par les cheminées s'écoule par les collecteurs pluviaux (9 galeries formant le réseau pluvial de la fig. 117 c). La

(1) Voir pour plus de détails l'article de G. Renel sur l'assainissement de Buenos-Ayres dans le *Génie civil* 1896 (n° 24 et 25).

section 117 (d) montre l'égout pluvial au-dessus de son collecteur d'interception. Ce système est très intéressant parce qu'il représente un intermédiaire entre les systèmes séparatif et unitaire, intermédiaire dans lequel le réseau vanne se met en communication automatique avec le réseau pluvial rudimentaire lors des grandes pluies, le réseau pluvial

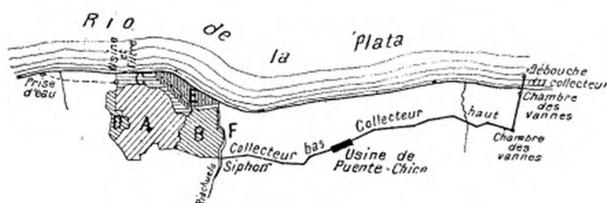


Fig. 117 (a). — Plan des travaux d'assainissement de Buenos-Ayres.

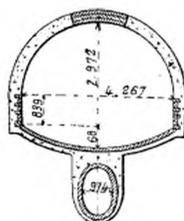


Fig. 117 (d). — Section type des collecteurs d'interception et de l'égout pluvial superposé.



Fig. 117 (b). — Plan du collecteur principal et des collecteurs secondaires d'interception.

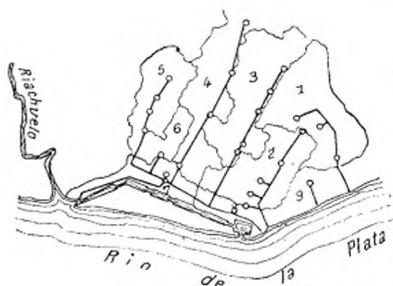


Fig. 117 (c). — Galeries collectrices pour les eaux d'orage.

Fig. 117. — Les collecteurs d'interception et l'assainissement de Buenos-Ayres.

restant à sec le reste du temps : c'est une preuve de plus que les partisans des deux systèmes peuvent se réconcilier.

Les pentes des égouts sont le plus souvent commandées par le terrain: celles des égouts élémentaires varient entre $0^m,05$ et $0^m,005$ par mètre mais celles des collecteurs diminuant progressivement descendent à $0^m,0005$ et plus bas encore aux environs de $0^m,0003$ pour les émissaires de toutes grandes villes. Les vitesses doivent être telles que les sables soient entraînés (ce qui rend les égouts auto-curables ou comme disent les Anglais *self-cleansing*), c'est-à-dire d'au moins $0^m,60$ à $0^m,80$ (rappelons qu'elles peuvent être moindres dans les tuyaux du système séparatif qui n'admettent pas les sables des chaussées, les vases molles pouvant être

entraînées par des vitesses des 0^m,30). Le calcul des sections, une fois toutes ces données obtenues, devient un simple calcul d'hydraulique (formules d'écoulements dans les aqueducs libres — formules de Darcy et Bazin, de Kutter et Ganguillet, de Robert Manning, de Humphreys et Abbot), que tous les Ingénieurs savent faire et dont nous ne parlerons pas.

On n'attend pas de nous non plus que nous parlions ici de la construction des égouts, ni des matériaux qui y entrent. Comme pour les aqueducs d'amenée d'eaux potables, l'exécution des aqueducs d'évacuation peut exiger toutes les ressources de l'art de l'Ingénieur (c'est ce qu'on a pu voir par l'établissement du collecteur de Clichy, de l'aqueduc d'Achères, etc., à Paris). Quant aux tuyaux, ils sont de natures diverses : comme l'écoulement du sewage se fait généralement sans pression, ils peuvent être très souvent en poterie, grès, béton ou ciment armé, et l'on sait que la poterie vernissée et le grès sont très recommandables à cause de leur surface lisse si favorable à l'écoulement. Tout ce que doit demander l'hygiéniste c'est qu'aqueducs ou tuyaux soient absolument étanches, afin que par les fissures ou les joints mal faits, le sol et la nappe souterraine ne soient pas contaminés ; on doit donc exiger sous ce rapport les mêmes qualités et les mêmes soins de pose que pour les conduites d'eau potable.

Nous devons aux villes qui ont exposé en 1900 à Paris, leur situation sous le rapport des égouts d'en faire une rapide description. Ces villes sont Paris, Marseille, Berlin, Cologne, Milan, Naples : aussi bien nous verrons là d'excellentes applications des principes ci-dessus. Nous dirons quelques mots également en raison de son importance, du projet d'assainissement de Lyon.

Egouts de Paris. — Pour Paris, nous ne pouvons bien entendu que donner une simple esquisse de son immense réseau : pour les détails nous renverrons aux ouvrages classiques de M. Bechmann, aux nombreuses brochures de M. Launay, à l'ouvrage très complet de M. Wéry « Assainissement des Villes et égouts de Paris », enfin à la Notice préparée justement pour l'Exposition, par le service des Eaux et de l'assainissement de Paris. Du reste, on n'oubliera pas qu'il est fait une exposition en quelque sorte permanente du réseau, puisque la visite en est facile et commode pour tout le monde à toute époque.

Nous montrerons seulement la division de Paris en quatre bassins, desservies par les collecteurs du Nord, de Clichy, d'Asnières et Marceau,

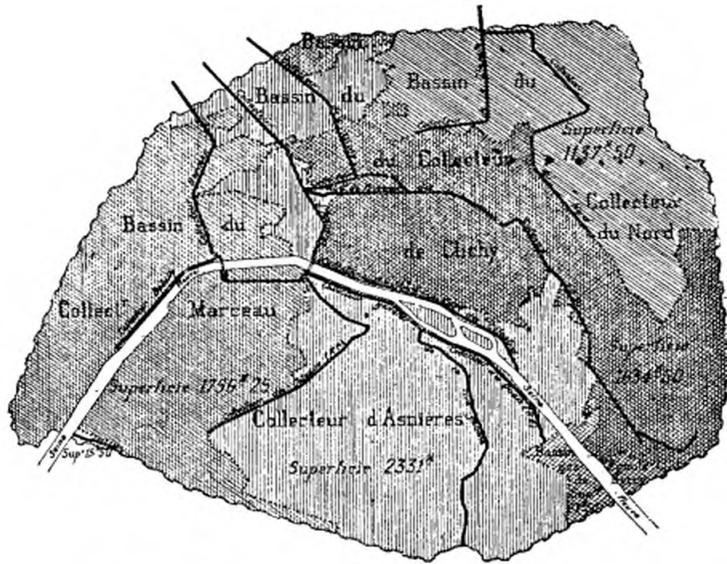
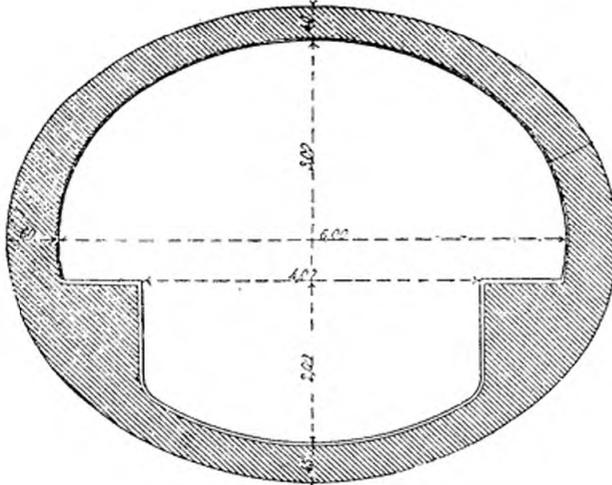
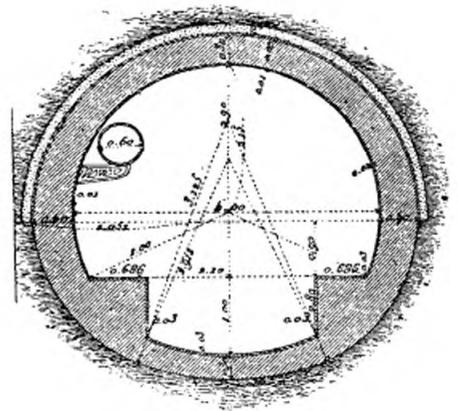


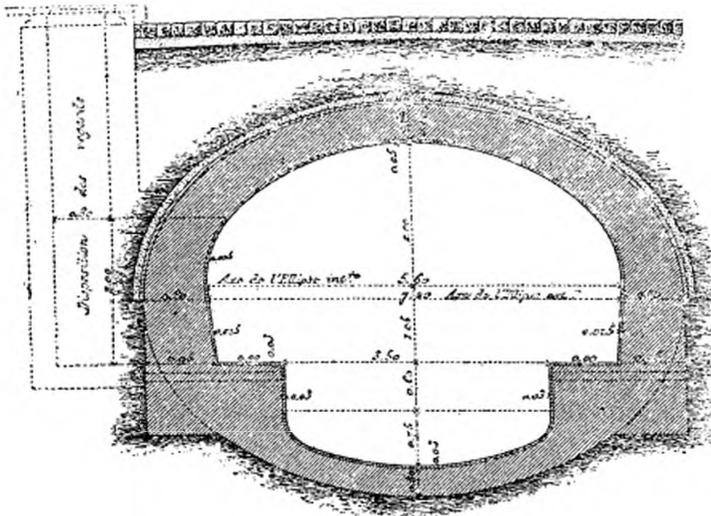
Fig. 118. — Division de Paris en 4 bassins principaux.



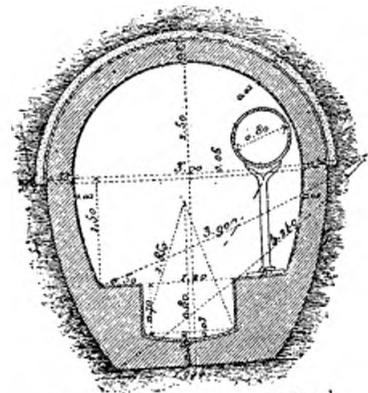
Coupe du collecteur de Clichy.



Coupe du collecteur Marceau.



Coupe du collecteur d'Asnières.



Coupe du collecteur du Nord.

Fig. 119. — Sections des 4 grands collecteurs parisiens.

ces trois derniers se réunissant à l'usine de Clichy qui envoie leurs eaux aux champs d'épuration d'Achères, tandis que le premier mène ses eaux par la gravité dans la presqu'île de Gennevilliers (fig. 118) ; les sections de ces quatre collecteurs (fig. 119) ; puis, comme nous ne pouvons donner les sections de tous les types d'égouts parisiens, celle du type n° 12 bis (comportant la cunette Durand-Claye), avec une bouche d'égout sous trottoir et son branchement (fig. 120).

Le tableau ci-dessous fait voir la situation en 1900 de cet immense réseau de 1 100 km, et la manière dont il est constitué.

Réseau des Egouts de Paris en 1900

Numéro du type	Hauteurs des pénétrants	Diamètre de la voûte	Hauteur sous clef	Section de l'égout	Longueurs		
					Intra-muros	Extra-muros	Totales
Collecteur de Clichy	Type A 0,50	6	5	22,04	1 690,03	1 858,34	3 548,37
	Type B 0,50	5	5	48,63	885,27	»	885,27
1	. . . . . 1,05	5,60	4,40	17,76	3 498,28	4 689,43	5 187,41
2	. . . . . 1,05	5,20	5,35	17,91	1 790,45	»	1 790,45
3	. . . . . 0,90	4	3,90	11,68	10 913,19	1 173,60	12 086,79
4	. . . . . 1,05	3,70	3,70	9,89	»	»	»
5	. . . . . 1,50	3	3,80	8,42	13 043,81	4 932,50	17 978,31
6 et 6 modifié.	. . . . . 1,50	2,50	3,45	7,04	23 148,21	»	23 148,21
6 bis	. . . . . 1,50	2,50	3,55	6,93	4 875,98	»	4 875,98
7	. . . . . 1,45	2,40	3,45	6,29	4 092,28	»	4 092,28
8	. . . . . 1,25	2,30	2,80	4,81	12 575,23	»	12 575,23
9	. . . . . 1,35	2	2,75	4,05	14 660,85	»	14 660,85
9 bis	. . . . . 1,85	1,80	3	4,22	528,20	»	528,20
Types spéciaux de collecteurs	à voie de 4 ^m ,20	»	»	»	4 137,49	»	4 137,49
					736,71	»	736,71
					3 443,99	»	3 443,99
					7 337,07	»	7 337,07
10	. . . . . 1,45	1,75	2,40	3	73 462,88	»	73 462,88
10 bis	. . . . . 1,495	1,75	2,40	3,43	5 474,78	»	5 474,78
10 ter	. . . . . 1,225	1,75	2,40	3,08	4 877,96	»	4 877,96
11	. . . . . 1,40	1,50	2,35	2,38	459,36	»	459,36
11 bis	. . . . . 1,375	1,50	2,35	2,66	4 903,21	»	4 903,21
12 et 12 ter	. . . . . 1,65	1,30	2,35	2,45	349 268,57	»	349 268,57
12 bis	. . . . . 1,35	1,40	2,30	2,46	154 473,97	»	154 473,97
13	. . . . . 1,415	1,30	2,40	1,96	77 574,73	»	77 574,73
13 bis, 13 ter et 14 nouveau	. . . . . 1,415	1,05	2	1,65	37 596,09	»	37 596,09
14	. . . . . 1,55	0,90	2	1,63	46 009,75	»	46 009,75
15	. . . . . 1,25	1	2	1,66	10 348,53	»	10 348,53
Non classés	. . . . . »	»	»	»	217 067,90	»	317 067,90
Totaux					1 082 876,77	9 653,57	1 092 530,34

Comme ouvrages accessoires, nous montrerons en courant : un déversoir de fond et un déversoir de superficie chacun avec la porte de flot destinée à empêcher le reflux de l'eau de la Seine pendant les crues (fig. 121).

Une chambre à sable (fig. 122), c'est-à-dire un approfondissement

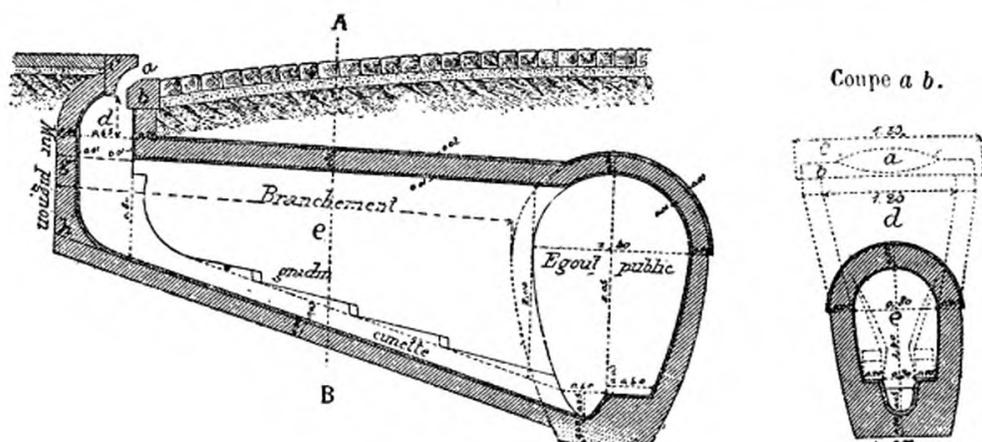
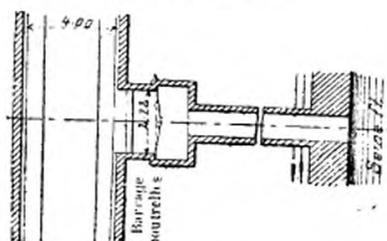
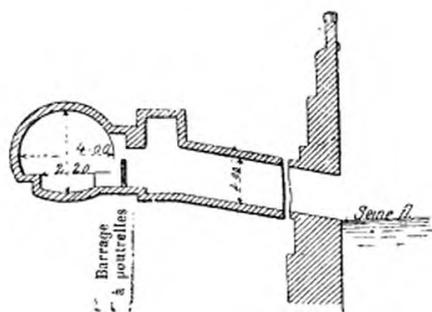


Fig. 120 — Égout de Paris, type 12 bis et bouche d'égout sous trottoir.

Déversoir de fond.

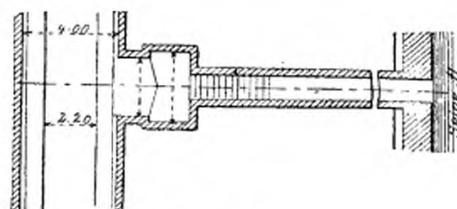


Plan.

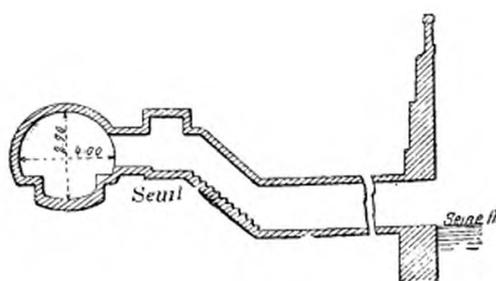


Profil en long.

Déversoir de superficie.

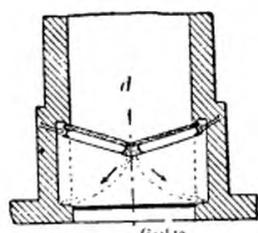


Plan.

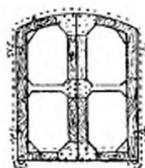


Profil en long.

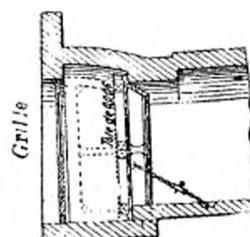
Porte de flot.



Plan.



Vue de face (côté intérieur.)



Coupe c d.

Fig. 121. — Déversoirs de fond et de superficie, avec porte de flot, à Paris.

de la cunette où l'eau laisse déposer les matières lourdes entraînées et d'où elle ne sort que par déversement superficiel ; ici il y a deux bassins contigus de manière que l'un étant rempli, l'autre est mis en service pendant la vidange du premier.

Puis nous signalerons les siphons de l'Alma et de la Concorde, qui servent à jeter toutes les eaux de la rive gauche de la Seine dans les

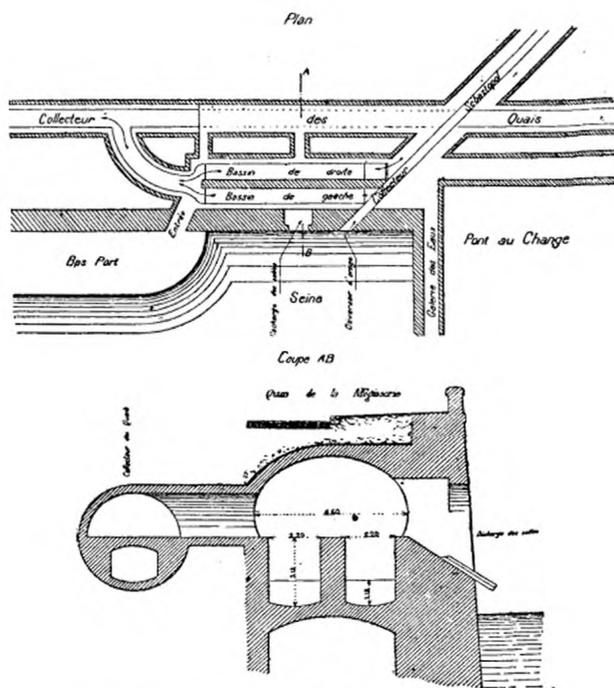


Fig. 122. — Chambre ou bassin à sable du Châtelet.

grands collecteurs de la rive droite, et ceux qui réunissent respectivement les îles Saint-Louis et de la Cité au collecteur des quais de rive droite et au collecteur bas de l'Université. Le siphon de l'Alma (fig. 123) date déjà de 1868 et a été construit par Belgrand ; il se compose de deux tuyaux de 1 m en tôle de 0^m,02 d'épaisseur, assemblés sur la berge et amenés flottants au-dessus d'une rigole creusée dans le lit pour les recevoir.

Le siphon de la Concorde (fig. 124) a été construit en 1896 par l'entrepreneur Berlier. « C'est un souterrain à section intérieure de 1^m,80

« jectons de ciment ont mis en contact direct avec le sol en assurant le remplissage du vide laissé tout autour par les tôles du bouclier. » (Notice du service des eaux pour l'Exposition).

Les deux siphons des îles construits en 1891 sont du type de celui de l'Alma, mais en tuyaux de 0^m,40 et 0^m,50 seulement. Il faudrait citer

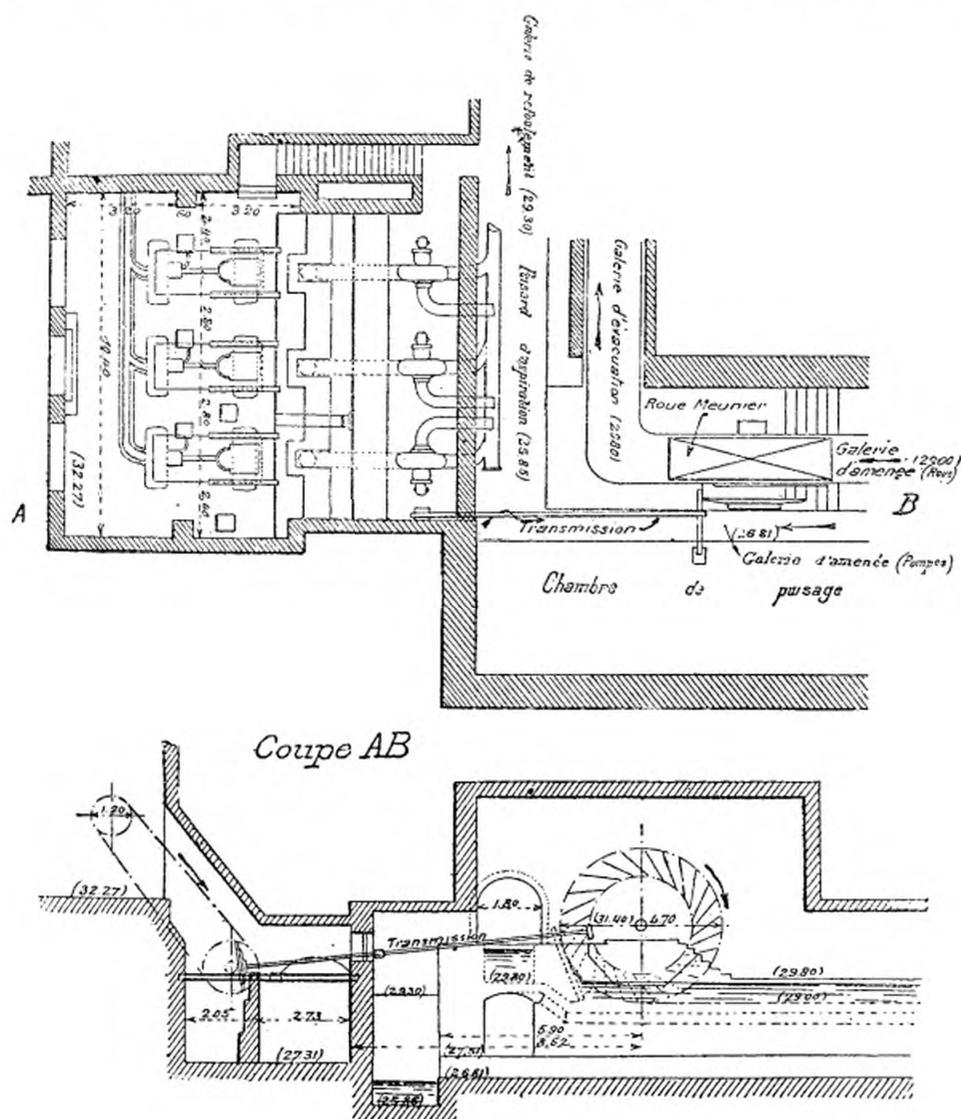


Fig. 125. — Plan d'ensemble et coupe partielle de l'Usine Mazas.

encore le siphon du pont Morland et le siphon sous le canal Saint-Martin à l'écluse de ce canal en Seine.

On a dû également établir trois petites usines élévatoires pour relever les eaux de trois régions basses, peu étendues. « Celle de la place Mazas (fig. 125) fait passer les eaux des quartiers bas des 11^e et 12^e ar-

« rondissements dans le siphon du pont Morland : érigée en 1887, elle
 « comprenait deux machines à vapeur mi-fixes actionnant deux pompes
 « centrifuges, mais on y a ajouté dans ces dernières années une roue

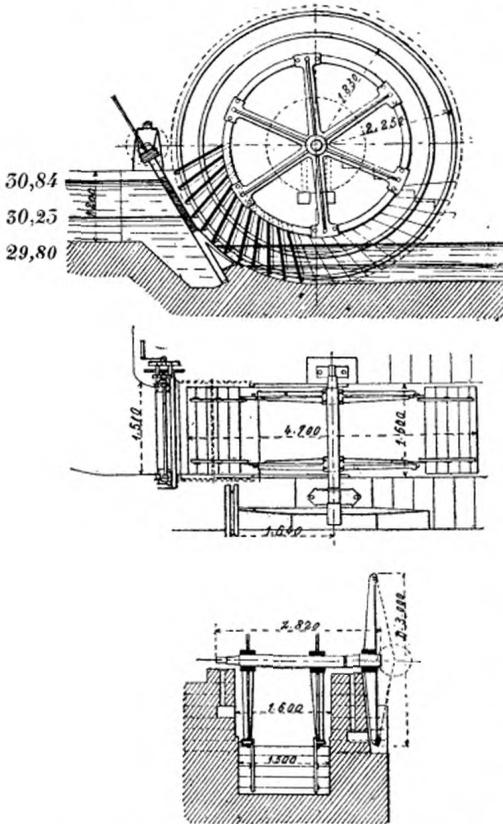


Fig 125 bis. — Elévation, plan et coupe transver-
 sale de roue élévatoire Meunier, à l'Usine Mazas.

« élévatoire. (Cette roue éléva-
 « toire construite en 1897 par
 « M. Meunier figurait à l'Expo-
 « sition de la ville de Paris et
 « nous croyons devoir en donner
 « une idée en en reproduisant
 « l'élévation, le plan et la
 « coupe dans la fig. 125 bis).
 « La seconde, dite du quai
 « des Orfèvres (fig. 126), a
 « été installée en même temps
 « que le siphon de la Cité pour
 « assurer l'écoulement des eaux
 « usées provenant des cours
 « basses du Palais de Justice :
 « on y trouve quatre pompes
 « centrifuges montées sur le
 « même arbre qu'une petite
 « turbine motrice alimentée en
 « eau de Seine. Enfin la der-
 « nière, édiée tout récemment
 « (fig. 127), relève à l'angle des
 « rues Lecourbe et de la Con-
 « vention les eaux du réseau
 « bas de Javel pour les jeter

« dans le collecteur Rapp : elle
 « présente l'originalité d'un dé-
 « doublement complet de son outillage, les machines à vapeur et
 « les générateurs étant installés à distance dans la rue Alain-Char-
 « tier, d'où elles commandent par une transmission à eau comprimée
 « sous 40 atmosphères deux séries de pompes élévatoires à simple effet,
 « disposées dans des chambres étroites en partie souterraines où il n'y
 « avait point de place pour les moteurs ». (Notice du service des eaux
 pour l'Exposition). Pour subvenir à de nouveaux besoins, on vient en-
 core d'établir à l'angle des rues de Vouillé et Lecourbe une deuxième
 petite usine, où ont été placées deux machines élévatoires d'un nouveau

type inventé par M. Samain et dont nous parlerons plus loin. Ces trois

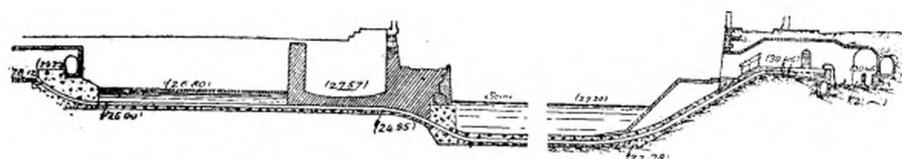
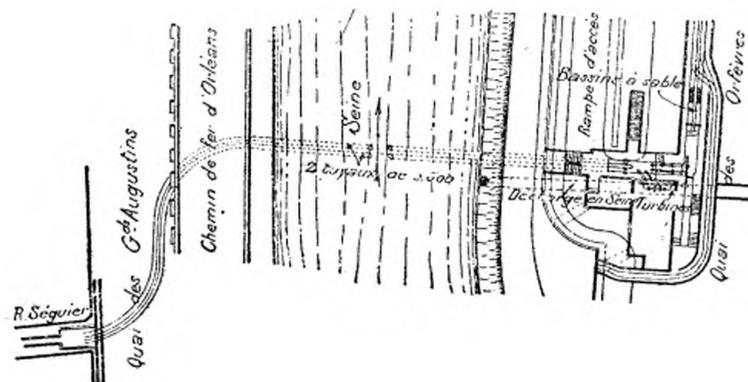


Fig. 126. — Siphon de la Cité et usine élévatrice du quai des Orfèvres.

Fig. 127. — Usine élévatrice des eaux d'égout du quartier de Javel.

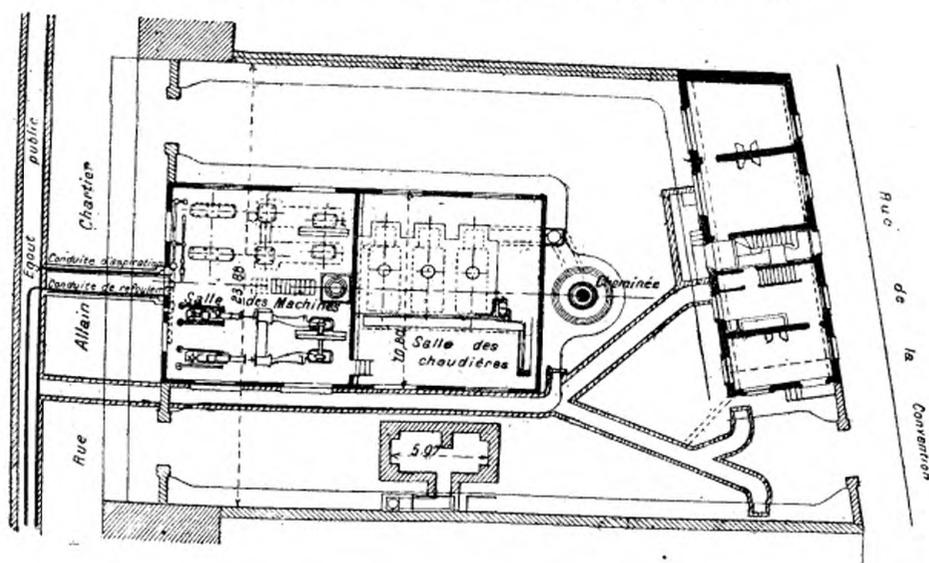
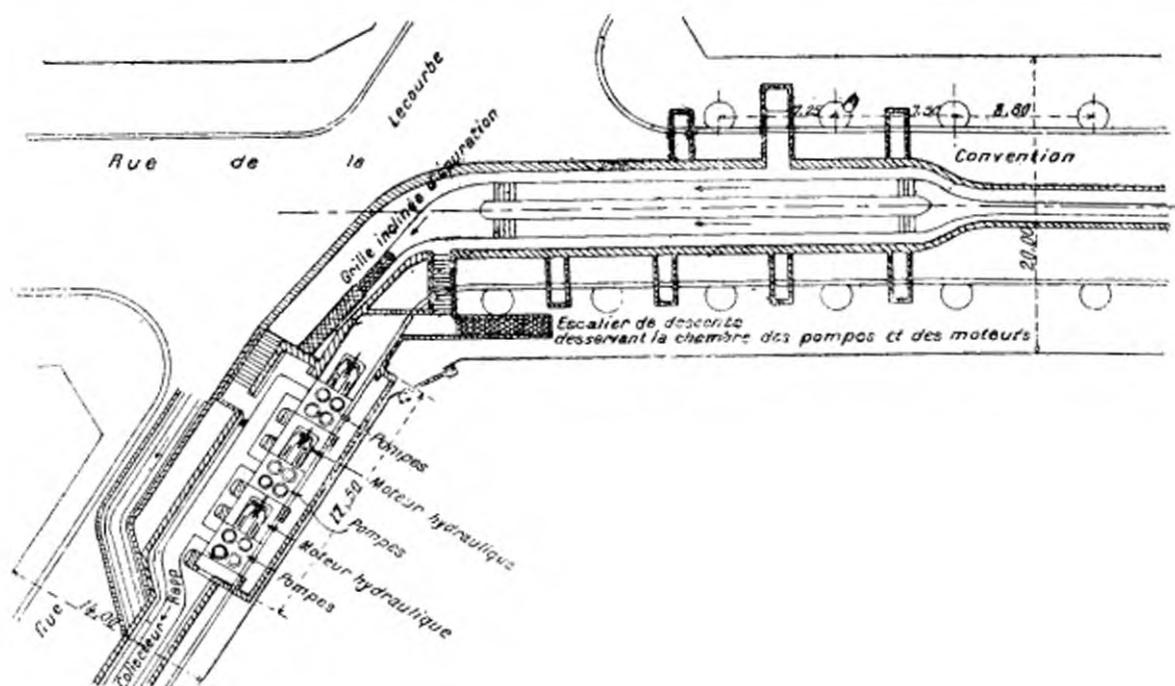


Fig. 127 (a). — Plan de l'usine génératrice, rue Alain-Chartier.

usines ont élevé pendant l'année 1899 les quantités d'eau suivantes :

	Cube élevé en 1899	Dépenses en 1899	Prix de revient du mètre cube d'eau élevé
Usine de la place Mazas . . .	15.730.223m ³	65.038 fr. 17	0 fr. 00413
Usine du quai des Orfèvres . .	2.262.000	31.943 fr.	0 fr. 139
Usines Alain-Chartier . . .	8.783.301	67.444 fr. 01	0 fr. 00768



Usine élévatrice des eaux d'égout du quartier de Javel.
 Fig. 127 (b). Plan de l'usine réceptrice et des bassins à sable à l'amont.
 (Angle des rues Lecourbe et de la Convention).

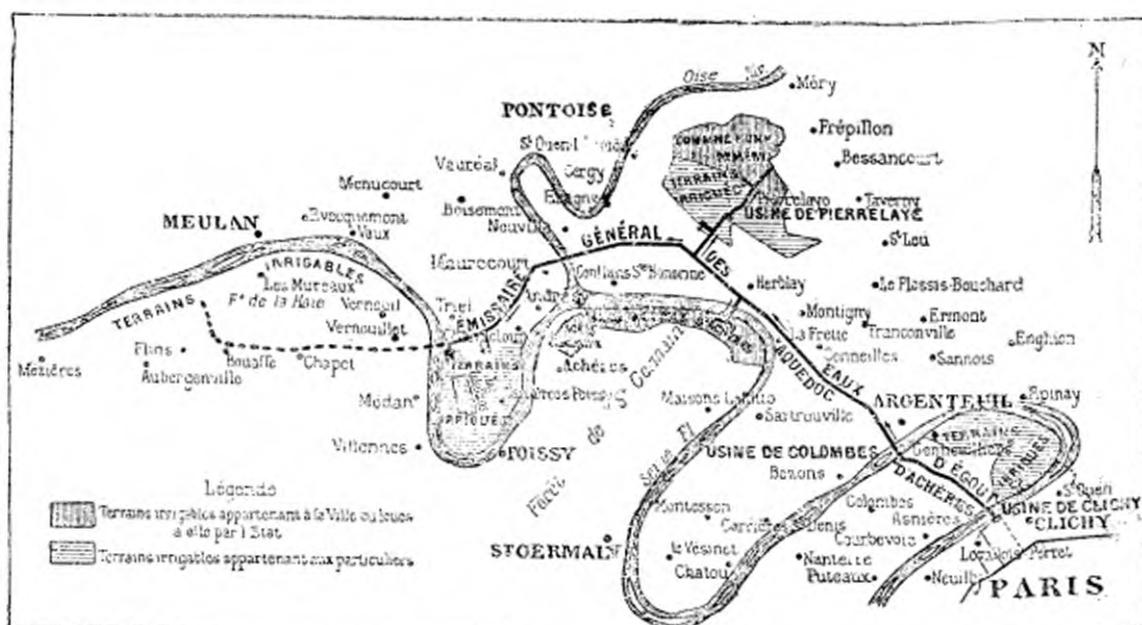


Fig. 128. — Plan de l'émissaire des eaux d'égout de Paris et des terrains irrigués.

Voici maintenant le tableau des quantités d'eau d'égout qui étaient débitées en 1898 (avant la mise en service du collecteur de Clichy).

Collecteurs secondaires	Points où ont été faits les jaugeages	Débits		
		par seconde	par jour	
		m ³	m ³	
Collecteur d'Asnières	Collecteur des quais, rive droite. (y compris le collecteur Sébastopol).	En amont du siphon de la Concorde	0,962	83.417
	Collecteur Rivoli.	Près la rue Royale.	0,440	12.096
	Collecteur des Petits-Champs.	Place de la Madeleine.	0,725	62.640
	Collecteur des Coteaux.	Rue de la Pépinière.	1,021	88.214
	Collecteur des Batignolles.	Angle rue de Tocqueville.	0,050	4.320
	Affluents directs.	» »	0,412	9.677
Débit total du collecteur d'Asnières avant la fourche.			3,010	260.064
Collecteur Marceau	Collecteur de Bièvre.	Près la rue du Bac.	0,965	83.376
	— Bosquet.	Près le quai d'Orsay.	0,434	41.578
	— Rapp.	» »	0,394	34.041
	— Debilly.	Près la place de l'Alma.	0,415	9.936
	— Montaigne.	» »	0,405	9.072
	— Péreire.	Place Péreire.	0,280	24.192
Affluents directs.	» »	0,047	4.061	
Débit total du collecteur Marceau avant la fourche.			2,040	176.256
Collecteur du Nord à la porte de la Chapelle.			0,970	83.808
Débit total des égouts de Paris.			6,020	520.128

En 1899, il aurait été écoulé en moyenne 580 000 m³ par jour, y compris environ 100 000 m³ d'eaux départementales reçues dans le réseau parisien.

Pour en finir de suite avec la question d'évacuation de ces énormes masses d'eau, nous parlerons rapidement de l'émissaire et des usines qui les envoient vers les terrains irrigués d'Achères. On sait que la création de ces installations grandioses est l'œuvre des cinq années allant de 1894 à 1899.

La fig. 128 montre le plan de l'émissaire général qui partant de l'usine de Clichy où se réunissent les collecteurs Marceau, d'Asnières et de Clichy, se dirige vers Argenteuil, Herblay, Maurecourt et Triel, en traversant deux fois la Seine et une fois l'Oise. La fig. 129 en montre le profil en long et les différentes sections. Le débit de l'émissaire a été calculé sur 9^m3,75 par seconde : sa longueur est de 28 km. et sur ce parcours il domine 8 000 hect. de terres irrigables. Des branches secondaires se détachent pour alimenter les divers champs d'irri-

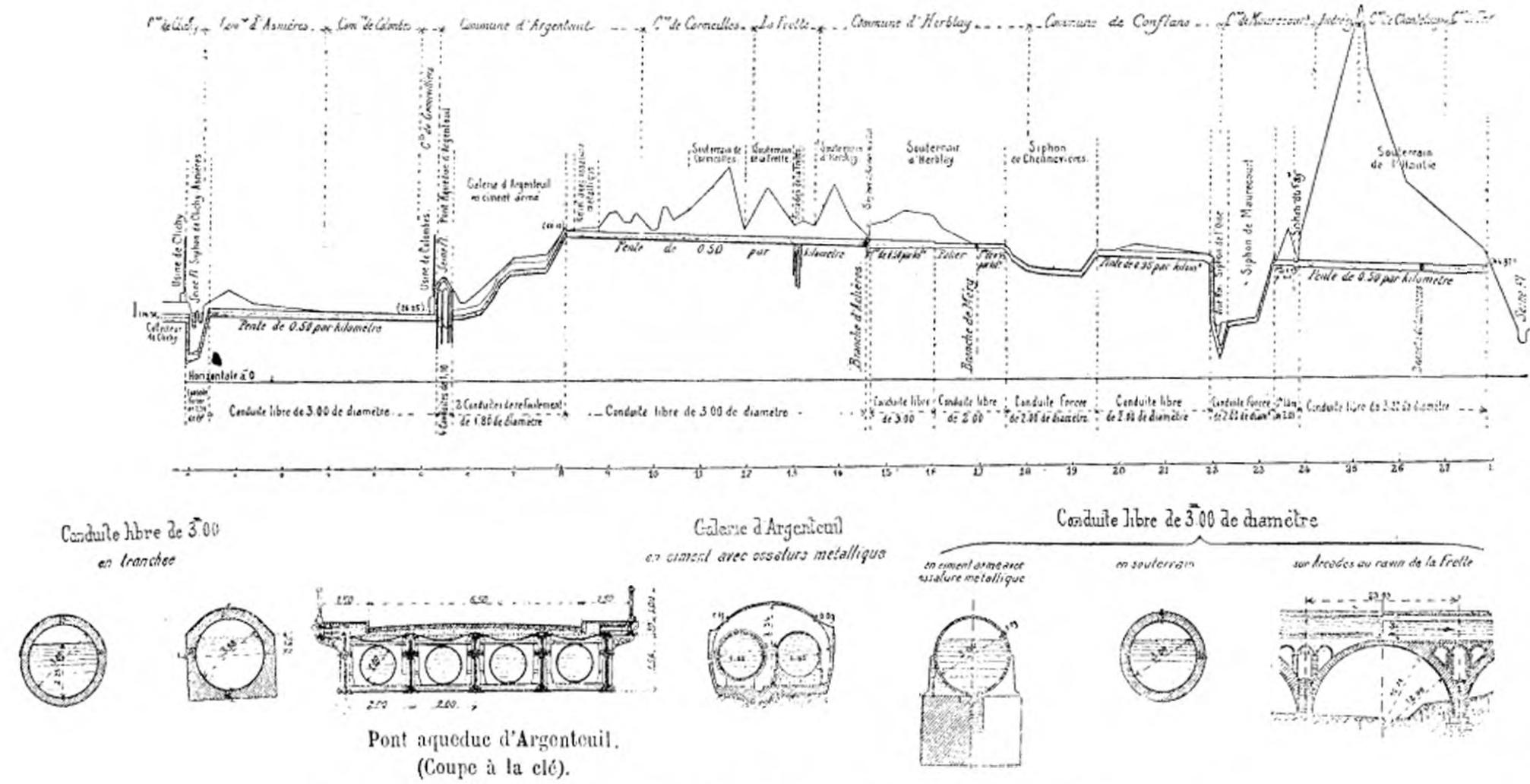


Fig. 429. — Profil en long de l'émissaire général des eaux d'égout de Paris. — Coupes principales.

gation : tout d'abord l'usine de Clichy envoie directement un certain volume d'eau à Gennevilliers (qui reçoit déjà comme on sait le collecteur du Nord) ; puis une branche composée de deux conduites forcées de 1 m de diamètre descend au Val d'Herblay, traverse la Seine en siphon et aboutit au parc agricole d'Achères. Plus loin se détache à droite la branche de Méry, conduite libre circulaire de 2 m de diamètre et de 0^m,60 de pente par kilomètre qui aboutit à l'usine de relais de Pierrelaye après avoir détaché elle-même la branche des Courlins ; enfin la presqu'île de Carrières où se trouve le domaine municipal des Grésillons, est alimentée par l'extrémité de l'émissaire (arrêté provisoirement à Triel) et par la branche de Carrières qui s'en détache sur la gauche du souterrain de l'Hautie et mesure 2 m de diamètre avec une pente de 0^m,15 par kilomètre.

Les ouvrages d'art sont nombreux et intéressent vivement les ingénieurs. Nous ne pouvons que les énumérer dans l'ordre où on les rencontre :

Siphon de Clichy, de 463 m de longueur avec 2^m,30 de diamètre intérieur ;

Siphon d'Argenteuil faisant suite à l'usine de Colombes ;

Pont-aqueduc d'Argenteuil, de 250 m de longueur pour la traversée de la Seine ;

Souterrain de Corneilles, de 1378 m de longueur ;

Souterrain de la Frette, de 1019 m de longueur ;

Arcades de la Frette : quatre arcades de 20 m d'ouverture chacune ;

Souterrain d'Herblay, de 2943 m de longueur ;

Siphon de Chennevières, en ciment armé de 2 m de diamètre sur environ 2 km. de longueur (système Chassin, voir page 249) ;

Siphons de l'Oise et de Maurecourt, se faisant suite l'un l'autre ; le premier avec 276 m de longueur, et le second avec 1022 m en tuyaux de fonte frettés en fil d'acier de la Société d'Auberives-Villerupt (voir page 253) ;

Siphon du Faÿ (très court) ;

Souterrain de l'Hautie, de 5200 m de longueur.

Disons encore que pour assurer une sécurité absolue, les conduites forcées sont enveloppées dans des galeries au voisinage des centres habités : les deux conduites de 1^m,80 à Argenteuil sont enfermées dans une galerie de 5^m,16 d'ouverture, et les deux conduites de 1 m au Val d'Herblay dans une conduite de 3^m,40.

L'abduction des eaux d'égout comporte trois usines élévatoires.

L'usine de Clichy (fig. 130) renferme quatre machines horizontales système Farcot de chacune 250 chevaux en eau montée, plus deux et bientôt quatre machines à triple expansion de la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, de chacune 130 chevaux en eau montée, chaque machine actionnant une pompe centrifuge. Chaque moteur Farcot est horizontal et actionne un arbre de pompe placé verticalement : la pompe peut débiter de 2000 à 2500 lit. par seconde en refoulant sur

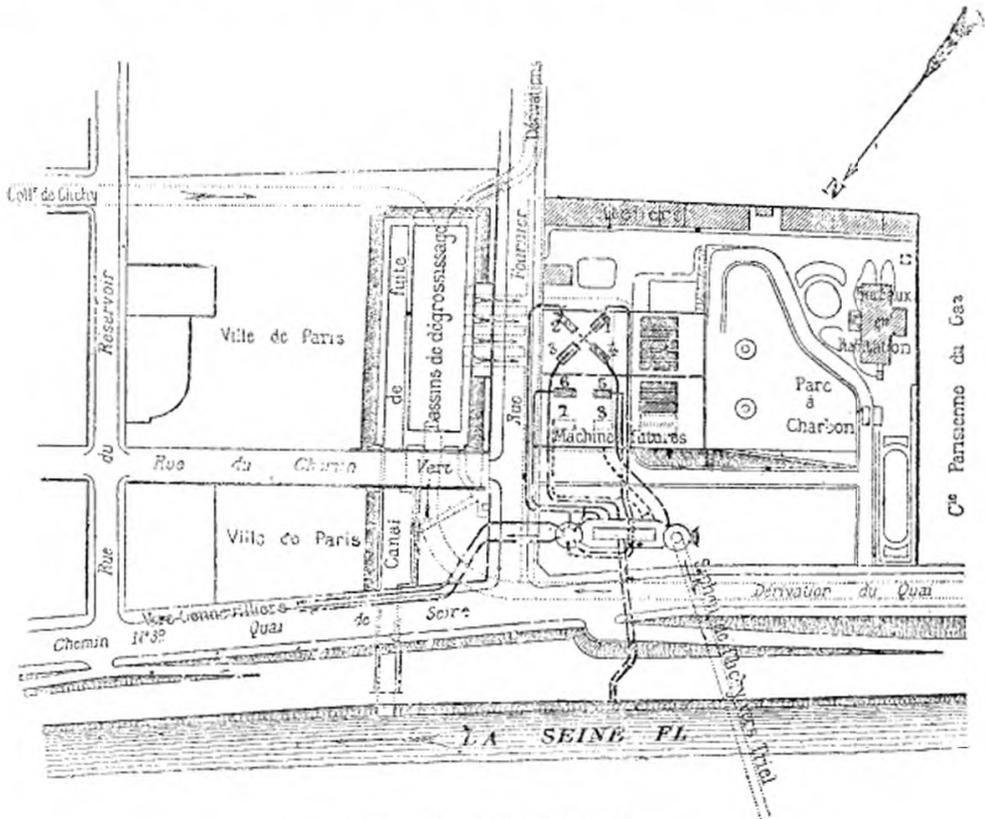


Fig. 130.— Usine de Clichy .

Colombes à 5 ou 6 m de hauteur. Les deux moteurs actuels des Forges et Chantiers refoulent sur Gennevilliers à raison de 780 lit. par seconde à 10^m,50 de hauteur : les deux nouveaux moteurs de cette Société refouleront sur Colombes. En 1899, l'usine de Clichy a envoyé :

1° Dans la plaine de Gennevilliers un volume de	21 370 471 m ³
2° Vers Colombes.	89 972 242
Total.	<u>111 342 713 m³</u>

L'usine de Colombes (fig. 131) comprendra deux corps de bâtiments dont un seulement est complet et en service. Il renferme douze groupes

élévatoires comportant chacun un moteur monocylindrique commandant directement une pompe double horizontale du type Girard, à pistons plongeurs et clapets multiples, et vingt générateurs de vapeur. L'usine peut refouler 6800 lit. par seconde à plus de 40 m de hauteur. Les quatre premiers groupes installés en 1893 sont de la maison Farcot, les huit autres sont de 1898 et de la Compagnie de Fives-Lille.

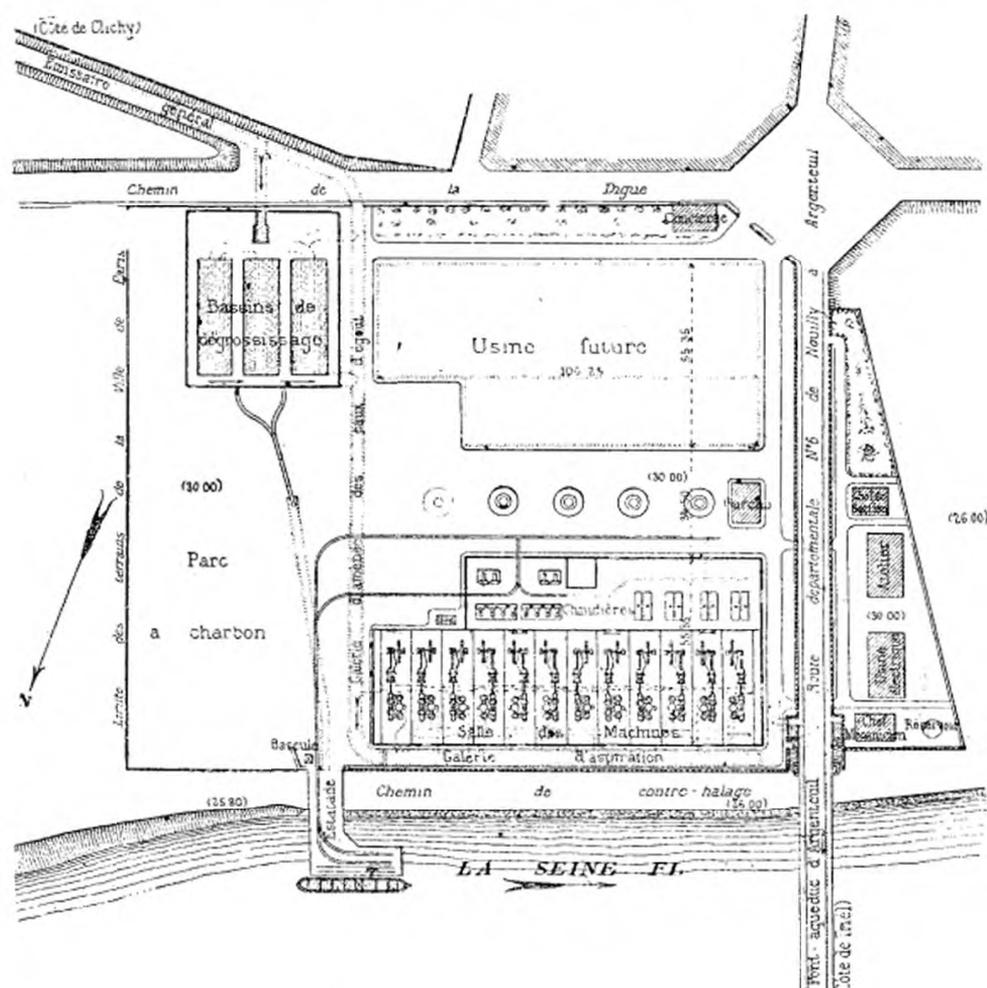


Fig. 131. — Usine de Colombes.

L'usine a élevé en 1899 pour le service de la plaine d'Achères-Méry-Triel un volume de 94 140 714 m³.

L'usine de Pierrelaye (fig. 132) relève une partie des eaux d'égout de la branche de Méry pour desservir environ 1200 hect. de terrains et parmi eux le domaine municipal de Méry. Il y a actuellement trois groupes de machines Corliss et groupes élévatoires à piston plongeur : une quatrième machine est en construction. L'usine peut élever

100000 m³ par jour à une hauteur de 25 à 35 m, et en 1899 elle a élevé effectivement 12057111 m³.

Faut-il ajouter qu'aux usines de Clichy et de Colombes, les eaux d'égout passent d'abord dans des bassins de dégrossissage, où sont arrêtés d'une part les corps flottants au moyen de grilles parcourues par des râtaux automatiques, et d'autre part les sables et vases qui se déposent dans des bassins et y sont puisés par des dragues à mâchoires supportées par des ponts-roulants, lesquelles déposent leur contenu dans des wagons ou des bateaux appropriés : le tout est mù électrique-

Plan général.

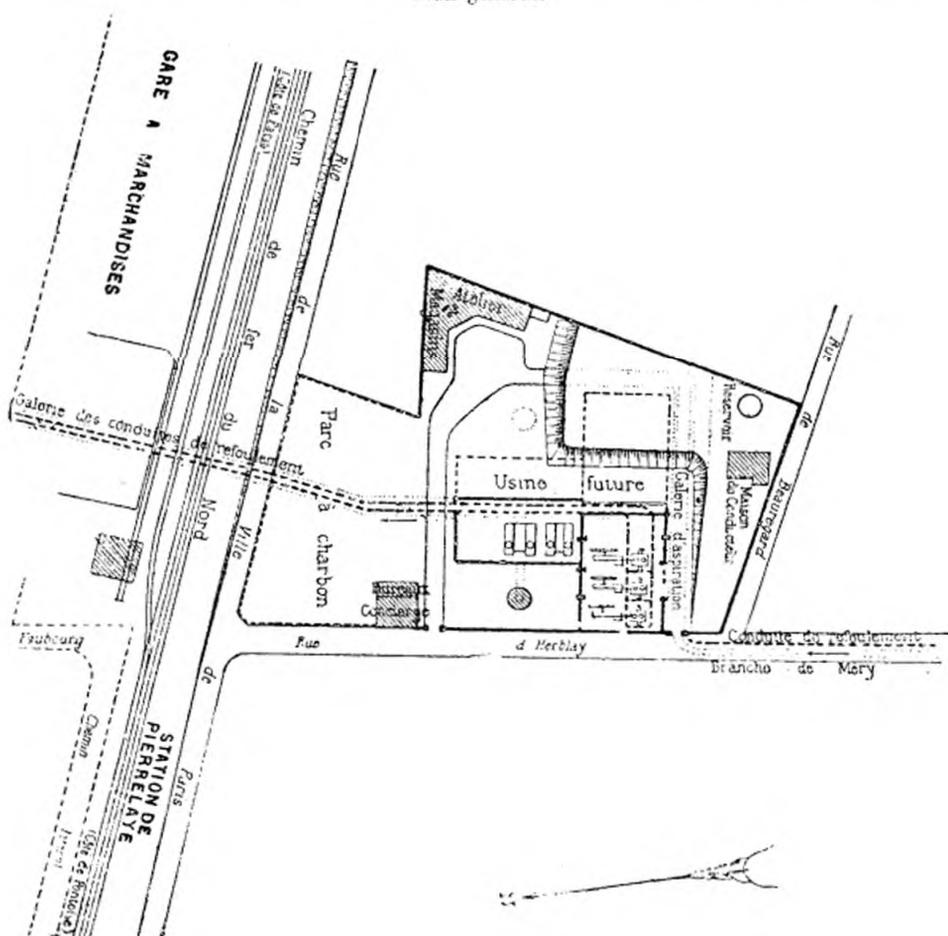


Fig. 132. — Usine élévatoire de Pierrelaye.

ment. A Clichy, en 1899, on a retiré ainsi 16174 m³ de fumiers et 8133 m³ (à partir du 18 juillet) de corps lourds ; à Colombes, on a retiré en tout 47763 m³ de fumier et de vase. Il faut noter que dans Paris la même année on a retiré des collecteurs et petites galeries 27995 m³ de sables.

Si nous nous reportons maintenant dans Paris, nous constaterons qu'on y trouve en 1900 les ouvrages accessoires suivants :

Regards	19 496
Bouches d'égouts	13 234
Branchements particuliers	48 498

le tout correspondant à une longueur de galeries de 417^{km},124.

Il y a environ 3500 réservoirs de chasse, la plupart des types Geneste-Herscher et Aimond.

Les regards et moyens d'accès ne présentent guère d'intérêt que par le mode de protection de leurs orifices. Les escaliers de descente sous trottoirs sont recouverts d'un tablier métallique en tôle et entourés d'un garde-fou en fer ; les couvertures des regards ordinaires sont également le plus souvent au niveau du trottoir (la communication avec l'égout se faisant par une galerie transversale) et les tampons sont en fonte bitumée : on protège l'orifice quand il est ouvert par un entourage mobile pliant que l'on place et déplace à volonté, et auprès duquel un gardien stationne en permanence. On a cherché à imaginer des appareils automatiques assurant la protection dès le soulèvement du tampon et permettant de supprimer le gardiennage : tels sont les appareils Leclabart, Arpe, Chanson, Petitpas, Le Châtelier, Caillette, Bailly, Choisy, Paquit, Geneste et Herscher, Boutillier, Huart, Van Heydem, Chaumeret, Chabagny, Rateau et quelques autres ; mais aucun n'a donné complète satisfaction, et on se sert encore exclusivement à Paris de l'entourage portatif.

Nous avons déjà montré par la fig. 120 une bouche d'égout et un branchement. Généralement les bouches sont libres et servent à l'aération des égouts. Toutefois en certains points, notamment aux environs des Halles centrales, on a établi des paniers (fig. 133) pour retenir les corps solides. Quant à l'obturation des bouches en vue d'éviter le passage de l'air de l'égout, on n'y est pas encore arrivé en raison des difficultés que présente l'installation d'un système de ventilation artificielle des égouts, et ce n'est que sur certains points

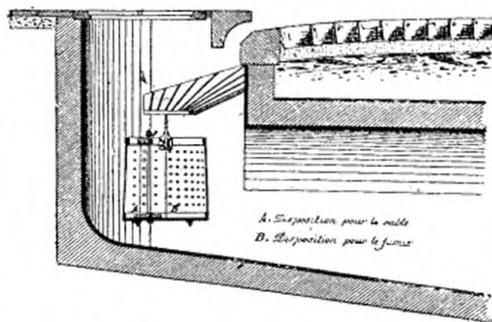


Fig. 133. — Bouche d'égout avec panier-filtre à Paris.

particuliers qu'on a obturé. C'est qu'aussi parmi les nombreux appareils proposés comme *bouches d'égouts inodores*, il en est peu de satisfaisants soit comme fonctionnement, soit comme simplicité : citons en courant le système Rogier-Mothes à valve ; le système Langlet également à cuvette et à valve (la valve reste souvent abaissée) ; le système Cabny et Lamol, qui constitue un véritable panier-filtre dans un siphon ; les systèmes Jeambon, Sénclar, Malessard et Campistron, tous trois avec grilles faciles dès lors à obstruer ; puis les systèmes à siphons, système Beck-Rouger et Delpéroux, système Kruger, système Bouillant

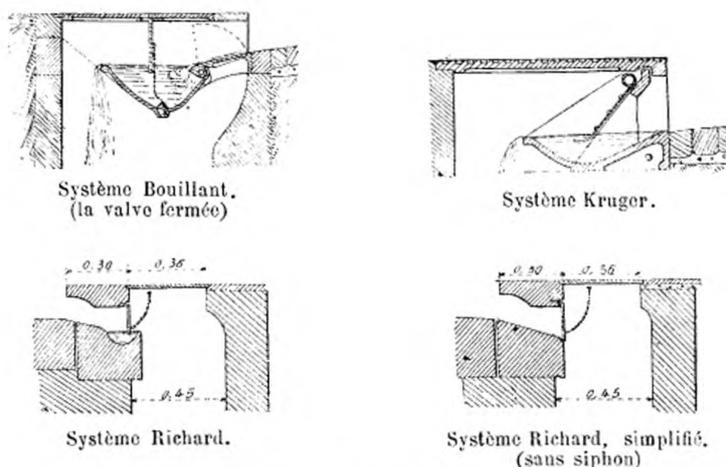
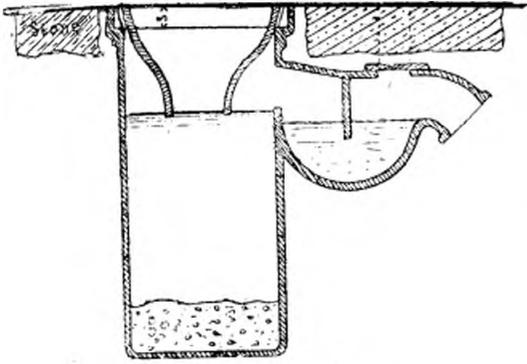


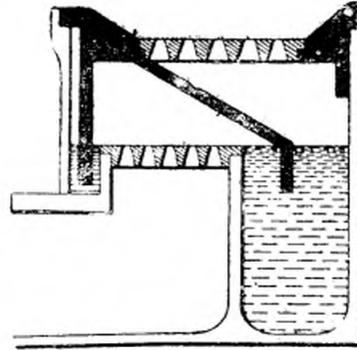
Fig. 134. — Bouches d'égouts inodores. (Systèmes français).

système Richard (fig. 134) ; si on supprime le siphon pour ne plus conserver que la languette mobile, on a le système Richard simplifié ; le système Bracon qui en est très voisin, etc.

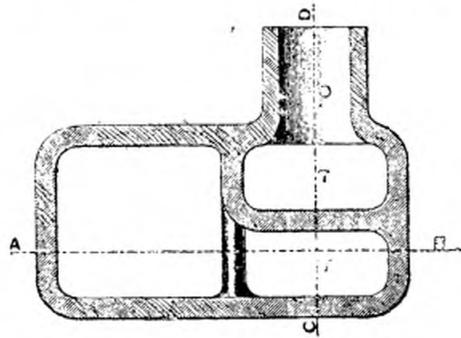
Pour en finir de suite avec cette question des bouches d'égouts, nous citerons ici à titre de comparaison les principaux systèmes de *Gully* admis en Angleterre et en Allemagne. Les types anglais sont les suivants : le système Mason, le système Lowe, le système Oates and Green qui sont de simples siphons avec grille supérieure et languette ; le système Newton avec entonnoir [fig. 135 (a)], le système Turner-Croker (b) ; les systèmes Cartwright, Hagen, Dean, à panier mobile ; le système Grosvenor (c) et le système Crosta (d), tous deux à double interception et départ latéral ; les deux systèmes Duckett (un seulement est représenté fig. 135, e), le système « Accomo », les systèmes Sykes (f), le système Stokes (g), se rapprochant plus ou moins du simple siphon.



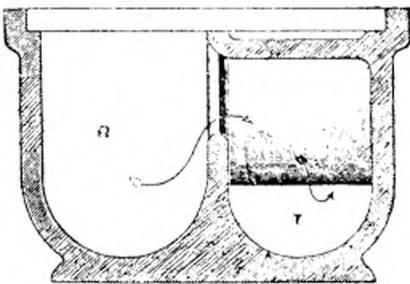
(a) Système Newton.



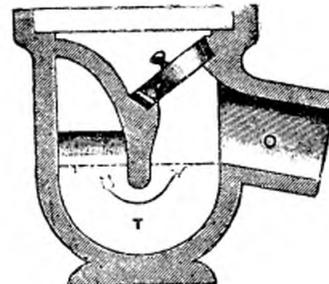
(b) Système Turner-Crocker.



Plan.

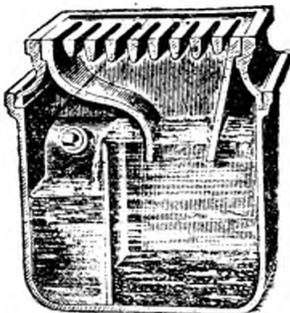


Section A B.

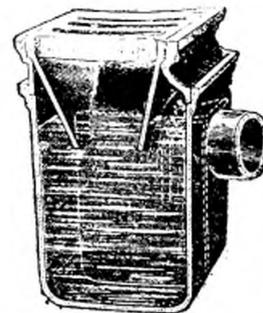


Section C D.

(c) Système Grosvenor. (Plan et Coupes).



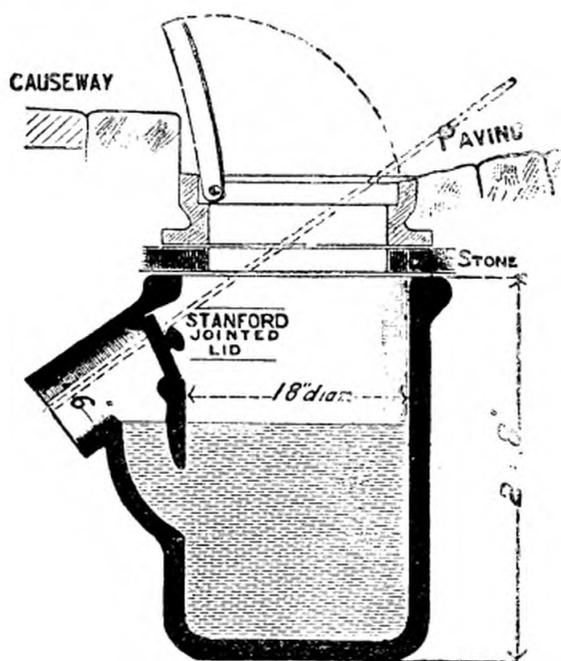
Coupe élévation avant.



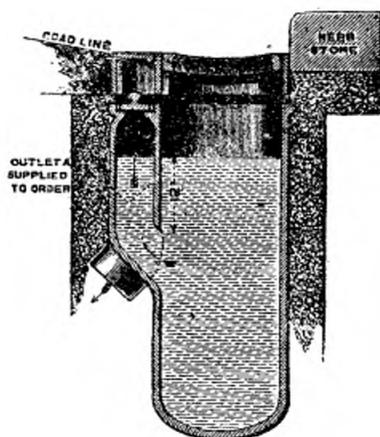
Coupe élévation derrière.

(d) Système Crosta.

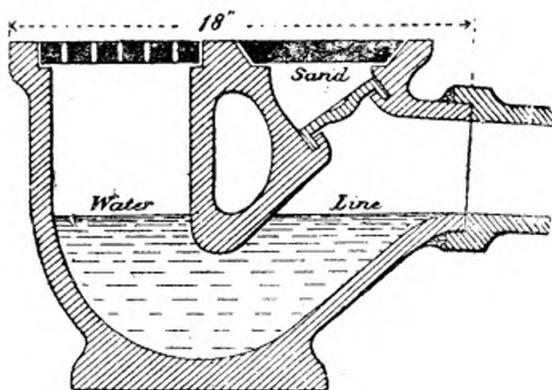
Fig. 135. — Bouches d'égouts inodores. (Systèmes anglais).



(e) Système Duckett.



(f) Système Sykes.



(g) Système Stokes.

Fig. 135 (bis). — Bouches d'égouts inodores. (Systèmes anglais).

Les types allemands sont représentés dans la fig. 136. On y voit les *Gullies* de Berlin, bien connues, celles de Munich, Karlsruhe, Wiesbaden, et un type en fer fréquemment usité dans les villes allemandes. On y voit aussi le siphon employé à Bruxelles.

Egouts de Marseille. — L'exécution du projet Cartier a été commencée en octobre 1891, en suite d'une loi du 24 juillet 1891, et terminée en 1898. Les travaux confiés à M. Genis ont coûté 33 500 000 francs :

ils ont été retardés par le changement de la municipalité dû aux élections de 1892, les nouveaux élus de l'époque ayant un programme anti-assainisseur et ayant cherché dès lors à s'opposer à l'exécution du projet. Dans une ville où la mortalité était de 31 ‰ et où les épidémies de choléra et de fièvre typhoïde se succédaient fréquemment, on comprend combien il était opportun de faire de l'obstruction! Plût au ciel que ce soit la dernière fois où des dissensions politiques cherchent à barrer la route à l'hygiène! S'il est un point où l'accord des adminis-

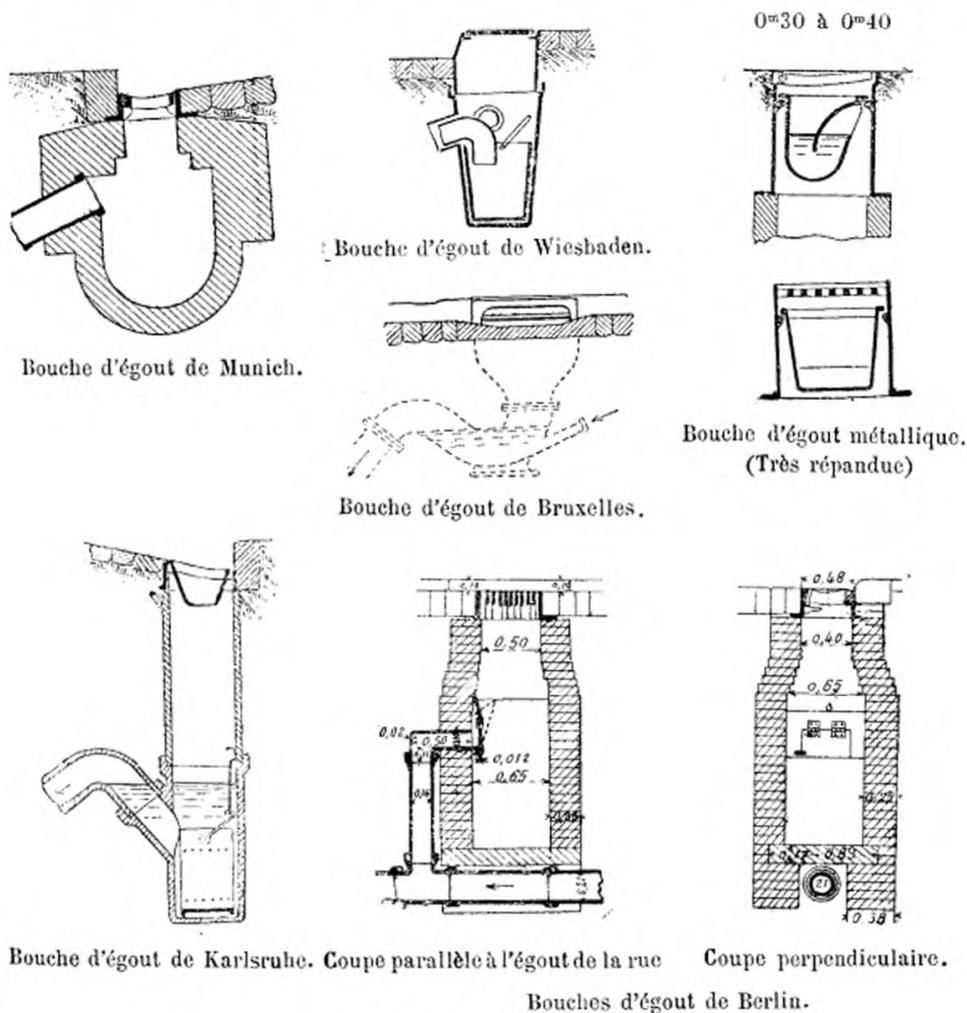


Fig. 436. — Bouches d'égouts inodores. (Systèmes allemands).

trateurs devrait toujours être unanime, n'est-ce pas quand il s'agit de sauvegarder la vie et la santé de leurs administrés?

La ville est divisée, comme nous l'avons déjà dit, en vingt bassins, dont les limites résultent des reliefs du sol. Chaque bassin a son réseau et son collecteur, et tous les collecteurs se réunissent dans un émis-

du phare de Planier. Des vingt bassins, cinq seulement ne peuvent se

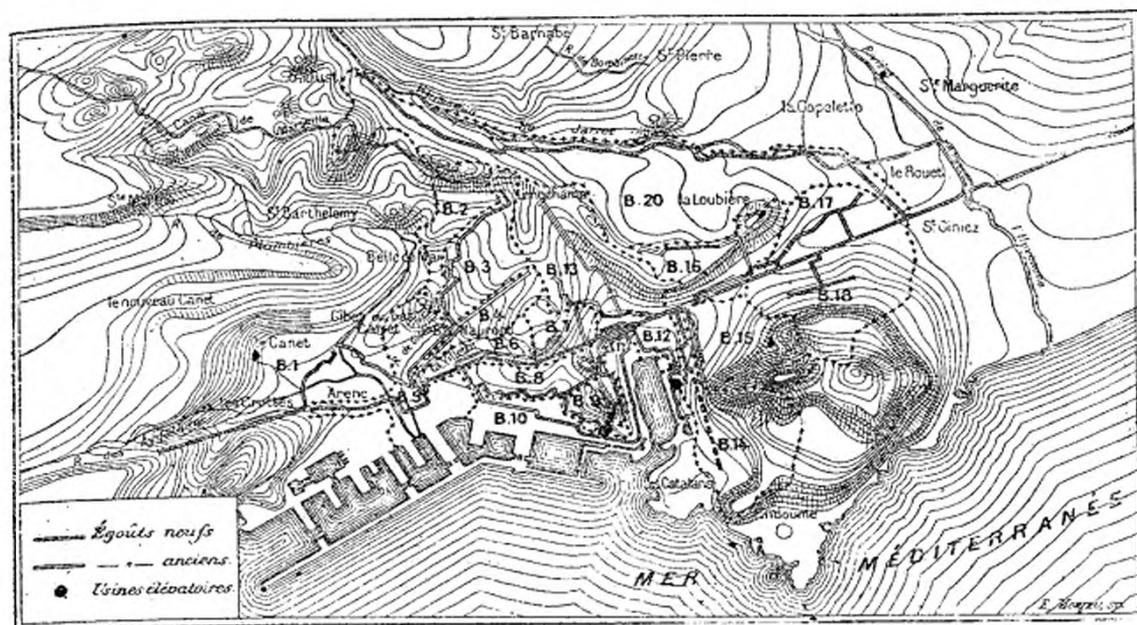


Fig. 139. — Assainissement de Marseille : division en bassins et tracé des collecteurs.

déverser dans l'émissaire : leurs eaux sont relevées par trois stations de machines élévatoires. Les fig. 137 et 138 montrent le plan général

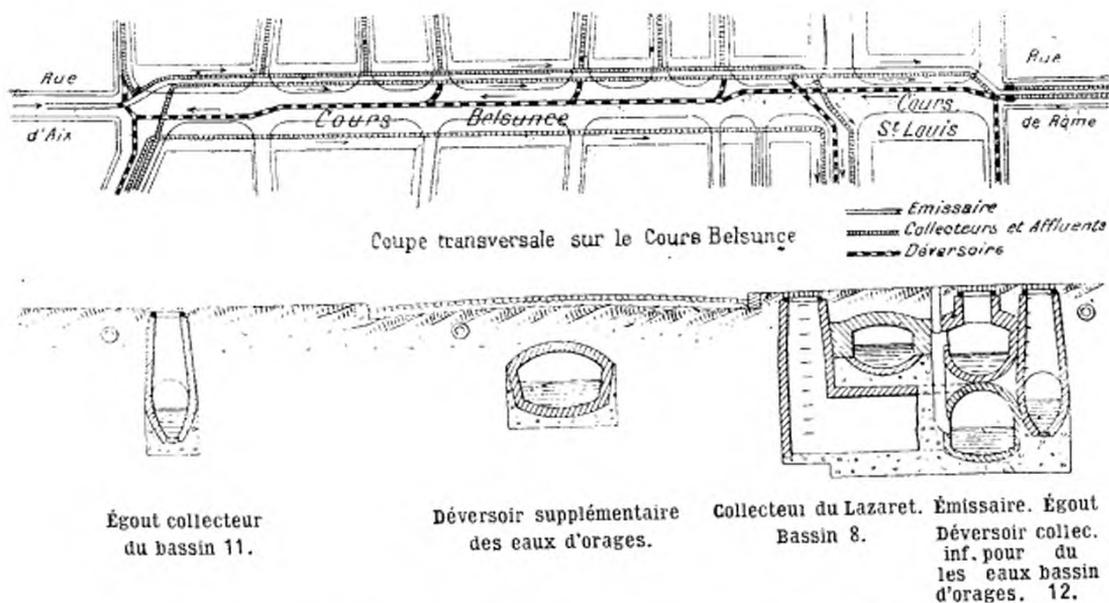


Fig. 140. — Assainissement de Marseille : Cours Belsunce et cours Saint-Louis.

et le profil en long de l'émissaire, qui a 11867^m,75 de longueur et une pente terminale de 0^m,30 par kilomètre, correspondant à une vitesse

de 1 m à la seconde. La fig. 139 montre la subdivision de la ville en bassins, les collecteurs secondaires et les usines élévatoires.

Le réseau comporte, en dehors de l'émissaire, 87 631 m d'égouts maçonnés à grande section et 98 743 m de canalisations en tuyaux, soit en tout 186 374 m, avec 993 réservoirs de chasse Geneste-Herscher et 2 175 regards de visite. Les sections ont été calculées de manière à répondre : 1° à l'écoulement des eaux consommées, calculées à raison de 120 lit. par tête et par jour (mais en les supposant écoulées en 12 heures) et d'une densité de population de 600 habitants par hectare ; 2° à l'écoulement des pluies jusqu'à concurrence de 5 mm par heure. Le surplus des eaux d'orage est envoyé à la mer par des déversoirs. On avait ainsi à écouler par hectare et par seconde 2 lit. d'eaux usées sans pluie, et 10 lit. en comptant une pluie de 5 mm : pour les canalisations secondaires, on se donnait un coefficient de majoration de 4, en sorte qu'elles peuvent écouler 40 lit. Les déversoirs d'orage permettent d'évacuer le produit d'une pluie de 30 mm à l'heure. La fig. 140 fait voir ces déversoirs dans les cours Belsunce et Saint-Louis, ainsi que la situation de l'émissaire et des collecteurs latéraux.

Projet d'assainissement de Lyon. — En 1898, notre collègue, M. E. Résal a présenté un beau projet d'assainissement de Lyon, suivant le Tout à l'égout unitaire, avec épandage des eaux d'égout sur deux surfaces de 2 100 et de 1 600 hect. à aménager dans les plaines de Chassieux et de Corbas.

Actuellement, la ville est partagée en trois bassins : le bassin de l'ouest comprenant tous les quartiers situés sur la rive droite de la Saône, avec un collecteur suivant les quais de la Saône et débouchant dans cette rivière un peu en aval du pont du chemin de fer ; le bassin du centre avec deux collecteurs principaux, l'un suivant le quai de rive gauche de la Saône et l'autre le quai de rive droite du Rhône, et tous deux se réunissant pour se jeter dans le Rhône en aval du viaduc du chemin de fer ; le bassin de l'est comprenant les quartiers de la rive gauche du Rhône, avec un collecteur qui longe la rue de Marseille, l'avenue des Ponts et débouche dans le Rhône un peu en aval du pont du Midi. La fig. 141 montre les collecteurs actuels (système de détournement latéral) et la fig. 142 fait voir leurs sections. Sur 240 km. de voies publiques il y en a 135 de canalisées, mais cela ne comprend que la ville proprement dite, laquelle est entourée d'une région assez étendue qui serait également à desservir : bref, il resterait 120 km. d'égouts à construire. Le

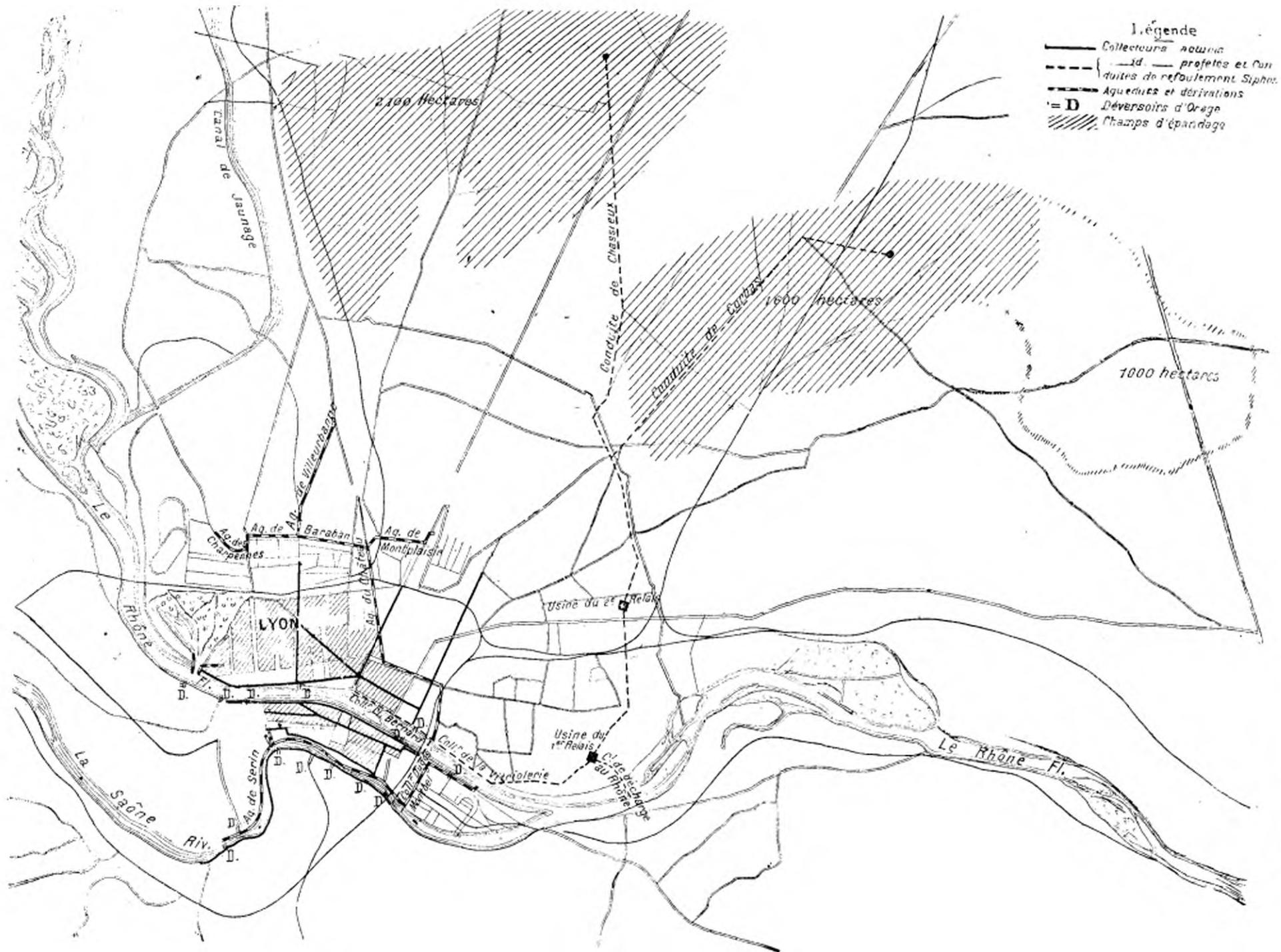


Fig. 141. — Assainissement général projeté de la ville de Lyon. (Collecteurs et champs d'épandage).

réseau actuel ne reçoit que relativement peu de matières de vidange (celles des immeubles de la concession de la Société de la rue Impériale et de la concession du quartier Grôle), et on voit qu'il conduit tout directement aux deux fleuves avant leur sortie de la ville. De plus

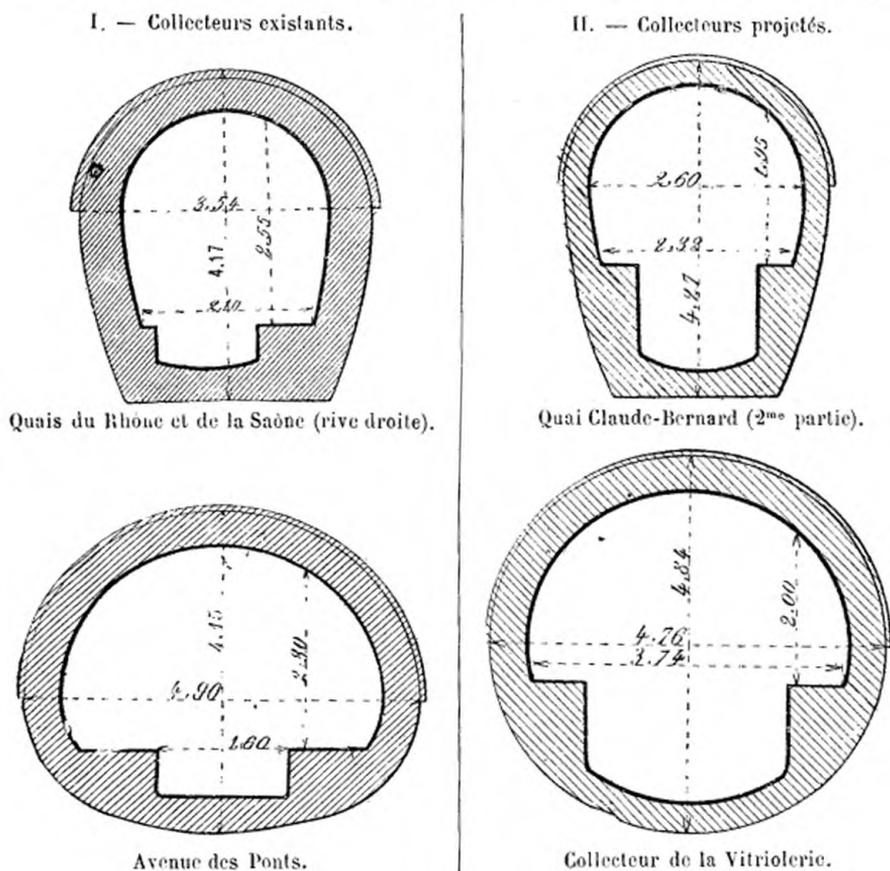


Fig. 142. — Les collecteurs de Lyon.

la plupart des égouts existants ne pourraient recevoir le Tout à l'égout: leur radier est trop plat, leur pente insuffisante, leur direction mauvaise, etc.

Le projet de M. Résal comprend d'abord le remaniement de 120 km. d'égouts existants pour les adapter à leur nouveau rôle, puis la construction de 120 km. d'égouts neufs signalés ci-dessus (35 km. en maçonnerie et à grande section et 85 km. en tuyaux). Il prévoit l'établissement de 1265 réservoirs de chasse et de 15 déversoirs pour les eaux d'orage, lesquels sont marqués de la lettre D sur le plan fig. 141. Les cuvettes d'une partie des collecteurs actuels seront aussi élargies. Les champs d'épuration se trouvant exclusivement sur la rive gauche

du Rhône, toutes les eaux-vannes doivent donc être réunies sur cette rive et il est nécessaire dès lors d'établir deux siphons : l'un sous la Saône pour le collecteur du quai Fulchiron, un autre sous le Rhône pour les eaux réunies du collecteur Dugas-Montbel et des deux collecteurs de la presqu'île. Au sortir de ce siphon, toutes les eaux d'égout réunies dans l'émissaire général ou collecteur de la Vitriolerie seront conduites à l'usine du premier relais : cette usine est prévue de manière à pouvoir refouler : 1° à 15 m de hauteur dans l'usine du deuxième relais le sewage ordinaire évalué à 2 m³ par seconde ; 2° dans le Rhône en temps de grande pluie un cube de 4 m³ par seconde. L'usine du deuxième relais, située à 2 400 m de la première, refoulerait les 2 m³ de sewage à 45 m de hauteur de manière à envoyer les eaux d'égout jusque dans les parties les plus élevées des champs d'épandage projetés à Chassieux et Corbas.

Mais le projet comporte un second réseau : sous le nom d'aqueducs et dérivations, M. Résal prévoit trois systèmes de canaux spéciaux destinés à amener directement au Rhône les eaux des établissements industriels (notamment usines de teintures et apprêts) : ces eaux qui représentent un volume journalier d'au moins 75 000 m³ (alors que le sewage ordinaire est de 100 000 m³) seraient inutilisables pour l'épandage agricole. On y joindrait les eaux des fontaines monumentales et le trop-plein du lac de la Tête-d'Or (lequel atteint parfois 50 000 m³ par jour). Le plan général indique les collecteurs de ce réseau *industriel* par un double trait : l'un qui a son origine à l'usine Gillet, suit les quais de la Saône (rive gauche), traverse la presqu'île et débouche dans le Rhône ; le second reçoit les eaux de deux usines et du lac de la Tête-d'Or et se jette de suite dans le fleuve ; le troisième, très développé, vient de Villeurbanne et réunit trois branches importantes pour aller se déverser près du siphon de la Vitriolerie. En réalité, et bien qu'il s'en défende, M. Résal fait donc de la *séparation* : son réseau industriel n'aurait-il pu recevoir les eaux pluviales d'une partie de la ville, dans laquelle on n'aurait plus mis que des tuyaux pour les eaux-vannes et ménagères ? Les égouts actuels à remanier n'auraient-ils pu également être incorporés au réseau industriel devenant ainsi un réseau pluvial ? Bref, c'est là encore un de ces cas intermédiaires entre les systèmes séparatif et unitaire, où il conviendrait à notre avis de ne recevoir dans le réseau qui va aux champs d'épuration avec les eaux usées que le produit des *pluies ordinaires*.

Les champs d'épuration prévus ont un sous-sol convenable pour

l'épandage : la dose de 40 000 m³ par hectare et par an admise pour Paris a servi de base au calcul des surfaces. M. Résal admet que la Ville pourra provisoirement déverser son sewage au Rhône toutes les fois que le fleuve sera à 1^m,50 au-dessus de l'étiage, soit 200 jours par an en moyenne, en sorte que l'épandage ne se fera au début que pendant 165 jours à raison de 120 000 m³ par jour, et qu'il n'exigera que 590 hect. : c'est par l'achat de ce noyau par la ville qu'il propose de commencer.

Les dépenses de premier établissement sont prévues comme suit :

	Remaniement des anciens égouts et collecteurs	1 100 000 fr.
	Egouts neufs et dépendances	4 304 500
1 ^o Réseau	Collecteurs neufs et usine du premier relais	3 022 500
	Aqueducs et dérivations du réseau industriel	1 194 800
2 ^o Epurat.	Usines du deuxième relais et refoulement	3 212 500
	Champs d'épuration : acquisition et aménagement	2 560 000
	Total	15 394 300
	Somme à valoir, frais généraux, etc.	1 605 700
	Ensemble	17 000 000 fr.

Le budget annuel de l'exploitation est prévu à 1220 000 francs, somme qui serait couverte par les taxes immobilières et industrielles, la subvention de la commune de Villeurbanne et l'affermage du domaine municipal. Il ne nous reste qu'à souhaiter de voir bientôt la ville de Lyon arriver à la période d'exécution.

Egouts de Berlin. — Nous serons bref pour Berlin, car son réseau d'égouts (système radial) est classique et connu de tous les hygiénistes, et il en est de même pour ses champs d'épandage. La fig. 143 montre l'un et les autres. La fig. 144, empruntée à M. Launay (Note sur l'assainissement de Berlin, in *Annales des Ponts et Chaussées*, 1895) donne le profil normal d'une rue, avec d'un côté l'égout en tuyaux qui règne généralement sous les deux trottoirs et de l'autre un égout ovoïde sous la chaussée. La fig. 145, empruntée au même auteur, reproduit le plan d'une usine élévatoire d'un des 12 systèmes radiaux (1en^o V). Nous avons déjà fait voir le type des bouches d'égouts usitées (gullies) fig. 136.

Outre l'article de M. Launay, les lecteurs français liront également avec intérêt la partie relative à Berlin de l'ouvrage déjà cité de MM. Badois et Bieber « L'Assainissement comparé de Paris et des grandes Villes de l'Europe ». Quant aux documents allemands ils sont trop nombreux pour que nous puissions les citer.

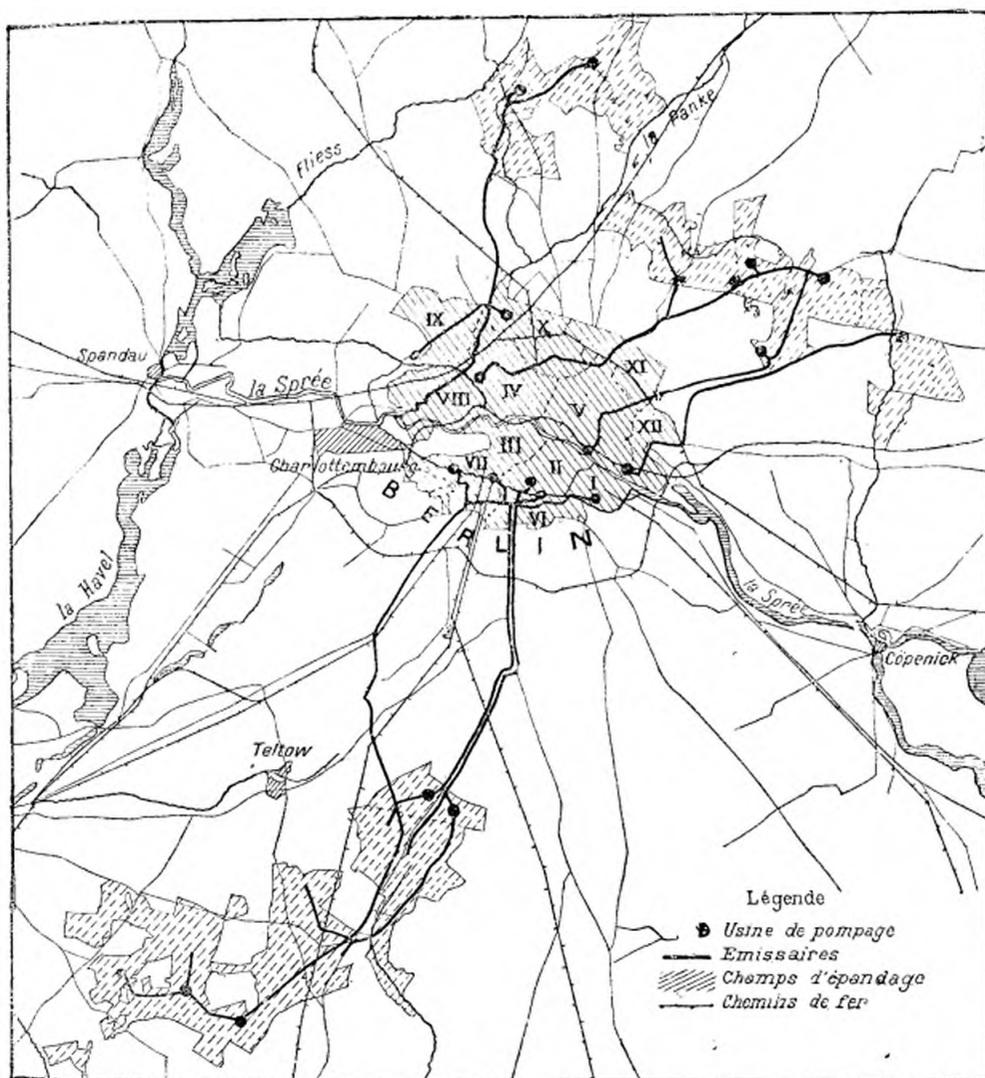


Fig. 143. — Plan de la canalisation et des champs d'épandage de Berlin.
(Les XII systèmes radiaux et les Rieselfelder).

Nous nous bornerons à donner les résultats du dernier exercice connu 1899-1900 (d'après le dernier rapport du Magistrat de Berlin). (Tabl. et II).

On comptait au 31 mars 1900, un total de 26 494 immeubles reliés à la canalisation (dont 1123 dans les communes suburbaines). Les pompes envoient aux champs d'épandage en moyenne 120 lit. par tête et par jour, alors que la distribution d'eau n'en fournit que 79^l7 (ce qui tient aux apports des pluies et surtout des eaux de puits et de rivière utilisées par les particuliers ou les industriels). Des bassins à sable situés à l'arrivée

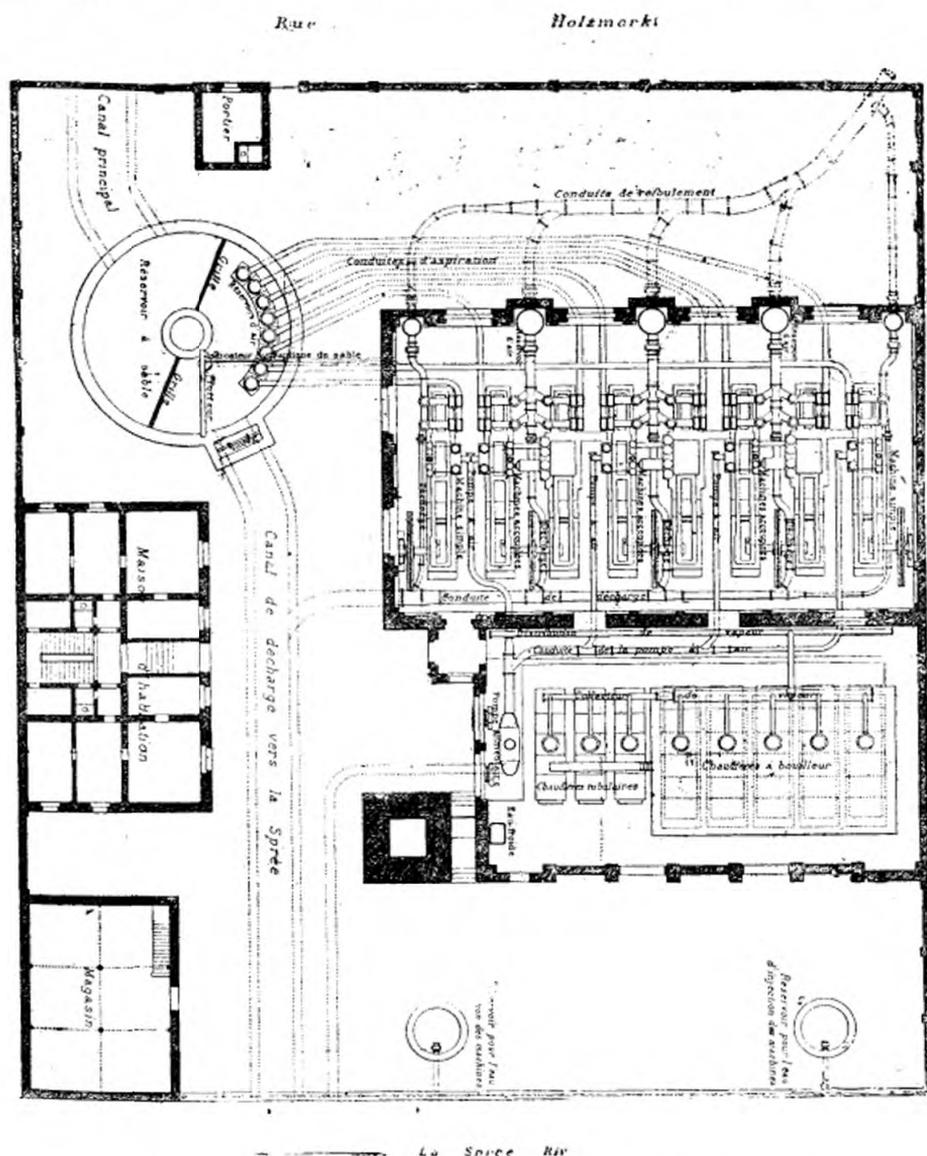


Fig. 145. — Assainissement de Berlin.

Plan de l'usine élévatrice du radial-système V (d'après M. Launay).

aux stations de pompage (ces bassins sont des puisards circulaires de 12 m de diamètre, divisés diamétralement par une grille verticale),

Tableau I. — Le réseau des égouts de Berlin, le 31 mars 1900.

Systèmes radiaux	Longueur des égouts		Surfaces drainées en hectares	Nombre d'immeubles desservis	Nombre d'habitants desservis	Volumes d'eau évacués dans l'année	Puissance maxima des pompes		
	en maçonnerie	en tuyaux de poterie					en chevaux-vapeur	en litres élevés par seconde	
	m.	m.				m ³			
I	40.732	44.273	273	4.895	480.831	844.400	420	500	
II	45.700	56.807	349	2.936	456.903	9.032.303	660	750	
III	42.722	89.229	390	3.134	88.531	9.023.373	450	563	
IV	29.271	424.703	862	5.310	347.549	14.496.653	880	4.000	
V	25.389	405.841	808	4.237	330.404	396.449	750	1.000	
VI	42.013	55.775	369	1.828	447.933	6.057.462	500	625	
Territoire de Berlin		44.990	30.070	308	4.483				
Territoire de Charlottenbourg		2.647	48.484	74	554				
Territoire de Schönberg		4.233	7.508	33	259				
Ensemble		45.860	55.762	445	2.293	437.580	5.760.280	375	470
Territoire de Berlin		18.229	65.384	560	4.898				
Territoire de Charlottenbourg		947	4.063	92+54	49				
Ensemble		49.476	66.647	706	1.917	468.696	6.549.336	850	840
IX	8.763	28.304	518	466	34.484	4.430.803	350	300	
X	9.484	41.613	461	4.494	430.222	3.578.088	247	286	
XI	371	39	"	"	"	"	"	"	
Territoire de Berlin		9.973	28.129	290	555				
Territoire de Litchenberg		631	7.342	54	283				
Ensemble		40.594	35.474	344	838	64.526	2.847.045	422	507
Totaux		469.777	704.571	5.495	26.344	1.787.356	78.042.870	5.904	6.835
ensemble		874.348					soit 213.734 par jour		

Tableau II. — Dépenses de 1^{er} établissement et d'exploitation du réseau de Berlin au 31 mars 1900 (en marks)

Systèmes radiaux	Dépenses de premier établissement				Dépenses annuelles d'exploitation			
	de la canalisation	des stations de pompage	des conduites de refoulement	Total	pour la canalisation	pour les stations de pompage	en tout par tête	en tout par 100 m ³ évacués
I	3.404.316	603.559	4.447.247	4.822.293	28.814	57.952	0,48	4,49
II	4.029.862	919.261	874.493	5.823.617	42.576	84.420	0,81	4,40
III	4.507.406	4.248.842	4.214.275	6.970.523	47.006	426.514	4,96	4,92
IV	7.104.590	933.297	2.007.433	10.045.020	50.458	141.747	0,55	4,32
V	7.089.445	835.551	4.053.737	8.978.703	49.745	413.855	0,48	4,48
VI	3.501.539	649.245	4.326.859	5.447.644	28.409	37.049	0,58	4,47
VII	3.068.429	594.430	4.169.498	4.828.787	24.449	37.437	0,59	4,42
VIII	4.852.822	677.403	977.409	6.507.634	31.537	62.266	0,56	4,43
IX	2.940.803	596.679	586.862	4.124.345	43.382	36.257	1,44	3,47
X	3.084.799	544.529	316.093	3.909.421	20.208	36.360	0,43	4,58
XI	403.277	452.760	"	256.037	"	"	"	"
XII	679.754	634.349	4.247.456	561.729	47.434	35.396	0,82	4,86
Totaux et moyennes	47.064.212	8.323.778	44.890.733	67.275.725	347.385	808.953	0,65	4,48
					ensemble 4.456.338			

ainsi que des égouts eux-mêmes, on a retiré $14\,513\text{m}^3$ de sables et résidus solides ; soit une proportion de $8^1\,12$ par tête et un rapport de 1 à 5375 des matières solides aux matières liquides.

Sur cinquante-trois industriels qui avaient demandé à jeter dans la canalisation des eaux de réfrigération et de condensation, quarante-trois en obtinrent l'autorisation, mais les dix autres qui ensemble auraient amené près $7\,000\text{m}^3$ par jour, ont dû chercher un écoulement superficiel. Enfin il y avait à la fin de l'année 1220 bassins de chasse, 17272 gullies et 13159 regards (Revisionsbrunnen). Quant aux déversoirs, les principaux partent de chaque station de pompage pour aller au cours d'eau le plus voisin, mais il y en a aussi un assez grand nombre d'autres : ils fonctionneraient une vingtaine de fois par an (nous avons vu précédemment comment Hobrecht avait calculé les dimensions de la canalisation et quelle dilution on avait lors du déversement).

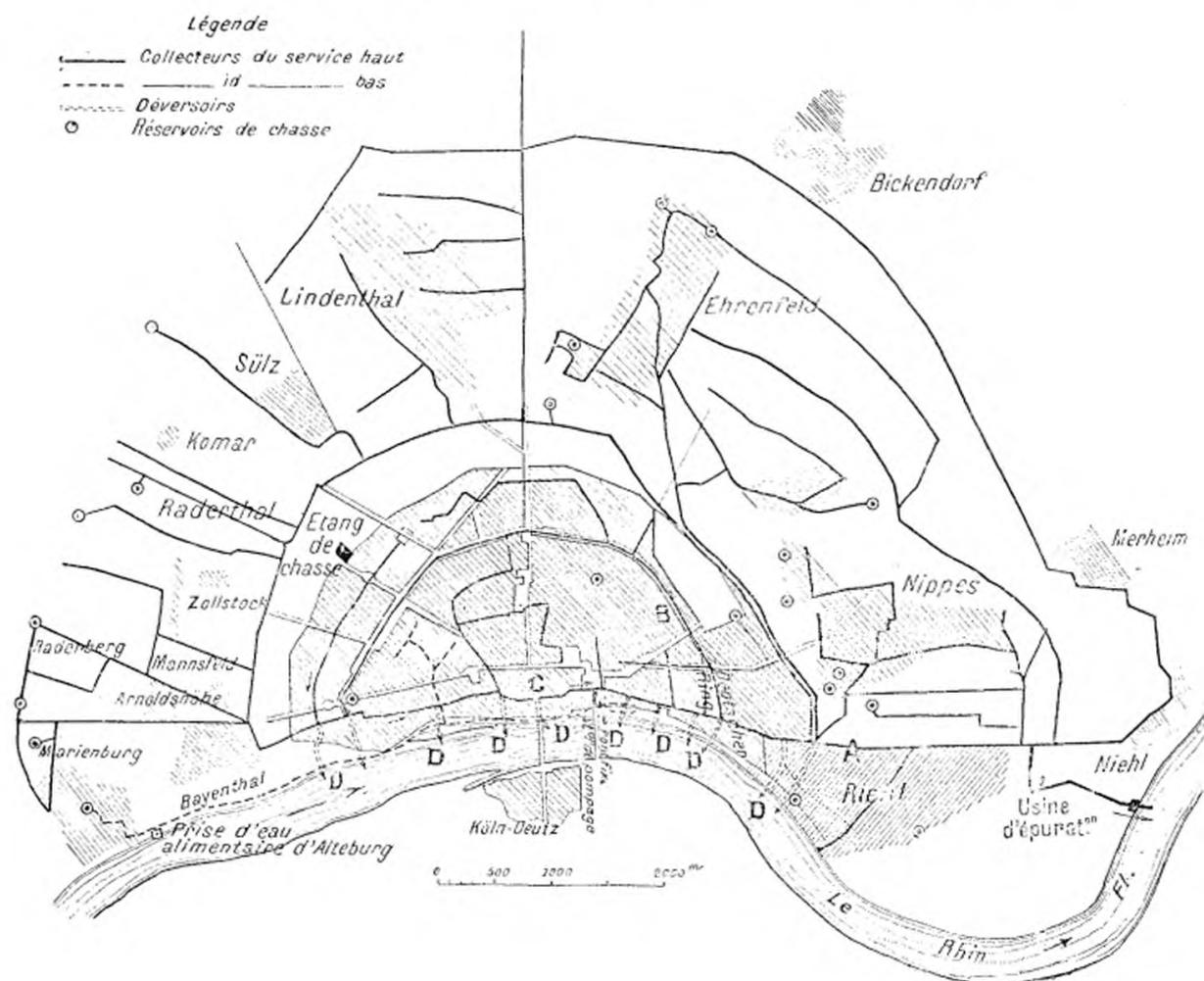
La situation de chaque système radial au 31 mars 1899, est donnée par les deux tableaux, l'un fait voir la consistance du groupe au point de vue technique (surface drainée, nombre d'immeubles et d'habitations desservis, longueur des canaux et conduites, volume d'eau évacuée), l'autre les dépenses de premier établissement et d'exploitation annuelle.

Les taxes des immeubles couvrent la dépense d'exploitation annuelle de la canalisation et des pompes en laissant un boni de 1 000 537 marks lequel se réduit à 514 651 marks, si on tient compte de l'amortissement du capital engagé. Nous verrons que l'exploitation des Rieselfelder donne au contraire un déficit de 1 859 052 marks, qui balance l'opération totale par un déficit annuel de 1 344 401 marks. L'impôt correspondant à ce déficit porterait la taxe à prélever de 1,5 0/0 du revenu net de chaque immeuble (taxe réellement prélevée) à 1,93 0/0.

La conclusion hygiénique des travaux et dépenses faits à Berlin, c'est que la mortalité qui en 1875 était de 32,9 0/00 est descendue dès 1892 à 20,2 0/00 et même depuis un peu en dessous de 20 0/00. Ce résultat est assez éloquent pour se passer de commentaires.

Egouts de Cologne. — La ville de Cologne avait une exposition superbe. On y voyait non seulement le plan des égouts et autres installations sanitaires de la ville, un tableau représentant les sections des canaux, les dessins d'exécution des collecteurs en certains points difficiles (égout sous la Breitestrasse, réunion du collecteur et de la conduite de décharge des eaux pluviales au Deutscher-Ring, passage du collecteur principal à travers l'enceinte fortifiée, jonction du collecteur des faubourgs

d'Ehrenfeld et de Nippes avec l'émissaire), mais encore une étude de l'auto-épuration du Rhin entre Cologne et Düsseldorf, une brochure de M. Adam sur le nettoyage des voies publiques, un modèle de voiture anti-poussière pour les gadoues, un plan de l'usine d'épuration des eaux d'égout et un plan de l'usine projetée pour incinération des ordures mé-



nagères, et cela sans parler des abattoirs, hôpitaux, etc.. Bref on pouvait passer là en revue toutes les questions que se pose l'Hygiène urbaine et voir la manière dont sait les résoudre, en quelques années, une grande cité éprise de progrès. Nous avons eu la bonne fortune de retrouver toutes ces choses expliquées en détail dans le magnifique ouvrage « Köln in hygienischer Beziehung » édité en 1898, à l'occasion du XXIII^e Congrès

du Deutscher Verein für öffentliche Gesundheitspflege, et avec la collaboration de tous les savants et administrateurs de la Ville : on comprend que nous ne puissions en donner ici qu'une esquisse sommaire.

L'ouvrage précité commence par une étude méthodique 1° des oscillations du niveau du Rhin, 2° des oscillations du niveau de la nappe souterraine, 3° des pluies et des quantités d'eau à écouler, (on a appliqué la formule de Bürkli-Ziegler avec la $\sqrt[4]{\quad}$ pour l'ancienne ville et la $\sqrt[5]{\quad}$ pour les faubourgs, et on a admis que les surfaces fortement bâties laissaient écouler de 75 à 85 0/0 de la pluie, les surfaces moyennement bâties de 45 à 50 0/0, les voies ferrées et dépendances 30 0/0, enfin les parcs, jardins, cimetières, etc., seulement 10 0/0 : on a pris pour la grande averse habituelle 60 mm. par heure, soit 170 l.h.s., mais on a abaissé ce chiffre à 130 l.h.s. pour les collecteurs des faubourgs), 4° des conditions topographiques de la ville et des pentes qu'on pouvait adopter. Ces pentes sont en général limitées à 1/300 pour les égouts et tuyaux, à 1/1000 pour les égouts visitables en maçonnerie et varient de 1/1500 à 1/3000 pour les collecteurs.

La fig. 146 montre le tracé des collecteurs. La ville est divisée en deux territoires très inégaux : d'une part le territoire bas composé des quartiers voisins du Rhin et submersibles (110 hect.) et d'une dépression intérieure, le Martinsfeld (28^h,5) qui n'est pas submersible mais où le niveau du Rhin refluerait dans les égouts (il y avait aussi d'autres quartiers bas, les *Raderthaler et Nippeser Mulden*, mais on a décidé de les exhausser) ; d'autre part tout le reste de la ville, avec les faubourgs de Bayenthal, Lindenthal, Ehrenfeld, Nippes, Riehl, Merheim et Niehl. Ce territoire haut comprend dans Alt-Köln deux subdivisions, celle du Nord-Ouest (collecteur B) qui a 355 hect. et celle du Sud-Est (collecteur C) qui en a 370 ; puis dans les faubourgs les subdivisions suivantes avec chacune un collecteur : Nippes-bas (90^h), Nippes-haut (116^h), Ehrenfeld-sud (395^h), Ehrenfeld-nord (440^h), Lindenthal-est (875^h), Lindenthal-ouest qui n'est pas encore drainé, Bayenthal-Zollstock (800^h) et enfin le bassin de l'émissaire lui-même (environ 180^h), en tout 3 621^h.

Or le territoire bas est desservi par le Trennsystem et le territoire haut par la Schwemmcanalisation. Dans le premier, les eaux de pluie sont reçues dans les nombreux canaux de décharge (D, D, D) qui vont au Rhin et y amènent en temps d'orage les eaux en excès du collecteur C : quant au sewage du collecteur bas (séparatif), il est repris par une station de pompage mue par l'électricité et installée près du pont fixé et rejeté par elle en temps ordinaire dans le collecteur C.

La fig. 147 montre les sections des principaux collecteurs. Quant à celle des égouts ordinaires, les dimensions des types adoptés sont : 1.20/1.80, 1.00/1.60, 1.00/1.50, 0.80/1.40, 0.70/1.20 et 0.60/1.00, pour

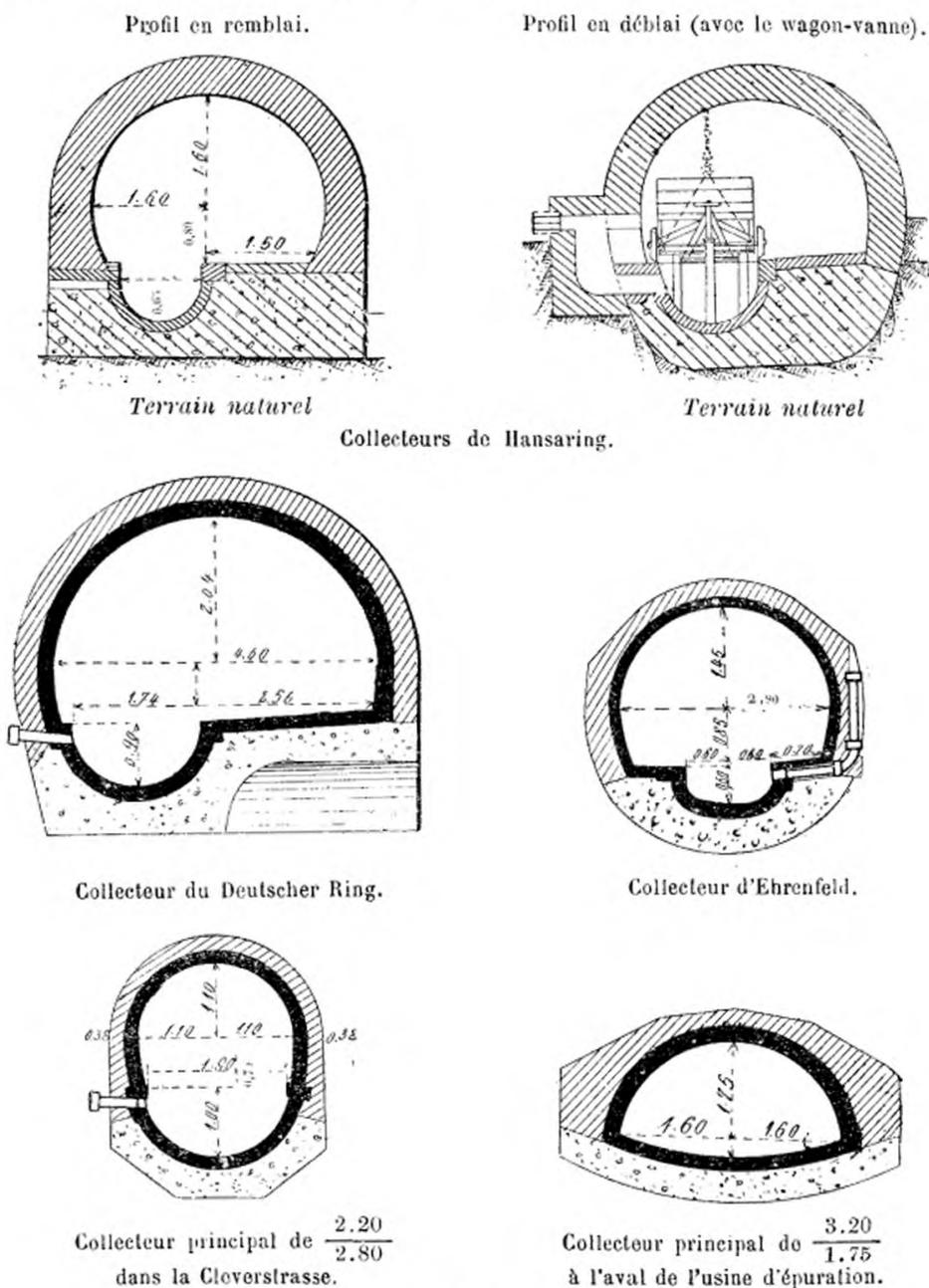


Fig. 147. — Section des collecteurs de Cologne.

les canaux en maçonnerie ; 0.50/0.75, 0.40/0.60, 0.35/0.525, 0.30/0.45, 0.25/0.375 et 0.20/0.30 pour les tuyaux ovoïdes, généralement en ciment. En outre on a appliqué la forme circulaire pour les tuyaux ayant une

penne d'au moins 1/100 : les diamètres varient de 0^m,25 à 0^m,60 et ces tuyaux sont en poterie imperméabilisée par l'asphalte.

Les regards sont nombreux. Il convient de signaler les ouvertures spéciales qui, au nombre de 17, sont disposées pour la projection de la

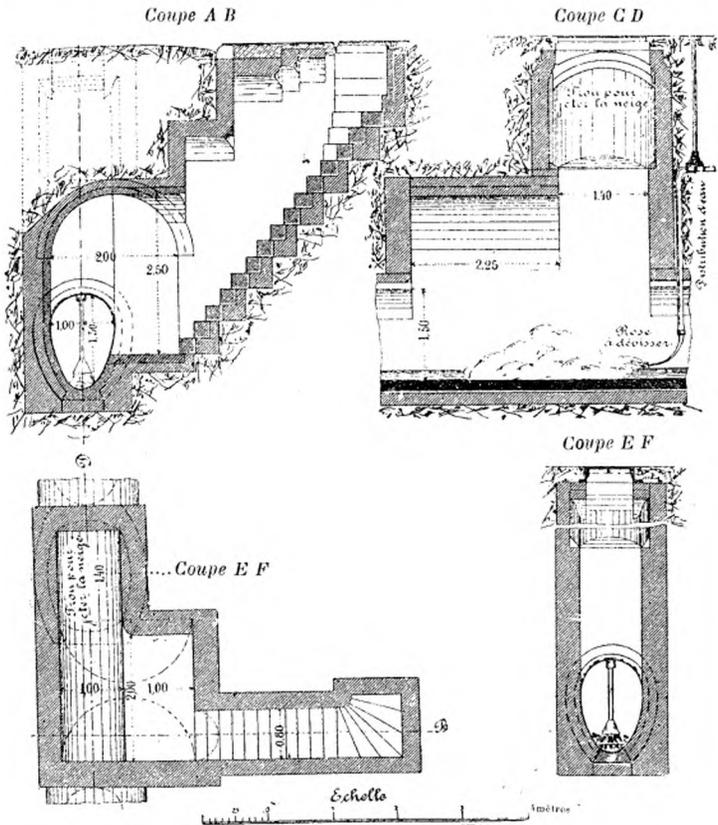


Fig. 148. — Égout de Cologne : ouverture pour y précipiter la neige.

neige en hiver (fig. 148) : une rose servie par la distribution vient faire un courant d'eau sur la neige tombant par l'orifice et contribue à l'entraîner rapidement.

Les chasses sont assurées tant au moyen de trois ruisseaux, dont le principal, le Duffesbach, forment 2000 m³ par jour et alimente un étang-réservoir aménagé près du rempart, qu'au moyen des eaux de la distribution. L'étang du Duffesbach assure le nettoyage du réseau de la nou-

velle ville et de la partie Ouest de la vieille ville : l'eau de la distribution dessert 18 réservoirs de chasse automatiques de 4 à 20 m³ de capacité. Pour les collecteurs la ville possède un wagon-vanne (représenté fig. 147) dont les roues roulent sur les bords de la cunette.

Nous ne décrirons pas les difficultés de construction des égouts et des chambres de réunion, difficultés qui relèvent plutôt de l'art du constructeur. Disons seulement qu'à un peu moins de 1 km. à l'aval de l'usine d'épuration (dont nous parlerons plus loin), l'émissaire aboutit au Rhin et pénètre dans son lit par une conduite métallique de 1^m,20 de diamètre, qui s'avance dans le fleuve de 145 m en eaux moyennes et encore de 35 m par les eaux les plus basses. Ce n'est que par les très grandes pluies qu'une porte s'ouvre mécaniquement sous une trop forte pression de l'eau et décharge directement le canal dans le fleuve : autrement, l'eau accumulée contre la porte passe avec force dans le tube de 1^m,20, le tient en parfait état et ne s'en échappe qu'en plein courant.

Au 1^{er} avril 1890, la situation du réseau de Cologne était la suivante :

	Longueur des égouts maçonnés	Longueur des canalisations en tuyaux	Ensemble	Nombre des bouches d'égout	Longueur des branchements sous les rues (jusqu'aux maisons, bouches et regards)	Dépenses faites
	m.	m.	m.		m.	marks
Köln-Altstadt.	22 930	50 199	73 129	2 980	97 499	4 660 000
Köln-Neustadt.	38 423	30 817	69 240	2 109	57 610	4 970 000
Faubourgs.	22 722	26 034	48 756	4 081	30 847	3 980 000
TOTAUX.	84 075	107 050	191 125	6 470	185 956	13 610 000

Cette somme de 13 610 000 marks ne comprend pas l'usine d'épuration, ni une dépense de 850 000 marks nécessitée par l'ouverture de tronçons de rues pour le passage des collecteurs : mais elle comprend la construction des branchements des maisons sous les rues, lesquels étaient exécutés par la Ville jusqu'à 0^m,25 en avant de la façade de chaque immeuble.

Egouts de Milan. — Nous avons déjà parlé (page 427) du livre de MM. Mascera et Poggi et de la manière dont les sections des égouts de Milan ont été calculées. L'étude de la topographie de la ville, celle de la pluviométrie, celle du niveau de la nappe souterraine (lequel n'est souvent qu'à 2 ou 3 m du sol et parfois à 1^m,50) n'ont rien laissé non

plus à désirer et les résultats en sont exposés en détail, avec cartes et profils à l'appui. Il existait aussi de nombreux ruisseaux, canaux ou fossés

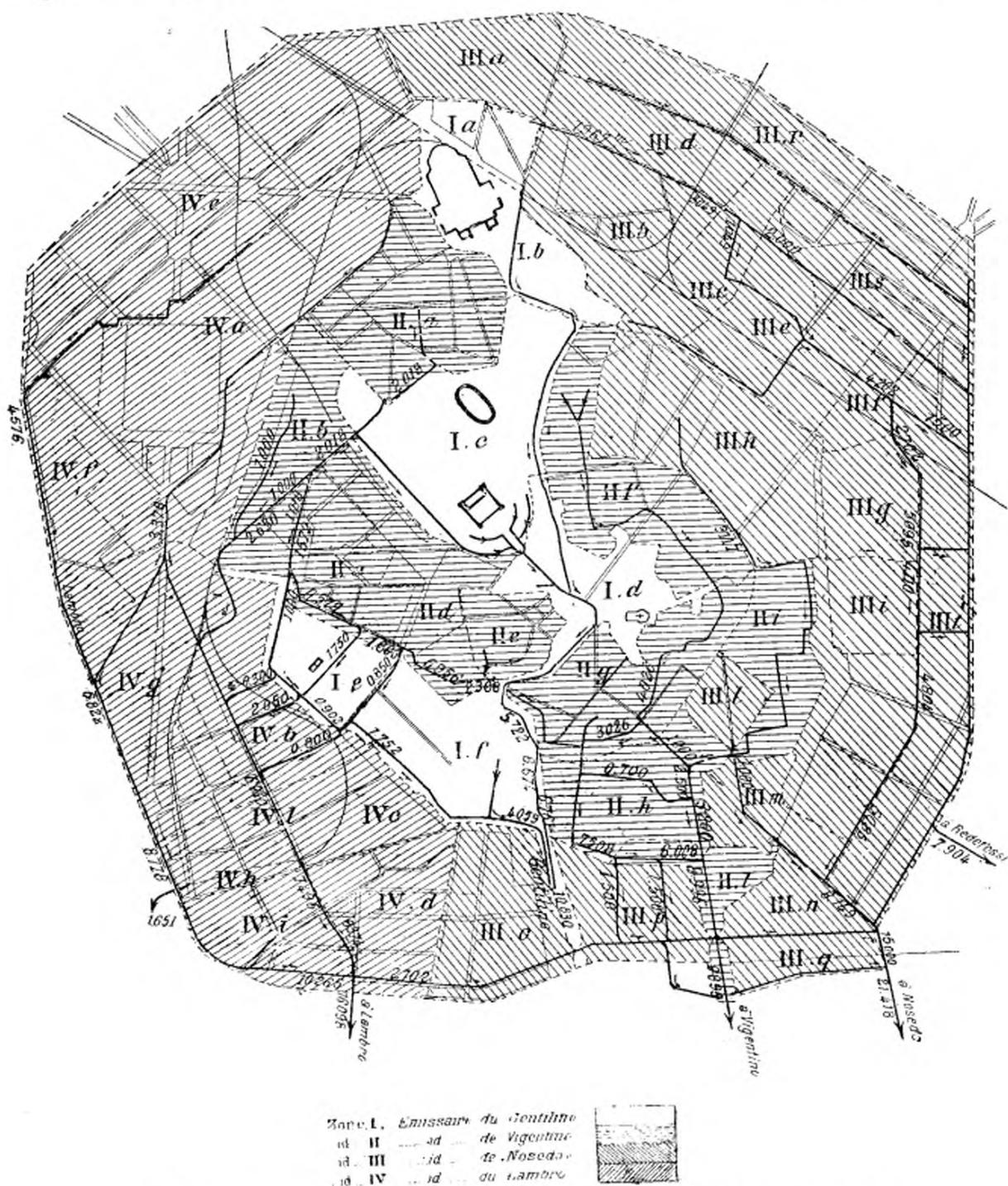


Fig. 149. — Division de Milan en 4 zones et tracé des collecteurs principaux.
 (Les chiffres inscrits à côté des collecteurs indiquent leur portée maxima).

à ciel ouvert, dont on étudia le cours et le bassin, pour arriver à les transformer en collecteurs : tels sont principalement le Seveso, la Vettabbia, le Lambro et le Redefossi. Enfin la présence d'une partie surélevée au

centre de la ville décida la division en 4 zones ; la partie centrale et le versant oriental se déchargeant par la Vettabbia et le versant occidental vers le Lambro.

La fig. 149 montre les quatre zones, ainsi que leurs subdivisions, le tracé des collecteurs principaux exécutés ou projetés et la portée maxima de chacun d'eux.

Les sections des égouts ordinaires maçonnés sont les formes ovoïdes classiques de 0.80/1.20, 0.90/1.35, 1.00/1.50 et 1.20/1.80 : les tuyaux sont circulaires, les plus petits en grès et les plus gros en ciment.

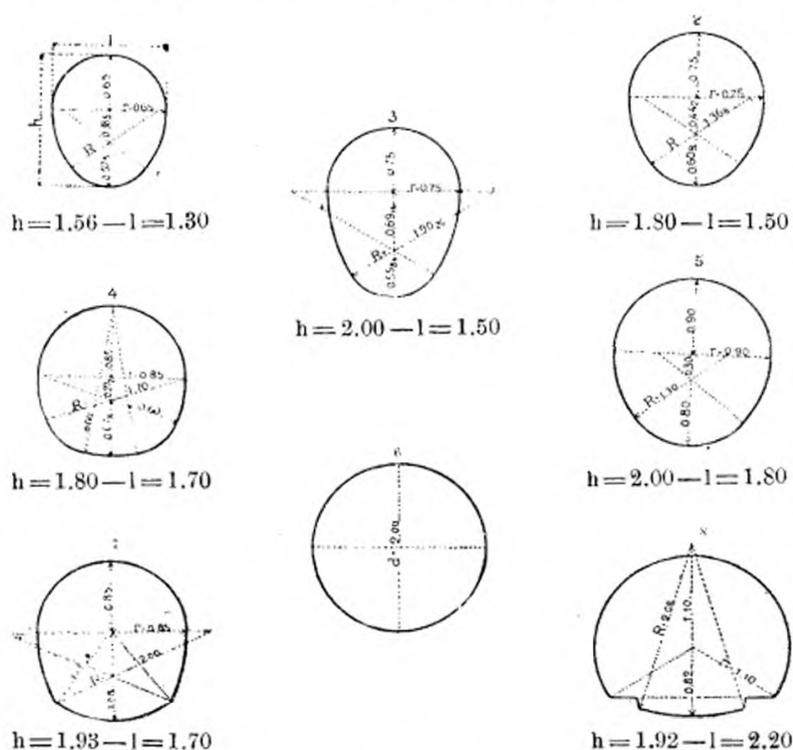


Fig. 150 (a). — Sections des collecteurs secondaires de Milan.

La fig. 150 montre les sections des collecteurs secondaires (a), celles des collecteurs principaux (b) (les cuvettes sont absentes ou rudimentaires), puis celles des émissaires de Vigentino et de Nosedo, qui à partir d'un certain moment sont à ciel ouvert. Il en est de même des deux autres émissaires dits de Gentilino et du Lambro.

Ces émissaires doivent continuer à écouler dans les *marcites du Milanais* les eaux d'égout utilisées depuis très longtemps et recherchées par les agriculteurs : l'emploi de ces eaux s'étend sur 2531 hect. et on doit y ajouter les 784 hect. qui sont la propriété de l'Ospedale-Maggiore, ce qui fait en tout 3315 hect. pour une ville d'un peu moins de 500000

âmes. On a tablé sur un avenir de 850 000 habitants, et avec ce chiffre cela fait 1 hect. pour 250 habitants seulement.

Il y a un point intéressant à signaler, précisément en raison du niveau très élevé de la nappe souterraine. On a décidé que les égouts devraient en certains points drainer cette nappe, mais par des barbacanes dont

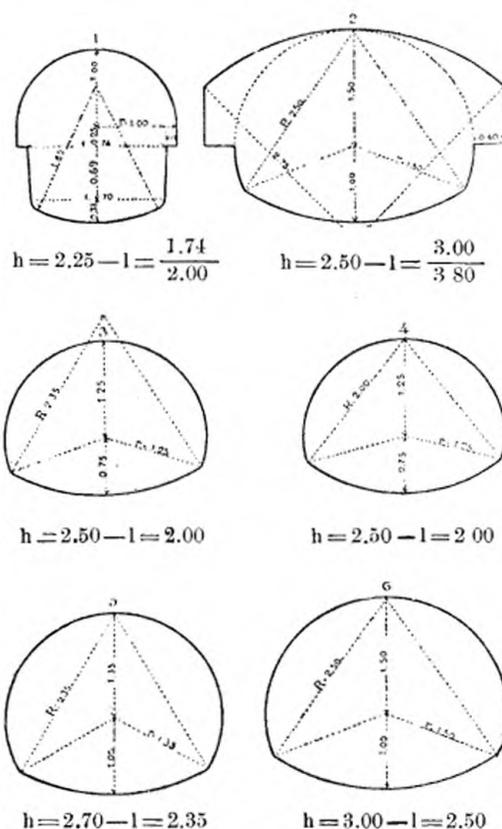


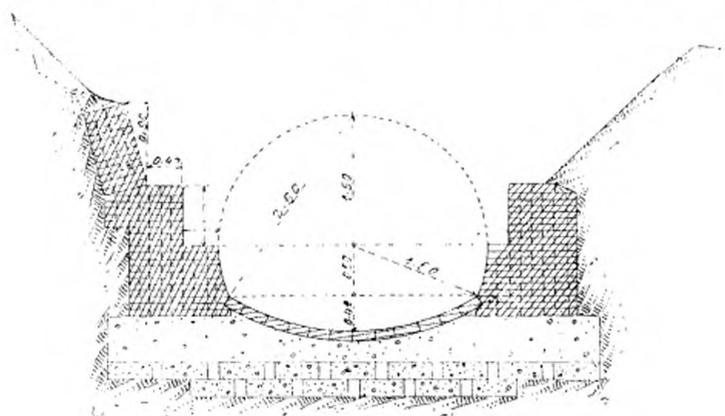
Fig. 150 (b). — Section de collecteurs principaux de Milan.

ouverture et la fermeture pourraient toujours être commandées à volonté. Le type de ces *drenaggi salienti* est représenté par la fig. 150 bis. Après les épaissements nécessités pour la construction de l'égout, on a remplacé les tubes d'aspiration par une cuve en bois perforée qui plonge dans la nappe : l'eau se réunit dans un puisard et s'écoule de là dans l'égout par des tuyaux de fonte munis de clapets qui se manœuvrent de l'intérieur de l'égout. On n'a pas à craindre de la sorte des entraînements de sable qui se produiraient avec un déversement trop abondant et qui nuiraient à la stabilité de l'ouvrage.

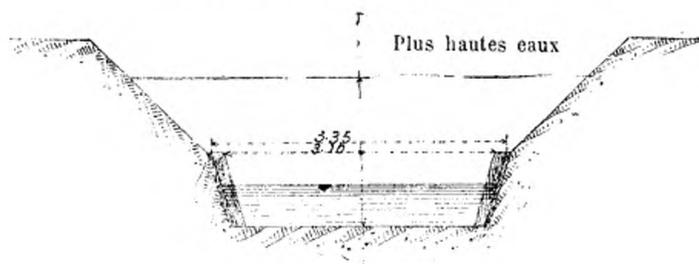
Le plan entier prévu pour la *fognatura* de Milan est encore loin d'être

exécuté. Il se monte à 44 millions de lires pour 441 km. d'égouts, en y comprenant les extensions probables de la ville et à 26 millions (275 km. d'égouts) en s'en tenant à la ville actuelle.

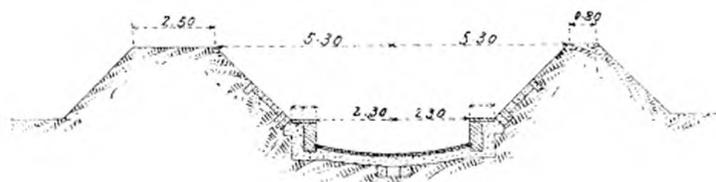
Sur ce chiffre, il a été dépensé de 1888 au 31 décembre 1896, une



Section de l'émissaire de Vigentino : canal maçonné.



Section de l'émissaire de Vigentino : canal en terre.



Section normale de l'émissaire de Nosedo.

Fig. 150 (c). — Section des collecteurs et émissaires de Milan.
Sections des émissaires de Vigentino et de Nosedo.

somme de 6 928 000 francs, pour établir 61 000 m de canalisation dont 18 000 m en grands égouts et 43 000 m en égouts secondaires et tuyaux (il faut y ajouter 9 800 m. d'égouts existants ou construits sur d'autres fonds). De 1896 à fin 1901, il aura été dépensé 5 395 000 liras pour 33 470 m de canalisations : soit en tout plus de 12 millions pour 105 km. d'égouts. Ce qui reste à faire correspond à la périphérie c'est-à-dire aux collecteurs

des deux côtés extrêmes des zones III et IV. Les prix de revient sont au mètre courant de 250 à 450 francs pour les collecteurs principaux, de 120 à 250 francs pour les collecteurs secondaires, de 50 à 180 francs pour les égouts ordinaires maçonnés, de 50 à 80 francs pour les tuyaux

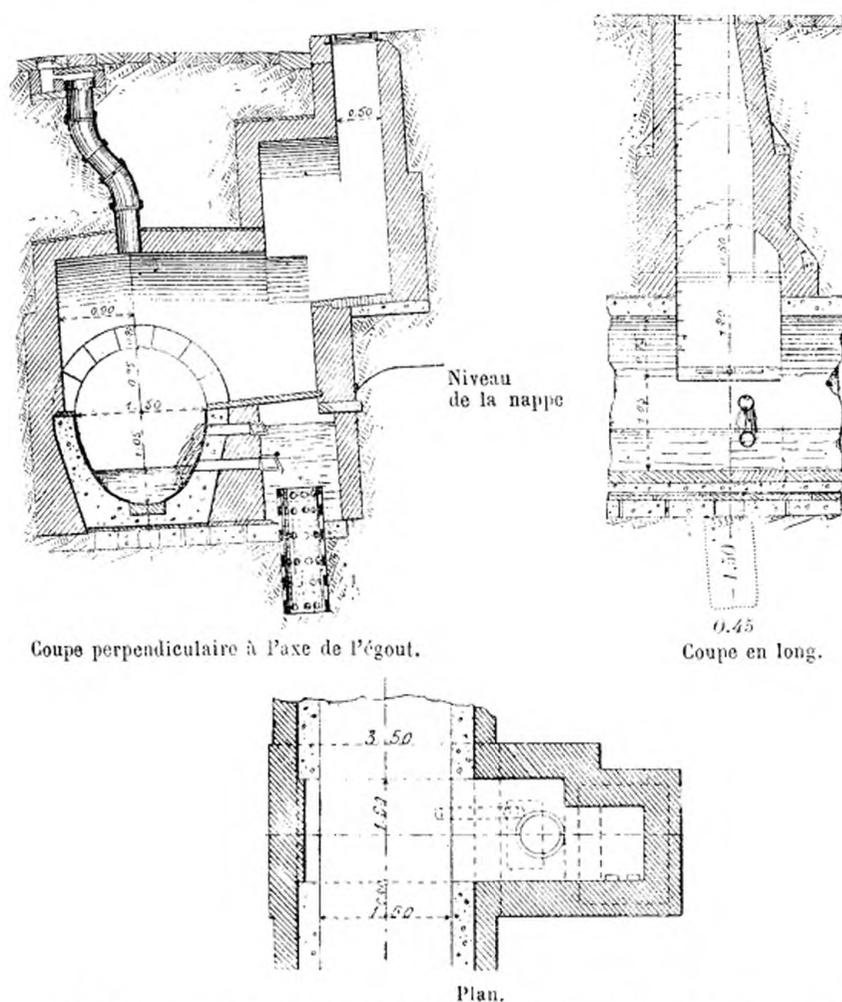


Fig. 150 bis. — Un égout drainant la nappe souterraine à Milan. (Drenaggio saliente.)

en ciment de 0^m,40 à 0^m,60 de diamètre, enfin de 30 à 50 francs pour les tuyaux en grès de 0^m,25 à 0^m,35.

Egouts de Naples.— La ville de Naples était réputée pour son insalubrité (febbre napoletana) : toutes les eaux se jetaient dans le golfe et il n'y avait pas moins de 54 bouches immondes pour le salir.

Un projet fut dressé et approuvé en 1893, ayant pour base l'abduction

du sewage par deux grands émissaires allant le déverser en mer ⁽¹⁾ loin de Naples (fig. 151) et la division de la Ville en trois zones d'altitude différente (fig. 152). Le Tout à l'égout unitaire, admis en principe, ne fut en réalité appliqué que dans la zone élevée : en vue notamment de diminuer et de faciliter l'élévation par machines, la zone basse et la zone moyenne ont reçu la double canalisation du système séparatif, mais leurs eaux pluviales n'ont été conduites au golfe qu'aux deux extrémités de la ville, en dehors du port. Naples est donc un bon exemple de cette combinaison de l'unitaire et du séparatif, que nous regardons comme une solution souvent applicable et rationnelle.

D'après la brochure que M. l'Ingénieur en chef G. Bruno a bien voulu nous envoyer, le système comprend comme artères principales :

1° Deux collecteurs pluviaux, dits des collines, l'un se déversant à

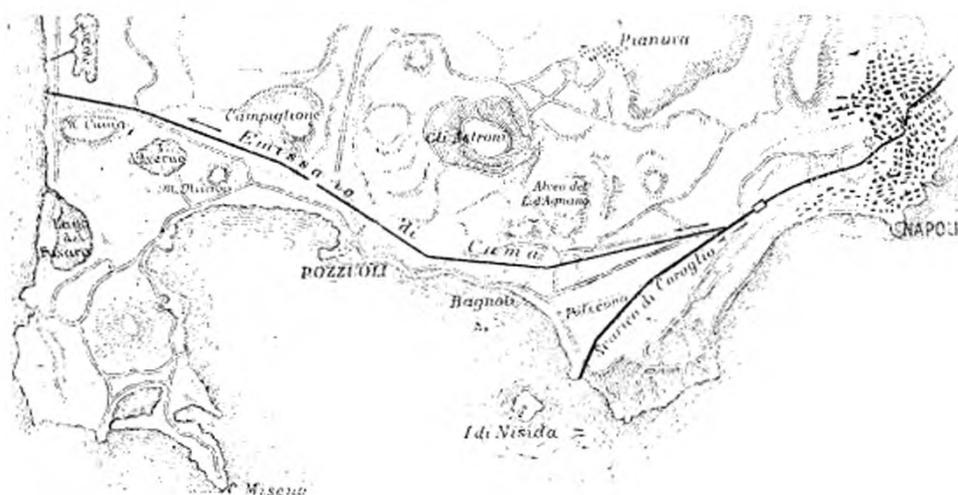


Fig. 151. — Plan général de Naples et des environs : tracé des deux émissaires de Coroglio et de Cuma.

l'Est dans l'ancien canal dell' Arenaccia, et l'autre en mer à l'extrémité Ouest de la Ville. Ces collecteurs sont des ovoïdes de 1.60/2.40, 2.00/3.00 et 2.30/3.45 de forme classique.

2° Deux émissaires extérieurs, le principal allant déboucher à Cuma et l'auxiliaire à Coroglio: la fig. 153 donne leurs profils en long, la fig. 155 leurs sections et la fig. 154 les détails de leur débouché en mer.

3° Un collecteur haut unitaire, dont la section maxima est donnée fig. 155 (il a deux autres dimensions moindres, de 2 m et 2^m,75 de largeur), drainant toute la zone élevée de la ville et aboutissant à l'émiss-

(1) On fait toutefois de l'épandage sur les dunes de la plage de Cuma, entre Licola et Patria.

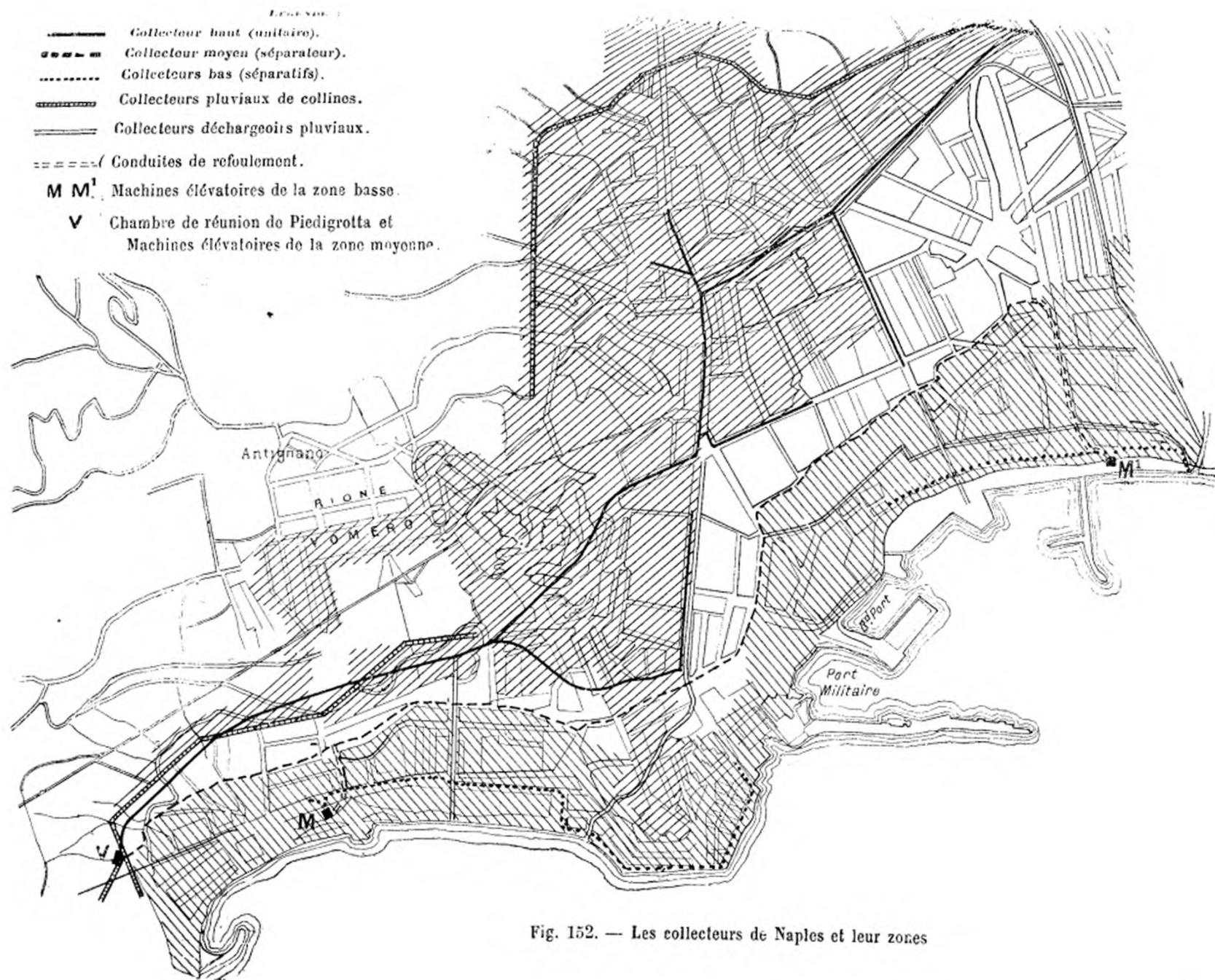
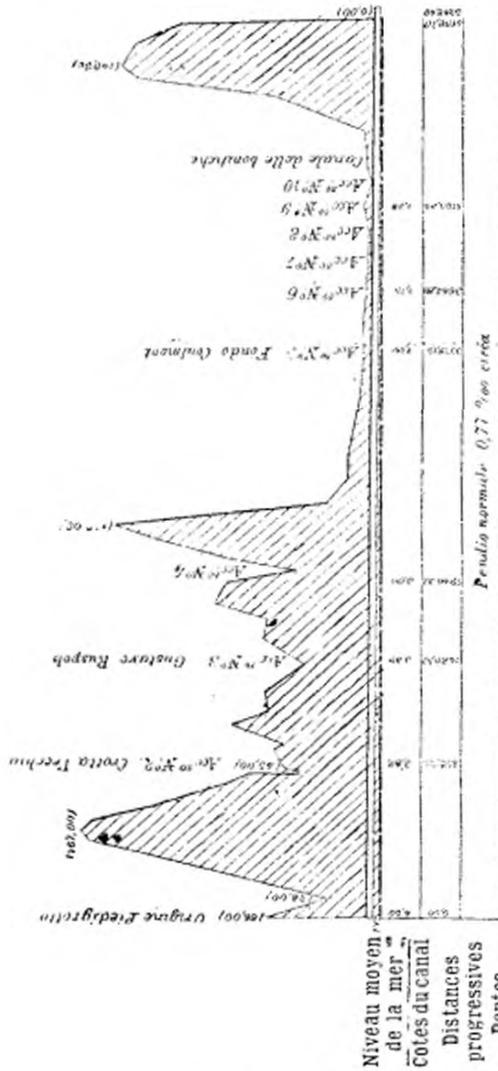


Fig. 152. — Les collecteurs de Naples et leur zones

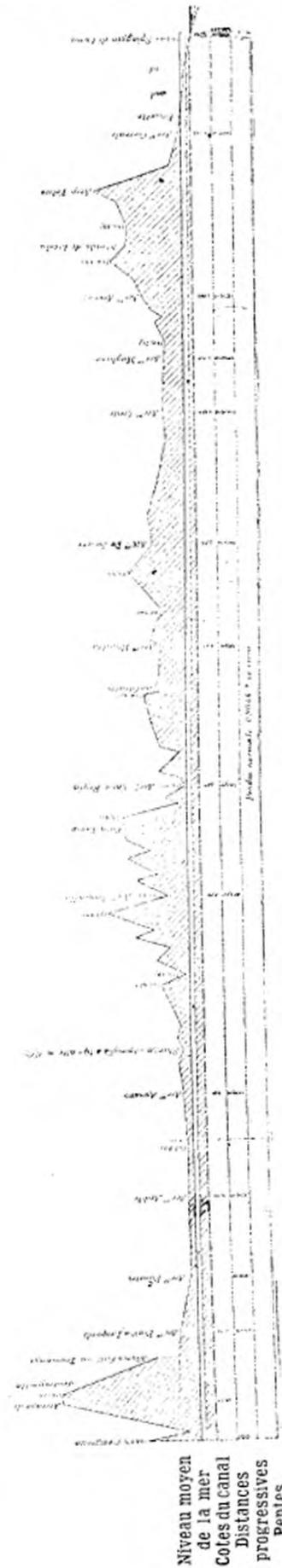
laire de Cuma ; il a des déversoirs pour ses eaux d'orage correspondant aux aqueducs pluviaux qui traversent les deux autres zones pour descendre à la mer. La pente est de $1/1000^{\circ}$.

4° Deux collecteurs pour la zone



(a) Émissaire de Coroglio.

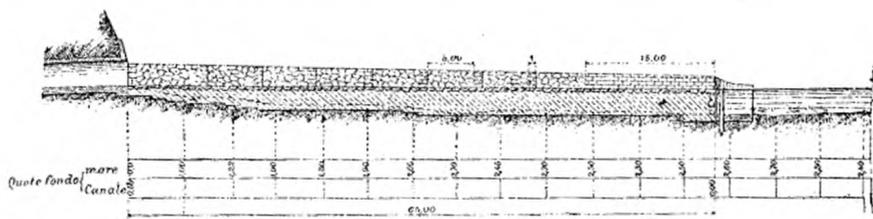
moyenne, l'un conduisant les eaux-vannes et ménagères jusqu'à Piedigrotta où elles sont reprises par des machines élévatoires pour être élevées dans l'émissaire de Cuma, tandis qu'en cas d'arrêt des machines elles sont envoyées dans l'émissaire déchargeoir de Coroglio, l'autre pour les eaux pluviales qu'il



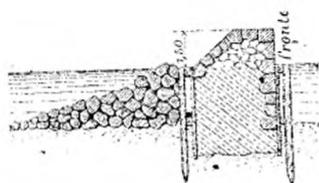
(b) Émissaire de Cuma.

Fig. 153. — Profil en long des deux émissaires de Naples.

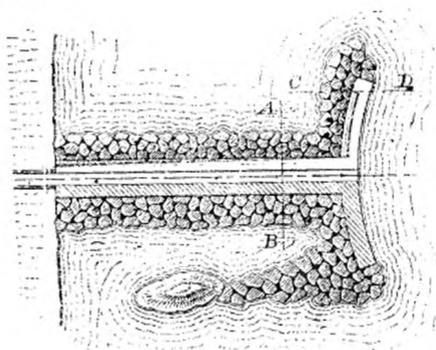
conduit à l'extrémité Est de la Ville. La fig. 153 fait voir le collecteur (type maximum) et l'égout (type moyen) double de ce système (le bas réservé aux eaux vannes bien entendu), ainsi que la plus grande section du collecteur pluvial urbain. La pente est de 0,75 0/00.



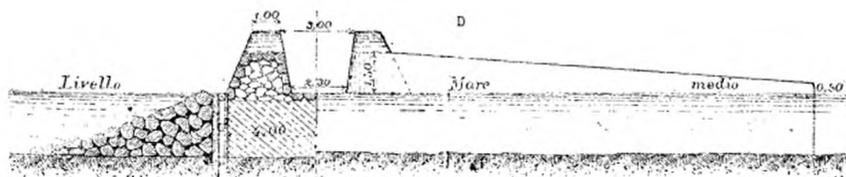
Coupe longitudinale.



Coupe CD.



Plan.



Coupe A B.

Fig. 154 (a). — Débouché dans la mer de l'émissaire de Coroglio.

3° Deux collecteurs bas séparatifs, chacun à deux pertuis, l'un pluvial et l'autre vanne (fig. 155) : alors que les eaux pluviales s'échappent dans les déchargeoirs transversaux, le sewage est repris dans chaque groupe par une machine élévatoire (M et M' du plan) et remonté dans le collecteur moyen, dont il suit le sort. Les égouts pluviaux du réseau contiennent souvent le tuyau séparatif des eaux-vannes.

Toutes les bouches d'égout sont à siphon réalisant l'interception hydraulique, et à puisard de nettoyage. La ventilation des égouts est assurée par les tuyaux de chute des eaux pluviales qui n'ont pas de siphon au pied : les tuyaux de chute des cabinets sont également prolongés dans toutes les maisons jusqu'au-dessus du toit.

Pour le calcul des sections, on a admis une densité de population de

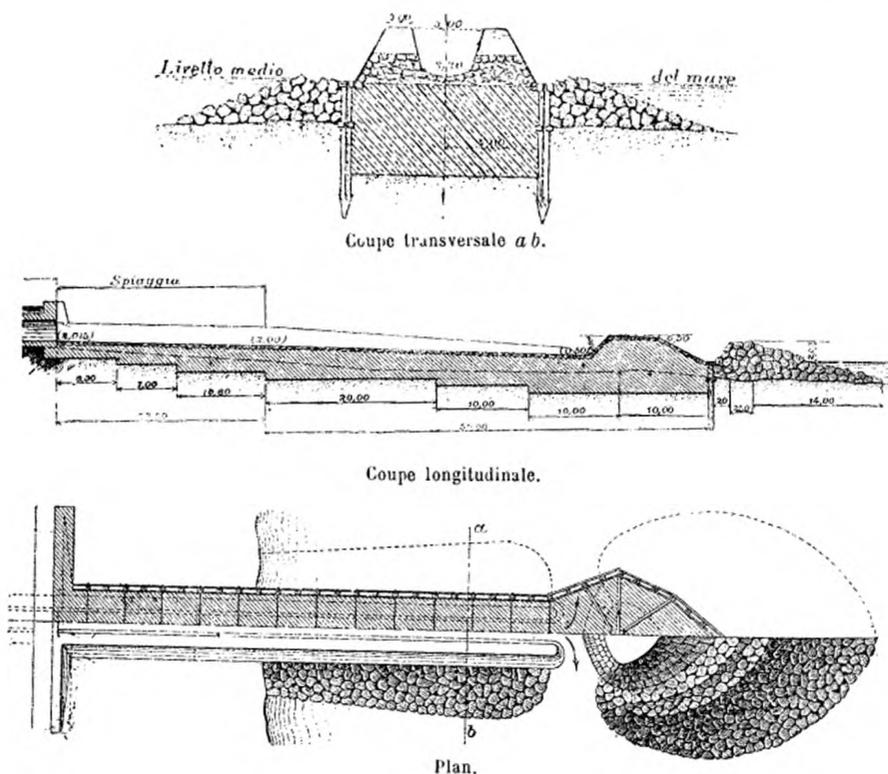


Fig. 154 (b). — Débouché dans la mer de l'émissaire de Cuma.

600 habitants par hectare et une consommation de 200 lit. par tête et par jour : cela donne une moyenne de 1',4 par hectare et par seconde, qu'on a doublé pour avoir le maximum, soit 2',8 par hectare et par seconde, auquel doivent satisfaire les égouts-vannes. Quant aux pluies, on s'est imposé de pouvoir débiter dans les collecteurs unitaires une pluie de 20 mm à l'heure et on a admis une réduction totale (retard et déperdition ensemble) de 50 0/0. Dans ces conditions, le collecteur haut doit débiter $12^{\text{m}^3},68$ par seconde. L'émissaire de Cuma avec 2^m,50 de hauteur d'eau

ne débite que $10^{\text{m}^3},26$, tandis qu'il peut lui arriver $15^{\text{m}^3},21$; le surplus, soit $4^{\text{m}^3},95$, est alors déversé dans l'émissaire de Coroglio, lequel reçoit

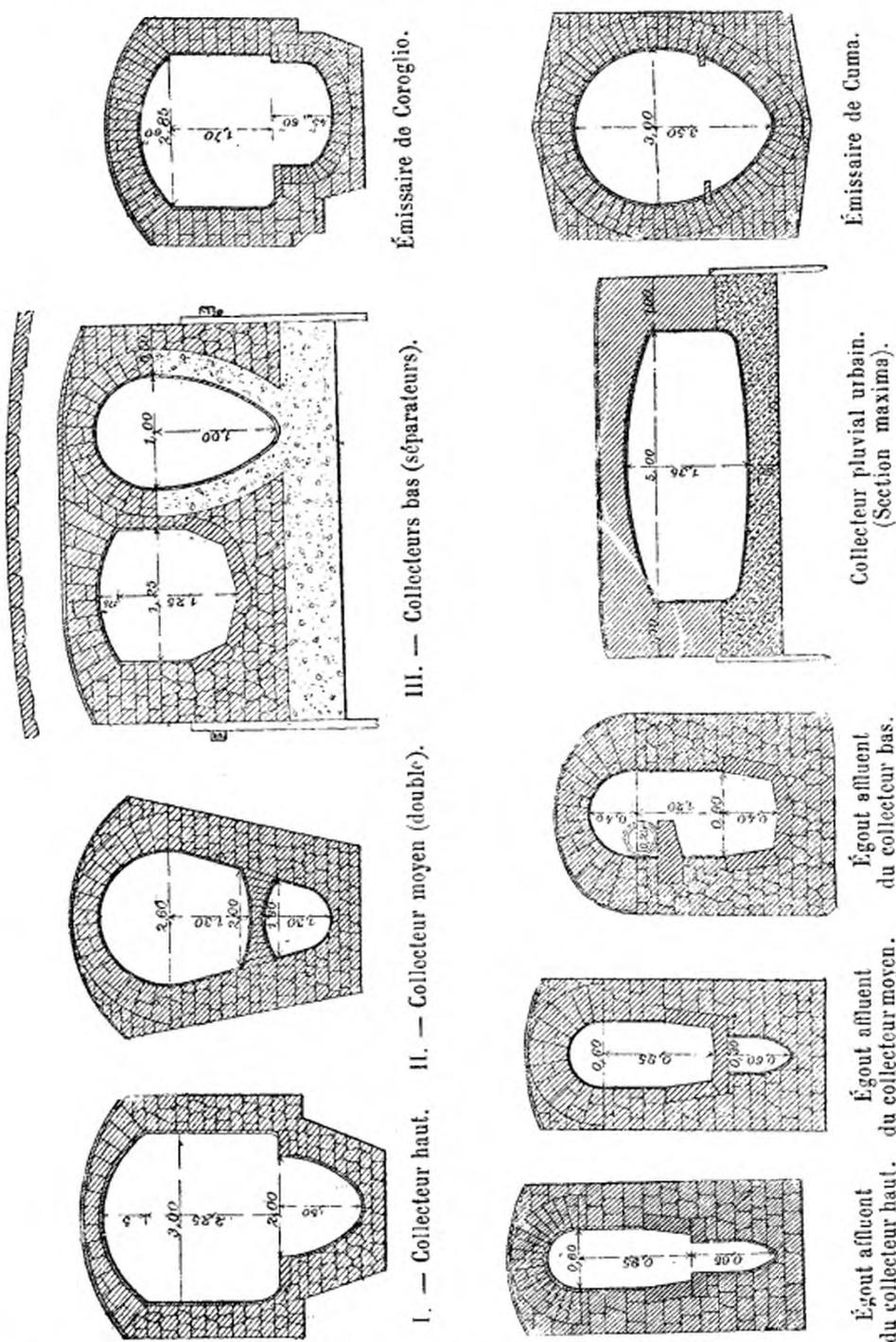


Fig. 155. — Sections des égouts et collecteurs de Naples.

aussi le débit de $5^{\text{m}^3},50$ du collecteur pluvial moyen et a ainsi à débiter $10^{\text{m}^3},18$ (sa portée avec $2^{\text{m}},50$ de hauteur d'eau est de $11^{\text{m}^3},90$). Pour des pluies plus fortes, les déversoirs et égouts de décharge rentrent en fonctionnement.

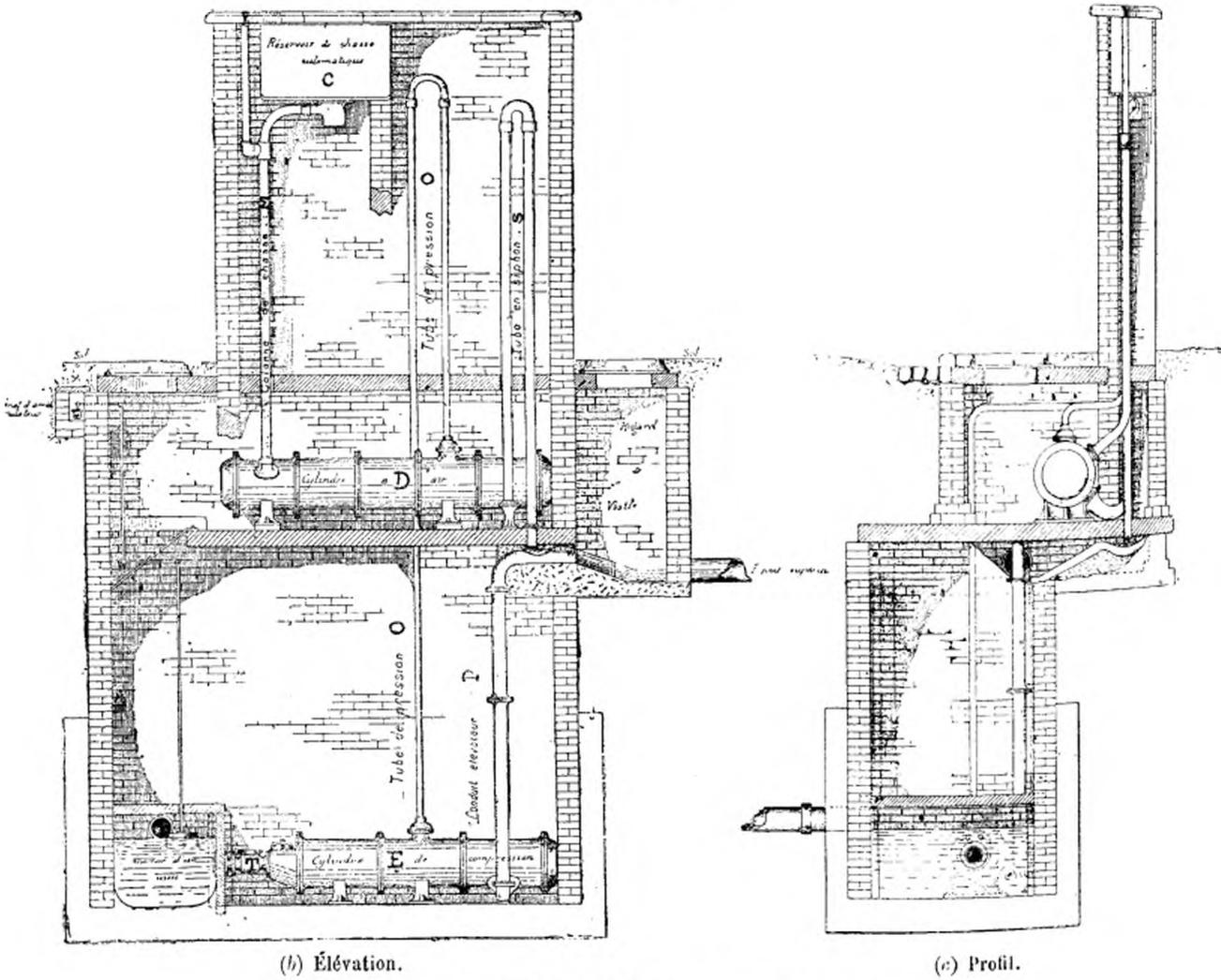
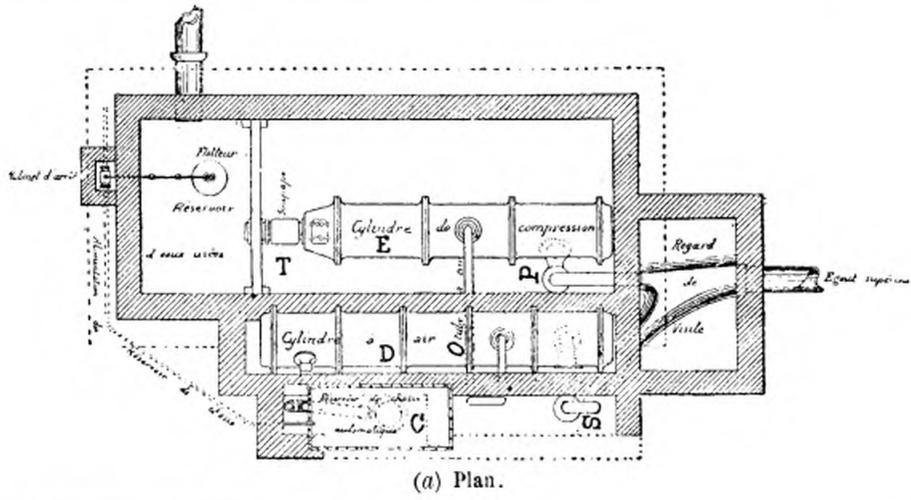


Fig. 156. — Élévateur hydropneumatique, système Adams.

Appareils divers relatifs à l'exploitation d'un réseau d'égouts.

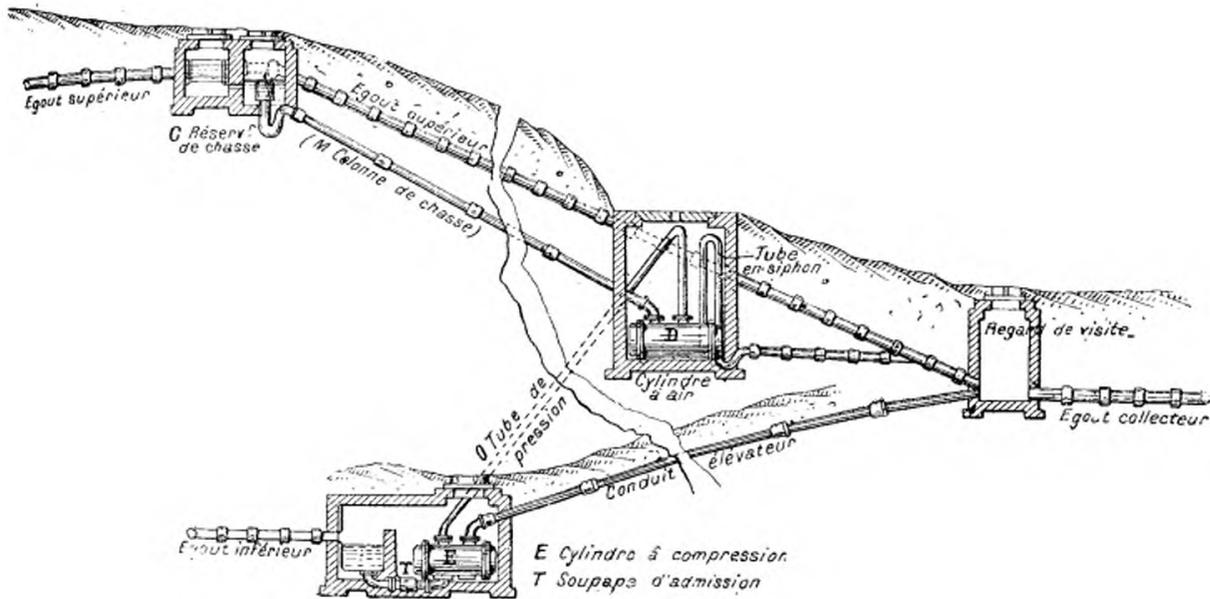


Fig. 157. — Installation de l'élevateur hydropneumatique pour relèvement d'eau d'égout.

Relèvement des eaux d'égout. — Les machines élévatoires pour eaux d'égout ne diffèrent pas essentiellement des machines pour eaux propres.

M. Bechmann recommande vivement pour de faibles hauteurs d'élévation les pompes centrifuges qui, fonctionnant sans clapets, laissent plus facilement passer les corps étrangers (usines de Clichy, de la place Mazas, de la Cité). Pour les autres pompes, les passages laissés aux eaux doivent être aussi larges, les clapets aussi rustiques que possible ; enfin on doit arrêter autant que faire se peut en avant de l'usine les corps en suspension.

Outre les pompes proprement dites, il existe un certain nombre d'appareils de relèvement qui étaient exposés au pavillon de la Ville de Paris et que nous devons mentionner. Nous avons déjà signalé et décrit l'éjecteur Shone, à l'air comprimé : il nous reste à parler des élévateurs Adams, Salmson, Thirion et Samain.

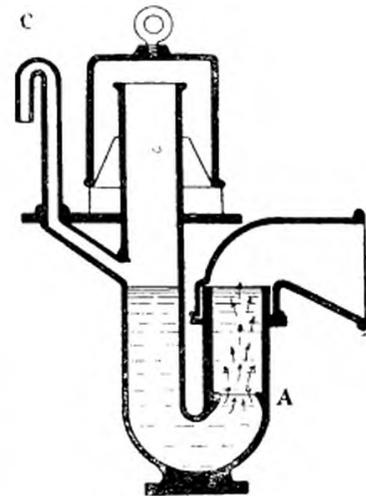


Fig. 157 bis

Siphon de chasse automatique Adams.

Élévateur hydropneumatique Adams. — Nous ne pouvons mieux le faire connaître qu'en citant la communication faite à ce sujet par M. M. Delafon à la Société des Ingénieurs et Architectes sanitaires de France le 29 juin 1896.

« L'élévateur fonctionne de la manière suivante: (Voir fig. 156 (a) (b) et (c) et fig. 157):

Une chambre, ou un réservoir muni d'un siphon à chasses automatiques (C) est établi à une hauteur à déterminer suivant les cas et qui doit toujours excéder un peu celle de l'élévation que l'on désire obtenir.

Cette chambre ou ce réservoir une fois rempli, décharge son contenu automatiquement dans le cylindre à air (D) par une colonne de chasse (M) qui les relie. Cette colonne peut être placée soit verticalement, soit en pente, sous un angle quelconque et de n'importe quelle longueur, mais donnant un volume de liquide supérieur à celui du liquide à élever.

L'eau, exerçant une pression sur l'air contenu dans ce cylindre, le comprime et la force à s'échapper par un tube dit tube de pression (O) relié au cylindre de compression (E).

Cet air agit à son tour sur l'eau à élever contenue dans ce cylindre et l'en chasse par un tube dit conduit élévateur (P) qui l'écoule à la hauteur désirée.

Le cylindre à air est alors rempli du liquide provenant du réservoir de chasse; ce liquide est aspiré à son tour par un tube en siphon (S) qui, grâce à l'excès de hauteur qu'il a sur le conduit élévateur, ne s'amorce que lorsque le contenu entier du cylindre de compression a été déchargé.

Le cylindre de compression (E) est vidé, mais il est sous pression jusqu'à ce que l'action du tube-siphon (S) vidant le cylindre à air (D) ait commencé. L'eau d'égout que l'on veut élever ne peut donc y pénétrer à nouveau, c'est seulement lorsque la pression a disparu que la soupape d'admission (T) s'ouvre sous la poussée de l'eau qui entre alors dans le cylindre jusqu'à la hauteur déterminée.

Le remplissage alternatif du cylindre de compression par l'eau à élever et du réservoir de chasse automatique par l'eau élévatrice, opérations que l'on peut facilement coordonner, assurent la marche continue de l'appareil sans le concours d'aucun autre agent et sans aucune surveillance.

Il nous reste maintenant à décrire le siphon de chasse Adams, dont la disposition entièrement nouvelle assure un excellent fonctionnement même avec des eaux d'égout criblées, c'est-à-dire débarrassées de corps solides d'un certain volume (fig. 157 bis).

Cet appareil ne comporte aucun organe susceptible d'empêcher son fonctionnement; la détente et le tube barostatique sont supprimés; l'amorçage régulier est obtenu par un étranglement (A) de la veine centrale dans la branche de sortie du siphon.

Quand le réservoir commence à se remplir, la garde d'eau se trouve au même niveau dans les deux branches du siphon; ce niveau reste constant tant que l'extrémité recourbée du tuyau d'aération (C) n'est pas noyée, mais lorsque l'eau s'élève plus haut, l'air emprisonné sous la cloche et dans la grande branche du siphon se trouve comprimé, et la compression, augmentant au fur et à mesure du remplissage du réservoir fait baisser l'eau jusqu'à l'extrémité inférieure de cette branche.

A ce moment, il y a équilibre entre la colonne d'eau restant dans la branche de sortie et l'air comprimé dans l'intérieur du siphon.

Toute augmentation ultérieure de pression rompt cet équilibre, mais l'air, au lieu de s'échapper graduellement le long des parois, vient se présenter en une

seule bulle dans l'étranglement (A) de la branche de sortie. Cette bulle d'air monte au centre du tube et, en s'échappant, déplace une colonne d'eau qui s'écoule en dehors du siphon. Le niveau de la garde d'eau baisse donc d'une hauteur correspondante et l'équilibre est rompu aussitôt : la colonne d'eau restante ne peut plus résister à la pression de l'air emprisonné dans le siphon, cet air s'échappe à la suite de l'eau qu'il a refoulée dans la branche de sortie et, par aspiration, il est suivi immédiatement de la masse d'eau du réservoir.

Le tuyau d'aération (C) dont l'extrémité peut être soit terminée par un tube recourbé, soit recouverte d'une cloche destinés l'un ou l'autre à régler le point de départ de la compression, assure la quantité d'air nécessaire au fonctionnement du siphon, durant et après la chasse, car il empêche le vide partiel de se produire et garantit le rétablissement de la pression atmosphérique.

L'élevateur inventé par Adams (d'York) est des plus simples et des plus ingénieux. Son agent moteur est l'air comprimé ; mais celui-ci, au lieu d'être produit dans une usine spéciale et transporté à l'appareil qu'il doit actionner par une canalisation distincte, comme dans le système Shone, est produit par un siphon à chasses automatiques d'une disposition nouvelle que nous décrirons plus loin et qui fait partie intégrante de l'appareil.

L'élevateur Adams, dans lequel l'air comprimé agit directement sur le liquide à élever, combine en un seul appareil, qui n'a de partie mobile qu'une soupape ou valve, le fonctionnement d'une machine et celui d'une pompe. Indépendamment du réservoir de chasse automatique, l'appareil comprend un cylindre de compression, un cylindre à air et la tuyauterie nécessaire pour relier entre eux ces divers organes.

La hauteur de la colonne de compression est déterminée par celle fixée pour l'élévation du liquide, en tenant compte de la perte due aux deux diamètres respectifs des cylindres à air et de compression, de la profondeur du réservoir de chasse, plus un excédent pour l'écoulement du siphon et des tuyaux.

L'élévation des eaux est intermittente ; le liquide qui entre dans le réservoir de chasse est envoyé par la colonne de décharge dans le cylindre à air, refoulant ainsi l'air contenu par un tube dans le cylindre de compression où il exerce directement sa pression sur l'eau à élever.

La quantité de liquide dépensée pour élever une quantité d'eau dépend :

- 1° De la hauteur de l'élevateur et de la perte due à la compression ;
- 2° De la longueur et du diamètre des tubes à air reliant les deux cylindres ;
- 3° Du diamètre du siphon et du tube de pression, et de la relation proportionnelle entre la colonne à élever et la colonne de pression.

Lorsque la colonne de pression n'excède que faiblement la colonne de liquide du conduit élévateur, on peut en augmenter l'action par un appel d'air provoqué par le liquide s'écoulant dans la colonne de chasse, en haut de laquelle a été ménagée une ouverture communiquant avec un tuyau d'aspiration. Cette aspiration est proportionnelle à l'augmentation de la différence entre les deux colonnes de liquide.

Le temps nécessaire à l'opération entière du remplissage de la compression et de l'élévation dépend du temps que met à se remplir et à se décharger le réservoir de chasse, de l'angle d'inclinaison et du volume intérieur du tube à pression de l'amorçage et de la décharge du siphon entraînant le liquide contenu dans le cylindre à air, où il est venu remplacer l'air refoulé par lui dans le cylindre de compression et du diamètre des tubes reliant le cylindre à air au cylindre de compression.

Tout cela du reste est subordonné aux variantes et aux modifications à apporter aux cas particuliers que l'on a en vue, la construction de chaque appareil devant être subordonnée à des conditions locales différentes et aux résultats que l'on désire atteindre.

Quand on utilise l'eau d'égout pour l'élévation, on n'a pas généralement à re-

chercher le rendement maximum de l'appareil, mais on doit plutôt obéir à des conditions particulières dont la première est souvent de placer la chambre du siphon de chasse sous terre.

Quand on emploie de l'eau de service et que l'on doit la payer, le rendement maximum de l'appareil doit être forcément recherché et, dans ce cas, l'élevateur doit être disposé de telle sorte que le réservoir de chasse soit placé à une hauteur suffisante pour qu'une quantité additionnelle d'air soit utilisée et que, par l'emploi de tuyaux, de siphons, de tubes à pression plus petits, une quantité de liquide élévateur moindre donne un résultat excédant de beaucoup celui que l'on obtient avec une quantité de liquide supérieure dans des conditions moins favorables.

Hydro-Élevateur Salmson.— L'appareil Salmson (fig. 158) est basé sur le même principe que l'éjecteur Shone, mais il est double et donne par suite un écoulement plus régulier: il faut une conduite amenant de l'air comprimé fourni ou fabriqué au dehors, ce qui est facile à Paris.

Il a été décrit dans plusieurs publications spéciales, notamment la *Revue technique* (n° 9 de 1896) et le *Génie civil* tome XXIX, numéro 14, du 1^{er} août 1896.

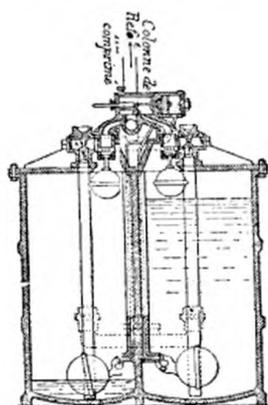


Fig. 158.
Hydro-élevateur Salmson.

« Cet appareil se compose essentiellement de deux cloches qui sont, alternativement, en communication tantôt avec l'air comprimé, tantôt avec l'eau d'alimentation et l'atmosphère. (V. fig. 158).

L'air comprimé pénètre dans une boîte à tiroir appelée distributeur, construite comme celles des machines à vapeur et c'est le mouvement du tiroir qui fait communiquer successivement chaque cloche avec l'air comprimé, puis avec l'atmosphère.

Le mouvement du tiroir est obtenu à l'aide d'un piston fixé à sa tige et se mouvant dans un cylindre.

L'une des extrémités du cylindre communique avec le bas de la première cloche; l'autre avec le bas de la seconde par des petits tuyaux qui sont fermés à l'aide de soupapes fixées après des flotteurs.

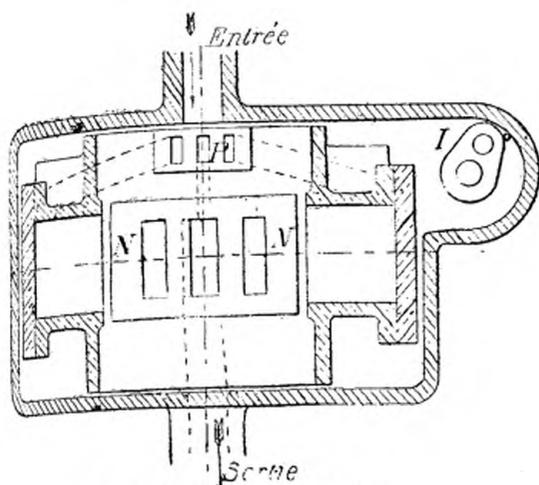
Chaque cloche est munie d'un clapet d'alimentation permettant son remplissage et d'un clapet de refoulement l'isolant de la colonne dans laquelle on envoie l'eau sous pression.

Une cloche est constamment en contact avec l'air comprimé, de sorte qu'il suffit d'ouvrir un robinet placé sur la colonne d'eau pour provoquer le mouvement; le niveau de l'eau descend alors, dans la cloche; il arrive un moment où le flotteur s'abaisse, découvre l'orifice du petit tuyau; celui-ci n'étant plus noyé, l'air comprimé pénètre dans le cylindre du distributeur et chasse le tiroir; alors, l'air comprimé pénètre dans la seconde cloche et refoule l'eau: en même temps, l'air s'échappe de la première cloche et l'eau y pénètre.

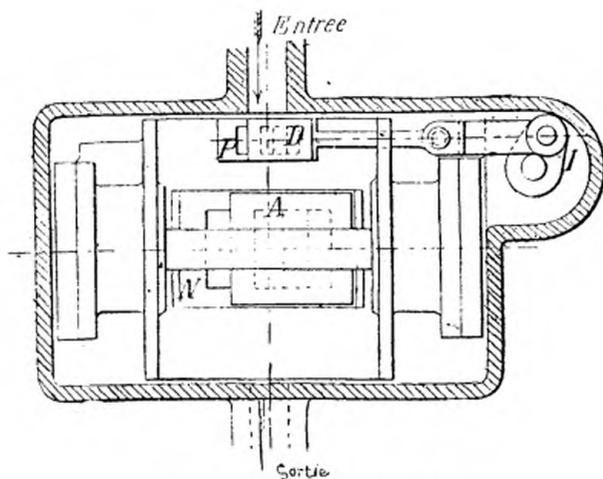
Le mouvement du distributeur est tellement rapide que l'écoulement de l'eau est continu; il cesse dès qu'on ferme le robinet qui a été ouvert sur la canalisation.

L'appareil peut être noyé dans un puits, ayant 1 m. d'eau environ au-dessus de lui; ou bien on le place sous un réservoir que l'on fait communiquer avec ses clapets d'alimentation.

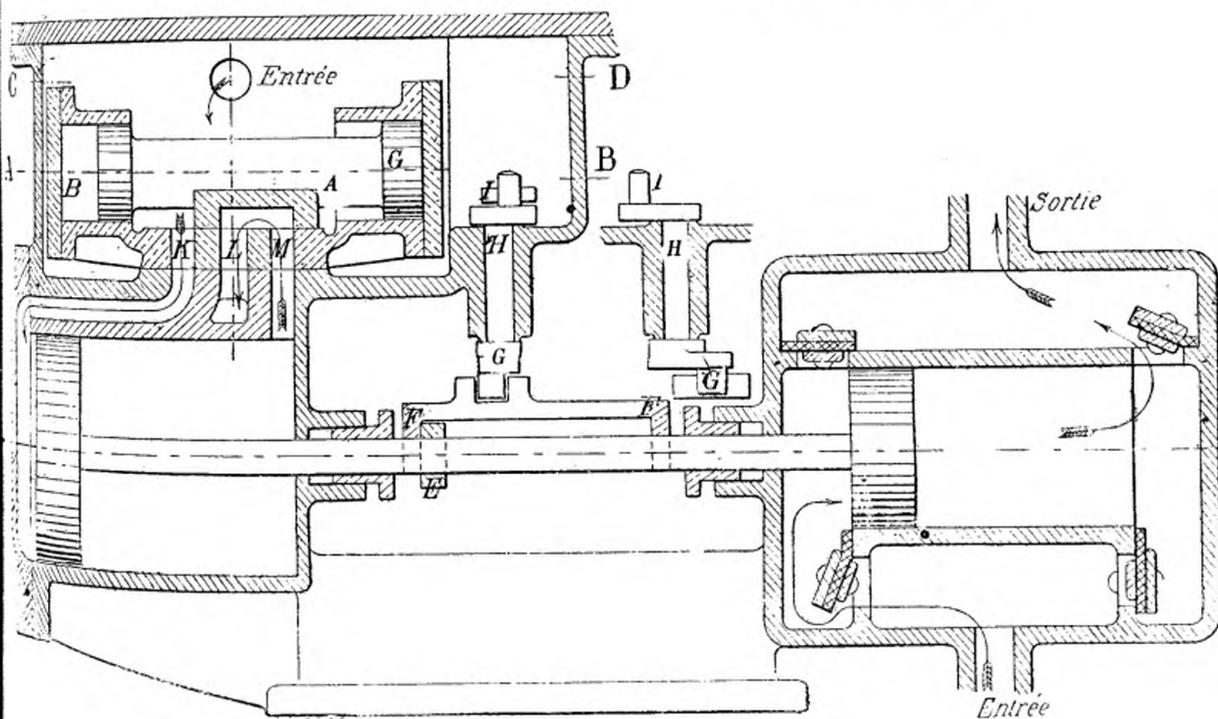
L'eau refoulée dans la canalisation agit comme sous l'influence d'un réservoir placé à la hauteur qui correspond à la pression de l'air.



Coupe horizontale suivant AB.



Coupe horizontale suivant CD.



Coupe en élévation.

Fig. 159. — Hydro-élévateur Thirion.

Hydro-Élévateur Thirion. — L'élevateur de M. Thirion est destiné à élever une eau quelconque au moyen de l'excès de pression qui existe

généralement dans les conduites de distribution de l'eau alimentaire dans les maisons (ainsi à Paris au moyen de la pression des eaux de source, on pourra soit élever de l'eau de Seine dans les appareils des cabinets, soit relever les eaux usées des parties trop basses pour s'écouler naturellement par le branchement). Voici une description sommaire de cet appareil qui est représenté schématiquement par la fig. 139. Il se compose du moteur hydraulique à gauche et de la pompe élévatoire à droite, pompe répondant aux conditions à réaliser.

La moteur est constitué par un cylindre, avec piston, sur lequel la pression motrice agit alternativement sur les deux faces.

La partie usable de l'appareil qui est la distribution a été étudiée en vue d'un remplacement immédiat par suite de l'interchangeabilité des pièces. Ce distributeur en bronze, fixé au moyen de goujons dans l'intérieur de la boîte de distribution, porte une glace NN (coupe AB), sur laquelle glisse un tiroir (coupe CD) qui est actionné par les deux pistons B et C: ces pistons sont mis en communication soit avec la pression, soit avec l'échappement, au moyen du tiroir auxiliaire D (coupe CD), reposant également sur une deuxième glace P faisant partie du distributeur. Ce tiroir D est déplacé seulement aux fins de course par le taquet E fixé sur la tige de piston qui vient buter sur l'arcade FF et fait osciller l'ensemble des leviers et menottes G, H, I.

Ce distributeur a l'avantage de déterminer une ouverture brusque des orifices K, L, M, et par suite de laisser produire à l'eau tout son effet, puisqu'il n'y a pas de rétrécissement.

Quand on ouvre un robinet de purge sur la distribution, l'appareil fonctionne de lui-même et élève l'eau aspirée par la pompe dans la colonne de refoulement.

On peut citer comme remplissant le même le but que cet appareil l'hydro-élévateur Durozoi, qui est du reste assez analogue.

Machine élévatoire Samain. — M. Collignon venant de rendre compte, dans le Bulletin de novembre 1900 de la Société d'Encouragement, des machines élévatoires de M. Samain, nous reproduisons ci-dessous ce qu'il dit de celle de l'angle des rues Lecourbe et de la Convention.

M. Samain a installé une autre (1) machine à colonne d'eau, à Paris, dans un

(1) La première machine élévatoire décrite par M. Collignon est la machine établie par M. Samain, à Versailles, pour élever les eaux des filtres de Picardie à une hauteur qui assure l'alimentation de tous les quartiers de la ville: l'eau motrice est empruntée à l'aqueduc de Marly. Nous avons connu trop tard cette machine pour en parler dans *l'Alimentation en Eau*.

établissement municipal de la rue de la Convention, à la rencontre de la rue Lecourbe (XV^e arrondissement). C'est en ce point que devait s'opérer la jonction de deux égouts de la ville, le premier qui recueille les eaux vannes du quartier, le second qui n'est autre que l'égout collecteur dirigé vers le siphon du pont de l'Alma, et de là vers l'usine de Clichy. Le premier égout se trouve à 4 m. au-dessous du second. Pour racheter cette différence de niveau, on a eu recours d'abord à des moteurs hydrauliques actionnant des pompes à balancier; les dernières traces de ces premiers essais se trouvent encore dans le sous-sol. Mais ces machines n'ont pu développer qu'un travail insuffisant et en produisant un bruit sourd qui a soulevé les réclamations du voisinage. M. Samain a réussi à supprimer cet inconvénient en substituant à ces machines une machine à colonne d'eau, qui emprunte la puissance motrice à l'eau fournie par l'usine à vapeur Alain-Chartier, appartenant à la ville. C'est en dépensant un certain volume d'eau propre qu'on se débarrasse des eaux d'égout malgré l'insuffisance du niveau auquel elles sont livrées.

La nouvelle machine comprend comme organe moteur un piston à simple effet, qui oscille dans un cylindre fixe; il descend par son poids, et il remonte par la sous-pression de l'eau motrice, qui est fournie à la pression de 33 atmosphères, défalcation faite des pertes de charge, par l'usine de la rue Alain-Chartier. Un appareil automatique assure les renversements du mouvement du piston à chaque fois qu'il atteint l'une des extrémités de sa course.

Comme organe d'aspiration et de refoulement, la machine emploie un cylindre, ou corps de pompe mobile, enveloppant un piston qui reste fixe. Le cylindre est rattaché au piston moteur et participe à son mouvement de va-et-vient. La pompe, comme la machine motrice, est à simple effet. Le poids du corps de pompe s'ajoute au poids du piston moteur pour produire le mouvement de haut en bas.

A chaque pulsation complète de la pompe, un volume de 4,500 lit. d'eaux vannes, puisées à l'égout inférieur, est élevé de 4 m et versé dans l'égout collecteur.

Le mécanisme de la distribution comprend deux tiroirs cylindriques soigneusement équilibrés: l'un est le tiroir principal, qui règle effectivement la distribution; l'autre est un tiroir auxiliaire relié à un levier, sur lequel viennent agir au moment convenable des heurtoirs rattachés au corps de pompe mobile. Pour produire le déplacement du tiroir principal malgré la grande pression de l'eau au sein de laquelle il est plongé, M. Samain a recours au tiroir auxiliaire, qui a de moindres dimensions, et qui est muni d'ailleurs, comme le tiroir principal, d'un piston d'équilibrage. La position la plus élevée du tiroir principal correspond à l'admission de l'eau motrice sous le piston pour le faire remonter; la pression de l'eau dans la boîte de distribution suffit alors pour maintenir le tiroir principal dans la situation qu'il occupe et qu'il doit conserver jusqu'à la fin de la course. Le changement de sens doit alors se produire; le levier supérieur bascule et entraîne le tiroir auxiliaire. L'eau motrice envahit aussitôt une nouvelle région de la boîte de distribution et le tiroir principal se déplace sous l'action des pressions nouvelles qui se développent. Le mouvement inverse se réalise lorsque le piston moteur atteint l'autre extrémité de son trajet. Le déplacement d'un organe de faible poids suffit donc pour provoquer, par le simple jeu des pressions, le déplacement de l'organe principal qui règle la distribution de l'eau motrice.

Le type de machine à colonne d'eau imaginée par M. Samain se prête, comme on le voit, aux situations les plus diverses, et il fournit dans un grand nombre de cas une solution simple, élégante et réellement pratique de problèmes qui se présentent fréquemment dans les aménagements des eaux pour les villes. Si en pareille matière il paraît impossible de découvrir aujourd'hui quelque principe nouveau, on trouve du moins dans les machines de M. Samain une appropriation complète et parfaitement raisonnée des théories connues aux

questions particulières qu'il avait à traiter, et qu'il semble avoir résolues chaque fois d'une manière très heureuse.

*Description de la Machine à colonne d'eau système Samain
pour l'élevation automatique des eaux vannes
installée à l'usine de la Ville de Paris, rue de la Convention*

Cette nouvelle machine comporte (fig. 160) :

- 1° La partie motrice de la distribution par tiroirs cylindriques équilibrés (a);
- 2° La partie pompe aspirante et foulante (b).

La partie motrice se compose, en principe, d'un cylindre vertical, contenant un piston à simple effet qui descend par son poids et remonte sous l'action de l'eau en pression de 33 kg. fournie à distance par l'usine de la rue Alain-Charrier. Le piston est donc animé d'un mouvement alternatif, et les changements

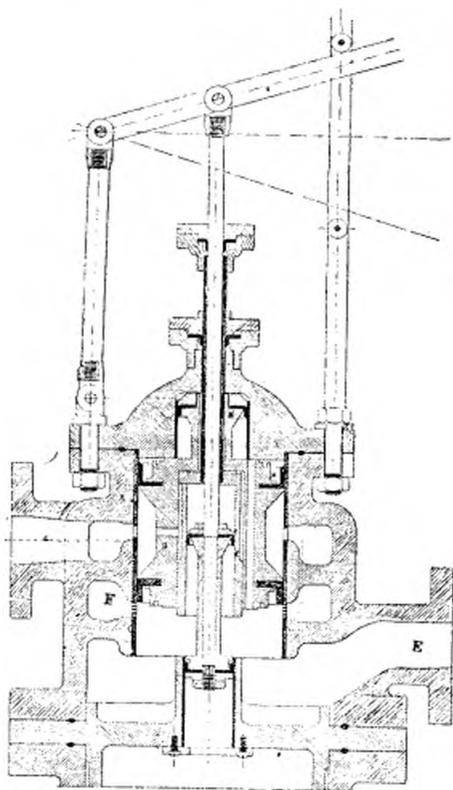


Fig. 160 (a). — Machine à colonne d'eau pour l'élevation des eaux vannes, rue de la Convention.

Détail de la distribution

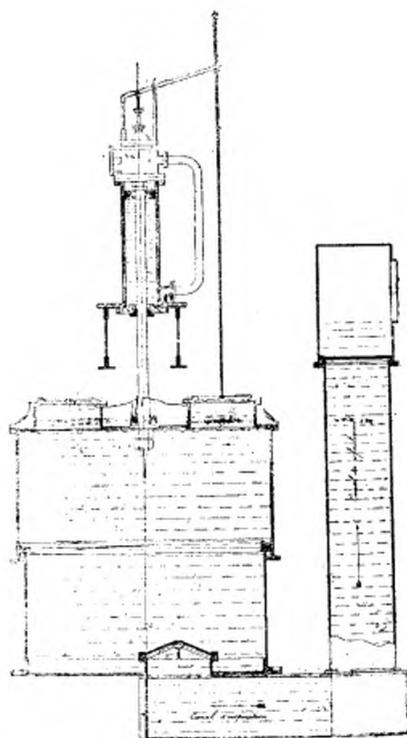


Fig. 160 (b). — Machine à colonne d'eau pour l'élevation des eaux vannes, rue de la Convention.

Ensemble.

A, boîte à tiroirs ; B, tiroir principal ; C, tiroir auxiliaire ; D, piston d'équilibrage au tiroir auxiliaire ; M, piston d'équilibrage du tiroir principal faisant corps avec lui ; E, arrivée de l'eau motrice en pression ; F, communication avec le cylindre moteur sans le piston ; G, échappement ; H, levier de manœuvre du tiroir auxiliaire.

de marche sont obtenus, aux fins de course, automatiquement par le système de distribution décrit ci-après.

La partie pompe se compose d'un grand piston fixe et d'une cuve mobile

formant cylindre ; cette cuve est fixée à la tige du piston moteur et se déplace avec lui. La cuve est pesante et à simple effet.

Les dimensions et les masses en mouvement sont importantes, puisque le débit de la pompe est de 4,500 lit. par chaque course. La surélévation de l'eau entre les deux collecteurs d'égouts est de 4 m. environ.

L'eau sous pression arrivant en E (fig. 160 a) communique par F avec le cylindre et fait monter le piston moteur en provoquant l'aspiration de la pompe.

Pendant cette période, le tiroir B reçoit la pression de l'eau motrice sur ses deux faces. Elles sont d'inégales grandeurs par le fait du piston M, et le tiroir est maintenu dans la position haute du dessin parce que le dessus du piston M est en communication avec l'échappement G.

Le piston moteur arrivant près de sa fin de course supérieure, un heurtoir relié à la cuve mobile de la pompe soulève le levier H et le tiroir auxiliaire central, qui vient occuper la position du dessin et s'y maintient grâce au piston d'équilibrage inférieur. L'eau en pression pénètre alors par la lumière b, pour arriver au-dessus du piston M, ce qui fait descendre immédiatement le tiroir principal B, lequel met en communication F avec G.

Le piston moteur descend en évacuant l'eau qui avait servi à le faire monter. Arrivé près de sa fin de course inférieure, un heurtoir relié à la cuve de la pompe abaisse le levier H, ainsi que le tiroir auxiliaire central, jusqu'à ce que sa barrette S vienne se placer au-dessous de la lumière b.

A ce moment, l'eau déjà introduite au-dessus du piston M est mise en com-

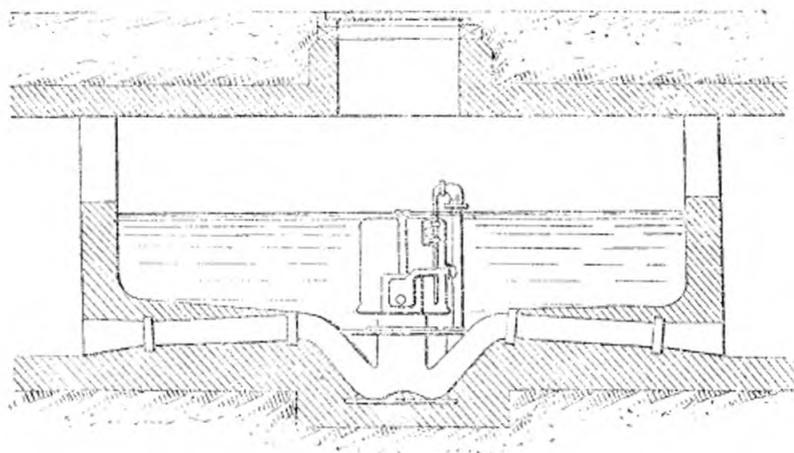


Fig. 161. — Réservoir de chasse Geneste-Herschel à 2 pentes opposées.

munication avec l'échappement, et le tiroir principal remonte immédiatement. L'eau motrice pénètre à nouveau de L en F et fait remonter le piston, et ainsi de suite.

En raison de la grande distance de l'usine motrice aux pompes et des pertes de charge diverses, les pompes ne marchent réellement qu'à 33 kg.

Cette machine dépense 64 lit. d'eau à 33 kg. pour élever 4,500 lit. d'eaux vannes à 4 m. »

Curage des Egouts.— Le meilleur curage est évidemment celui qui est opéré automatiquement par les réservoirs de chasse, et nous avons vu que ces réservoirs devaient être établis — surtout dans le système sé-

paratif — à l'origine des égouts élémentaires et aussi aux points hauts (réservoirs à deux départs en sens opposés).

Les types des réservoirs de chasse fixes sont assez nombreux et la plupart figuraient au Pavillon de la Ville de Paris : leur principe est trop connu pour que nous fassions autre chose que les nommer en courant et en montrant leur forme. La fig. 98 nous a déjà fait connaître le réservoir Field-Waring, type anglais primitif un peu perfectionné.

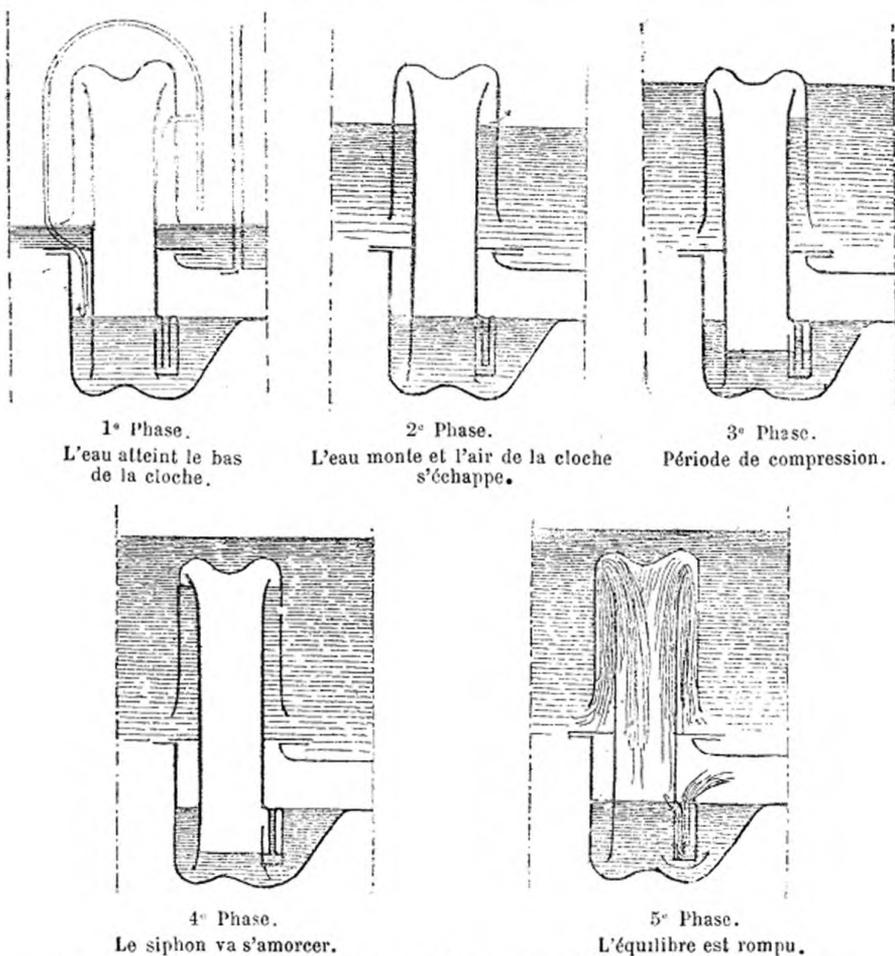


Fig. 162. — Les cinq phases d'amorçage du siphon automatique Geneste-Herscher.

La fig. 161 montre un réservoir Geneste-Herscher à deux départs en sens opposés et la fig. 162 les phases d'amorçage du siphon automatique (lequel est muni d'un petit siphon auxiliaire, jouant un rôle important pour faciliter l'amorçage).

La fig. 163 représente une chambre de chasse avec le siphon Adams

déjà décrit, alimentée par de l'eau d'égout décantée, criblée et stérilisée.

La fig. 164 est le réservoir de chasse avec le siphon un peu spécial de la maison Flicoteaux et ses deux tubes recourbés.

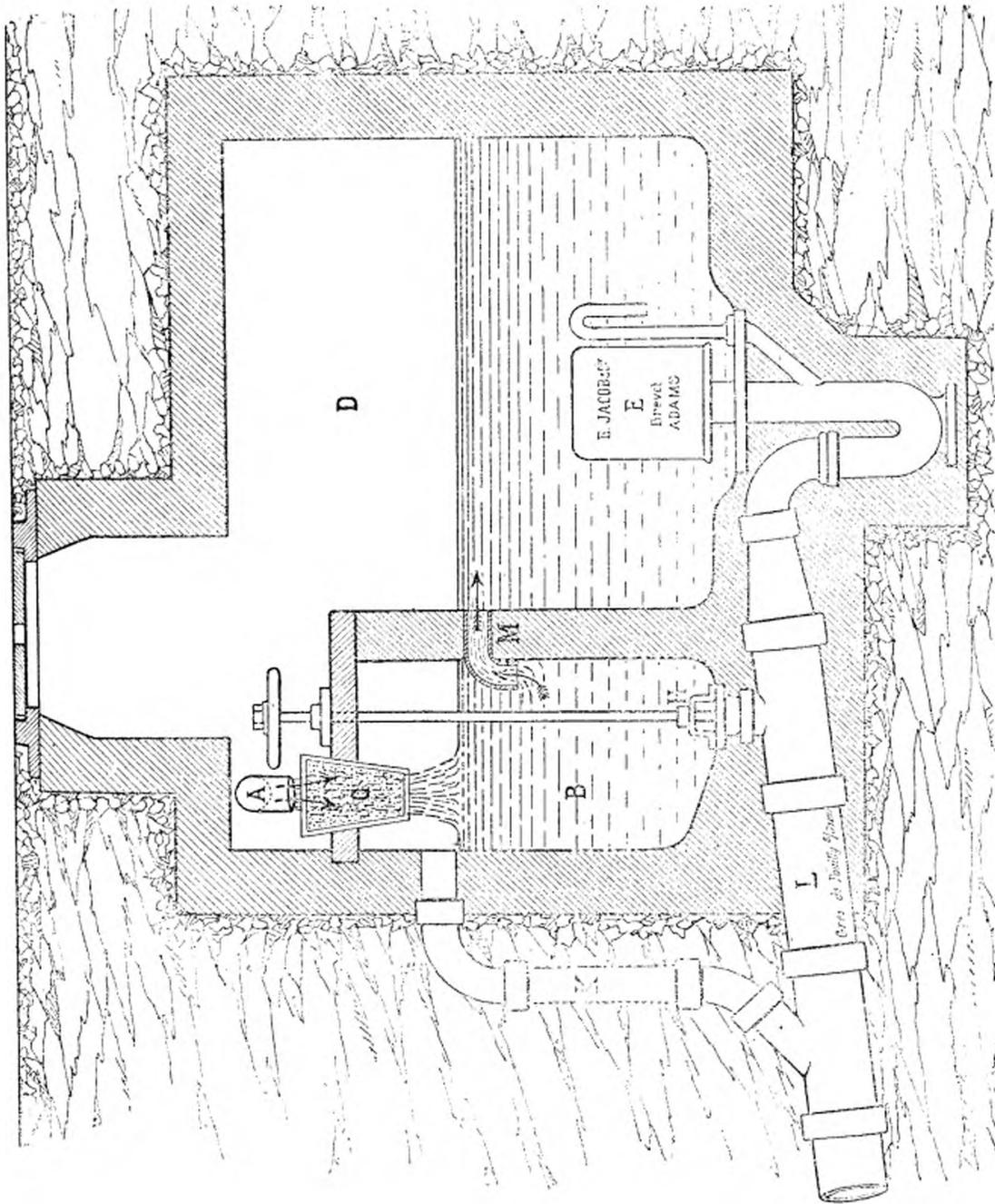


Fig. 163. — Réservoir de chasse avec siphon automatique Adams.

Légende : A, Arrivée d'eau usée. — B, Bassin de décantation. — C, Crible (coké brut et matière précipitante). — D, Chambre de chasse alimentée par l'eau criblée. — E, Siphon automatique de chasse d'eau. — H, Bonde de vidange pour nettoyer le bassin de décantation. — K, Tuyau d'aération et de trop plein. — M, Passage de l'eau clarifiée aérant le réservoir de chasse.

La fig. 165 montre l'appareil Aimond, également très employé à Paris (la cloche a deux parois concentriques formant des siphons successifs ; le premier s'amorce par la détente de l'air, et grâce à l'action de deux

tubes auxiliaires, l'écoulement brusque se produit alors dans le second, puis un troisième tube auxiliaire limite la durée et le volume de la chasse en déterminant la rentrée de l'air et le désamorçage).

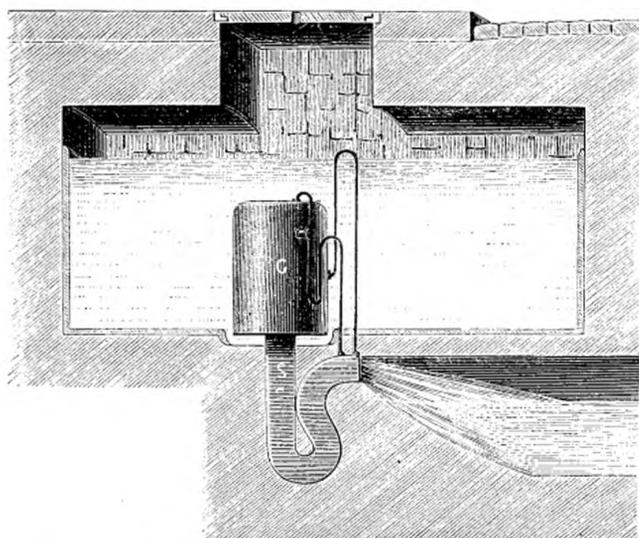


Fig. 164. — Réservoir et siphon de chasse automatique Flicoteaux.

Il y a des appareils de chasse reposant sur des principes différents de celui du siphon à cloche. Tel est d'abord l'appareil ingénieux de Parenty

(fig. 166) : c'est un siphon dont la branche ovale plonge dans une cuve mobile suspendue à une poulie de renvoi et équilibrée par un contrepoids ; les variations du niveau dans le réservoir produisent la descente automatique de la cuve et l'évacuation du liquide. Tels sont aussi les appareils Colin (fig. 167) et Poirier (fig. 168) qui produisent la vidange par l'ouverture brusque d'un clapet ou d'une soupape : dans l'appareil Colin, un réglage de la position des deux contrepoids P et P' permet de faire ouvrir le clapet à une hauteur d'eau déterminée dans le réservoir et de le faire fermer également quand il reste une hauteur voulue ; dans l'appareil Poirier, c'est un flotteur qui, suivant sa position, fait ouvrir ou fermer un robinet d'admission de l'eau de source sous pression sur un piston

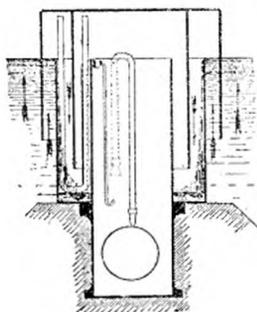


Fig. 165. — Appareil Aimond.

(La figure représente le moment où l'eau monte dans la chambre, envahit le siphon ascendant de l'appareil et déborde dans le siphon inférieur).

D se mouvant dans un cylindre et commandant par un balancier la soupape d'évacuation. Citons aussi les appareils basculeurs qui, placés en tête

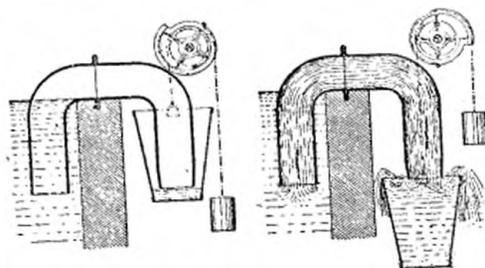


Fig. 166. — Appareil de chasso Parenty.

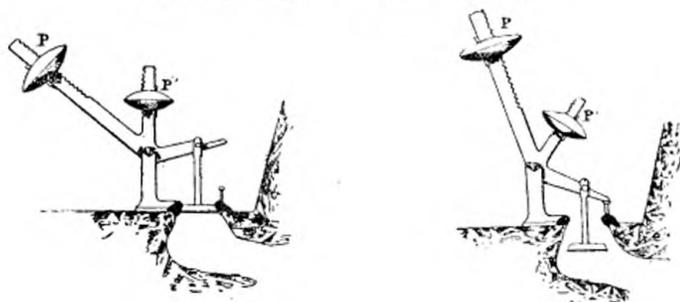


Fig. 167. — Appareil Colin.

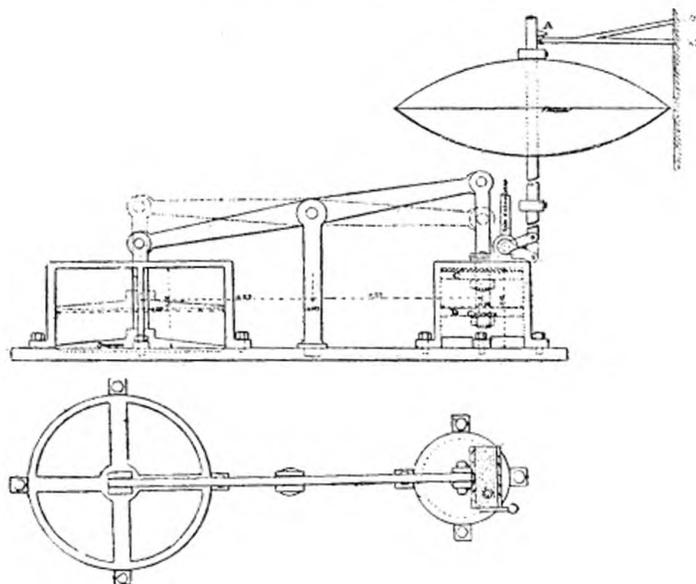


Fig. 168. — Appareil Poirier.

d'un petit égout rendent de bons services : appareil Berlier, à Paris (fig. 169), appareil Duckett (fig. 170) en Angleterre.

Au lieu de construire un grand nombre de réservoirs fixes, on peut

y suppléer avec un réservoir mobile, grande caisse métallique montée sur roues qu'on vient momentanément installer vide au-dessus d'un regard, qu'on remplit au moyen de la distribution, et dont on fait échapper

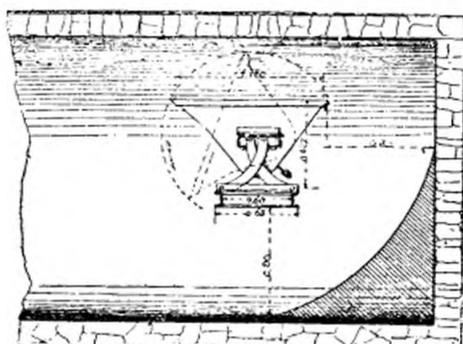


Fig. 169 — Appareil à bascule Berlier.

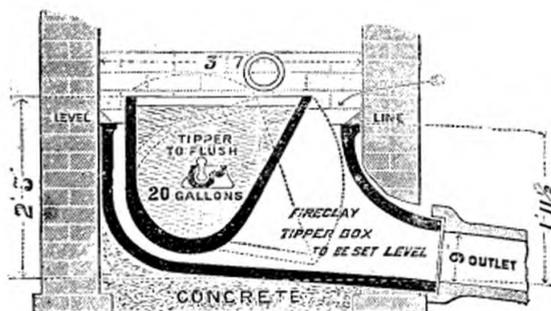


Fig. 170. — Basculeur automatique Duckett.

rapidement le contenu en ouvrant un clapet : un tube dirige l'eau sur le radier de l'égout à nettoyer. Le *Génie civil* (1896 et 1897) décrit deux engins de ce genre. L'un sur deux roues est employé à Anvers (fig. 171) au

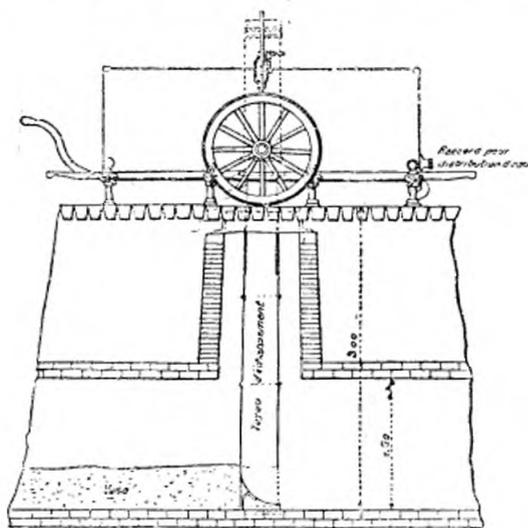


Fig. 171. — Appareil de chasse mobile employé en Belgique pour le curage des égouts de faible section

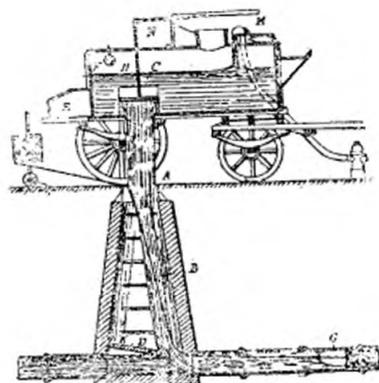


Fig. 172. — Réservoir de chasse sur quatre roues, employé à New-Haven.

curage des petits égouts ; il contient 3 m^3 et est manœuvré facilement à bras. L'autre qui contient également 3 m^3 est à quatre roues et se laisse traîner par un cheval (fig. 172) : il est employé à New-Haven (Connecticut) dans des regards qui sont spécialement préparés *ad hoc*, c'est-à-dire qui contiennent le tuyau télescopique B en tôle et la cloison inclinée K emboîtant la base du tuyau ; le raccordement avec la caisse se fait au moyen d'une

bâche A fixée au chariot. (La fig. 172 représente le curage d'une canalisation en tuyaux, dans laquelle on a introduit une boule en bois de pin revêtu de caoutchouc d'un diamètre inférieur de 0^m,05 à celui du tuyau, avant de faire la chasse : la boule s'arrête là où se trouve la cause d'obstruction, et comme elle est attachée par une cordelette on est ainsi renseigné sur cet endroit). L'an dernier nous avons fait construire à Nancy deux engins semblables à ceux d'Anvers, et nous sommes très satisfaits de leur fonctionnement : pour plus de simplicité, nous n'avons pas de tuyau métallique, mais une simple bâche en toile qui descend jusque sur le radier.

Un appareil intéressant qui produit non pas une chasse à proprement parler, mais un lavage par une série de jets d'eau tombant sur toutes les

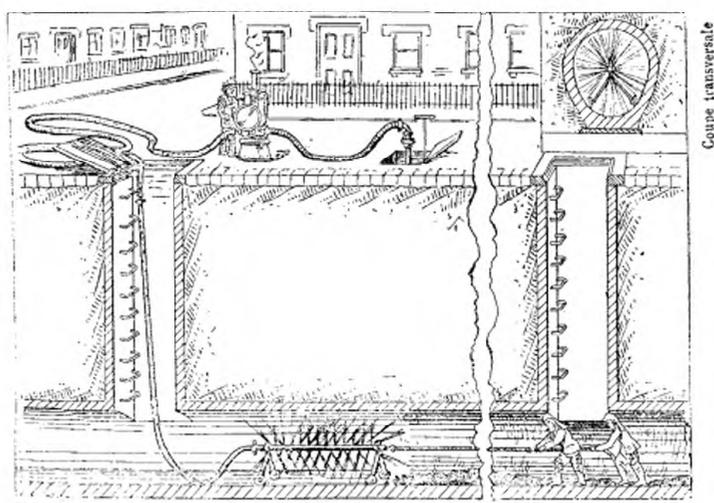


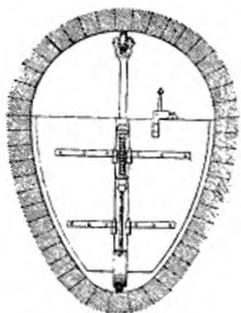
Fig. 173. — Hydraulie Sewer Flusher, de Merryweather.

parois de l'égout est l'Hydraulie Sewer Flusher de Merryweather (fig. 173). C'est comme on le voit, un simple tube percé de trous qui est monté sur des roulettes et qu'on promène entre deux regards : il est relié par un tuyau de caoutchouc à une bouche de la distribution d'eau. Un article de l'*Engineering* du 11 novembre 1898, dit grand bien de cet appareil et relate les expériences faites avec lui à Eccles, près Manchester.

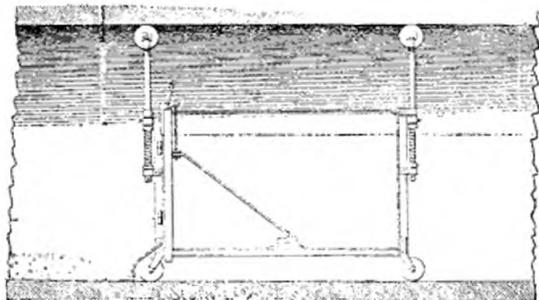
Il existe un assez grand nombre d'appareils qui ont pour principe de créer dans les égouts eux-mêmes une retenue en amont, et par suite soit un écoulement brusque en masse, soit un accroissement de vitesse capable d'entraîner les vases, sables et fumiers déposés. Parmi eux, les uns

être promenés dans les galeries. Le plus simple est la *mitrailleuse*, petite vanne montée sur un chariot que l'ouvrier conduit ; les plus compliqués sont les *bateaux-vannes* et *wagons-vannes*, dont on pouvait voir les modèles exposés (Paris et Berlin).

Le service de l'assainissement de Paris a bien voulu nous communiquer les dessins du grand bateau-vanne et du wagon-vanne à voie de 1^m,20 ; nous les reproduisons dans les fig. 174 et 175. Ces deux appareils fonctionnent de la même manière, et la seule différence c'est que l'un flotte en portant sa vanne à l'avant, tandis que l'autre roule sur des cornières placées aux bords de la cunette. La vanne, qu'on relève ou abaisse à volonté, épouse quand elle est en place le profil de la cunette : mais elle porte en son milieu une vannette par laquelle on fait passer le flot sous pression qui attaque le banc de vase en avant de l'appareil : on abaisse plus ou moins la vannette de manière à avoir une dénivella-



Vue de face.



Vue latérale.

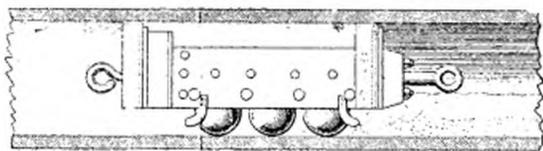
Fig. 176. — Appareil de curage automatique pour les égouts ovoïdes de Berlin.

tion c'est-à-dire une charge d'eau d'environ 0^m,30. Rien de plus facile de reste que de faire actionner le wagon-vanne par la locomotive électrique à trolley dont nous parlerons plus loin. — Bruxelles a pour le curage de ses collecteurs une plate-forme roulante portant une vanne analogue à celle des engins de Paris. — Quant à l'appareil exposé par Berlin (fig. 176), il est encore du même genre, avec cette différence qu'il s'appuie par des galets sur le radier, la voûte et les faces latérales de l'égout : la planche épousant la forme de la galerie fait accumuler l'eau derrière elle, et celle-ci passant avec force par l'échancreuse inférieure pousse en avant la vase et le sable. La fig. 177 représente l'appareil de curage des tuyaux en poterie : c'est un segment de cylindre qui est porté par les boules et qui obture les trois quarts supérieurs de la section, en forçant l'eau à passer avec force dans le quart inférieur.

Tout le monde connaît la boule que Belgrand a imaginée pour le curage du siphon de l'Alma. Des boules du même genre ayant respectivement 2 m et 1^m,60 de diamètre sont appliquées au curage des siphons de Clichy et de la Concorde : seulement il a fallu les composer de plu-



Vue de face.



Vue latérale.

Fig. 177. — Appareil de curage automatique pour les égouts en tuyaux de Berlin.

sieurs morceaux, les lester convenablement, enfin pour les faire descendre à l'orifice du siphon les coiffer d'un chapeau métallique formant une surcharge suffisante.

Reste encore à parler des engins destinés à retenir et retirer les fumiers et à extraire les sables des égouts, engins dont Paris avait exposé une belle collection de modèles. Pour les fumiers, qui sont très abondants dans Paris en raison de l'absence de siphons aux bouches d'égouts, ce sont naturellement des grilles qui sont destinées à les arrêter ; mais elles seraient bientôt complètement feutrées et formeraient un barrage dangereux, si des râpeaux ou des griffes, mus soit à la main, soit mécaniquement, ne venaient enlever les corps accumulés en avant et entre les barreaux. On voyait un modèle d'une grille de ce genre, avec la chaîne sans fin imaginée par Dutoit (fig. 178) : cette chaîne, qui se meut en avant de la grille, porte plusieurs séries de peignes dont les dents pénètrent entre les barreaux et qui, arrivés à la partie supérieure, se déchargent automatiquement par l'action d'une came soit sur le plancher soit dans un wagonnet, soit mieux encore sur un transporteur à toile sans fin. (M. Bechmann nous apprend qu'à Londres, des grilles doubles en forme de cages, sont mises alternativement en service ;

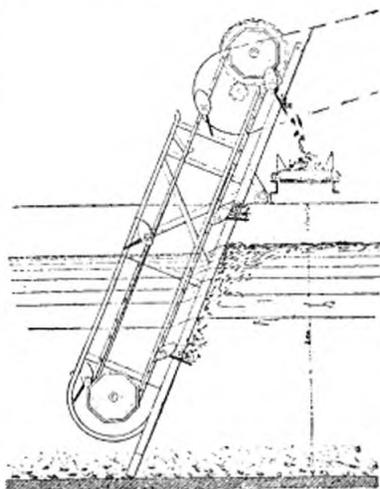


Fig. 178. — Grille avec râteau mécanique Dutoit pour arrêter les fumiers des égouts de Paris.

quand l'une s'est remplie on la relève en descendant l'autre, et on procède commodément à l'enlèvement des fumiers qu'elle a recueillis. A Glasgow, une grille en forme de roue et animée d'un mouvement de rotation ramène incessamment au-dessus du plancher les corps flottants qui s'y sont arrêtés au passage et qu'on dégage alors aisément).

Pour les sables et autres corps lourds, on a à les enlever soit dans les chambres à sable et bassins de dégrossissage, soit dans les égouts eux-mêmes, et il faut à la fois des engins de dragage pour les saisir et les élever et des appareils de transport pour les conduire au dehors. L'élec-

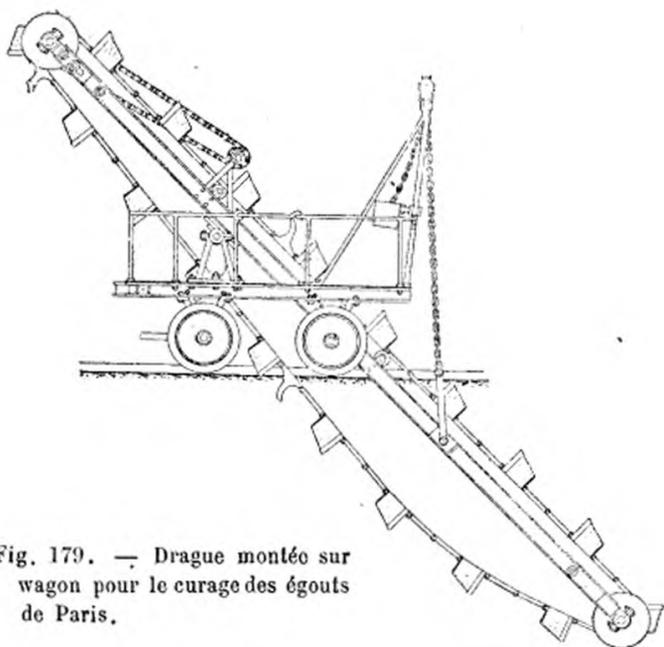


Fig. 179. — Dragage montée sur wagon pour le curage des égouts de Paris.

tricité a donné dans ces dernières années de grandes commodités pour ces machines. Comme dragues, citons la drague à godets montée sur un wagon se transportant tout le long des collecteurs (fig. 179) et la benne-dragueuse établie soit à l'extrémité du bras d'une grue montée sur wagon (fig. 180), soit sur les bassins de dépôt à l'entrée des usines élévatoires, comme à Colombes. On utilise 1° une benne à mâchoires dentées (fig. 180-b) manœuvrée par l'électricité, qui, descendue ouverte jusqu'au contact des dépôts, se referme là par son propre poids, et lorsqu'on la remonte émerge pleine d'une masse vaseuse dont on laisse égoutter l'eau avant de la décharger dans les engins de transport; 2° pour les dépôts plus solides et s'opposant à la fermeture de la benne, une benne semblable, mais munie d'un cylindre à eau comprimée dont le

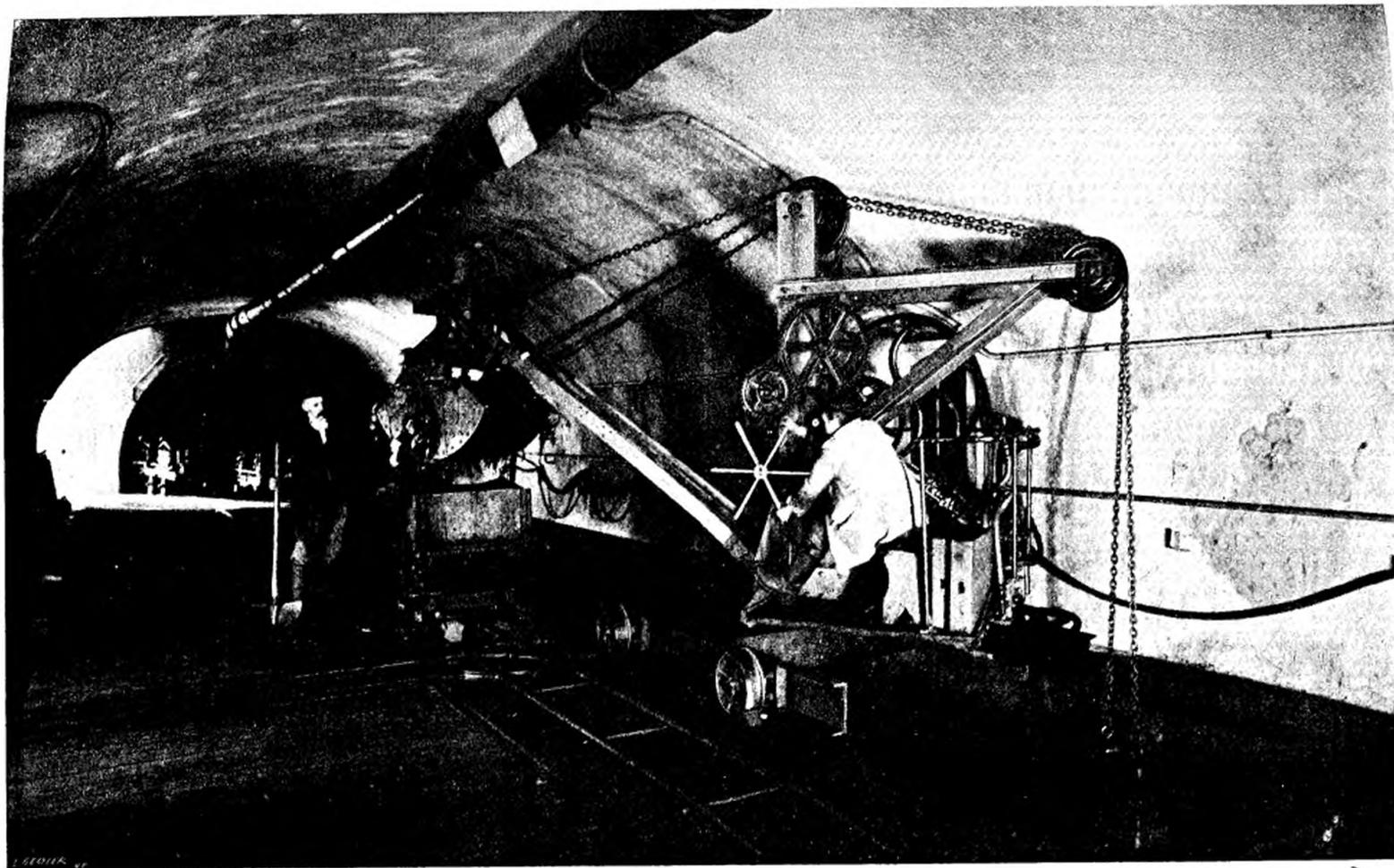


Fig. 180. — Benne-dragueuse avec grue, au bassin à sable du Châtelet. (Égouts de Paris).

piston oblige les deux mâchoires renforcées à se refermer en montant



Fig. 180 (a). — Benne-dragueuse avec grue sur wagon (Égouts de Paris.)

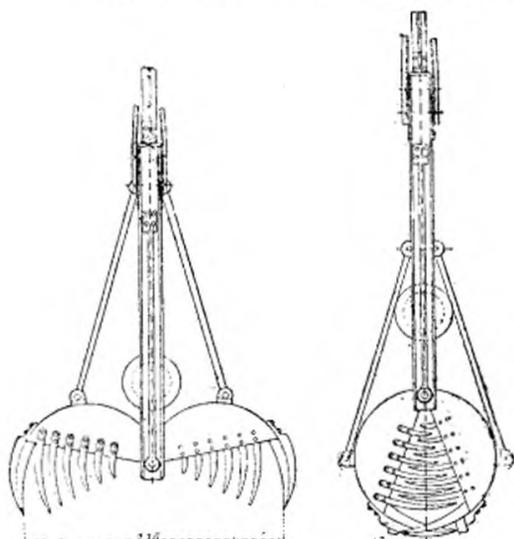


Fig. 180 (b). — Benne-dragueuse, à mâchoires dentées, manœuvrée électriquement.

monter les sables des chambres : le cylindre tourne en même temps que la vis intérieure.

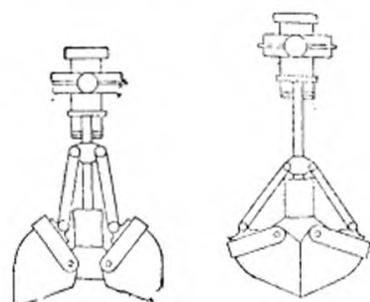


Fig. 180 (c). — Benne-dragueuse avec mâchoires à fermeture hydraulique.

dans la masse (fig. 180-c). On a également essayé avec succès une vis sans fin, analogue à la vis d'Archimède pour faire

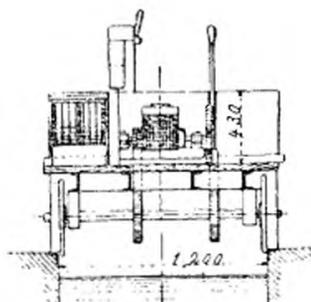
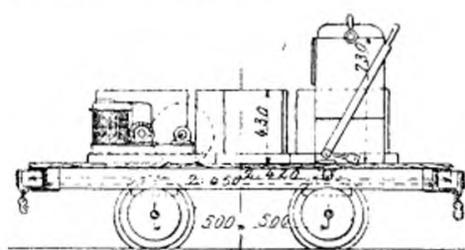


Fig. 181. — Élévation, plan et vue de face d'une locomotive électrique des égouts de Paris.

Quant aux engins de transport perfectionnés, la fig. 181 montre la locomotive électrique à trolley et la fig. 182 les deux toueurs (grand et

petit) également électriques, système de Bovet, qui servent à emmener les wagons remplis de vase : ces engins servent également pour la prome-

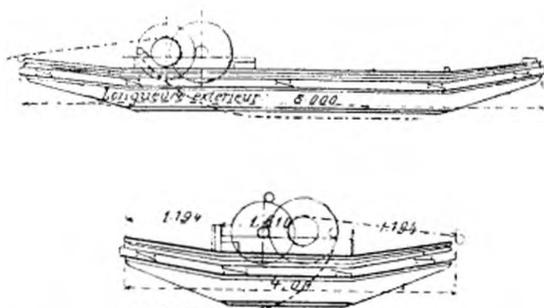


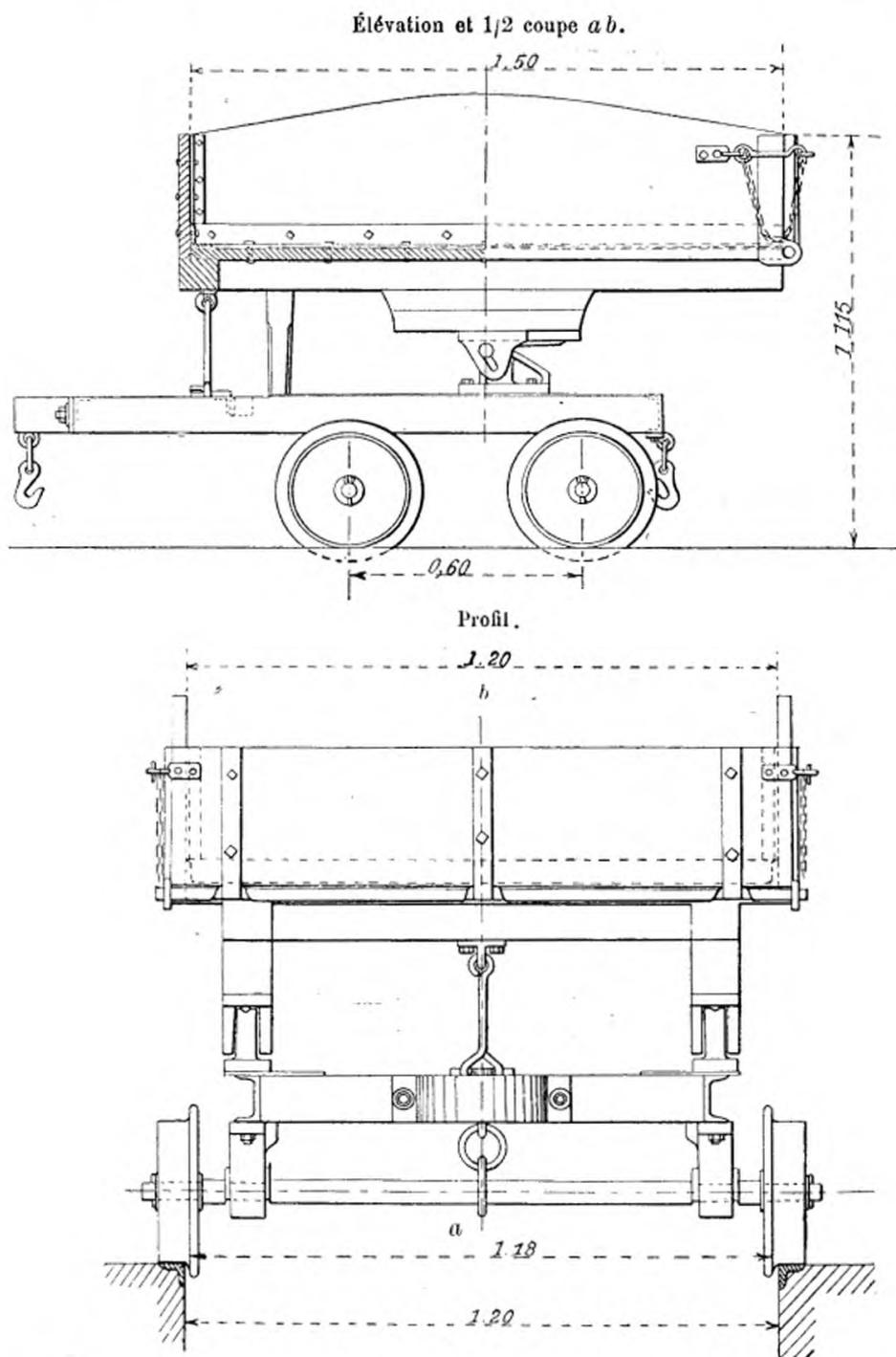
Fig. 182. — Grand et petit toueur des égouts de Paris.

nade des visiteurs. Enfin les fig. 183 et 184 représentent les wagons nouveau modèle, déversant soit de bout, soit de côté, qui sont employés pour recevoir et emmener au dehors les vases et sables dragués.

Ventilation des Egouts. — Cette question difficile ne sera redevable d'aucun progrès sérieux ni à l'Exposition, ni même au Congrès d'Hygiène de 1900. Les difficultés résident, 1° en ce que la direction du courant d'air entre l'égout et l'atmosphère extérieure n'est pas constante et est dès lors bien difficile à régler ; 2° en ce qu'il y a une véritable contradiction entre une bonne aération des égouts — ce qui suppose l'expulsion de l'air méphitique remplacé par de l'air pur — et le maintien dans son intégrité de la pureté de l'atmosphère urbaine recevant cet air expulsé, 3° enfin en ce que la communication avec la maison est pour celle-ci un danger permanent de pénétration de l'air de l'égout dans les appartements. Ce n'est pas que cet air véhicule des germes pathogènes avec lui (il est même moins chargé de microbes que l'air des rues ⁽¹⁾, ce qui s'explique sans doute par l'absence des poussières, l'humidité des parois, etc.), mais il a généralement une odeur repoussante, et de plus il paraît certain que l'organisme perd de sa résistance et reste plus exposé aux invasions microbiennes ⁽²⁾ quand on respire longtemps un air chargé de gaz méphitiques. Le mieux serait donc d'aspirer artificiellement l'air des égouts et de le purifier, par exemple comme l'a proposé M. Bougarel

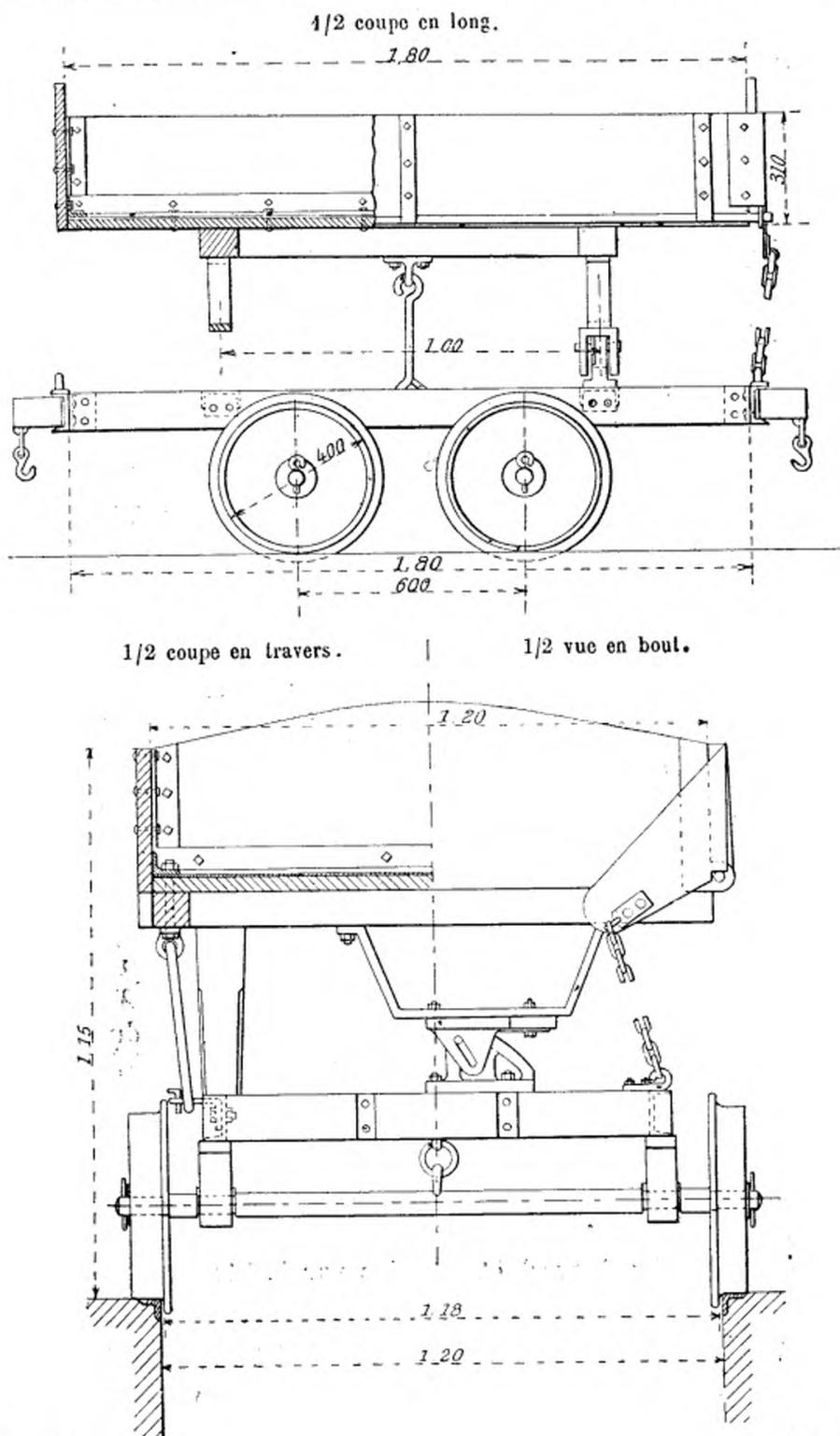
(1) Voir les analyses de Miquel dans l'*Annuaire de Montsouris*, celles du Dr Zagari à Naples, des auteurs allemands, etc.

(2) Voir les expériences du Dr Alessi in *Annales de l'Université de Rome*, 1894.

Fig. 183. — Wagon-basculé se déversant en bout. (Voie de 1^m,20). Egouts de Paris.

Légende :

Matière.	Désignation.	Poids approximatif.
Bronze	Coussinets de boîtes à huile	1 kg.
Fonte	Roues, bascules.	200 kg.
Fer		230 kg.
Bois	Caisse, bâti en sapin de Lorraine	105 kg.
	Total en chiffre rond.	540 kg.

Fig. 184. — Wagon à sable pour voie de 1^m,20, basculant par côté. Egoûts de Paris.

<i>Légende :</i>		
Matière.	Désignation.	Poids approximatif.
Bronze	Coussinets de boîtes à huile	1 kg.
Fonte	Roues, bascules.	200 kg.
Fer	. . . . .	300 kg.
Bois	Caisse, boîte en sapin de Lorraine	130 kg.
	Total en chiffre rond.	630 kg.

au Congrès d'Assainissement de 1895 en le comburant dans les foyers industriels ou spécialement établis dans ce but. Nous ne connaissons pas de ville qui applique ce principe en grand : toutefois le système Webb qui amène l'air de la canalisation aux brûleurs des becs de gaz (fig. 185) est un pas dans cette voie, et il y a bien une centaine de villes anglaises qui l'ont fait.

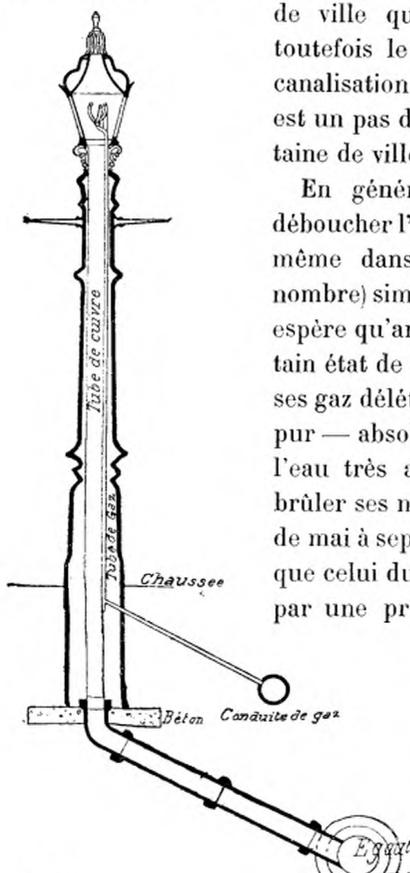


Fig. 185. — Système Webb. (brûlant les gaz des égouts.)

En général, on cherche seulement à faire déboucher l'air des égouts au-dessus des maisons, même dans beaucoup de villes (Paris est du nombre) simplement au niveau des chaussées. On espère qu'arrivant dans l'atmosphère dans un certain état de division, cet air s'y dilue et y oxyde ses gaz délétères au contact de l'oxygène de l'air pur — absolument comme l'eau d'égout mêlée à l'eau très aérée lui prend de l'oxygène pour brûler ses matières organiques. Or pendant l'été, de mai à septembre, l'air de l'égout est plus lourd que celui du dehors, et sauf les cas où il est chassé par une projection d'eau de pluie, on doit se demander s'il monte réellement par les bouches d'égout et les cheminées : des expériences faites à Fulham et à Sutton, et dont rend compte W. Brown dans le *Public Health Engineer* du 24 décembre 1897, montrent qu'en effet le courant est assez souvent nul ou interverti au débouché des cheminées d'aérage.

De même des expériences faites à Edimbourg et à Leith les 30 et 31 mai 1898 (au moment où on faisait les premières applications des appareils Reeves) et relatées par A. Stewart ⁽¹⁾, il résulte qu'à ce moment les différents orifices ne fonctionnaient pas tous de la même façon : sur vingt-deux, quinze laissaient sortir de l'air (en quantité très variable, car à l'un il sortait 62 pieds cubes par minute et à un autre 3423 pieds cubes) et sept en laissaient entrer ; l'air du dehors était plus dense que celui de l'égout à neuf endroits, dont deux seulement

(1) Voir *Proceedings of the Association of Municipal and County Engineers*, vol. XXIV.

correspondaient à des rentrées d'air. On voit par là combien l'aération dite *naturelle* des égouts est peu sûre.

Le système Reeves qui vient d'être cité et qui est appliqué depuis deux ou trois ans à Edimburg, Sutton, Epsom, Fulham, Eastbourne, Ilford, etc., cherche à modifier la composition de l'air de l'égout dans l'égout même en le purifiant par oxydation grâce à l'oxygène naissant produit par l'action de l'acide sulfurique sur le manganate de soude. On dispose

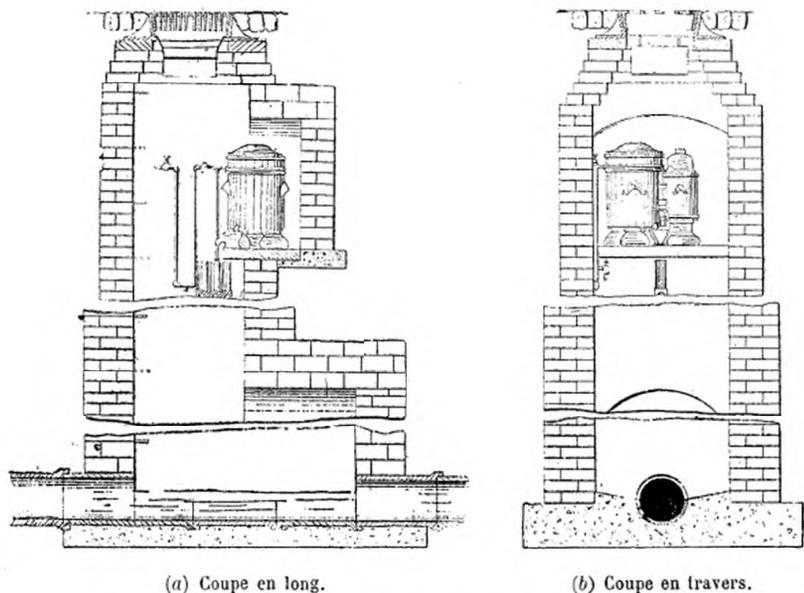


Fig. 186. — Appareil Reeves pour la purification de l'air des égouts
(dans un regard aménagé).

dans un regard aménagé en conséquence (fig. 186) les deux vases, remplis l'un d'acide et l'autre de manganate sec : ce dernier reçoit un filet d'eau de la distribution et laisse échapper cette eau, après qu'elle a traversé le manganate, dans une capsule de porcelaine où arrive également l'acide sulfurique : outre la production d'oxygène, il se produit un liquide antiseptique puissant qui tombe dans l'égout. De plus, une pulvérisation d'eau au-dessus de la capsule de porcelaine produit un brouillard qui purifie les gaz avant leur sortie par le regard. Il paraît que ce système donne satisfaction : il suffirait de deux à quatre appareils

par 1000 habitants et la dépense annuelle ne serait que de 55 francs par an et par appareil.

Après ce que nous avons dit, on comprendra que nous ne nous prononçons pas sur les avantages ou les inconvénients très relatifs des différents modes d'aération communément adoptés dans les villes. Peut-on se contenter des simples bouches d'égout débouchant sur la chaussée comme dans la plupart des villes françaises (1), ou faut-il comme dans les villes anglaises et américaines faire une prise d'air au niveau ou à peu de distance de la chaussée pour l'entrée de l'air pur, et établir des tuyaux et des cheminées pour l'expulsion de l'air délétère au-dessus des toits ou dans les points élevés de la ville? On voit qu'on aura beau avoir des cheminées, les gaz ne les suivent pas toujours dans le sens voulu, si l'on n'y fait pas un appel d'air artificiel soit par une combustion, soit par un ventilateur, soit par un éjecteur à air comprimé comme dans le système Shone et Ault déjà cité (on pourrait également se servir de l'eau sous pression, de trompes à eau, etc.). Le désodoriseur Adams au bas des cheminées d'aération (fig. 187) nous paraît d'un fonctionnement également bien aléatoire. De plus dans les villes étagées sur des coteaux les gaz sortant au-dessus des toits des maisons des parties basses ne vont-ils pas directement aux fenêtres des maisons plus élevées? Et puis le vent ne ramène-t-il pas parfois les couches d'air supérieures au niveau du sol, en les brassant avec celles du bas? Encore une fois si on débarrasse l'égout de son air malsain, on n'arrive trop souvent qu'à le déverser dans la rue.

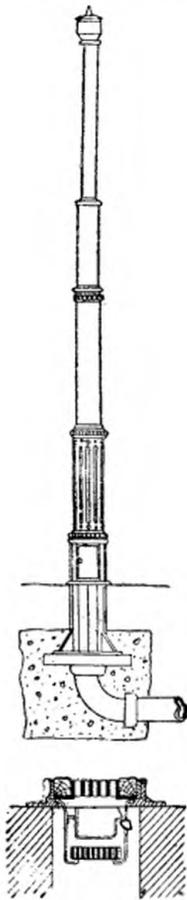


Fig. 187.
La cheminée d'aération
et le désodoriseur
Adams.

Cependant, puisque le sens le plus habituel est l'ascension de l'air de l'égout, nous acceptons volontiers qu'on fasse comme à Francfort des cheminées aux points hauts de la ville, ce qui paraît admis sans discussion par tout le monde, et aussi qu'on profite généralement des tuyaux de chute prolongés jusqu'au-dessus des toits pour assurer l'aération des canaux, ce qui conduit à remettre sur le tapis la question du *siphon de*

(1) Ou encore de voûtes poreuses laissant passer l'air de l'égout dans leurs pores, comme l'a proposé récemment sir Charles Cameron (*The Lancet*, 17 juin 1899).

ped ou *siphon terminus* (disconnecting-trap). Question très embarrassante pour les hygiénistes, puisqu'au Congrès de 1900, deux rapports l'un de M. Alfred Rœchling, l'autre de MM. Lacau et Masson concluent en sens opposé, l'un au maintien, l'autre à la suppression du siphon de pied ! Nous avouons que nous inclinons vers la suppression du siphon de pied surtout par raison de simplicité, et aussi par ce que ce fameux siphon est souvent un réceptacle des matières retenues et forme ainsi un véritable obstacle à l'évacuation immédiate hors de la maison : toutefois nous reconnaissons que sa suppression diminue la protection de la maison contre l'invasion des gaz de l'égout, et il faut dans ce cas que le plus grand soin soit apporté à l'installation des autres siphons, et à l'étanchéité de la canalisation intérieure en général (1). Le Congrès d'hygiène s'est bien gardé de prendre un parti définitif : aussi bien, pour ne plus revenir sur la question de la salubrité de l'habitation tant en elle-même que dans ses rapports avec le réseau d'égout, voici les conclusions des rapports précités et les vœux émis à la suite par le Congrès.

1° Conclusions du rapport de M. Rœchling.

1° *But et objet de tout drainage systématique d'un immeuble.* — Le but et l'objet de tout drainage systématique d'un immeuble est de doter l'habitation de tous les bienfaits inhérents à un bon système de distribution d'eau d'alimentation et d'évacuation d'eaux usées.

2° *Moyens d'atteindre ce but.* — Ce but sera atteint le plus sûrement par l'observation stricte des deux règles essentielles suivantes :

a. *Première règle essentielle.* — La première règle essentielle est d'exclure de l'intérieur de nos maisons tous les gaz produits dans les égouts, d'éviter la pollution du sous-sol par les eaux usées et les matières de vidange et d'empêcher la formation des gaz du sol et de l'air au-dessous et autour de nos maisons.

b. *Seconde règle essentielle.* — La seconde règle essentielle, c'est d'écouler aussi

(1) On ne saurait trop insister sur l'importance des vérifications fréquentes de cette étanchéité. On sait qu'elles se font soit par l'épreuve hydraulique, soit plus fréquemment encore par l'épreuve à la fumée. Les Anglais, notamment, ont imaginé des appareils spéciaux pour ces vérifications : d'abord des procédés d'obturation des tuyaux, les Drain Stopper d'Addison, de Jones, etc., puis la Jensen's pneumatic drain-testing machine, qui n'est autre chose qu'une pompe à injecter de l'air et un manomètre pour observer la tension ; puis les générateurs de fumée The Eclipse smoke generator, The Watt's Asphyxiator, The Tyndale Asphyxiator, The Champion fumigator, qui ne sont guère que des soufflets ou des ventilateurs envoyant la fumée dans les conduites ; enfin les grenades, étuis ou fusées qui éclatent en arrivant en place et répandent brusquement une grande quantité de fumée ou de gaz odorants (Banner Drain Grenade, Kemp's drain tester, Pain's Smoke Cases ou rockets, Burnet's drain tester, etc.). Il est facile d'imaginer des appareils de ce genre et d'en varier l'application à volonté.

rapidement et aussi complètement que possible dans les égouts publics toutes les matières de vidange et toutes les eaux usées produites à l'intérieur de nos maisons.

3° *Application de ces règles.* — L'application de ces deux règles, qui, au point de vue pratique, peuvent être combinées, nécessite dans tous les drainages de maisons les mesures suivantes :

a. Siphon terminus.

b. Autre siphon pour l'exclusion des gaz.

c. Siphon pour intercepter toutes les matières solides, à l'exception des matières de vidange.

d. Un système convenable de ventilation.

e. Réservoir de chasse spécial pour chaque cabinet d'aisances.

f. Tuyau étanche à l'air et à l'eau.

g. Emploi de matières convenables pour les tuyaux.

h. Dimensions et épaisseurs convenables pour tous les tuyaux.

i. Pente permettant un nettoyage automatique.

k. Coudes à angles très obtus.

l. Construction convenable des cabinets d'aisances, des baignoires et des autres appareils sanitaires.

m. Facilité d'accès à tous les tuyaux pour examen et épreuve.

n. Chasses suffisantes pour les cabinets d'aisances et les baignoires.

o. Visite périodique et nettoyage quand il est nécessaire.

4° *Devoirs de l'autorité sanitaire.* — Lorsque l'autorité sanitaire défend l'usage des siphons terminus, son devoir l'oblige comme conséquence logique et unique de cette prohibition à se rendre responsable de la propreté et de l'état convenable de toute canalisation de maison. Ce qui ne peut avoir lieu avec quelque chance de succès que si l'autorité sanitaire se charge elle-même du travail d'inspection et du nettoyage des canalisations des immeubles.

2° *Conclusion du rapport par MM. Lacau et Louis Masson.*

I. — La salubrité dans la maison dépend non seulement de l'aération et de l'éclairage des chambres, mais encore de la disposition et de la propreté des cabinets d'aisances. Un seul cabinet, un seul appareil mal agencé ou tenu malproprement suffit pour infecter une maison tout entière.

II. — L'eau potable doit être mise largement dans tous les étages à la disposition des habitants.

Les filtres domestiques, quand il est nécessaire d'y recourir, doivent être d'un entretien facile. Un bon filtre purifie l'eau en même temps qu'il la clarifie.

III. — Les pièces composant un logement doivent être ventilées. On doit y respirer l'air le plus pur puisé immédiatement à l'extérieur et introduit par les voies d'accès les plus diverses sans qu'il en résulte aucune gêne pour les occupants.

IV. — Il serait à désirer que les ordures ménagères fussent détruites au fur et à mesure de leur production.

A défaut, les boîtes destinées à les contenir doivent être imperméables, étanches et fermées. Il faut qu'elles soient nettoyées et désinfectées le plus souvent possible.

V. — Les cabinets d'aisances doivent être alimentés soit par des réservoirs, soit par tout autre appareil branché sur la canalisation d'eau et le volume des chasses doit être suffisant pour laver la cuvette en renouvelant l'eau du siphon et pour entraîner toutes les matières jusqu'à l'égout public.

Il est recommandé de placer immédiatement au-dessous de la cuvette un siphon obturateur qui aura pour effet d'intercepter toute communication entre l'atmosphère impure des tuyaux de chute et l'air de l'habitation et d'empêcher

dans la mesure du possible, la projection de corps étrangers qui obstrueraient la canalisation.

VI. — L'assainissement d'une maison comporte l'évacuation immédiate et sans stagnation de toutes les eaux usées vers la canalisation publique chargée de les recueillir. Il est indispensable de pourvoir d'une occlusion hydraulique permanente (siphon) tous les orifices de décharge des eaux usées (évier, vidoirs, postes d'eau, lavabos ou toilettes, bains, entrées d'eaux dans les cours, etc...) avant leur raccordement sur les tuyaux de descente ou sur la canalisation.

VII. — La canalisation de l'immeuble comporte les chutes, les descentes d'eaux pluviales et ménagères et la conduite qui relie l'égout public.

Cette conduite, établie sur toute la pente disponible, est directement raccordée à l'égout public, sans l'intermédiaire d'un siphon. Les chutes et descentes reliées à la canalisation sont prolongées au-dessus du toit pour assurer la ventilation de tout le système.

VIII. — Les travaux de plomberie, tant pour l'adduction de l'eau d'alimentation que pour l'évacuation des matières de vidanges et des eaux usées dans l'intérieur de l'habitation, doivent être l'objet de soins tout particuliers. Les installations doivent être telles que la distribution de l'eau (branchements, colonnes montantes, etc.), ainsi que les appareils hydrauliques (réservoirs ou appareils de chasse, cuvettes, siphons, etc...), les chutes et les descentes d'eaux ménagères, soient complètement à l'abri de la gelée.

*5^e Vœux du Congrès d'Hygiène de 1900
(relativement à l'assainissement de l'habitation).*

1^o L'assainissement d'une maison comporte l'évacuation immédiate et sans stagnation de toutes les eaux vives vers la canalisation publique chargée de les recueillir. Il est indispensable de pourvoir d'une occlusion hydraulique permanente (siphon) tous les orifices de décharge des eaux usées (évier, vidoirs, postes d'eau, lavabos ou toilettes, bains, entrées d'eau dans les cours, etc.), avant leur raccordement sur les tuyaux de descente ou sur la canalisation.

2^o L'assainissement d'une maison exige également l'aération permanente de toute la canalisation et l'impossibilité pour les gaz de cette canalisation de pénétrer dans les appartements.

3^o Les travaux de plomberie, tant pour l'adduction de l'eau d'alimentation que pour l'évacuation des matières de vidange et des eaux usées dans l'intérieur de l'habitation, doivent être l'objet de soins tout particuliers. Les installations doivent être telles que la distribution de l'eau (branchements, colonnes montantes, etc.), ainsi que les appareils hydrauliques (réservoirs ou appareils de chasse, siphons, etc.), les chutes et les descentes d'eaux ménagères soient complètement à l'abri de la gelée.

4^o L'encombrement des locaux tombe sous le coup de la loi et sous la surveillance des pouvoirs publics, comme étant une cause grave d'insalubrité, en dehors de celles qui sont inhérentes aux dispositions des locaux; les Municipalités et l'Etat doivent encourager les propriétaires qui construiraient des logements ouvriers salubres, notamment par des exonérations de taxe.

5^o Le Congrès appelle l'attention des Municipalités et du public sur l'insalubrité des chambres d'hôtel et appuie les initiatives privées.

6^o Dans les villes, une réglementation générale doit exiger l'installation d'un robinet d'eau potable dans tous les logements, ou au moins sur tous les paliers comme une des conditions nécessaires de la salubrité de ces logements.

7^o Les Municipalités doivent établir des bains-douches gratuits ou à très bon marché et des lavoirs possédant des appareils de désinfection.

8° Dans les agglomérations à grande densité de population, tous les règlements de voirie doivent tendre à augmenter les dimensions des rues et des cours, et à diminuer la hauteur des maisons.

9° Il doit être institué un enseignement professionnel consacré par un diplôme de « plombier sanitaire » destiné à répandre les notions d'hygiène et de construction rationnelle et économique parmi les plombiers.

10° Les fumées étant malsaines, surtout quand elles sont noires, épaisses ou prolongées, une réglementation sévère de la fumivorité s'impose dans l'intérêt supérieure de la salubrité publique. Une surveillance administrative est particulièrement nécessaire dans les quartiers où se produisent les fumées industrielles.

2° Destinée finale et traitement des eaux d'égout.

a). **Déversement en mer.** — La mer est un réservoir bien commode pour y jeter le sewage des grandes villes voisines. Cependant il faut choisir avec discernement le point de déversement, et cela afin d'éviter que les matières ne restent enfermées dans une anse stagnante, ne soient ramenées sur le rivage habité par la marée ou les courants, etc. : bref, il faut déverser sur un point de la côte éloigné de la ville et où se fait sentir un courant favorable à l'éloignement définitif, ou en cas contraire, c'est-à-dire si l'on est obligé comme à Toulon de déverser dans le port même, il faut épurer préalablement.

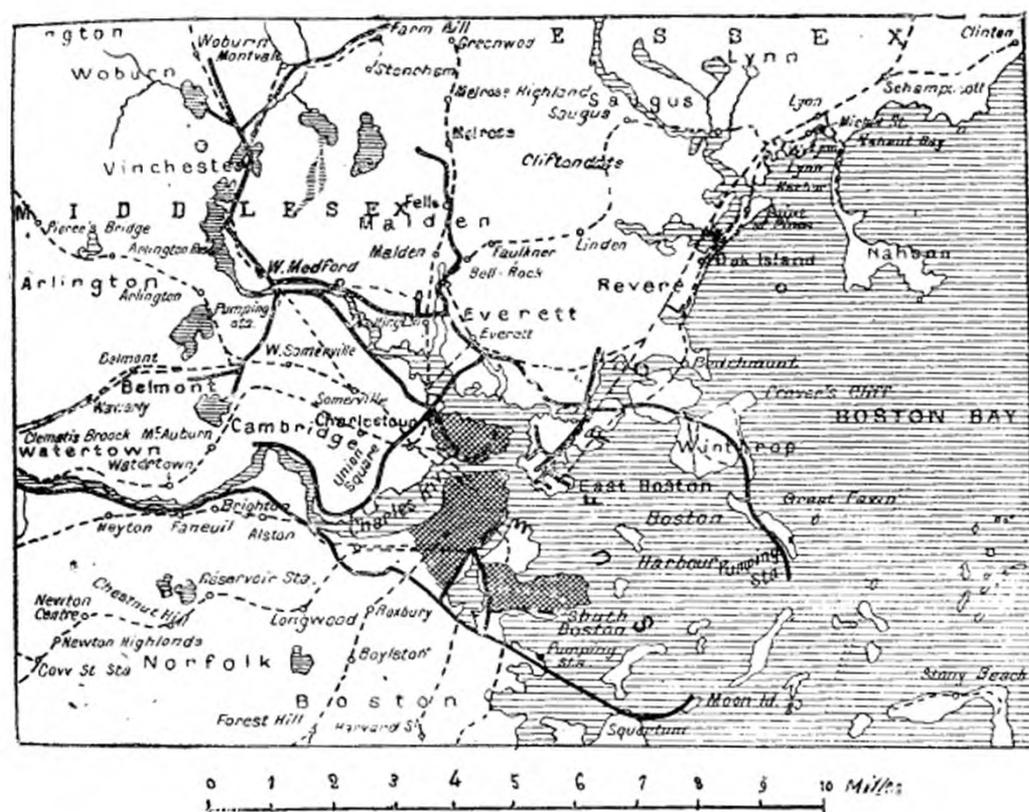
Nous avons vu deux exemples de déversement en mer : Marseille et Naples. Nous demanderons la permission d'en citer encore un autre qui est intéressant à un double titre, comme représentant un excellent procédé de décharge en mer, et comme réalisant — chose rare — une association de plusieurs localités pour une grande œuvre d'assainissement en commun. C'est l'assainissement de Boston et de son district, s'exerçant par l'intermédiaire des deux collecteurs métropolitains Nord et Sud dans un rayon de 10 milles à la ronde. Nous reproduisons le plan d'ensemble donné par M. Ronna (1) (fig. 188) et nous lui laissons un instant la parole :

« Il suffit de jeter un coup d'œil sur la carte du district de Boston montrant le tracé des grands égouts métropolitains qui drainent les vallées des rivières Mystic et Charles, pour saisir l'importance de l'œuvre confiée, en juin 1889, par le Conseil législatif de l'Etat, à la commission technique supérieure, composée des ingénieurs H. Kingman, F. Haynes, R. Davis, et plus tard, H. Collison, et mise à exécution par l'ingénieur en chef Howard Carson, de Malden.

Le principe adopté par la commission comme base de l'assainissement

(1) Mémoire déjà cité « De l'assainissement des Villes et des Cours d'eau aux Etats-Unis », in *Bulletin de la Société d'Encouragement*, 1896.

des vallées précitées a été de faire converger toutes les eaux d'égout dans l'Océan, en un point du courant tel que, dérivées en pleine mer, elles ne puissent dans aucune circonstance revenir à la côte. Ce point du courant a été déterminé par l'ingénieur en chef Carson, pour le drainage du nord, un peu à l'ouest de Beacon, à 500 mètres environ de l'île Deer, dans une profondeur d'eau de 13 m, où le



— Egouts Collecteurs
 - - - Chemins de fer

Fig. 188. — Les collecteurs de Boston et de la banlieue et leurs décharges en mer.

courant est de plus de 4 km à l'heure. L'île de Moon avait été préalablement fixée pour l'établissement du réservoir et l'écoulement en mer du sewage de la ville même de Boston et du territoire au sud de la rivière Charles.

Métropolitain-Nord. — Le point le plus éloigné de l'émissaire choisi à Beacon, situé à l'origine du collecteur métropolitain Nord, est distant de 28 km, sur le chemin de fer de Stoneham à Woburn. C'est un égout de 0^m,38, placé à 14^m,63 au-dessus de la ligne de marée basse, qui suit la vallée par East-Woburn et High Winchester jusqu'à

celle de la rivière Mystic, où il rencontre deux embranchements ($0^m,38$) venant de Woburn, et qui continue le long de la rivière Abbajona, par Winchester, jusqu'à West Medford. Ici, le collecteur ($1^m,37$), ramené au niveau de $2^m,45$ au-dessus de la marée basse, reçoit sur la rive droite le sewage de l'embranchement Alewife Brook, qui a drainé les villes au midi de la vallée Mystic : Arlington, Belmont, Cambridge ouest et Somerville ouest, et poursuit son cours à travers Medford Center et Wellington jusqu'à la rivière Malden, avec un diamètre variant de $1^m,35$ à $1^m,52$, le radier étant à la côte de la marée basse.

Le tracé continue dès lors sous la rivière Malden par un siphon à deux branches, et sous la rivière de Chelsea également; le siphon est installé entre les accotements de la route et des ponts de chemins de fer, et arrive à la station des pompes centrifuges, qui sont au nombre de trois, et dont les trois machines à vapeur fournissent un travail équivalant à 2.830 lit. par seconde élevés à la hauteur de $6^m,20$. De cette station, le collecteur suit la rue Addison, où le sewage de East Boston, recueillant le drainage des villes au nord de Mystic River, est élevé à son tour par des pompes à vapeur.

Avant de se diriger sur Everett, passé Wellington, le grand collecteur reçoit encore, sur la rive gauche, les eaux d'un embranchement principal, dit de Melrose, qui draine au nord les territoires de Stoneham, Melrose, Fells, Malden et Bell Rock.

A l'exception du sewage de Winthrop, la totalité des eaux est ainsi remontée à la station de East Boston à la hauteur de $4^m,25$ et conduite par un collecteur ($2^m,75$) dont le radier est à $0^m,92$ au-dessous de la cote des marées basses, à travers Breeds Island et Winthrop, jusqu'à une autre station de pompes, à 8 km de distance, dans l'île Deer, où il est à la cote de $2^m,45$ au-dessus des marées.

C'est finalement de la station de l'île Deer que le sewage, élevé à un niveau variable de 3 à 6 m suivant les marées, parcourt 300 m dans un collecteur de $1^m,82$ de largeur et de diverses hauteurs, puis 610 m dans deux conduits enfouis dans la baie, du côté de la barre, lesquels débouchent à 15 m de profondeur au delà et au nord de la passe navigable.

Les égouts des autres villes, au sud de la rivière Mystic : Charlestown, Cambridge Est, Somerville Est et Medford Est ont déversé leurs eaux par l'embranchement de Cambridge à Malden River, où elles ont été remontées par des pompes à $3^m,65$ de hauteur et conduites par siphon sous la rivière, pour être déversées à Everett dans le grand collecteur du Nord.

Métropolitain Sud. — Quant au Métropolitain Sud, assainissant la vallée basse de la rivière Charles, qui dessert les villes Waltham, Bemis, Watertown, Newton, Faneuil, Brighton, Allston, Brookline, et complète le réseau de Boston-ville, il est construit d'après les mêmes données que le Métropolitain Nord et se jette par son émissaire final au delà de l'île de Moon. En arrivant à la baie de Dorchester, le sewage est repris par une station de pompes l'élevant de 10^m,66, ce qui lui donne une charge suffisante pour arriver à l'île de Moon : il traverse la baie par une galerie ou tunnel entre deux puits de 45 m de profondeur. Du puits Est, à Squantum Neck, jusqu'à Moon, le sewage est dirigé dans un canal couronnant une digue de 6 à 9 m de hauteur, 6 m de largeur en couronne et 36 m de largeur à la base : il est reçu à l'extrémité dans un réservoir de deux hectares qui l'emmagasine à marée haute et se décharge entre deux pleines mers dans l'espace d'une demi-heure.

Les stations de pompes à vapeur désignées sur le plan sont au nombre de cinq, dont quatre pour le Métropolitain Nord, à West Medford, Somerville, Chelsea et Deer Island, et une à Savin Hill, pour le district de Charles River.

La population des quinze villes principales drainées par le collecteur du Nord a été recensée en 1890, à 306.854 habitants, et évaluée par la Commission technique, pour 1930, à 571.300 habitants. Sur cette base, le débit de sewage par tête et par jour a été calculé à 135 lit., et celui par seconde, à environ 1 m³.

Le devis des travaux ayant été fixé à	21.796.000 francs.
Si l'on y ajoute celui du réseau Sud de Charles River	<u>4.182.000 francs.</u>
On a, comme dépenses totales pour l'assainissement du district, non compris la ville même de Boston.	25.978.000 francs. »

Il est bien clair que lorsqu'une ville envoie ses eaux d'égout à la mer, rien ne l'empêche d'en concéder sur le parcours pour faire de l'épandage agricole : c'est une question de demandes de la part des agriculteurs. Nous avons vu que l'émissaire de Cuma, à Naples, alimentait des champs d'épandage dans les dunes. M. Ronna nous apprend qu'il en est de même pour l'émissaire de Los Angeles (Californie) sur son trajet de 20 km. entre la ville et la mer : il nous dit également que le déchargement en mer se fait par un tuyau en fonte, qu'on a poussé par glissement de manière à le faire pénétrer de 183 m dans l'eau sous des fonds de 6 m.

b). Déversement direct dans les lacs et les fleuves : infection et autopurification des cours d'eau ; mesures de protection. — Le déversement dans les lacs, si étendus soient-ils, est loin d'être aussi acceptable que le déversement en mer : les bassins sont limités, l'eau y est presque stagnante, elle est utilisée souvent par d'autres villes, enfin les rives sont généralement très habitées. Nous avons vu page 116 les inconvénients de ces déversements (Chicago, Erié, Cleveland, Genève, Zurich, etc., etc.) : dans une promenade que nous venons de faire le long de la rive suisse du lac de Genève, nous avons remarqué les tuyaux de déversement des égouts qui aboutissent sous les eaux bleues du lac au droit de chaque localité, et nous devons déclarer que la vue de cette succession de déchargeoirs infects n'a laissé aux Parisiens qui nous accompagnaient aucun désir d'avoir l'eau du lac comme eau de boisson à Paris. Nous ne pouvons donc partager l'optimisme de Pettenkofer et de Hofer ⁽¹⁾.

Mais les fleuves qui eux, ne restent pas stagnants comme les lacs, ne peuvent-ils recevoir directement les eaux d'égouts des villes, puisque d'une part ils emmènent aussitôt ces eaux loin de la cité. et que d'autre part une épuration providentielle spontanée fait disparaître les impuretés à une certaine distance ? La question est délicate et ne comporte pas de réponse générale ; c'est dans chaque cas particulier une question de mesure et d'appréciation. Ainsi, s'il est clair qu'on ne peut jeter le sewage d'une grande ville comme Bruxelles dans un ruisseau comme la Senne sans le transformer en un égout à ciel ouvert, c'est-à-dire sans priver les riverains d'aval des agréments et avantages dus au voisinage d'une rivière propre, et les remplacer par les inconvénients du voisinage d'un ruisseau infect), il n'est pas moins évident qu'il serait absurde d'empêcher une ville comme Buenos-Ayres de déverser son collecteur dans un grand fleuve comme le Rio de la Plata, au voisinage de son embouchure, et alors que cela ne gêne plus personne. En fait, jusqu'au milieu du XIX^e siècle, les villes jetaient leurs eaux d'égout dans les rivières (le plus souvent même sans prendre la peine de les conduire jusqu'en dehors et à l'aval de l'agglomération), et il en était de même des eaux résiduaires des usines ; mais, par suite de l'accroissement de la population des villes, de l'application du Tout à l'égout et du développement de l'industrie, les inconvénients devinrent tels, notamment en Angleterre, qu'il fallut prendre des mesures : l'autorité se réserva

(1) V. Pettenkofer und Hofer : *Kanalisation und Entwässerung von Ortschaften an Binnenseen*, Munich, 1898

dès lors le droit d'autoriser ou non le déversement, et d'imposer des conditions capables de défendre la pureté des cours d'eau contre ses deux grands ennemis, les eaux d'égout et les eaux résiduaires.

La question des eaux industrielles et de leur épuration sort de notre mission : les lecteurs qui voudraient l'étudier à fond n'auraient qu'à se reporter entre autres à l'ouvrage si complet de König « Die Verunreinigung der Gewässer », 2^e édition 1899 (J. Springer à Berlin) (1). Quant aux eaux d'égout, les hygiénistes ou plutôt les conseils d'hygiène doivent être appelés à prononcer dans chaque cas s'il est possible de recevoir le sewage dans le fleuve ou s'il faut exiger son épuration préalable : ce sera chaque fois une étude spéciale portant : 1^o Sur le régime, la vitesse et les débits du fleuve (principalement le débit d'étiage), 2^o sur la quantité et la composition des eaux d'égout à déverser (le déversement direct a déjà lieu d'ordinaire au moment de la discussion), 3^o sur le *degré de pollution* du fleuve, c'est-à-dire sur la différence entre la composition chimique et bactériologique de ses eaux à l'amont de la ville et à l'aval, 4^o sur la *puissance auto-épuratrice* du fleuve et sur la distance dont elle a besoin pour s'exercer, c'est-à-dire pour détruire les matières étrangères et annihiler leur effet nocif.

Les études détaillées de la pollution et de l'auto-épuration d'une rivière sont déjà assez nombreuses : citons rapidement :

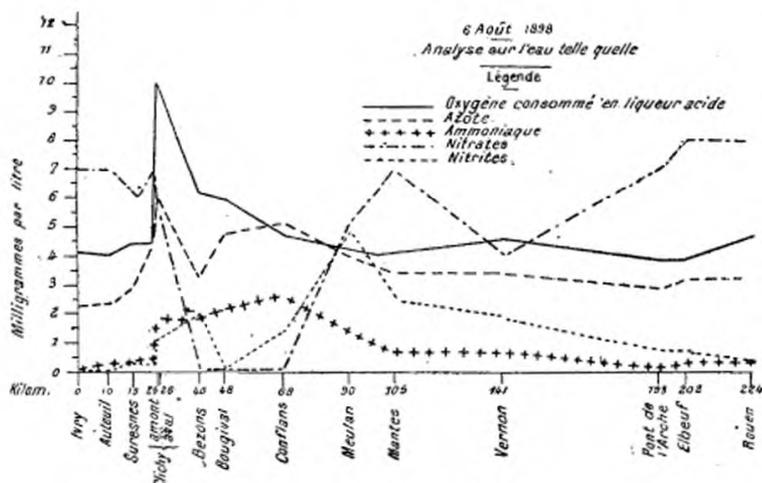
Les belles recherches de Frankland et des deux Rivers Pollution Commissions (1866 et 1868). (Elles portent sur la Tamise, le Lee, l'Aire, la Calder, la Mersey et ses deux affluents l'Irwell et le Darwen : on trouve que l'oxydation des matières organiques est très lente, et que le cours des fleuves anglais est trop peu étendu pour qu'on constate une épuration sérieuse. Cependant dès 1869, Letheby parle de l'épuration naturelle et spontanée qui se fait dans les rivières, et en 1880 son élève Tidy reprend l'idée et attribue nettement le phénomène non seulement à l'oxydation et à la sédimentation, mais encore à des processus biologiques).

La belle étude de Hulva sur l'Oder à la traversée de Breslau (Beiträge zur Schwemmkanalisation und Wasserversorgung der Stadt Breslau, in Centralblatt für Allgemeine Gesundheitspflege 1884). Hulva étudie l'oxydabilité au permanganate, l'ammoniaque et l'ammoniaque albuminoïde.

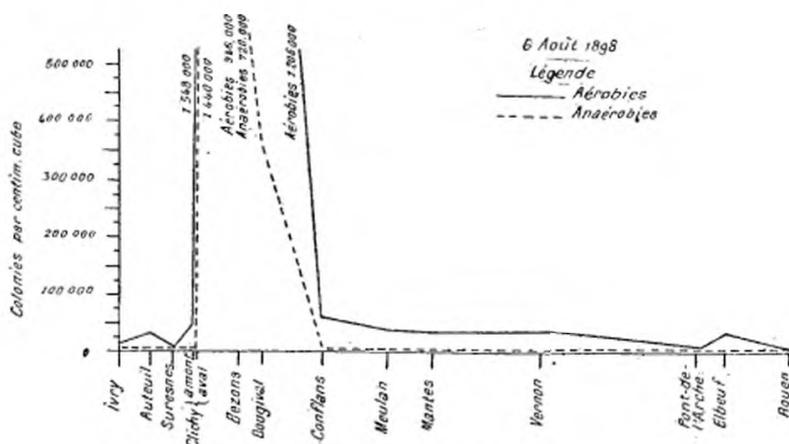
(1) V. également le rapport de MM. Arnould et A. J. Martin au Congrès d'Hygiène de 1889 : *La protection des cours d'eau et des nappes souterraines contre la pollution par les résidus industriels.*

Les recherches de Fleck sur l'épuration spontanée dans trois petites rivières de Saxe, la Luppe, la Roder et la Vesenitz (1884) : l'auteur constate que le processus est accompagné d'une augmentation des nitrites et nitrates.

En 1885, Durand-Claye montre l'altération progressive des eaux de la Seine à la traversée de Paris (voir l'Assainissement de la Seine).



I. — Composition chimique.



II. — Composition bactériologique.

Fig. 189. — La Seine à l'aval de Paris dans la journée du 6 août 1898. (d'après MM. Girard et Bordas.)

(L'oxygène dissous qui était de $9^{\text{cm}^3},50$ par litre de Corbeil au pont d'Ivry tombe à $1^{\text{cm}^3},02$ entre Epinay et Saint-Denis et remonte ensuite progressivement pour revenir à $8^{\text{cm}^3},96$ à Mantes; l'azote total, suit une marche inverse et de $1^{\text{gr}},40$ monte jusqu'à 98 grammes). Pour en finir de suite avec la Seine, mentionnons l'étude détaillée de Girard et Bordas « La

Seine de Corbeil à Rouen » in *Annales d'hygiène publique* 1893, et la nouvelle étude des mêmes auteurs « La Seine en aval de Paris en 1898 », in *Annales d'hygiène* 1899. A titre d'exemple, nous reproduisons pour les lecteurs qui n'auraient pas cette étude sous les yeux les graphiques de la journée du 6 août 1898 (fig. 189) et nous appelons l'attention sur l'importance des anaérobies (lesquels jouent un rôle important dans l'épuration). Les auteurs n'attribuent pas l'amélioration passagère constatée en 1896 et 1897 aux progrès de l'épandage, et pensent que malgré les nouveaux champs d'Achères la situation de la Seine va encore empirer : comme ce n'est qu'en juillet 1899 que le déversement du collecteur de Clichy a cessé, on ne peut encore se prononcer sur l'effet de cette mesure relativement à la pollution de la Seine (du moins nous ne connaissons encore aucun travail à ce sujet).

En 1887, Moser étudie l'effet des égouts de Würzburg sur le Mein, et un peu après König celui des égouts de Dortmund sur l'Emscher.

En Amérique, Long analyse dans tout son parcours les eaux du canal qui reçoit le sewage de Chicago et débouche dans l'Illinois à Joliet (33 kg.) et trouve que l'oxydabilité au permanganate varie dans ce trajet de 20^{mmgr},58 à 7,79 en été et de 22,4 à 11,3 en hiver. Egalement en 1890, Stearn étudie l'auto-épuration du Blackstone et du Merrimack River, et Currier celle de l'aqueduc de Croton pour l'alimentation de New-York.

Jusqu'ici, il ne s'agissait que de recherches chimiques. Frank le premier fit en 1886 des analyses bactériologiques sur les eaux de la Sprée et de la Havel de l'entrée de Berlin à Sacrow : l'oxydabilité ne variait pas beaucoup, mais le nombre des germes se développant sur gélatine qui était de 7 000 à 12 000 par centimètre cube à l'entrée de Berlin s'élevait jusqu'à 162 000 en hiver et 452 000 en été à Spandau, pour revenir aux environs du chiffre initial seulement à Sacrow (Voir *Zeitschrift für Hygiene*, 1888). En 1896, Dirksen et Spitta ont repris la question pour la Sprée (*Archiv für Hygiene*, XXXV) et trouvé que, bien que dans l'intervalle on ait supprimé tout déversement d'égouts dans la rivière, le nombre de germes, le résidu et la teneur en matières organiques n'ont pas diminué sensiblement : ces auteurs expliquent le fait par l'augmentation du trafic et des échanges sur les quais, d'où il paraît résulter que, notamment pour une rivière servant à la navigation, il y a dans la traversée d'une grande ville d'autres causes de contamination que celles provenant des égouts.

En 1890, Prausnitz fait une étude très complète de l'Isar dans la

traversée de Munich (Der Einfluss der Münchener Kanalisation auf die Isar, etc., etc., in *Hygienische Tagesfragen*, 1890) : l'Isar est une rivière très pure, qui a une grande puissance épuratrice, et ne se sent plus guère à Freising (33 km.) des égouts de Munich. Une nouvelle étude de Neumayer et Prausnitz se trouve dans *Hygienische Rundschau* 1898, n° 4, « Das Absterben der Mikroorganismen bei der Selbstreinigung der Flüsse ».

Egalement vers 1890, Niedner étudie l'Elbe à Dresde (*Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege*, 1892, XXIV).

Uffelmann et Ohlmüller, la Nebel et la Warnow entre Güstrow et Rostock (*Arbeiten aus k. Gesundheitsamte*, 1891).

Fränkel, la Lahn à Marburg.

En Italie, Celli et Scala suivent le Tibre depuis Ponte Mollo jusqu'à l'embouchure à Fiumicino : la contamination paraît maxima à Magliana (Sull'Acque del Tevere : Studio dal punto di visto dell'igiène, Roma 1890) On sait que de grands travaux ont été faits récemment tant pour l'endiguement du Tibre dans toute la traversée de Rome que pour l'assainissement de la ville et l'exécution de grands collecteurs aboutissant à un émissaire qui va se déverser loin de la ville à Mezzo Cammino, sur la rive gauche (projet Canevari).

En Suisse, la Limmat a été analysée à sa sortie de Zurich d'abord par Schlatter, puis par Thomann : Voir leurs deux articles dans *Zeitschrift für Hygiene* ; l'un en 1890, l'autre tout récent en 1900. Déjà vers 1890 Lortet et Despeignes avaient étudié le Rhône à l'aval de Genève.

Plus tard, l'Ill est examinée par Anthor et Zink (*Hygienische Rundschau* 1895) ;

Le Pregel dans la traversée de Königsberg, par Draer (*Zeitschrift für Hygiene*, 1895),

L'Oker, entre Brunswick et Münden, par Blasius et Beckurts (*Deutsche V. für öff. Gesundheitspflege*, 1895) : cette rivière a une grande puissance d'épuration.

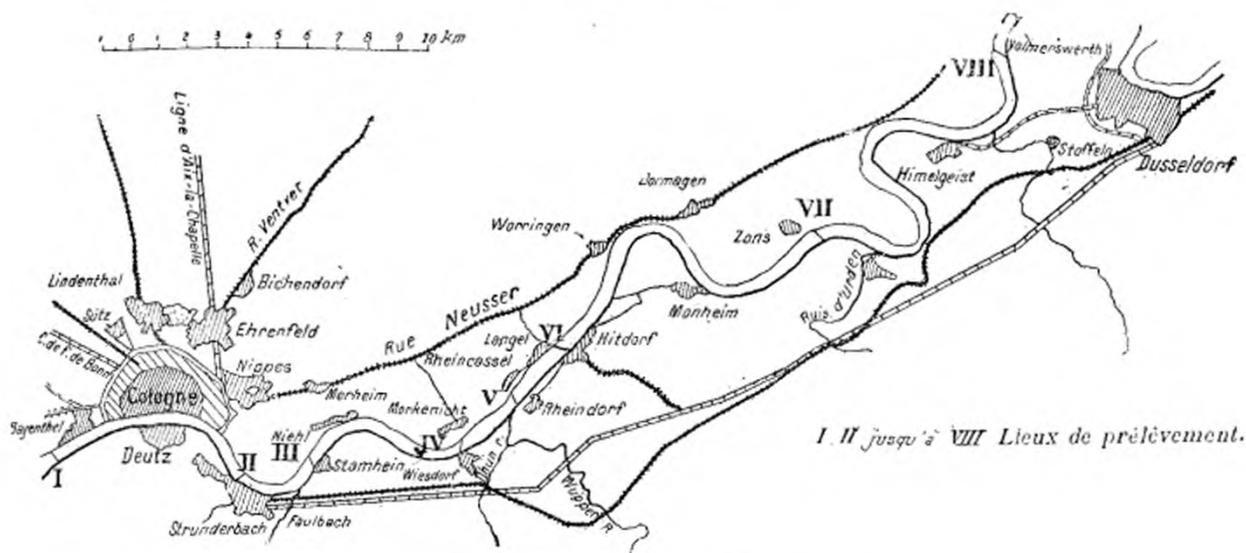
Il n'en est pas de même du Danube, à Vienne : d'après Heider, (*Oesterreichische Sanitätswesen*, 1893), à 40 km. de Vienne on n'a encore que fort peu d'amélioration, ce qu'il attribue à la grande vitesse du fleuve et à l'intensité de la navigation, lesquelles s'opposent à la sédimentation.

En 1897 (*D. V. für öff. Gesundheitspflege*), Mutschler montre que l'Aar reprend sa pureté primitive à 20 km. à l'aval de Berne.

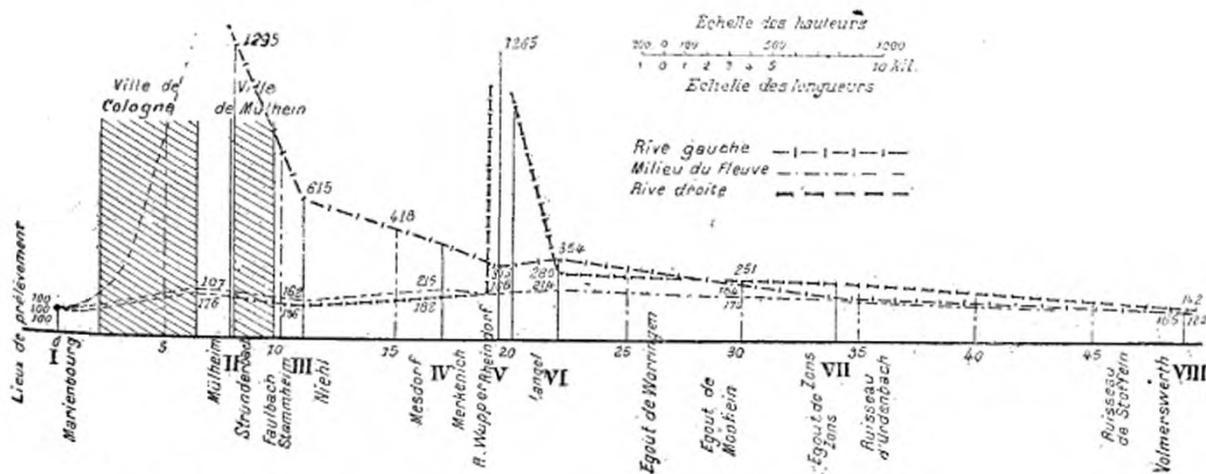
La même année, paraît le beau mémoire de Kabrehl (de Prague) déjà cité page 308 : « Bakteriologische und kritische Studien über die

Verunreinigung und Selbstreinigung der Flüsse » in *Archiv für Hygiene*.

En 1899, notre étude en collaboration avec Macé sur les rivières lorraines, la Meurthe et la Moselle, à leur traversée des villes d'Epinal,



Carte du Rhin entre Cologne et Düsseldorf.



Représentation graphique de l'auto-purification du Rhin entre Cologne et Volmerswerth. (D'après les recherches de MM. les Docteurs Stutzer et Kaublauch)

Fig. 190. — L'auto-purification du Rhin en aval de Cologne.

Toul, Saint-Dié, Lunéville et Nancy, in *Annales d'hygiène*, novembre 1899.

Également en 1899, une belle étude de MM. Malvoz, Prost et van Pée, intitulée : « Étude chimique et botanique de l'eau de la Vesdre », insérée aux *Annales de la Société Médico-Chirurgicale de Liège*, juin 1899. Cette étude ne porte pas seulement sur la Vesdre qui est

très souillée à l'ouest de Verviers, mais nous y apprenons également à titre comparatif comment se comporte la Meuse.

Si nous n'avons pas encore parlé du Rhin, c'est que justement son étude à l'aval de Cologne faisait l'objet d'une représentation graphique figurant à l'Exposition et reproduite ci-contre (fig. 199). Elle est le résultat des études de Stutzer et Knublauch (plus de 600 analyses bactériologiques) : on a pris comme unité le nombre de germes par centimètre cube à Marienburg, à l'amont de Cologne, lequel est normalement 2200, qui dans le tableau ci-dessous est représenté par 100, en sorte qu'il faut multiplier les chiffres par 22 pour avoir les nombres réels moyens de bactéries par centimètre cube.

Lieu de prélèvement	Distances	Nombre relatif de bactéries		
		Rive gauche	Milieu du fleuve	Rive droite
	kil.			
Marienburg.	»	100	100	100
Mülheim	8	1 295	197	175
Stammheim-Niehl.	11	615	162	136
Wiesdorf-Merkenich	17	448	215	182
Rheindorf (confluent de la Wupper).	19,5	315	198	1 265
Langel	22	354	214	283
Zons.	34	186	174	251
Volmerswerth	49	122	125	143

Les auteurs montrent que la puissance auto-purificatrice du fleuve est grande, puisque le nombre de bactéries s'abaisse très vite sur la rive gauche, après Mülheim (égouts de Cologne), et sur la rive droite après Rheindorf (confluent de la Wupper, très contaminée) : à Volmerswerth (41 km. de Mülheim), la pureté initiale paraissait reconquise. En même temps, Schenk (1) avait recherché l'influence des algues et autres végétaux inférieurs et Steuernagel (2) celle de la lumière, de la température, des pluies, etc. : il fut reconnu que ni les algues (peu abondantes), ni la lumière n'avaient une action considérable.

Plus récemment, Kruse a repris la question et l'expose dans un important mémoire : « Ueber Verunreinigung und Selbstreinigung der Flüsse » (in *Centralblatt für Allg. Gesundheitspflege*, 1899). Remarquant les différences et les variations énormes obtenues par les

(1) Ueber die Bedeutung der Rheinvegetation für die Selbstreinigung des Rheines (Schenk, in *Centralblatt für allg. Gesundheitspflege*, 1893).

(2) Untersuchungen über die Verunreinigung des Rheines durch die kölner Canalwässer und Selbstreinigung desselben (Steuernagel in *Gesundheits-Ingenieur*, 1893).

expérimentateurs pour le nombre des bactéries de l'eau du fleuve à la traversée des grandes villes, il propose tout d'abord d'uniformiser les méthodes (c'est ce qu'avait déjà proposé Köhn en 1893) et, dans ce but, donne les règles ci-après :

1° Les recherches doivent être faites en étiage et en temps de sécheresse, afin d'éviter le trouble considérable apporté par les pluies et les crues ;

2° Au lieu de prélever sur les deux rives et au milieu du fleuve, on s'efforcera d'avoir une bonne moyenne de toute la section transversale : pour cela, Kruse prend trois bouteilles stérilisées d'un demi-litre qu'il remplit successivement, en traversant le fleuve, à l'aide d'une épuisette en cuivre de 40 cm³, en sorte que chaque bouteille renferme l'eau du tiers de la largeur ;

3° Les prélèvements doivent être répétés plusieurs fois dans la même journée, pour tenir compte des variations horaires du nombre des bactéries ;

4° Pour comparer deux points différents du fleuve, il faut tenir compte du temps que le courant met à parcourir leur distance ;

5° Il faut ensemençer les flacons de numération aussitôt après le prélèvement.

Suivant ces précautions, Kruse a étudié le Rhin à Marienburg, Hitdorf, et Volmerswerth (entre ces deux dernières localités, il n'y a plus de causes de contamination), et il a trouvé les chiffres ci-dessous pour la moyenne des échantillons prélevés d'heure en heure le 10 novembre 1898 :

Lieux de prélèvement	HEURES	NOMBRE de plaques décomptées	NOMBRE MOYEN DE GERMES par cm ³		
			tiers droit	tiers central	tiers gauche
Marienburg	de 7 h. m. à 4 h. soir	21	8 400	8 900	8 700
Hitdorf	» 11 h. m. à 6 h. soir	24	47 900	12 850	33 450
Volmerswerth.	» 5 h. soir à 4 h. m.	27	17 400	17 300	19 400

Le 7 décembre donna des résultats analogues : or ils montrent que l'épuration serait bien moindre en réalité que ne le pensaient Stutzer et Knublauch, ce qui tient sans doute à la grande vitesse du cours du Rhin (comme pour le Danube) défavorable à la sédimentation, et peut être aussi à ce que Kruse opérait en hiver, saison également moins

favorable que l'été pour l'autopurification (moindre développement des algues et des bactéries, moindre activité des fermentations et décompositions, etc.). Attribuant le principal rôle à la sédimentation, Kruse arrive à représenter par des formules la sédimentation bactérienne et la dilution des eaux-vannes proportionnellement à la rapidité du courant, et il dresse des tableaux donnant la quantité de matières restant en suspension et le nombre de bactéries à attendre après des parcours successifs, en prenant pour bases, d'une part, la dilution (à 15, 100 et 1 000 fois) et d'autre part, la vitesse du courant (de 0^m,10 à 2^m,50 à la seconde).

De tels calculs sont bien théoriques, et il faut reconnaître comme conclusion de toutes les études précédemment relatées que si l'auto-épuración des cours d'eau est certaine, elle est très variable d'un fleuve à l'autre et, sur le même fleuve, d'un point à un autre, et que de plus on ignore encore quel est le processus intime de ce phénomène naturel. Ce processus est en tout cas très complexe, car il a pour facteurs simultanés :

La sédimentation, laquelle dépend de l'état du cours d'eau, de la vitesse des courants, de leur emplacement vis-à-vis du débouché de l'égout, et agit aussi bien sur les bactéries que sur les autres corps en suspension ;

La dilution, laquelle n'est autre chose que la comparaison de l'apport en eaux souillées et du débit du fleuve (en basses eaux) ;

Le degré de pureté et la composition chimique du fleuve, ainsi que les éléments analogues du sewage, tous ces éléments étant pris avant le mélange : c'est de cette composition, appliquée à chacune des masses mises en présence que résultera la nature et l'intensité des échanges chimiques et notamment de l'oxydation progressive des corps organiques suspendus ou dissous ;

Le brassage (qu'il ne faut pas confondre avec la vitesse d'un transport en masse), qui facilite le contact de l'eau impure avec l'eau aérée et aussi avec l'air ;

L'action biologique des bactéries, algues et plantes inférieures, lesquelles, comme dans l'épuration par le sol ou par les procédés bactériens, poursuivent leur rôle habituel de décomposition, d'oxydation et de nitrification ;

La température et la lumière, qui interviennent surtout en facilitant ou gênant plus ou moins l'action biologique précitée, etc.

L'effet obtenu est donc une résultante, et on ne peut guère le con-

naître en chaque point que par l'expérimentation directe. Si on a pu se livrer à cette expérimentation, il sera généralement facile d'en tirer une conclusion au sujet de l'admissibilité des eaux d'égout dans le fleuve, la règle étant toujours en somme celle de Pettenkofer, c'est-à-dire que le déversement n'est acceptable que s'il n'y a pas d'agglomération à l'aval de la ville jusqu'au point où l'auto-épuration a terminé son œuvre et ramené le fleuve aux conditions naturelles initiales (ajoutons qu'il ne doit surtout pas y avoir dans cette étendue de prise d'eau alimentaire).

En pratique, Pettenkofer estimait que le déversement direct peut être toléré, outre la réserve ci-dessus : 1° si la dilution est en basses eaux de 15 à 20 fois ; 2° si la vitesse du fleuve est supérieure à celle de l'égout déversant, soit en général à 0^m,60 par seconde ; 3° s'il n'y a pas d'apports industriels, de composition chimique telle qu'ils empêchent les processus biologiques de l'auto-épuration : on peut admettre en effet que celle-ci ne se produit pas si les trois conditions ne sont pas remplies. Le K. Gesundheitsamt s'en est tenu à peu près à la règle de Pettenkofer ; toutefois il insiste sur l'utilité d'arrêter au préalable les corps en suspension ou tout au moins de ne déverser que ceux qui sont dans un état de division très grande.

On sait que Baumeister (1) a proposé une autre règle dépendant du coefficient d'impureté qu'il tire de la formule $\frac{Qv}{E(1+c)}$, où Q est le débit du fleuve en plus basses eaux pendant vingt-quatre heures, v sa vitesse moyenne par seconde, E le nombre des habitants de la ville à desservir, et c la proportion de ces habitants qui jettent leurs matières fécales dans les égouts (en sorte que $c=0$ quand il n'y a aucune application du Tout à l'Égout et $c=1$ quand cette application est étendue à toute la ville) : Baumeister veut alors pour tolérer le déversement que le coefficient soit supérieur à 5. (Baumeister donne ensuite un tableau des valeurs du coefficient pour certaines villes : il varie de 1,8 à Breslau, 1,9 à Paris à 420 à Bâle et 617 à Linz). Il est certain que cette formule, comme du reste la conclusion du mémoire de Kruse, ne permet le déversement direct ni dans les cours d'eau à débit moyen, ni dans ceux à cours trop lent : quant à ceux qui sont très rapides, il se fait un transport des impuretés en masse à grande distance, et l'épuration n'est terminée que très loin de la ville.

Les hygiénistes anglais et américains sont plus sévères encore que

(1) In *Deutsche Vierteljahrsschrift für öff. Gesundheitspflege*, 1893.

les allemands. La 2^e Rivers Pollution Commission a déclaré qu'on ne pourrait recevoir dans les cours d'eau aucun liquide :

1^o Contenant plus de 30 milligrammes par litre de corps minéraux en suspension ou plus de 10 milligrammes de corps organiques également en suspension ;

2^o Contenant plus de 20 milligrammes de carbone organique ou plus de 3 milligrammes d'azote organique dissous ;

3^o Se montrant coloré au jour sous une épaisseur de 35 mm dans un vase de porcelaine ;

4^o Contenant plus de 20 milligrammes d'un métal autre que K, Na, Ca et Mg ; ou plus de 1/2 milligramme d'arsenic ;

5^o Contenant, après acidification par l'acide sulfurique, plus de 10 milligrammes de chlore libre ;

6^o Contenant plus de 10 milligrammes de soufre sous forme d'acide sulhydrique ou de sulfure soluble ;

7^o Ayant une acidité supérieure à 2 grammes de HCl ou une alcalinité supérieure à 1 gramme de NaOH.

En Amérique, Hering prend comme limite l'ammoniaque libre et n'en admet pas plus de 1 mgr. 20 par litre. D'après cela, suivant lui, si le fleuve a un débit inférieur à 2,5 pieds cubes (20 lit. par seconde) et par 1000 habitants, il sera irrémédiablement contaminé ; si le débit est supérieur à 7 pieds cubes (196 lit.) par seconde et par 100 habitants, ce qui correspond à une dilution de 50 fois, le déversement sera tolérable. De son côté, Stearns, également attaché au Board of Health du Massachusetts, estime que la dilution devrait être supérieure à 130 fois, et qu'il y a doute, quand elle est comprise entre 40 et 130 : cette exigence paraît excessive.

Enfin en terminant signalons encore une vérification qu'indique sommairement Ridéal : elle consiste à étudier la quantité d'oxygène qu'exigera le sewage pour sa transformation, et la quantité d'oxygène disponible (dissous) qu'apporte l'eau du fleuve ; il faut bien entendu que cette dernière soit au moins égale à la première.

Législation relative à la protection des cours d'eau. — De même que pour la protection des sources et nappes souterraines, il est intéressant de voir ce que la législation des différents pays permet de faire pour la protection des cours d'eau. En 1900, comme en 1889, la question reste à l'ordre du jour, ainsi qu'on l'a vu par le rapport de M. Launay et par le vœu émis à sa suite au dernier Congrès d'hygiène [voir page 335 (1)].

(1) Une faute d'impression que le lecteur a déjà corrigée de lui-même a fait écrire à cette page fin de la 11^e ligne, *portion* pour *protection*.

France. — Nous ne pouvons mieux faire que d'extraire ce qui suit du rapport de M. Launay :

« Nous ne voyons guère dans l'arsenal de nos lois et ordonnances que deux ou trois textes qui prohibent le déversement d'eaux nuisibles dans les rivières.

C'est d'abord l'arrêt du Conseil du 24 janvier 1777 qui interdit de jeter des immondices dans les cours d'eau navigables :

Art. 4. — Défend, Sa Majesté, sous les mêmes peines, à tous riverains et autres de jeter dans le lit des rivières et canaux ni sur leurs bords aucuns immondices, pierres, graviers, bois, paille ou fumiers, ni rien qui puisse en embarasser et altérer le lit, ni d'en affaiblir et changer le cours par aucunes tranchées ou autrement, ainsi que d'y planter aucuns pieux, mettre rouir des chanvres, comme aussi d'y tirer aucunes pierres, terres, sables et autres matériaux plus près des bords que six toises (11^m,69).

Les contraventions sont poursuivies et réprimées comme en matière de grande voirie.

S'agit-il de cours d'eau non navigables, l'article 9 des arrêtés préfectoraux pris conformément à la circulaire du ministre des Travaux publics en date du 21 juin 1878 et réglant la police des cours d'eau, stipule : « Il est interdit de faire aucun dépôt dans le lit des cours d'eau et d'y laisser écouler des eaux infectes ou nuisibles. »

Les contraventions à cette dispositions sont punies, conformément à l'article 471, § 15, du Code pénal, d'une amende de 1 à 5 francs et, en cas de récidive, d'un emprisonnement de trois jours au plus.

Enfin, sur les cours d'eau de toute espèce, l'article 25 de la loi du 15 avril 1829 sur la pêche punit d'une amende de 30 à 300 francs et d'un emprisonnement de un à trois mois « quiconque aura jeté dans les eaux des drogues ou appâts de nature à enivrer le poisson ou à le détruire. »

Tout cela est, il faut le reconnaître, insuffisant et d'une application bien difficile. La constatation du délit prévu par l'article 25 de la loi de 1829 étant très délicate à faire, il en résulte que le plus souvent on ne peut verbaliser. De plus, l'assimilation d'un écoulement insalubre au délit de destruction du poisson n'est pas toujours possible ou du moins n'est pas généralement admise par les tribunaux. L'administration ne saurait donc trouver dans la loi du 15 avril 1829 un moyen efficace d'empêcher les déversements d'eaux nuisibles.

Les arrêtés de police ne lui prêtent pas un secours beaucoup plus grand. Les amendes encourues (l'emprisonnement n'étant jamais prononcé) sont trop faibles pour arrêter les contrevenants.

Les industriels généralement influents se montrent récalcitrants et opposent l'inertie ; ils laissent s'accumuler les contraventions ; que sont les amendes légères qui leur peuvent être infligées en comparaison des bénéfices qu'ils tirent de l'inexécution de leurs conditions d'autorisation ?

Nous devons ajouter, pour être complet, que l'autorité publique peut intervenir cependant, en vertu des droits particuliers que lui confère la législation relative aux manufactures et ateliers dangereux, incommodes ou insalubres, vis-à-vis des établissements classés à ce titre. L'altération des eaux est une des causes pour lesquelles certains établissements sont classés et par suite soumis au décret du 15 avril 1810 qui est le code de la matière. Il est de jurisprudence constante que le préfet ou le sous-préfet a le droit de refuser l'autorisation ou de la subordonner à des conditions propres à prévenir ou à atténuer les inconvénients que peut entraîner l'établissement ; et en matière d'usines produisant des eaux résiduaires, il arrive très fréquemment que les décisions autorisent des particuliers à les établir à la condition de faire absorber les eaux résiduaires, de ne pas les laisser écouler à la rivière, ou de ne les laisser écouler qu'après qu'elles auront subi une épuration mécanique ou chimique.

Mais, une fois l'usine autorisée, les mêmes difficultés renaissent dans la pratique. Le plus souvent l'industriel ne se conforme pas aux conditions de son

autorisation ; les amendes prononcées pour infraction à ces conditions sont trop faibles pour arrêter l'usurier. Reste bien la fermeture de l'établissement qui peut être supprimé par mesure de police. Mais, en pratique, cette suppression sans indemnité est une mesure tellement grave, tellement ruineuse pour les industriels et pour les nombreux ouvriers qu'ils occupent, que l'on n'y recourt pour ainsi dire jamais.

En raison de cette impuissance de l'autorité publique à protéger les cours d'eau, il arrive quelquefois que les déversements d'eaux contaminées lèsent des tiers et peuvent faire naître par suite des débats privés que les tribunaux ont pleine compétence pour trancher et qui peuvent se traduire par la condamnation à des dommages-intérêts aux communes et aux riverains lésés ; mais il faut bien reconnaître que cette faculté ne remédie guère en pratique à l'insuffisance de la législation répressive actuelle.

C'est ainsi que la ville de Paris a été condamnée devant les tribunaux à payer des dommages-intérêts soit à un concessionnaire de la pêche dans la Seine, soit à divers établissements de commerce riverains de la Seine lésés par le déversement des eaux d'égout dans le fleuve.

Mais qu'est-ce qu'une centaine de mille francs dans le budget de la capitale qui est de plus de 300 millions, et si la ville de Paris a délibérément pris des mesures pour remédier à la situation et consacré plus de 40 millions à l'œuvre de l'assainissement de la Seine aujourd'hui terminée, ce n'est certes pas la menace des dommages-intérêts qui l'a décidée et c'est à des considérations plus hautes, notamment le souci de la santé publique, qu'elle a obéi. »

M. Launay montre ensuite comment, soit par l'épandage agricole, soit par les nouveaux traitements bactériens, la science est aujourd'hui en mesure d'assurer l'épuration des eaux usées des villes et de l'industrie. Puis il poursuit :

« Comment mettre la législation à la hauteur de la science, comment faire passer l'application des procédés, que la science sanitaire nous fournit, du domaine spéculatif dans la législation et dans la pratique administrative ? C'est ce qui nous reste à examiner.

Certes, la question n'est pas nouvelle et cependant nous devons constater avec regret qu'elle n'a pas fait un pas en avant depuis le Congrès d'hygiène tenu à Paris en 1889.

A ce Congrès, deux rapports remarquables étaient présentés par le docteur Arnould et notre collègue le docteur A.-J. Martin. Nous ne résistons pas au désir de reproduire ici leurs conclusions adoptées d'ailleurs par le Congrès :

1° La projection de résidus industriels, gênants ou dangereux, dans les cours d'eau, doit être interdite en principe. Il en est de même de leur introduction dans les nappes souterraines, soit par des puits perdus, soit par des dépôts à la surface du sol, soit par des épandages agricoles mal conçus et exécutés sans méthode.

2° Les eaux résiduaires d'industrie peuvent être admises dans les cours d'eau et nappes, toutes les fois qu'elles auront subi un traitement entraînant la garantie qu'elles ne mêleront aux eaux publiques aucune matière encombrante, putride, toxique ou infectieuse, ni quoi que ce soit qui en change les propriétés naturelles.

3° L'épuration des eaux d'industrie doit être imposée. Elle sera exécutée selon des modes appropriés à chaque industrie.

4° L'épuration par le sol est le procédé actuellement le plus parfait que l'on puisse appliquer aux eaux résiduaires des industries qui travaillent des matières organiques. Elle peut toujours et doit quelquefois être combinée à des opérations mécaniques ou chimiques, qui assurent la neutralisation des eaux et les préparent à l'absorption par le sol.

L'irrigation méthodique avec utilisation agricole est la meilleure manière d'exploiter les propriétés assainissantes du sol.

A ces conclusions de M. le professeur Arnould, M. le docteur A.-J. Martin en ajoutait une dernière :

5° En cas de pollution des cours d'eau et des nappes souterraines par des résidus industriels, résultat de l'inexécution des prescriptions imposées par l'administration, les travaux de salubrité nécessaires pourront être ordonnés par le gouvernement en vertu de la loi du 16 septembre 1807 ; les dépenses seront supportées par les communes intéressées, celles-ci ayant recours contre les auteurs de la contamination, en vertu de l'article 36 de la loi du 16 septembre 1807 et de l'article 11 du décret du 15 octobre 1810.

A considérer l'état actuel de notre législation qui, sur ce point, ne s'est pas modifiée depuis lors, il semble que ces conclusions soient d'hier ; elles n'ont rien perdu de leur opportunité et le Congrès de 1900 pourrait à coup sûr les reprendre pour son compte en leur souhaitant un meilleur sort et plus de succès.

Ce n'est pas cependant que la question n'ait pas été étudiée depuis dans les sphères administratives.

Déjà, en 1878-1879, elle avait fait l'objet d'un examen approfondi par la Commission supérieure pour l'aménagement et l'utilisation des eaux, due à l'heureuse initiative de M. de Freycinet, qui avait abouti à la rédaction d'un projet de proposition de loi dont on peut résumer ainsi les caractères principaux :

1° A l'égard des particuliers, industriels ou autres, interdiction de polluer les cours d'eau, sans toutefois apporter à l'industrie des entraves capables de nuire à son développement, et, pour assurer à cette interdiction toute son efficacité, établissement d'une réglementation sagement étudiée, tenant compte des découvertes de la science et garantie dans son application par des pénalités suffisantes ;

2° A l'égard des communes, interdiction de projeter dans les cours d'eau les immondices et les matières dangereuses drainées par les égouts, sans avoir préalablement soumis le sewage à un traitement épurateur ;

3° Comme conséquence de cette obligation, droit d'expropriation accordé aux communes en vue d'acquérir les terrains nécessaires à l'irrigation considérée comme le mode d'épuration le plus efficace et le plus facile à appliquer ;

4° Principe du concours financier de l'Etat en vue de faciliter une œuvre qui correspond à deux objets également dignes des préoccupations du législateur, la santé des populations et l'accroissement de la richesse nationale.

Ce sont justement ces résolutions de la Commission supérieure pour l'aménagement des eaux qui ont servi de base au Conseil d'Etat dans l'étude qu'il a faite du *projet de loi générale sur le régime des eaux*.

Ce projet, depuis longtemps sur le chantier, n'a jusqu'ici été adopté par le Parlement qu'en ce qui concerne les titres I à IV qui ont trait aux sources et aux cours d'eau (loi du 8 avril 1898).

Il est à désirer que le titre VI du projet de loi : « Eaux nuisibles », qui contient un chapitre intitulé : « Purification des cours d'eau, assainissement des villes et utilisation des eaux d'égout », sorte également des limbes parlementaires pour codifier enfin les règles relatives à cette matière.

Il nous paraît indispensable de reproduire ici les treize articles dont se compose ce chapitre du projet de loi d'après le texte adopté par le Conseil d'Etat.

Art. 171. — Il est défendu de jeter dans les cours d'eau des matières encombrantes pouvant porter obstacle au libre écoulement des eaux, ainsi que des immondices, résidus et déjections quelconques susceptibles, par leur nature et leur quantité, de rendre les eaux insalubres ou impropres aux usages domestiques.

Il est interdit de jeter dans les égouts aucune matière pouvant nuire, soit à leur conservation, soit à la santé ou à la sécurité publiques, ou pouvant empêcher l'épuration ou l'utilisation de leurs eaux.

Des décrets rendus dans la forme des règlements d'administration publique, applicables soit à un ou plusieurs départements, à une ou plusieurs communes

appartenant à une même région fluviale, soit à l'ensemble du territoire, détermineront les conditions dans lesquelles seront appliquées les interdictions prévues aux deux paragraphes précédents, ainsi que les conditions de l'épuration des eaux des égouts et des usines, et les délais dans lesquels il devra y être satisfait.

Art. 172. — Les communes pourront toutefois autoriser le déversement direct dans les égouts du produit des fosses d'aisances, mais à la condition de justifier préalablement que les eaux de ces égouts ne seront écoulees dans les cours d'eau qu'après avoir été épurées de manière à satisfaire aux prescriptions de l'article 151.

Art. 173. — Pour assurer l'exécution des dispositions qui précèdent, il sera créé, dans chaque département, sous l'autorité directe du préfet, un service d'inspection confié aux ingénieurs des ponts et chaussées ou des mines ou à défaut, aux agents voyers.

Le service de l'inspection préparera les règlements locaux mentionnés à l'article 171, avec le concours des autorités municipales, lorsqu'il s'agira de règlements applicables à une seule commune.

Ces projets de règlement seront soumis aux formalités d'une enquête, puis examinés par les conseils d'hygiène de chaque département. Ils seront ensuite l'objet d'un examen du comité consultatif d'hygiène publique de France, et, suivant les cas, d'un avis des Conseils généraux des ponts et chaussées et des mines, avant d'être adressés au Conseil d'Etat par le ministre compétent.

Art. 174. — Les projets relatifs à l'épuration des eaux d'égout par le sol pourront être l'objet de déclarations d'utilité publique autorisant le département ou les communes propriétaires des égouts à exproprier la superficie nécessaire pour assurer la purification des eaux au point de vue de la salubrité.

Toutefois, ne pourront être compris dans l'expropriation les maisons, cours, jardins, parcs et enclos attenants aux habitations, si mieux n'aime leur propriétaire requérir l'expropriation, dans le cas où l'immeuble se trouverait enclavé dans le champ d'épuration. Cette exception sera étendue à une zone attenante à ces immeubles, et dont les limites seront déterminées, dans chaque cas, par l'acte portant déclaration d'utilité publique.

Ces projets seront soumis à une enquête administrative et à l'examen tant des conseils généraux que des conseils d'hygiène des départements intéressés : avant la présentation des projets aux Chambres ou au Conseil d'Etat suivant la distinction ci-après, le ministre des Travaux publics prendra l'avis du Comité consultatif d'hygiène et du Conseil général des ponts et chaussées.

L'utilité publique est déclarée par une loi, si les travaux sont de grande importance ; sinon, il suffit d'un décret rendu en Conseil d'Etat.

Art. 175. — Dans tous les cas où il n'y a pas lieu à déclaration d'utilité publique, les champs d'épuration ne peuvent être établis par les départements ou les communes qu'en vertu de l'autorisation préalable exigée pour les établissements dangereux et insalubres de première classe, auxquels ces champs d'épuration sont alors assimilés.

Art. 176. — Les habitants et les propriétaires des communes où seront établis les travaux prévus par l'article 174 et ceux des communes dans l'intérêt desquelles ces travaux s'exécuteront ne pourront être appelés à faire partie du jury spécial d'expropriation qui statuera sur les indemnités à allouer.

Art. 177. — Lorsque les égouts d'une commune traverseront le territoire d'autres communes pour atteindre le lieu d'épuration, ces dernières pourront déverser leurs eaux dans l'égout établi sous leur sol, à la condition de contribuer, proportionnellement à l'usage qui sera fait par elles de cet ouvrage, aux dépenses d'établissement et d'entretien des égouts et à celles des procédés d'épuration.

En cas de désaccord sur la fixation de la part contributive de chaque commune, le conseil de préfecture statuera, sauf recours au Conseil d'Etat.

Les communes ne pourront user de la faculté indiquée ci-dessus pour les égouts existants, que si les dimensions de ces égouts permettent de recevoir leurs eaux. Pour les égouts nouveaux, elles devront déclarer leur intention d'en faire usage au moment des enquêtes préalables à la déclaration d'utilité publique.

Les communes pourront d'ailleurs se constituer en syndicat pour l'usage commun des égouts et du champ d'épuration. Ces syndicats seront régis par des décrets rendus en la forme de règlements d'administration publique.

Art. 178. — Le département ou les communes pourront céder tout ou partie de leurs égouts, soit à des sociétés, soit à des particuliers qui voudraient les utiliser.

L'établissement de tout réservoir à ciel ouvert, destiné à recueillir les mêmes eaux, ne pourra avoir lieu que de la manière indiquée en l'article 175.

Les dispositions relatives aux irrigations individuelles ou collectives et aux canaux d'irrigations seront applicables aux irrigations au moyen des eaux d'égout, sous les conditions qui sont déterminées par des règlements d'administration publique.

Les propriétaires des fonds traversés pourront toujours exiger que les eaux soient renfermées dans des tuyaux ou des aqueducs souterrains.

Art. 179. — Les communes autorisées à déverser les produits des fosses d'aisances dans les égouts pourront percevoir une taxe municipale pour chaque tuyau de chute à l'égout, en vue de se couvrir des frais d'établissement et d'entretien des égouts nécessaires à ce mode de vidange.

Le montant de ces taxes sera fixé par un décret rendu en la forme des règlements d'administration publique, revisable tous les cinq ans.

Art. 180. — Les infractions aux dispositions des articles 171 et 172 seront constatées par des procès-verbaux qui pourront être dressés concurremment par les inspecteurs créés aux termes de l'article 173 et par les ingénieurs de l'Etat, les conducteurs des ponts et chaussées et gardes-mines, les agents voyers, les gendarmes, et par les officiers ou agents de la police judiciaire.

Art. 181. — Ces infractions seront déferées aux tribunaux correctionnels et donneront lieu à une amende de 16 à 300 francs, sous réserve de dommages-intérêts qui pourront être dus pour dégradations causées ou dommages apportés aux voies publiques et privées, aux égouts et aux cours d'eau.

En cas de récidive, les délinquants seront passibles d'un emprisonnement de cinq jours au moins et de trois mois au plus, et d'une amende variant de 100 à 500 francs.

Dans tous les cas, l'article 463 du Code pénal pourra être appliqué.

Art. 182. — Les dispositions des articles 180 et 181 sont applicables au déchargement illicite, dans les égouts, des matières de vidange au autres produits nuisibles à la salubrité publique.

Art. 183. — Les conseils de préfecture connaîtront de toutes les actions en dommages-intérêts auxquelles l'exécution des travaux entrepris conformément au présent chapitre donnera lieu.

Ils connaîtront seuls des dommages-intérêts encourus par les départements ou les communes en cas d'infractions de leur fait aux articles 171 et 172, cas dans lequel ils pourront toujours prononcer l'interdiction après un délai déterminé, du déversement des eaux d'égout non épurées.

Art. 184. — Lorsque la pollution des cours d'eau par un ou plusieurs établissements publics ou privés, classés ou non comme dangereux, insalubres ou incommodes, ne peut disparaître que par la suppression de ces établissements ou par des travaux s'étendant en dehors des immeubles où ils sont situés, l'Etat, le département ou la commune, suivant les cas, pourra acquérir, après l'accomplissement des formalités prescrites par la loi du 3 mai 1841, soit les établissements à supprimer, soit les propriétés indispensables à l'exécution des travaux.

L'expropriation, lorsqu'il s'agira des travaux destinés à la purification des

matières provenant d'établissements particuliers, sera poursuivie par les communes pour le compte des propriétaires de ces établissements.

Les établissements privés qui auraient été expropriés pour cause d'insalubrité pourront être revendus aux enchères publiques, sans que, dans ce cas, les anciens propriétaires ou leurs ayants droit puissent réclamer l'application des articles 60 et 61 de la loi du 3 mai 1841.

L'adoption de ce chapitre compléterait fort heureusement la législation de l'assainissement des villes, elle y introduirait enfin, en matière d'interdiction de polluer les cours d'eau, le principe de la sanction qui comporte à la fois une pénalité rigoureuse et des mesures de protection. Mais il n'a pas encore fait l'objet d'un rapport au Sénat.

Il serait opportun de signaler l'intérêt qui s'attacherait à ce que le Sénat s'occupât de cette question qui traîne depuis vingt ans. Et c'est précisément à un vœu ayant pour objet le vote prochain par le Parlement de ces dispositions, que nous convions la section du Congrès comme conclusion de notre étude. »

Angleterre. — Comme nous le savons, l'Angleterre est mieux armée que les autres pays pour la protection de ses rivières. Dès 1865, quelques actes posent, mais assez timidement encore, le principe du non-déversement; ce sont : le « Sewage utilisation Act 1865 », le « Thames Navigation Act 1866 » et le « Thames Conservancy Act 1867 ». Puis, interviennent, les travaux déjà cités des deux Commissions contre la pollution des rivières (voir les limites fixées par la deuxième Commission, page 528), enfin l'acte fondamental de 1876 : *The rivers pollution prevention Act*.

Cette loi regarde comme capables de polluer les eaux de rivières :

- a). Les déchets des fabriques, les balayures, les cendres et autres matières solides ainsi que toutes matières en putréfaction ;
- b). Les matières solides et liquides des égouts ;
- c). Les substances vénéneuses ou nuisibles et autres immondices provenant des usines et ateliers ;
- d). Les débris et poussières des carrières, s'ils ont la propriété de se mélanger facilement avec les eaux courantes ou de s'y dissoudre ; enfin tout corps solide ou liquide provenant d'une carrière ou d'une usine qui serait vénéneuse ou insalubre.

Les autorités sanitaires (que nous connaissons déjà) sont chargées de la surveillance. Toute personne peut porter directement devant les tribunaux une infraction relative aux matières des deux paragraphes *a* et *b* ci-dessus ; les infractions relatives aux deux autres paragraphes (*c* et *d*) sont déferées tout d'abord au Local Board of Health qui, avant de les porter devant les tribunaux, en demande l'autorisation au Local Government Board. Au cas où le Local Board of Health refuserait d'intervenir, le plaignant peut s'adresser directement au Local Government Board, qui ordonne une enquête et prononce, en tenant compte des besoins de l'industrie.

Lorsqu'une plainte est déferée au tribunal (County Court), celui-ci rend un arrêt sommaire qui interdit la chose incriminée ou enjoint au prévenu de faire disparaître la cause de la plainte. Dans ce dernier cas, le tribunal prend l'avis des personnes compétentes, relativement aux moyens les plus pratiques et les plus efficaces pour remédier aux inconvénients signalés, aux frais d'exécution, etc. En ce qui regarde les usines, l'*Inspector of nuisances* vérifie fréquemment l'observation de la loi, et doit délivrer tous les deux ans un certificat constatant que l'industriel s'est bien conformé aux ordres reçus : en cas de refus du certificat, l'industriel peut en appeler au Local Government Board.

Quant au déversement du sewage des villes dans les rivières, l'Act de 1876 le prohibe en principe pour l'avenir, mais il tolère les déversements existants, sous la condition qu'il soit démontré qu'on prend toutes les mesures pratiques capa-

bles d'empêcher tout effet nuisible : le Local Government Board (en Ecosse, le Ministre), peut accorder des délais, en cas de besoin et d'après l'avis des autorités sanitaires locales, pour l'accomplissement de cette condition. On recommande aux municipalités d'admettre autant que possible les eaux industrielles dans les égouts.

Du reste, l'Act de 1876 ne change rien aux dispositions très sévères encore des Thames Conservancy Acts, Lee Conservancy Acts et Medway Conservancy Acts, et ne modifie pas non plus les règles du Metropolitan Board of Works (Londres).

Enfin, nous trouvons dans un article du *Surveyor* du 10 novembre 1899 un résumé de la jurisprudence actuelle du Local Government Board.

Il s'agit d'abord de s'entendre sur les degrés de dilution : appelant « Strong » (fort) le sewage ordinaire des temps de sécheresse, on appelle « Weak » (pauvre) ce sewage dilué par trois fois son volume d'eau de pluie, « Feeble » (faible) une dilution de six fois, et enfin « Storm-sewage » (d'orage) une dilution supérieure à six fois. Il est admis que le storm-sewage peut être déversé directement dans les cours d'eau ; le strong et le weak sewage doivent être épurés complètement, tandis que le feeble peut ne recevoir qu'un traitement partiel, c'est-à-dire soit un simple dégrossissage, soit un passage rapide sur des terrains réservés à cet effet (ainsi on pourrait faire passer plus de 350 mètres cubes par jour de feeble sewage sur un hectare).

Quant aux procédés de traitement, on reconnaît que la surface de terrain nécessaire pour l'épuration agricole dépend des circonstances et notamment de la perméabilité du sol, mais on admet dans les prévisions le chiffre de 1 acre pour 200 personnes (1 hectare pour 500 habitants).

Les bassins de précipitation ou de filtration pour le traitement chimique ou le traitement bactériologique doivent correspondre à 1 yard carré (0^m²,836) pour 250 à 400 gallons (de 1135 à 1820 lit.) par jour : en outre, ces bassins doivent être d'une contenance au moins égale au débit total d'une journée.

Belgique. — Les prescriptions sont assez vagues. Celles qui concernent la protection des cours d'eau non navigables sont contenues dans la loi du 7 mai 1877, dont l'art. 27, § 5, défend de jeter aucune matière nuisible dans les rivières : les peines infligées aux contrevenants peuvent aller à sept jours de prison et 25 francs d'amende. Au reste, les conseils provinciaux ont la charge de la police de ces rivières, et plusieurs ont édicté des règlements spéciaux. Pour les rivières navigables, dont la surveillance est confiée au service des ponts et chaussées, l'art. 91, § 3, du règlement du 1^{er} mai 1899 défend seulement toute projection ou déversement de matières pouvant nuire à l'écoulement tranquille des eaux et à la navigation : c'est insuffisant.

Nous apprenons qu'en décembre 1900, le Gouvernement belge a institué, sous la présidence de M. Beco, une commission chargée de rechercher tous les moyens d'empêcher la pollution des cours d'eau en Belgique.

Suisse. — Toute la protection des cours d'eau et des lacs paraît contenue dans l'art. 12 de la loi sur la pêche du 18 septembre 1875, dans l'art. 4 du règlement du 18 mai 1877 et dans le règlement spécial du 13 juillet 1886.

Ce dernier porte :

Article premier. — Il est défendu de souiller ou de surchauffer les lacs et cours d'eau :

- a). Par les résidus solides des usines : pour les rivières qui ont plus de 80 mètres de largeur en eaux moyennes, ces résidus devront être conduits au moins à 30 mètres de la rive ;
- b). Par des liquides contenant plus de 10 0/0 de matières en suspension ou dissoutes ;
- c). Par des liquides contenant plus de 1/1000, et pour les fleuves de plus

de 80 mètres de large, plus de 1/200 d'acides, alcalis, sels des métaux lourds, arsenic, soufre, acide sulfureux et acide sulfhydrique : les liquides devront en tout cas être conduits jusque dans le courant et déboucher en dessous du niveau des plus basses eaux ;

d). Par les eaux résiduaires des usines et des villes, qui contiennent dans la proportion ci-dessus des substances putrescibles ou déjà en voie de putréfaction : ces eaux devront être préalablement épurées par le sable ou le sol ; aucun dépôt ne devra se former dans le cours d'eau ;

e). Par des eaux contenant du chlore libre, ou par les eaux résiduaires des usines à gaz ou à goudron et par les raffineries de pétrole ;

f). Par des vapeurs ou des eaux chaudes capables d'élever la température à 25°.

Art. 2. — Le degré de concentration et la température sont mesurés à 2 m (b) ou à 1 m (c, d, e, f), en aval du débouché dans la rivière.

Art. 3. — C'est aux Administrations cantonales qu'il appartient de régler les questions et difficultés relatives à ce sujet, toujours sous le contrôle du département fédéral du Commerce et de l'Agriculture, etc.

Allemagne — Il n'y a pas encore de code spécial pour les eaux, et chaque pays a une législation plus ou moins bien fixée. Mais à la suite d'une résolution prise par le Reichstag, le 13 mars 1899, et de la loi du 30 juin 1900, le K. Gesundheitsrat a nommé dans son sein une commission chargée de l'examen des questions d'alimentation en eau et de protection des fleuves. Tout projet doit être soumis à cette autorité, dont nous connaissons déjà les principales règles.

En Prusse, le Code (Allgemeine Landrecht) ne contient guère que la défense de jeter sans permission les eaux de lavoirs et de bains dans les cours d'eau (§ 46, II^e partie, titre 15) ; mais l'ordre de cabinet du 24 février 1816, toujours en vigueur, défend toute souillure des rivières navigables et flottables par les eaux industrielles, donne le contrôle au chef de la police provinciale (Regierungs-Präsident) et punit les contrevenants d'une amende de 10 à 50 thalers. Enfin, d'après le décret de la Chambre du Conseil du 27 février 1893, tout projet de déversement de matières, de déchets quelconques dans les cours d'eau doit être soumis préalablement à l'Administration.

La loi sur la pêche du 30 mai 1874 défend aussi, § 43, toute projection ou déversement de matières nuisibles à la conservation du poisson, ainsi que, § 44, le rouissage du chanvre et du lin.

Le règlement pour l'industrie (Reiches-Gewerbeordnung) des 21 juin 1869-1^{er} juillet 1883 contient également, § 16, 23, 26, la prescription que les déversements ne doivent être ni nuisibles, ni dangereux, et la circulaire du Ministre du Commerce et de l'Industrie du 15 mai 1895 rappelle aux autorités locales qu'il est de leur devoir d'empêcher la pollution des rivières.

Pour les cours d'eau non navigables (Privat flüsse), la loi du 28 février 1843 donne aux riverains le droit d'user des eaux à leur convenance ; mais le § 3 déclare que les eaux résiduaires des tanneries, teintureries, usines à fouler le drap et autres semblables ne peuvent être reçues dans les cours d'eau, si elles troublent l'alimentation en eau pure du voisinage ou gênent le public : c'est à la police à décider. Le § 6 porte que le rouissage du chanvre et du lin peut être interdit par la police, s'il gêne l'écoulement de l'eau ou empesté l'air.

Enfin, en principe, d'après des décisions de la Cour Suprême du 19 avril 1882 et 18 septembre 1886, les riverains d'aval qui subissent un dommage provenant de la contamination des eaux courantes par ceux d'amont, sont fondés à en réclamer réparation, ainsi que la suppression de la cause du trouble : c'est, naturellement aux demandeurs à faire la preuve et il faut qu'il s'agisse d'un usage des eaux sortant des droits habituels d'usage (Nicht gemeinüblich) :

Quant aux déversements des égouts des villes, trois circulaires des Ministres de l'Intérieur, des Travaux publics et des Affaires médicales, etc., en date des

1^{er} septembre 1877, 8 septembre 1888 et 30 mars 1896 prescrivent qu'aucun déversement ne peut avoir lieu sans l'autorisation ministérielle : chaque demande fait l'objet d'une instruction spéciale et d'une décision s'inspirant de toutes les conditions du problème. Ces circulaires fixent en outre les principales règles qui doivent guider les auteurs des projets, mais elles n'imposent aucun procédé d'épuration plus particulièrement : on demande toutefois que les eaux épurées ne présentent plus rien de répugnant aux organes des sens, ne contiennent pas plus de 300 grammes par centimètre cube, et puissent rester 10 jours sans entrer en putréfaction ; de plus, elles devront être déversées en aval des localités habitées et en plein courant.

Disons enfin que la Prusse a depuis 1894, en préparation, un projet de loi sur les eaux. Ce projet porte ce qui suit :

§ 24. — Il est défendu d'écouler ou de déverser d'aucune manière dans les eaux superficielles ou souterraines :

a). Toutes matières susceptibles de causer ou disséminer une maladie contagieuse ;

b). Toutes matières de telle nature ou en telle quantité qu'elles produisent :

1° Une souillure de l'eau ou de l'air nuisible à la santé ;

2° Une gêne ou un ennui notable pour le public.

L'Oberpräsident de chaque province détermine quelles sont les matières et en quelles quantités qui tombent sous le coup de la présente interdiction.

§ 25. — Un ordre royal peut étendre les prescriptions du § 24 aux golfes et aux ports de mer.

§ 26. — Le rouissage du lin et du chanvre dans les cours d'eau est interdit.

§ 27. — Les fumiers et fosses d'aisances doivent être établis suivant les ordres de la police, de manière à ne causer aucune souillure des eaux superficielles ou souterraines.

§ 28. — Des exceptions au paragraphe b du § 24 peuvent être autorisées par le président de la province, si elles sont motivées par un intérêt public : il peut également autoriser des exceptions au § 26.

§ 30. — Les entreprises faites par l'Etat en vue du bien public ou en cas de péril ne sont pas régies par les présentes.

En Bavière, il y a une loi sur les eaux, du 28 mai 1852, à laquelle l'ordonnance du 29 avril 1869 pour le Palatinat et les pays rhénans et la loi du 15 avril 1875 sur l'usage des eaux n'ont apporté que de très légères modifications.

En Saxe, pas de loi générale. Les lois des 15 août et 9 février 1864 sur les cours d'eau, du 16 juin 1868 et du 28 mars 1872 contiennent des prescriptions intéressant notre sujet. Mais une instruction de 1886 du ministre de l'intérieur, en sept articles, charge les autorités provinciales (Kreishauptmannschaften) de veiller au respect de la pureté des cours d'eau, de réglementer les autorisations de déversements nouveaux, et de poursuivre les infractions par application du § 2 de la loi du 28 janvier 1835 et des lois sur la pêche. Les recours peuvent être portés devant la Députation technique au ministère de l'intérieur.

Les eaux des abattoirs doivent être épurées suivant les indications d'un ordre ministériel du 9 juin 1885. Elles doivent se rendre dans un bassin de clarification cimenté, muni de moyens de désinfection : ce bassin doit être curé de temps en temps, et les produits solides qui en sont extraits doivent être conduits dans des champs éloignés des habitations.

Le Wurtemberg n'a pas de droit spécial : en 1896, Spindler a fait des propositions pour en établir un dans son ouvrage : *Die Unschädlichmachung der Abwasser in Württemberg*.

Le Grand Duché de Bade a réuni en une loi du 25 août 1876 (avec addition

du 12 mai 1882) tout ce qui concerne l'usage et la police des eaux. L'article 4 de la loi du 3 mars 1870 sur la pêche contient aussi des prescriptions intéressantes. Est interdit le déversement de tout liquide contenant plus de 10 % de matières en suspension et dissoutes, ou plus de 1/1000 d'acides, alcalis, métaux lourds, soufre, acides sulfureux et sulfhydrique : cette proportion est abaissée à 1/200 pour le Rhin seul. Les eaux industrielles contenant des substances en putréfaction doivent être épurées par le sol ou filtrées au sable ; celles des usines à gaz et à goudron et des raffineries de pétrole, ainsi que celles contenant du chlore libre sont interdites. Enfin, la température des liquides déversés ne doit pas excéder 50°.

Pour l'Alsace-Lorraine, un ordre ministériel fait appliquer à très peu de chose près les règles du Grand-Duché de Bade (Voir aussi les ouvrages de Huber et de Jacob et Ficht (1892) sur les lois concernant les eaux en Alsace-Lorraine).

L'Autriche a des lois de 1870-1873 assez complètes sur l'usage des eaux : tout déversement doit être autorisé par l'administration. (Voir Peyrer : *Das Oesterreichische Wasserrecht* 1880).

La Russie a quelques textes pour défendre les eaux courantes. Les articles 867 et 871 du Code pour la police sanitaire interdisent toute contamination des puits, fontaines, ruisseaux et rivières, le rouissage du chanvre et du lin, ainsi que toute projection de matières nuisibles quelconques.

Le Code pour la police des constructions (articles 407 et 408) et le Code pour l'industrie (articles 48 et 49) prohibent l'établissement d'usines nuisant à la pureté de l'air ou de l'eau sur les rives des cours d'eau, et mettent la surveillance des usines dans les attributions des gouverneurs provinciaux et d'inspecteurs spéciaux.

Enfin les articles 863 et 1075 du Code pénal permettent d'ordonner la démolition des usines dangereuses pour la pureté de l'air ou de l'eau, et de punir les contrevenants de prison allant jusqu'à 3 mois et d'amendes allant jusqu'à 1200 francs.

Aux Etats-Unis, chaque Etat a ses règles, et nous avons vu que le State Board of Health du Massachusetts exigeait une dilution très grande pour autoriser le déversement du sewage dans les fleuves. Une loi spéciale protège le Mississipi. Il y a 22 Etats qui ont une loi pour la protection des cours d'eau, mais les prescriptions sont d'une nature générale et un peu vague, telle que celle-ci du New-Hampshire (Public statute 108 § 13) : « Quiconque fera, permettra ou occasionnera le dépôt ou l'abandon dans ou près d'un lac, étang, réservoir ou cours d'eau dont l'eau sert à l'alimentation d'une ville ou d'un village, d'une substance solide ou liquide qui rende en tout ou partie cette eau impure ou impropre à l'usage voulu, sera puni d'une amende n'excédant pas 20 dollars, ou d'un emprisonnement n'excédant pas 30 jours, ou des deux peines à la fois. »

C). Epuration des eaux d'égout.

Comme nous l'avons vu, il arrive assez rarement que, suivant l'expression de Duclaux, *la rivière soit proportionnée à l'égout*, c'est-à-dire que la ville puisse déverser son sewage dans le fleuve et compter sur l'épuration spontanée : il faut donc dans la plupart des cas épurer artificiellement. Les procédés d'épuration sont nombreux et tenaient

une place relativement large à l'Exposition : nous les diviserons en mécaniques, chimiques ou plutôt mécanico-chimiques (car on ne peut guère faire un traitement chimique sans une sédimentation mécanique simultanée), physiques, agricoles et enfin biologiques ou bactériologiques.

A). *Procédés mécaniques.*

Ces procédés ne visent que les corps en suspension et ne peuvent rien sur les substances dissoutes. Il comprennent 1° des grilles, râtaux, tamis, blutoirs, etc, pour arrêter les corps les plus grossiers (*fumiers*), 2° des bassins et puits de décantation, où les sables et vases se déposent par suite de la stagnation ou de la faible vitesse, 3° des filtres : enfin on peut combiner ces engins des plusieurs manières et il est même rationnel de les employer successivement, la filtration devant réussir beaucoup mieux après l'enlèvement des fumiers et une décantation préalable.

Nous avons parlé des grilles et râtaux employés à Paris pour les fumiers : des engins semblables sont naturellement employés dans beaucoup d'autres villes. A Londres, un double rang de grilles n'arrête pas moins de 80 à 100 tonnes de corps flottants par semaine : on les incinère aussitôt dans des fours établis voisins des grilles. On signale des grilles et râtaux à Oldham, Swinton, etc : à Accrington, il y a une sorte de fourchette tournante qui vient nettoyer la surface des grilles, tandis qu'une drague enlève les débris accumulés. A Sutton et à Isleworth, au lieu de grilles fixes, on a un tamis mobile, mù par deux tambours, sur lesquels il passe comme une toile sans fin : les tambours sont actionnés par une roue mise en mouvement par le sewage lui-même. A Glasgow les grilles tournantes placées en avant des chambres à sables sont inclinées à 45°. A Coventry, l'eau d'égout passe dans une espèce de roue munie de grilles : les matières sont retenues dans la roue, puis déversées dans un panier, où une vis d'Archimède les prend pour les conduire à un filtre-pressé qui en fait des tourteaux.

Nous devons nous arrêter un instant sur deux engins de ce genre, imaginés par deux maisons allemandes qui avaient exposé à Paris.

Le premier est la grille avec nettoyeur automatique, de Riensch (de Uerdingen). — Cet inventeur essaya d'abord à Wiesbaden un appareil très compliqué (qui du reste ne fonctionne plus), qui était composé de quatre parties : 1° Une première grille courbe dont les barreaux avaient 15mm d'écartement, et dans la concavité de laquelle semouvaient des dents

en forme de peigne portées par les bras d'un tambour; les fumiers relevés par les dents arrivaient sur une plaque mobile qui les entraînait, tandis qu'un système de brosses mù par une sorte de pendule venait nettoyer la grille avant la nouvelle action d'un peigne. 2° Un puits en forme d'entonnoir fermé à sa partie supérieure par des plaques métalliques à charnière formant un faux-fond situé un peu en contre-bas du radier du canal d'amenée: la vitesse très diminuée dans cette partie, fait déposer les sables, qui par l'ouverture des plaques tombent dans le puits, d'où ils sont extraits par une drague. 3° Une seconde grille courbe semblable à la première, mais avec des écartements de 5 mm seulement, munie également de son système de peignes et de brosses. 4° Deux cadres situés l'un derrière l'autre à 1 m de distance et formés tous deux de fils métalliques tendus en forme de harpe et ne laissant plus entre eux que des espaces de 1 mm: quand un de ces cadres est feutré, on l'élève

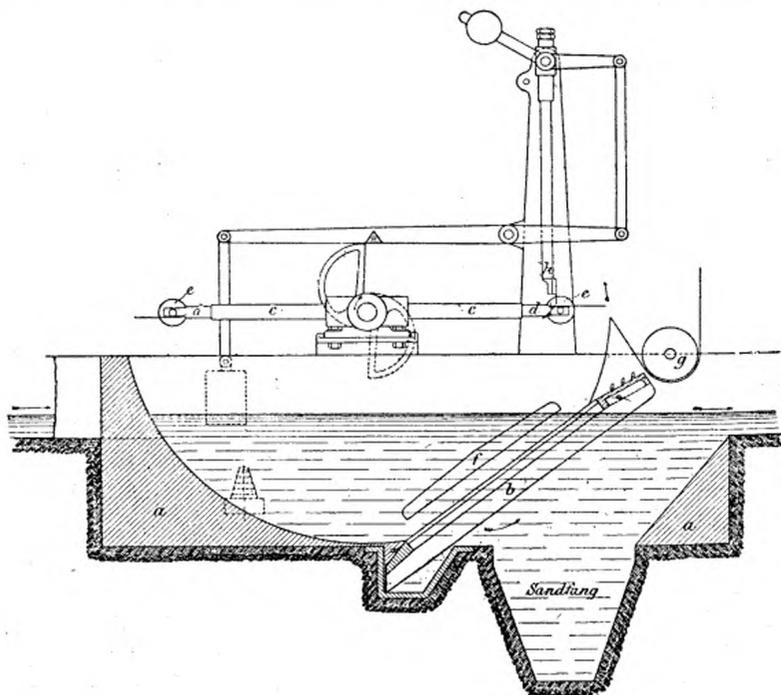


Fig. 491. — Grille avec nettoyeur automatique (Schwebestoff-Fänger) de H. Riensch (Uerdingen a. Rh.).

mécaniquement grâce à des crémaillères latérales et il se trouve nettoyé par une brosse circulaire, pendant que les déchets tombent sur une

plaque en mouvement qui les transporte. Enfin après cela, Riensch traitait encore l'eau d'égout chimiquement par la chaux ou un autre précipitant et la faisait déposer dans son puits à diaphragmes angulaires (voir plus loin).

Il existe une installation de ce genre à Marburg, mais d'après Fränkel, la deuxième partie (Sandfang) ne fonctionne pas bien, tandis que les grilles et cadres ont donné satisfaction. Riensch a simplifié son appareil, notamment en remplaçant les deux cadres mobiles à fils tendus par un cadre fixe qui se nettoie sous l'eau : il est arrivé ainsi à l'appareil exposé, que montre la fig. 191. Dans la chambre maçonnée *aa*, le cadre fixe soutient les fils tendus, en acier ou en bronze, espacés de 1mm, qui arrêtent les corps flottants; les bras mobiles *cc* portent à leur extrémité *d* les peignes qui viennent prendre le feutrage entre les fils dès que la molette *e* s'appuie sur la glissière *f*. Les corps ainsi soulevés, arrivés au bord de l'excavation où se trouve la vis sans fin *g*, *y* sont poussés par le système *h* qui se meut comme une pendule; puis ils sont emmenés par la vis, tandis que l'eau va au puits de clarification.

Le second appareil est le tamis ou blutoir tournant de la maison Friedrich. C'est, comme on le voit par la fig. 192, un double tamis circulaire *bb* et *dd* posé sur un pivot *g* et mobile sur des galets *hh* au moyen du système moteur *ik*. L'eau brute arrive par le conduit *a* dans le tamis supérieur *bb* qui est à mailles larges et tombe dans le tamis inférieur *dd* à mailles fines: les matières retenues sur les blutoirs sont poussées circulairement grâce au mouvement et aux secousses (produites par un ressort spécial) de l'appareil, et finalement viennent sortir en *c* et en *e* dans un état de dessiccation suffisant pour pouvoir être transportées sur wagon.

Les bassins (Settling tanks — Flachgruben et Klärbecken) et les puits de décantation sont de dimensions et de formes variées: ce sont les mêmes qui servent pour la précipitation dans l'emploi des moyens chimiques; aussi sont-ils d'un fréquent usage en Angleterre et en Allemagne. Les bassins ont leur fond soit incliné de part et d'autre vers le milieu, soit mieux incliné uniformément vers l'amont, ou encore parfois dans le sens de l'écoulement; les puits sont généralement en forme d'entonnoir à leur partie inférieure. La succession des bassins ou les chicanes à créer dans un seul bassin sont calculées de manière à réduire la vitesse: le K. Gesundheitsamt demande qu'elle soit ramenée à 4mm par seconde, mais nous verrons qu'on n'arrive pas toujours à un chiffre aussi bas.

Nous renvoyons le lecteur aux figures et exemples de bassins et puits qui seront donnés à propos de l'épuration mécanico-chimique; mais il voudra bien remarquer que ces installations peuvent fonctionner sans

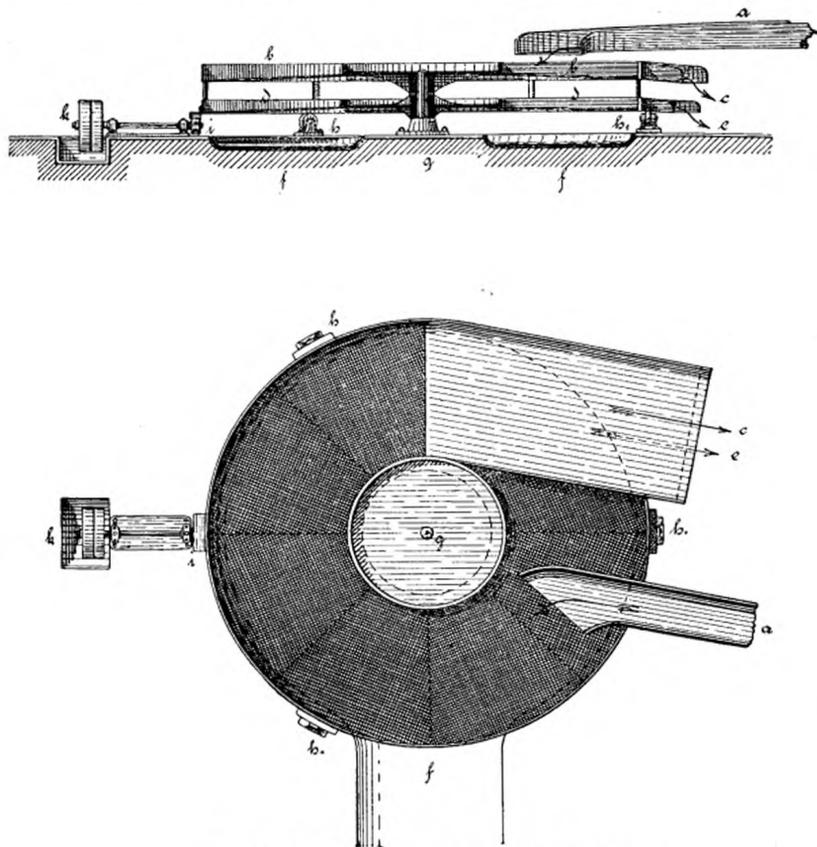


Fig. 192. — Blutoir tournant double, de Friedrich.

addition de précipitants. Il existe en fait un certain nombre de villes qui n'utilisent que la sédimentation seule, et leur nombre augmentera sans doute dans l'avenir, car l'addition de composés chimiques nuit le plus souvent soit à l'utilisation agricole, soit au traitement bactérien qui pourrait suivre. Parmi ces villes, Schmidtman (1) cite Hanovre (qui arrive à écarter 56 0/0 des corps en suspension grâce à un bassin de 50m de long où la vitesse est réduite à 4mm par seconde) et Cassel dont le modèle de l'installation figurait à l'Exposition. Ci-dessous la description

(1) Schmidtman: *Vierteljahrsschrift für gericht Medizin*, 1898 — Supplément-Heft.

de l'installation de Cassel, donnée par le catalogue officiel de l'Hygiène allemande.

« L'installation représentée par ce modèle a pour but l'épuration mécanique des eaux sales contenant les matières fécales de 100 000 habitants.

Elle comprend cinq bassins chacun de 40 mètres de longueur, de 4 mètres de largeur moyenne et de 0,6 de profondeur, dont les soles présentent dans le direction de l'écoulement une pente de 1 : 100.

En étudiant cette installation on a adhéré strictement au principe, qui consiste à effectuer l'enlèvement des résidus aux bassins mécaniquement en un certain point; les eaux sales parcourent l'installation sans interruption et passent à travers des tamis, des arrête-vase, des dos de barrage, des plaques plongeantes etc. sans être dérangées dans leur cours par des changements soudains du profil d'écoulement qui va constamment en s'accroissant, en quittant les bassins par la rigole d'écoulement pour être dirigées directement vers la Fulda.

Le nettoyage des bassins qui peuvent être isolés, soit après l'écoulement, soit avant, par des valves, se fait à l'extrémité inférieure et mécaniquement tandis que pour le fonctionnement automatique la pente naturelle suffit.

Le nettoyage s'accomplit en trois périodes successives : tout d'abord après que le bassin à nettoyer est fermé à l'écoulement par l'abaissement de la valve à tiroir, et que l'eau qu'il contient a été laissée en repos quelques heures, on laisse écouler l'eau claire qui est à la surface, en ouvrant le tiroir sur la conduite d'écoulement ; alors la couche suivante qui est à vrai dire très impure, mais contient encore trop d'eau pour être portée sur le champ des boues, est amenée au puits situé sous la salle des machines, ce qui a lieu par le canal reliant le mur inférieur du bassin au puits en question ; lorsque le tiroir de vidange est ouvert, l'eau amenée au puits étant élevée à l'aide de pompes rotatives, est conduite au canal d'alimentation pour être épurée à nouveau.

La troisième couche, le résidu propre de l'épuration, une boue contenant environ 90 % d'eau, est aspirée après l'enlèvement du râteau en forme de harpe — non pas en forme de tamis comme au modèle — par l'appareil à vide situé dans le sous-sol de la chambre des machines, et pressée contre le dépôt des boues.

Là, la boue est mélangée à des balayures de rue pour former des engrais composés qui trouvent leur emploi dans l'agriculture.

Les machines motrices, deux moteurs à gaz de douze chevaux chacun, sont à l'étage supérieur de la salle des machines, où se trouve aussi l'appareil à vide.

De cette manière il est possible de disposer de toutes les impuretés, surtout des plus denses comme le sable etc. avec un minimum de main-d'œuvre. L'arrête-sable construit dans la conduite d'alimentation a été découvert dès le principe et n'a pas été utilisé jusqu'à ce jour.

L'eau s'écoule à travers les bassins avec des vitesses de 2,1 jusqu'à 8,5 mm à la seconde et son volume oscille entre 94 et 377 litres-seconde, selon que le temps est sec ou pluvieux. Il faut remarquer en outre que les eaux ménagères d'une population de 90 000 habitants seulement sont traitées à présent, car les égouts d'une partie de la ville ne sont pas encore achevés.

Après de nombreux examens exécutés par le président du bureau municipal des essais, M. le Dr Paulmann, dans les conditions diverses, l'épuration mécanique a donné les effets suivants :

Des *impuretés* de toute sorte 46,12 % jusqu'à 96,37 %, en moyenne 79,94 % sont retenues.

Des *matières organiques* 30,31 % jusqu'à 97,33 %, en moyenne 77,53 %.

Des *matières minérales* 18,08 % jusqu'à 96,32 %, en moyenne 72,56 %.

L'effet épurateur maximum se produit, lorsque l'eau sale est concentrée, tan-

Coupe en travers (Echelle de 7 mm par m.).

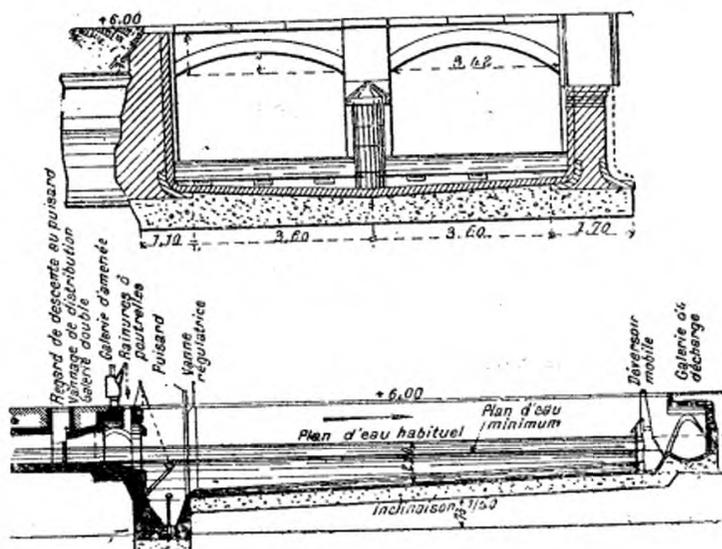
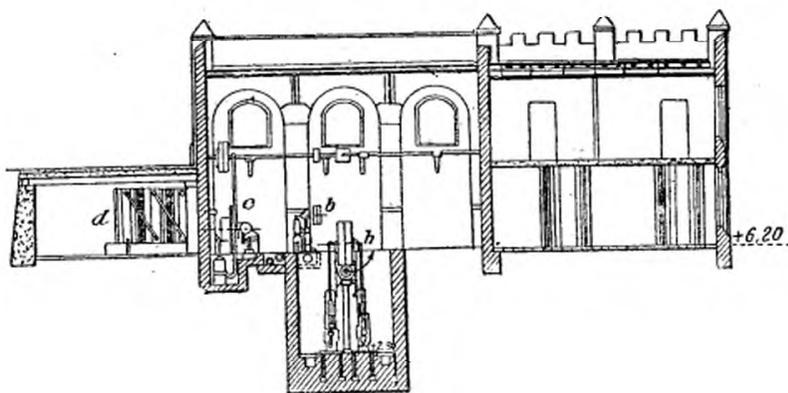
Coupe en long (Echelle de 3^{mm},5 par m.).

Fig. 493 (b). — Usine de clarification des eaux d'égout de Cologne. — Bassin de décantation.

Coupe en long suivant AB du Plan.



Plan.

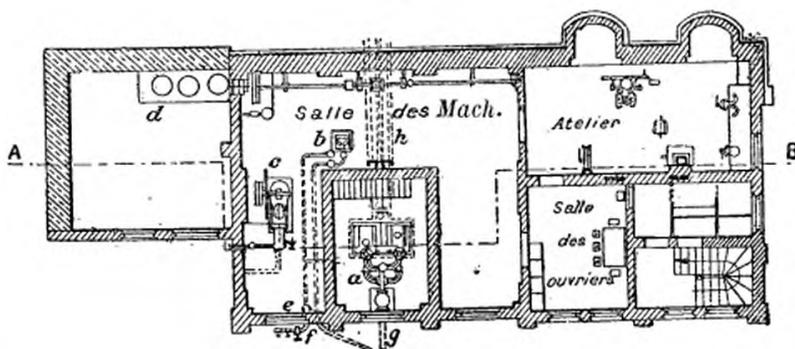


Fig. 493 (c). — Usine de clarification des eaux d'égout de Cologne. — Bâtiment des machines.
a, Pompe d'eau et de vase. — *b*, Pompe d'eau propre. — *c*, Moteur à gaz. — *d*, Condensation. —
e, Soupape de sûreté. — *f*, Bouche d'incendie. — *g*, Conduite d'aspiration. — *h*, Conduite de
 refoulement (Echelle de 1/250).

auront 45 m de long, huit de large et deux de profondeur moyenne. Les bassins seront naturellement précédés d'une chambre à sable et d'appareils pour arrêter les corps flottants : mais le bassin unique, actuellement établi, devant surtout servir d'expérience sur l'effet de la sédimentation seule, n'en a pas été pourvu. Il se compose d'une fosse antérieure ou puisard, dans laquelle pompent les machines d'épuisement qui servent soit à vider le bassin, soit à enlever les vases, et d'une partie dite plate, bien qu'en réalité son radier soit incliné de $1/50$ vers l'amont. Dans le puisard, se trouve une prise d'eau flottante, dont le flotteur s'abaisse avec le niveau et qui sert à pomper l'eau, surmontant la vase déposée : elle est reliée bien entendu avec l'aspiration de la pompe d'épuisement de la vase et de l'eau sale.

L'eau clarifiée s'écoule du bassin par un déversoir métallique mobile à clapet. On abaisse le clapet quand on veut vider le bassin, et alors le flotteur descend également dans le puisard, mais on vide seulement ainsi jusqu'au niveau du radier de l'aqueduc d'évacuation ; ensuite il faut recourir à la pompe. Les vases du radier du bassin sont poussées vers le puisard, d'où la pompe les envoie dans des bassins de dépôt (trois seulement sont construits) ; ces vases contiennent 85 à 95 0/0 d'eau. On a installé dans les bassins de dépôt différents systèmes de drainage et on expérimente pour trouver la meilleure manière d'assécher les vases. La pompe, de la maison Klein, Schanzlin et Becker (de Frankenthal) peut élever 80 m^3 de vase à 20 m de hauteur par heure : elle est à piston plongeur de $0^{\text{m}},250$ de diamètre et $0,200$ de levée. Il y a une autre pompe qui élève l'eau propre d'un puits pour les lavages et autres usages. La force motrice est donnée par un moteur à gaz de douze chevaux. On étudie l'installation contiguë d'une usine à incinérer les ordures ménagères et les vases et fumiers retirés de la clarification : nous en reparlerons plus loin.

Telle est cette usine d'essai : on verra d'ici quelques années si elle répond bien aux prévisions de Fränkel, et dans l'affirmative on l'agrandira suivant le projet complet. Ce qui a été fait a coûté 245 000 marks, dont 50.000 pour terrassements.

Nous ne dirons qu'un mot des filtres proprement dits : c'est qu'ils ne s'appliquent guère aux eaux d'égout, parce que leurs pores trop fins sont très vite obstrués par les corps en suspension arrêtés. Il ne peut donc s'agir que des filtres grossiers ou dégrossisseurs, formés de gros galets, de pierres cassées, de morceaux de coke, de tourbe, etc., lesquels agissent tout d'abord comme clarificateurs par suite du ralentissement des filets

liquides dans leurs interstices : nul doute qu'ils ne produisent comme tels un effet utile et qu'une installation comme celle des dégrossisseurs Puech (page 133 et suivantes) soit à recommander pour clarifier les eaux d'égout : mais nous verrons qu'on peut obtenir beaucoup mieux, si on laisse l'air et les bactéries agir dans l'intérieur de ces filtres, par les procédés de la *filtration intermittente* et des *lits bactériens*.

Du reste, nous verrons certains appareils de filtration utilisés à la suite des procédés chimiques ou autres : l'épandage n'est-il pas lui aussi une filtration par le sol ?

B). *Procédés chimiques et mécanico-chimiques.*

On n'attend pas de nous l'histoire, ni même l'énumération de tous les procédés chimiques : rien qu'en Angleterre, de 1856 à 1876, on compte plus de 400 brevets pris pour des substances précipitantes, et König, qui déclare s'en tenir aux principaux, énumère encore 75 composés chimiques plus ou moins employés actuellement ! A la base de tous ces procédés, on trouve généralement la chaux, les sels d'alumine (sulfate et phosphate, argile), les sels de fer (sulfate, chlorure etc.) les permanganates, sels de magnésie (1) : à propos des eaux potables, nous avons vu l'action de ces corps, soit comme se combinant chimiquement aux substances contenues dans l'eau, soit comme produisant un *collage* qui entraîne vers le bas les matières en suspension, y compris les bactéries. L'action produite est donc réelle, tant comme clarification que comme modification de la composition chimique et même bactériologique du sewage ; mais il y a des difficultés et des inconvénients sérieux, savoir :

1° La difficulté de doser convenablement le précipitant adopté et de faire varier le dosage en même temps que la composition du sewage à traiter varie elle-même (les variations sont surtout très grandes avec le système unitaire) ;

2° Le prix relativement élevé du précipitant ;

(1) Théoriquement, il faudrait ajouter à ces corps l'air lui-même, le contact avec l'oxygène de l'air, modifiant la composition du sewage en facilitant l'oxydation des matières organiques, en faisant disparaître les substances volatiles telles que l'ammoniaque et l'hydrogène sulfuré etc : toutefois, bien que recommandée par Wallace, Storer, Lauth, König, l'aération en grand des eaux d'égout ne paraît guère pratique ; ajoutons qu'il se fait une aération naturelle dans l'épandage, dans la filtration intermittente et dans les lits bactériens aérobie, et à l'occasion de ces derniers nous verrons les procédés d'insufflation artificielle.

3° L'encombrement énorme que produisent les dépôts, lesquels sont naturellement accrus en volume par suite de l'addition des composés chimiques, et en raison même de la présence de ces corps (1), leur très faible valeur comme engrais. Il en résulte que l'on n'arrive pas à faire enlever les boues et sédiments par l'agriculture et qu'il faut s'en débarrasser à grands frais, toutes les villes n'ayant pas comme Londres la ressource du voisinage de la mer et des *tank-steamers* pour y aller déverser les produits vaseux des bassins : les boues contiennent du reste un excès d'eau dont il faut se débarrasser, soit en les faisant égoutter, soit en les soumettant à des presses ou filtre-presses, ce qui constitue un second traitement onéreux (un rapport très documenté de M. Corbett à l'Engineering Society de Liverpool, du 14 avril 1897, montre bien en détail les difficultés que donnent les boues).

4° Le peu d'action des procédés chimiques sur la matière organique soluble (l'eau épurée contient encore les deux tiers de l'azote total de l'eau brute) en sorte que l'efflux reste très susceptible de se putréfier rapidement et d'infecter les rivières ;

5° La difficulté d'utilisation agricole de l'efflux et de sa forte teneur en azote, les corps chimiques ajoutés constituant une gêne sérieuse pour l'irrigation, en sorte que cet azote est généralement perdu.

Bref, le traitement chimique nous paraît mieux indiqué pour des eaux industrielles, chargées le plus souvent de composés chimiques bien connus et en appelant d'autres en vue de combinaisons déterminées, que pour les eaux d'égout d'une ville, chargées surtout de matières organiques sur lesquelles on n'obtient qu'une très faible réduction : il ne vaut guère mieux dans ce cas que la sédimentation pure et simple et n'a guère sur elle que l'avantage d'une plus grande rapidité de précipitation. Cependant il a rendu et rend encore de grands services, surtout si on le fait suivre de la filtration ou de l'épuration bactérienne, et beaucoup de villes anglaises, allemandes et américaines l'emploient : plusieurs systèmes allemands étaient exposés, et nous devons les décrire sommairement ainsi que faire connaître leurs résultats. Auparavant, nous demandons la permission de montrer les effets et le coût du traitement par les précipitants les plus usuels dans les deux tableaux ci-dessous, résumant l'un les expériences de Dibdin à Londres, l'autre celles de la station de Lawrence (Massachusetts).

(1) Nous profitons de l'occasion pour condamner en bloc l'addition des composés contenant des substances organiques putrescibles (sang dans l'ABC process par exemple) : il y a déjà bien assez de matières organiques sans en ajouter encore.

TABLEAU I (d'après Dibdin)

Réduction pour cent des matières organiques (oxydables) dissoutes, contenues dans le sewage de Londres, par l'emploi des précipitants ci-après : (Moyenne de 23 analyses).

Nos d'ordre	PRÉCIPITANTS (les quantités évaluées en grains par gallon)				Réduction pour cent de la mat. organ. dissoute	Coût annuel d'achat des précipitants (en livres sterling)
1	Chaux dissoute	3 gr.,7	par gallon		41 %	43 505
2	id.	5	id.		45	48 250
3	id.	40	id.		49	36 500
4	id.	45	id.		25	54 750
5	Lait de chaux	45	id.		43	45 695
6	Chaux dissoute	3 gr.,7	par gal. et sulfate de fer	0 gr.,3 par gal.	44	20 805
7	id.	3 ,7	id.	4 id.	43	31 755
8	id.	3 ,7	id.	2 ,5 id.	48	50 005
9	id.	3 ,7	id.	5 id.	24	32 850
10	id.	5	id.	2 id.	48	47 450
11	id.	5	id.	4 id.	49	54 750
12	id.	5	id.	5 id.	48	76 650
13	id.	5	id.	8 id.	25	91 250
14	id.	5	id.	10 id.	25	109 250
15	id.	40	id.	10 id.	30	409 500
16	id.	5	et sulfate d'alumine	5	48	82 425
17	id.	5	, sulfate de fer	5 gr., et noir animal	22	237 250
18	id.	5	id.	4 et sulf. d'alumine	20	89 425
19	id.	7	id.	1,5 id.	22	100 375
20	id.	40	id.	2 id.	40	478 850
21	id.	44	id.	3 id.	40	200 750
22	id.	45	id.	3 id.	45	268 275
23	id.	28	id.	6 id.	20	401 500
24	id.	56	id.	12 id.	40	803 000
25	id.	700	id.	400 id.	50	9 672 500

Nota : Le grain (0gr.,065) par gallon anglais (4lit.,543) correspond à 14mmgr.,3 par litre. La dépense a été calculée sur le volume journalier moyen du sewage de Londres de 456.800.000 gallons, soit 742.500 m³, avec des prix de 4 livre sterling par tonne (4 046 k.) de chaux, 2 livres sterling par tonne de fer et 3 l.,10 shillings par tonne d'alumine.

Ce tableau est très instructif, car il fait voir de combien peu des doses, même élevées, de chaux, de sulfate de fer et de sulfate d'alumine réduisent la matière organique dissoute ; on voit aussi qu'avec la chaux, le sulfate de fer vaut mieux et est moins cher que celui d'alumine. Dibdin recommande aussi d'éviter toute agitation après l'addition du précipitant et également tout pompage avant ; il insiste sur l'utilité d'avoir un sewage aussi peu dilué que possible. A Londres, il emploie habituellement quatre grains de chaux par gallon et un grain de vitriol.

TABLEAU II (D'après Allen Hazen, à Lawrence).

Résultats obtenus
par l'épuration d'un même sewage avec les réactifs ci-dessous
(Moyenne de 2 à 300 expériences).

PRÉCIPITANTS EMPLOYÉS (Les quantités en grammes par m ³)	Dépenses par habitant et par an	RÉDUCTION 0/0			
		de l'ammo- niaque albumi- noïde	de la matière soluble du résidu de l'in- cinération	du trouble dû aux matières en suspension	du nombre des bactéries
	fr.	0,0	0/0	0/0	0/0
Chaux 480 gr. par m ³	0,26	22	4	77	93
Chaux 70 gr. et sulfate de fer 100 gr.	0,26	29	21	70	38
Peroxyde de fer 27 gr.	0,26	32	28	81	92
— 36 gr.	0,45	41	45	83	95
Alun 65 gr.	0,26	20	30	77	82
— 87 gr.	0,45	29	20	77	90

Comme on le voit, ces résultats se rapportent à des prix de revient identiques des substances employées. Allen Hazen conclut de ses nombreuses expériences :

1° Avec la chaux (1), le meilleur résultat s'obtient en prenant la dose qui correspond exactement à la quantité d'acide carbonique contenue dans le sewage ; l'inconvénient réside dans la difficulté de manipulation du précipité ;

2° Le sulfate de fer (protosulfate) seul n'a pas d'action sérieuse ; il faut l'additionner de la quantité de chaux nécessaire pour la combinaison avec l'excédent d'acide carbonique et l'acide du sulfate, et la chaux doit être versée la première ;

3° Les sels de peroxyde de fer agissent plus vite que ceux de protoxyde et donnent un précipité moins soluble ; la chaux n'ajoute rien au traitement, surtout si le sewage est alcalin ;

4° Le sulfate d'alumine n'a pas eu un effet aussi satisfaisant que les sels de fer ; l'addition de chaux active la précipitation ;

5° Dans tous ces traitements, les bactéries sont éliminées en partie, grâce à leur enrobage dans le précipité floconneux et aussi à la toxicité

(1) Outre les études déjà un peu anciennes de Pfuhl sur l'effet de la chaux (*Zeitschrift für Hygiene* 1892), on fera bien de consulter l'article de Dunbar et Zirn : *Beitrag zur Frage über die Desinfection städtischer Abwässer*, in *Vierteljahrsschrift f. gericht. Medizin*, XVI 1898 supplément. Il en résulte que la chaux est très infidèle comme désinfectant, tandis que le chlorure de chaux a 1/10.000 réussit en 1 heure à tuer les bacilles typhiques et cholériques.

des réactifs ; mais les procédés chimiques laissent subsister une telle quantité de matières organiques dans l'eau qu'une nouvelle pullulation de germes ne tarde pas à se produire et à la rendre presque aussi impure qu'auparavant. Pour cette raison et aussi à cause du coût des réactifs, Allen Hazen ne croit pas que la méthode chimique mérite de se généraliser au delà de certains cas spéciaux.

I. — ÉPURATION MÉCANICO-CHIMIQUE EN ALLEMAGNE.

Usine d'épuration de Francfort-sur-Mein. — Bien que déjà un peu ancienne ⁽¹⁾, nous commençons par citer cette installation, parce que conçue et exécutée par Lindley, elle a servi de prototype à plusieurs autres et montre bien ce qu'on obtient avec les bassins plats.

Le beau réseau d'égouts de Francfort amenait tellement vite les matières au Mein qu'elles arrivaient sans être délayées et que la rivière charriait des bols fécaux intacts, des papiers, etc. : il fallut épurer. Ne pouvant songer à l'épandage, la ville se décida pour une épuration mécano-chimique ; mais cette solution fut regardée comme un pis-aller, et ce fut en vain que devant le Deutscher Verein des hygiénistes allemands de 1888, Lindley, Winter, Wiebe, Lohansen protestèrent contre un avis semblable de l'assemblée. L'expérience a donné tort à Lindley, car aujourd'hui la difficulté de se débarrasser des boues est telle que la ville songe à changer de système ; elle songe aussi à améliorer davantage l'efflux rejeté dans le Mein.

L'installation, prévue pour épurer normalement 18.000 m³ par jour, devait comporter deux groupes de chacun six bassins ; le groupe le plus voisin du Mein a seul été construit (Voir fig. 194). Chaque bassin a 82^m,4 de longueur, 6 m de largeur en haut et 5^m,4 en bas, avec une profondeur de 2 m à l'entrée et 3 m à la sortie, au-dessous du niveau normal réglé par la crête du déversoir de sortie. La capacité utile de chaque bassin est ainsi de 1,100 m³, en sorte que, un ou deux bassins étant toujours en vidange, la capacité des bassins en service n'est guère que du quart du volume journalier à épurer ; l'eau y séjourne donc environ six heures. La vitesse est faible : 5 mm par seconde à l'entrée et 3 mm à la sortie. En temps de pluie, on traite jusqu'à 80.000 m³ par jour, mais naturellement avec une plus grande vitesse on n'a qu'un

(1) Le projet date de 1884. Voir articles de Lindley in *Deutsche Vierteljahrschrift für off. Gesundheitspflege*, 1884 et 1888.

degré moindre de clarification. L'écoulement se fait par simple gravité des égouts dans les bassins et, sauf en temps de crue, des bassins dans

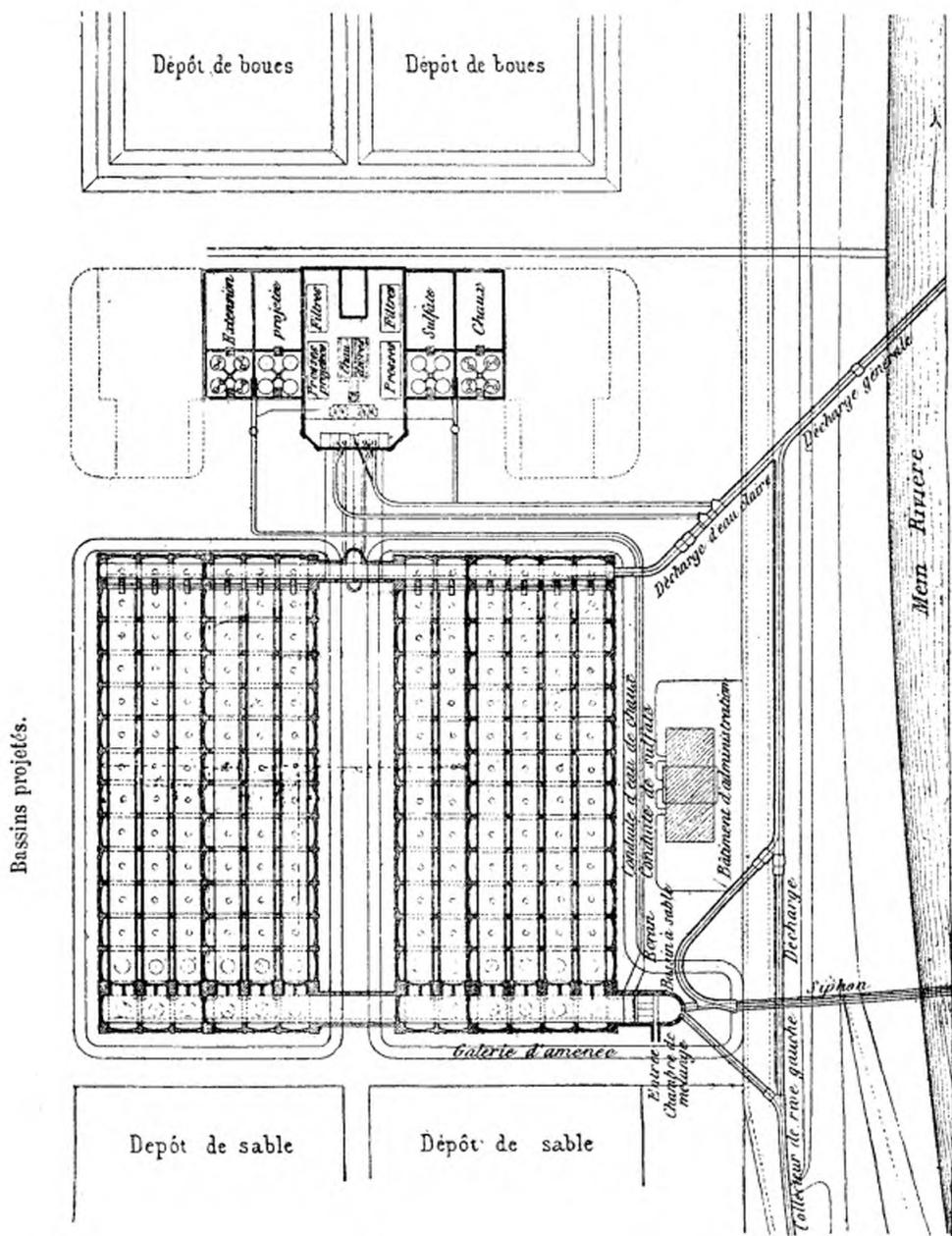


Fig. 194 (a). — Plan de l'usine d'épuration mécano-chimique des eaux d'égout de Francfort-sur-Mein.

le Mein : quand le niveau de la rivière est trop élevé, une pompe spéciale relève le sewage décanté.

Jusqu'ici, rien ne diffère d'une installation purement mécanique. La différence résulte de l'addition des précipitants, qui sont ici : la chaux, à raison de 40 à 45 grammes par mètre cube de sewage, et le sulfate

d'alumine, à raison de 165 à 170 grammes. Ces corps sont d'abord amenés à l'état de dilution complète, grâce à des appareils spéciaux placés dans le bâtiment des machines, puis dirigés par des conduites séparées dans une chambre de mélange, où arrive également l'eau d'égout (après avoir passé par la chambre à sable et les grilles habituelles); le sulfate se mélange d'abord, la chaux ensuite, puis l'eau entre dans la galerie d'amenée alimentant les bassins.

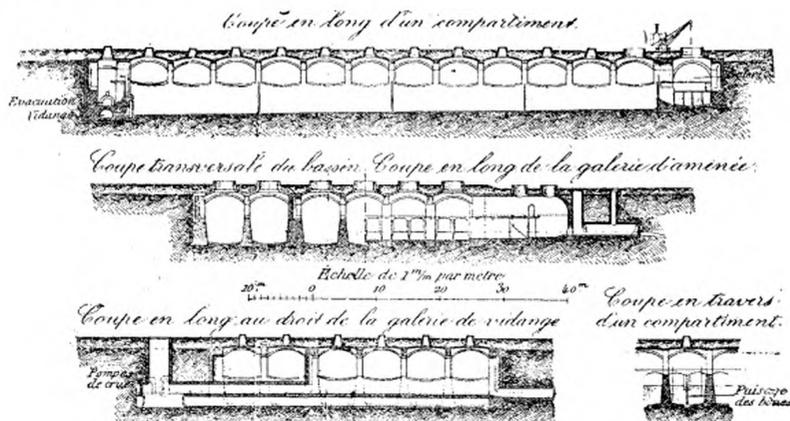


Fig. 194 (b). — Coupes de l'usine d'épuration des eaux d'égout de Francfort-sur-Mein.

Les bassins sont nettoyés à tour de rôle, environ chaque semaine; on laisse d'abord écouler la tranche d'eau supérieure, jusqu'au niveau du Mein, à l'aide d'une décharge spéciale; puis les eaux sont dirigées vers la galerie de vidange, au moyen d'un déversoir étagé qui laisse échapper, couche par couche, les parties superficielles jusqu'aux boues du fond.

De la galerie de vidange, les eaux sont reprises par une pompe centrifuge et rejetées dans la galerie d'évacuation, si elles sont claires, ou refoulées dans les conduites d'amenée, dès qu'elles sont troubles et doivent être épurées à nouveau. Les dépôts boueux sont extraits par une pompe spéciale et envoyés sur de vastes emplacements, énergiquement drainés, où ils s'égouttent et s'assèchent; on en condense aussi une partie aux filtres-presses.

La ville se débarrasse d'une certaine quantité de boues liquides, en les recevant dans un bateau-réservoir qui les transporte le long du Mein, et d'où on les extrait pour l'irrigation agricole (dans le domaine de Mönchhof, on les met dans des réservoirs montés sur lorrys, qui les laissent écouler en marche); les flocons en suspension, provenant du sulfate d'alumine, ont toutefois le gros inconvénient de produire sur le sol irrigué un feutrage qui en bouche les pores et est très gênant.

L'installation a coûté 700.000 marks et les frais d'exploitation s'élèvent annuellement à 150.000 ; cela revient en tout à 1^{pf},5 par mètre cube traité, soit une dépense de 1 m. par an et par tête d'habitant.

Les résultats des essais faits par Lepsius et confirmés par Petersen et Libbertz sont consignés dans le tableau ci-dessous :

*Composition des eaux d'égout
de Francfort-sur-Mein avant et après traitement par divers précipitants
(En milligrammes par litre).*

	MATIÈRES en suspension			MATIÈRES DISSOUTES							
	Minérales	Organiques	Azote	Minérales	Organiques	Azote organique	Azote ammoniacal	Oxygène consommé	Chaux	Acide sulfurique	Chlore
Eau d'égout brute	387	806	45	381	517	41	63	48	77	41	30
Eau d'égout traitée :											
I par la chaux et le sulfate d'alumine.	69	89	4,4	582	282	7	51	43	156	180	»
II par la chaux et le sulfate de fer	76	39,5	1,6	585	422	8	95	9	73	22	130
III par la chaux et l'acide phosphorique.	69	16	1	335	340	0	35	44	69	75	22

Ci-dessous également la composition des boues obtenues avec ces trois précipitants, ainsi que des tourteaux obtenus au filtre-pressé et ne contenant plus alors que 3,12 0/0 d'eau.

*Composition des boues provenant du traitement des eaux d'égout
de Francfort-sur-Mein.*

	Matières solides contenues dans 1 litre	TENEUR 0/0 DE LA SUBSTANCE SÈCHE								Valeur de la tonne de substance sèche comme engrais	
		Matières organiques (perte au feu)	Matières azotées	Matières minérales	Oxyde de fer + alumine	Chaux	Magnésic	Potasse	Acide sulfurique		Acide phosphorique
Boues traitées :	gr.										marks
I par la chaux et le sulfate d'alumine. . .	64,9	57,25	3,36	42,48	13,05	15,25	»	0,48	0,82	0,75	35,5
II par la chaux et le sulfate de fer.	33,4	54,09	2,96	45,91	17,88	16,52	0,64	0,49	1,50	0,63	31,0
III par la chaux et l'acide phosphorique.	177,9	36,54	0,532	63,46	6,46	2,44	0,44	0,95	0,47	1,65	9,2
Tourteaux pressés contenant 3,12 0/0 d'eau		44,96	2,38	51,92	9,68	4,60	»	0,54	»	2,15	28,6

La *Ville de Wiesbaden* ⁽¹⁾ a aussi une installation assez semblable : trois bassins plats (avec pente du radier en sens contraire de l'écoulement), précédés de compartiments (Vorkammer) plus profonds, avec chicanes et déversoirs (fig. 195), en avant desquels se fait le mélange avec le

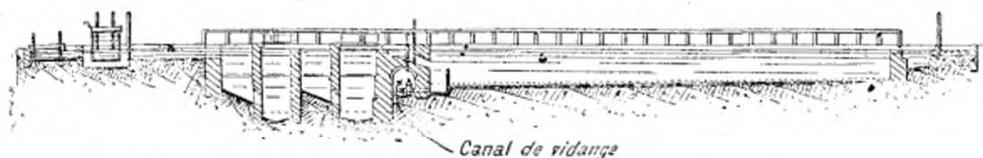


Fig. 195. — Coupe en long d'un des trois bassins d'épuration de Wiesbaden.

précipité : ici le lait de chaux est seul employé, à raison de 40 grammes de chaux par jour et par habitant. Voici le résultat, d'après Kœnig ; il n'est pas brillant sous le rapport des matières organiques ni de l'azote dissous, et on voit également que les bactéries ne tardent pas à pulluler de nouveau dans l'efflux. Aussi la ville étudie-t-elle un autre système d'épuration.

Résultats de l'épuration de l'eau d'égout de Wiesbaden par le lait de chaux
(en mmgr. par litre).

	Matières en suspension			Matières dissoutes										Nombre de germes par cm ³		
	Minérales	Organiques	Azote	Minérales (résidu fixe)	Organiques (perte au feu)	Oxy. consommé en liqueur alcal.	Oxy. consommé en liqueur acide	Azote totale	Azote ammoniacal	Chaux	Magnésie	Potasse	Acide phosphorique		Chlore	Acide sulfurique
Eau d'égout brute. . .	1 710	471	22,8	1 054,5	153	38,7	40	39,9	37	445	38,7	72,2	16,8	350	92,4	2 610 000
Eau d'égout à la sortie des bassins d'épuration . . .	26	43	4,3	1 662,5	210,5	43,5	45,4	40,6	31,3	433	49,4	78,5	traces	859	60,8	378 000
Eau d'égout à 400 m à l'aval de l'usine d'épuration . . .	116	38	2,1	1 208,5	170	28,8	31	24,9	22,8	436	31,6	62,2	2,6	626	40,9	630 000

Ville de Leipzig. — Cette ville épure depuis assez longtemps avec l'oxyde de fer comme précipitant, dans des grands bassins ouverts très primitifs. En 1899, elle a traité 18 millions de mètres cubes d'eau d'égout et dépensé 322 443 marks, dont 196 000 pour l'achat des réactifs. On n'a pas de données précises sur les résultats, mais les boues arrivent à faire une montagne (Schlamberg).

(1) Voir J. Brix : *Die Kanalisation von Wiesbaden, in Versammlung des Deutschen Vereins für öffentliche Gesundheitspflege*, 1888.

Ville de Halle. — Procédé Müller-Nahnsen (Maison Robert Müller à Schönebeck-sur-Elbe).

L'installation de la ville de Halle figurait à l'Exposition, et le modèle en est décrit comme suit par le catalogue officiel :

« Le drainage de la ville de Halle se faisait jusqu'en 1885 par cinq systèmes d'égouts indépendants entre eux et débouchant dans la Saale. L'écoulement du grand collecteur pour un sixième système dans la Saale (territoire du sud avec 18.000 habitants environ) ne fut permis par le gouvernement royal à l'époque indiquée qu'à la condition que les eaux eussent subi une épuration chimique et mécanique préliminaire. Dans ce but on a bâti près du point de décharge de l'égout dans la Saale une installation d'épuration des eaux usées d'après le *procédé de Muller-Nahnsen*.

Par l'addition de précipitants (sulfate d'alumine et d'argile soluble, d'argile ouverte⁽¹⁾ et lait de chaux) on produit un dépôt qui est spécifiquement plus lourd que les substances tenues en suspens, par suite de quoi se dépose plus rapidement que celles-ci. Par ce moyen les substances en suspension des eaux usées sont entraînées et celles-ci sont épurées. Le procédé mécanique s'accomplit dans des puits profonds dans lesquels les eaux ménagères mélangées aux précipitants montent de bas en haut avec une vitesse retardée. Les substances séparées se déposent sous forme de boues à la partie inférieure du puits.

Le procédé d'épuration dans l'installation d'épuration s'effectue comme suit :

Après avoir passé par un puits préliminaire où les particules les plus lourdes, telles que le sable, etc., sont séparées, les eaux usées arrivent dans une double rigole d'écoulement qui les amène à des appareils de réglage double. Ceux-ci consistent en réservoirs en forme de roues hydrauliques et reçoivent les eaux d'égout. Vis-à-vis de ces réservoirs et montés sur le même arbre se trouvent des réceptacles ou coupes contenant les substances liquides à ajouter. Ce moulin est mis en mouvement par l'action des eaux de décharge qui s'écoulent. La construction de l'appareil permet non seulement de mesurer la quantité des eaux de décharge, mais assure aussi le mélange de certaines quantités de substances chimiques à des quantités déterminées d'eau à purifier. La chambre de mélange est séparée des autres chambres de travail par une maisonnette en fer et en verre, afin de pouvoir retenir les gaz libérés et les conduire à un fourneau où ils sont brûlés. Après addition de précipitants, les eaux passent à travers plusieurs tamis qui effectuent non seulement un mélange plus intime des substances chimiques avec les eaux impures, mais aussi retiennent les parties légères telles que le bois, le liège. Après cela les eaux impures se rendent dans un premier puits de clarification, profond de 7 1/2 mètres et de 4 mètres de diamètre, et se terminant en bas en forme d'entonnoir. Les eaux y arrivent par un puits latéral à environ 2 1/2 mètres au-dessus de la sole et montent en remplissant la section du puits. Pendant que les dépôts plus denses, produits par les précipitants s'accumulent dans la partie en forme d'entonnoir du puits, l'eau, clarifiée, s'écoule au-dessus du bord du puits pour subir le même procédé dans un deuxième puits profond. Chacun des puits d'épuration peut être mis hors de fonction, à l'aide d'un canal circulaire. Les boues, qui s'accumulent à la partie inférieure du puits, sont épuisées à l'aide d'une pompe et envoyées à un filtre-presse qui leur donne une forme solide. Les résidus pressés sont enlevés par les agriculteurs franco de tous frais.

L'installation est calculée de manière à pouvoir épurer 2.000 m³ d'eau par

(1) Traduction de « Aufgeschlosseno Thonerde » : il paraît s'agir d'acide silicique (ou silice) à l'état naissant, provenant de la décomposition de l'argile ; on se sert aussi du résidu pour la fabrication de l'alun.

jour et coûte, y compris les machines, 30.000 marks, les frais d'exploitation par tête et par an sont d'environ 60 pfennigs. »

La fig. 196 fait voir cette installation. L'eau arrive par *a* et dépose les corps les plus lourds dans la chambre *b*; *d* et *e* sont des appareils automatiques (roues hydrauliques) réglant l'addition des précipitants d'après la quantité d'eau elle-même; *g* et *h*, sont des cribles tournants

Fig. 196 (b). — Coupe en long.

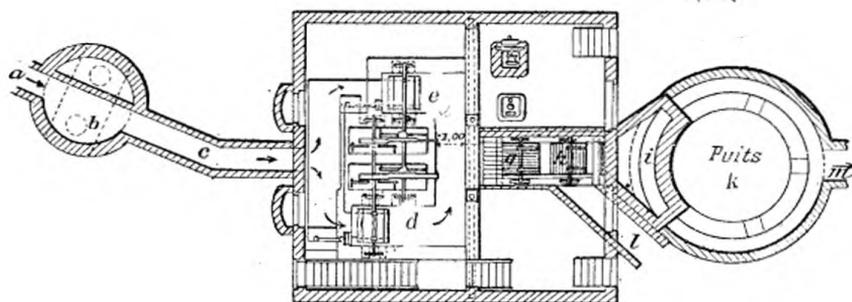
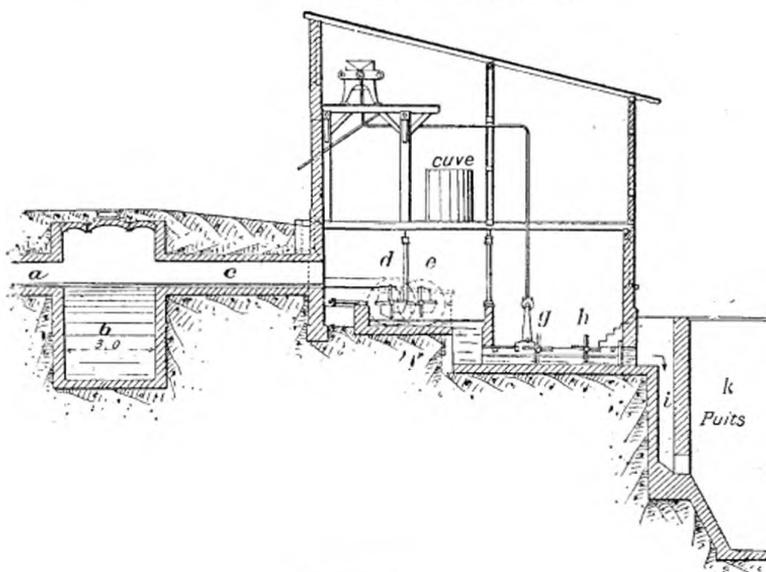


Fig. 196 (a). — Plan.

Fig. 196. — Installation pour l'épuration des eaux d'égout de Halle, procédé Müller-Nahsen.

qui assurent le mélange et retiennent en même temps les corps entraînés. L'eau entre par *i* dans le puits *k*, d'où l'eau sort à la partie supérieure par *m*: les vases déposées dans le puits en sont extraites par une pompe qui les envoie au filtre-pressé.

Ce système de puits profonds est aussi appliqué à Dortmund et à Ottensen.

Résultats de l'épuration des eaux d'égout à Dortmund, Ottensen et Halle.

PROVENANCE : EAU D'ÉGOUT DE	MATIÈRES en suspension			MATIÈRES DISSOUTES										Nombre de bactéries par c. c.		
	Minéraux	Organiques	Azote	Minéraux (résidu fixe)	Organiques (perte au feu)	Azote total	Oxygène consommé (en liqueur alcaline)	Oxygène consommé (en liqueur acide)	Chaux	Magnésie	Potasse	Chlore	Acide sulfurique		Acide phosphorique	
Dortmund (moyenne de 9 analyses)	brute .	221, 2	248, 9	»	350, 8	300, 7	44, 4	443, 7	426, 8	431, 7	21, 3	44, 5	433, 3	94, 4	10, 6	7.603.000
	traitée.	43, 3	38, 8	»	683, 4	303, 0	36, 8	443, 7	457, 3	227, 4	7, 2	34, 1	433, 7	100, 5	traces	42.450
Ottensen (moyenne de 3 analyses)	brute .	218, 8	442, 0	24, 1	1450	367, 2	68, 3	»	114, 8	147, 2	»	81, 2	628, 4	»	23, 4	»
	traitée.	48, 8	traces	0	1204	470, 8	61, 9	»	145, 6	387, 6	»	77, 4	353, 0	»	4, 2	»
Halle (4) (avec le Tout à l'égout)	brute .	488, 8	405, 2	38, 1	1314	309, 7	148, 2	181, 6	197, 9	232, 4	»	480, 5	276	326, 8	27, 5	»
	traitée.	48	3	0	1303	255, 4	82, 3	97, 1	100	346, 9	»	470, 5	254, 4	315, 4	4	»
Halle (4) (sans matières fécales dans les égouts)	brute .	402	423, 4	23, 9	1304	329	89, 4	80, 2	76, 3	275, 2	»	176	209, 4	354, 8	27, 6	»
	traitée.	29, 8	0, 6	0, 4	1174, 2	292, 4	78, 4	83, 8	89, 2	234, 8	»	161, 9	262, 8	324, 2	4, 8	»

On voit que comme avec les autres précipitants, les corps en suspension sont très diminués, mais les matières organiques et l'azote dissous changent fort peu. Quant aux boues, en voici la composition pour cent :

PROVENANCE DES BOUES ET TOURTEAUX	Eau	Matières organiques	Azote des matières organiques	Matières minérales (ensemble)	Acide phosphorique	Chaux	Magnésie	Potasse	Oxyde de fer et alumine	Silice	Sable et argile (insolubles)	Valeur de la tonne comme engrais
	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	marks
Dortmund } Boues de la chambre d'amont (avant le puits).	53, 76	17, 35	0, 66	28, 89	0, 33	2, 20	0, 37	0, 11	»	»	»	7, 20
Dortmund } Boues du puits	32, 29	13, 03	0, 32	34, 66	0, 45	14, 67	1, 34	0, 06	4, 38	»	»	4, 50
Ottensen : Boues du puits	68, 30	9, 84	0, 33	21, 86	0, 40	10, 11	»	»	»	»	4, 84	4, 50
Halle : Tourteaux sortant de la presse	2, 31	24, 69	0, 69	70, 0	1, 23	35, 03	»	4, 27	4, 44	4, 58	5, 74	10, 50
Berlin : Boues des égouts	43, 89	17, 35	0, 77	36, 76	1, 32	9, 87	»	»	»	»	3, 86	10, 20

(4) Moyenne de 3 analyses.

Dans les nouvelles applications, on propose de mettre deux puits l'un derrière l'autre, et de faire encore passer l'eau à la suite du dernier dans un filtre à cailloux. Enfin le composé de Müller-Nahnsen peut être remplacé par les composés analogues de Curtius (Duisburg), et d'Albert (Biebrich).

Les résultats de l'épuration chimique à Dortmund, Ottensen et Halle ont été étudiés par Kœnig, Teuchert et Drenckmann. Le tableau ci-dessus résume (milligrammes par litre).

Procédés de Dehne (Halle). — Avant de quitter Halle, nous devons

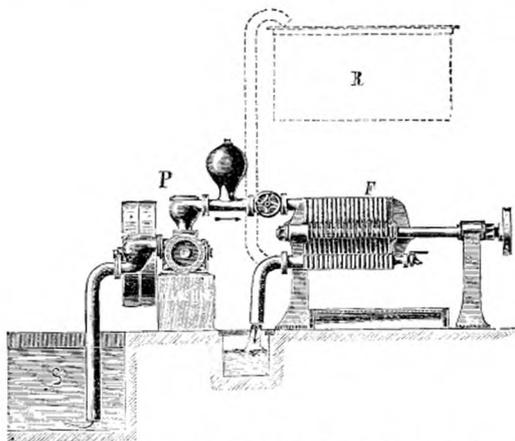


Fig. 197. — Filtre-pressé de la maison Dehne (Halle).

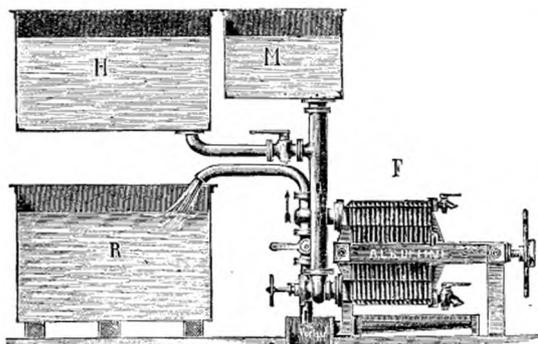


Fig. 198. — Schwemmfiter (filtre à membrane) de la maison Dehne (Halle).

dire un mot des procédés de la maison Dehne, de cette ville, maison

qui se charge de nombreuses installations d'épuration d'eaux usées et industrielles.

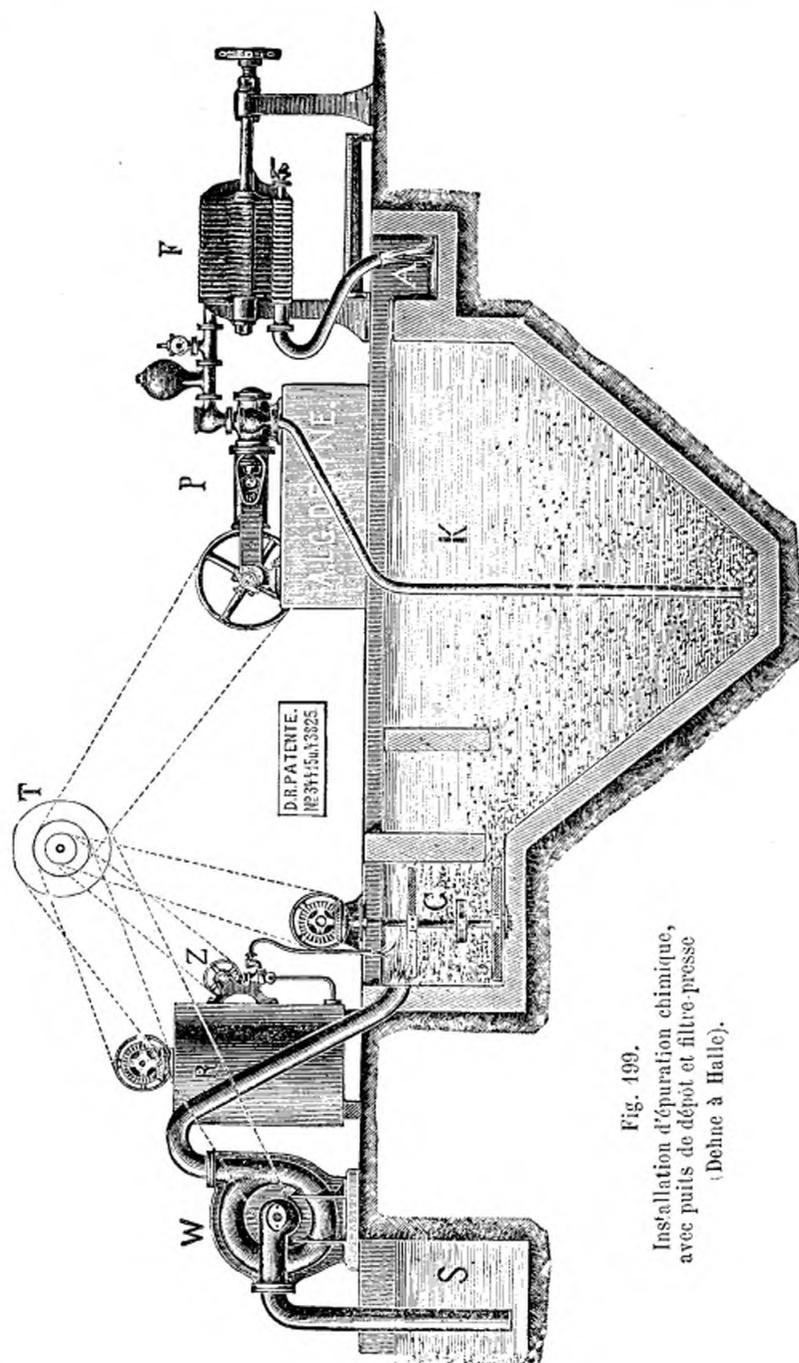


Fig. 199.
Installation d'épuration chimique,
avec puits de dépôt et filtre-pressé
(Dehne à Halle).

Cette maison épure soit par un simple passage au filtre-pressé (fig. 197) ou au *Schwemfilter* (fig. 198), soit par une addition de précipitants chimiques suivie du filtrage par les mêmes appareils, ou

mieux encore suivie du dépôt dans un puits et enfin du filtrage (fig. 199).

La fig. 197 montre une pompe P aspirant l'eau sale ou la vase dans le réservoir S et la refoulant dans le filtre-presse F à membranes en toile, drap ou feutre : l'eau qui en sort est évacuée si elle est claire, et en cas contraire elle est renvoyée au réservoir R pour subir une nouvelle opération. Quant aux corps solides, ils s'accumulent dans les chambres du filtre, et on les enlève une ou deux fois par jour.

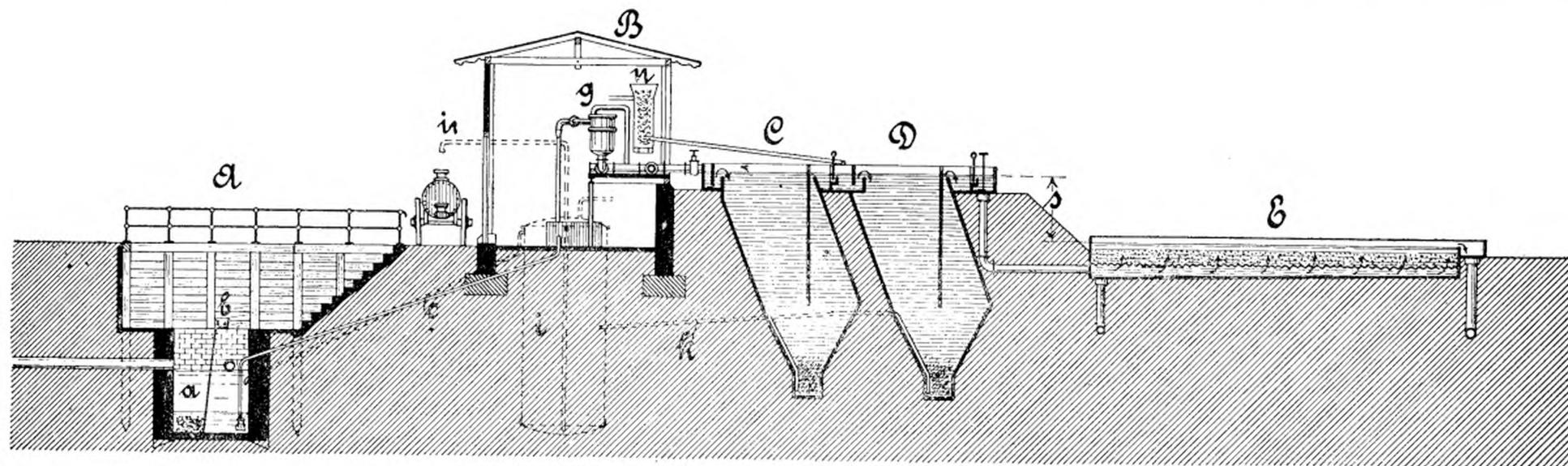
Le *Schwemmfilter* (filtre à peau ou membrane naturelle) de la fig. 198 comprend une succession de chambres séparées par des toiles métalliques tendues. Le vase M contenant une émulsion de fibres de cellulose et d'amiante dans de l'eau, on commence par la faire entrer dans le filtre F, où les fibres se déposent sur les toiles métalliques pour constituer les membranes filtrantes. Ce filtre est meilleur que le filtre-presse ordinaire : il suffit d'une pression de 1 m pour le liquide à filtrer.

Enfin la fig. 199 montre l'installation d'épuration complète : R est l'appareil (Rührapparat) où se préparent les mélanges chimiques, lesquels sont déversés en même temps que l'eau à traiter dans la chambre G, où tourne un mélangeur ; le tout est entraîné dans le puits K et les dépôts se forment dans le fond, tandis qu'on fait écouler le liquide clair par le déversoir A. Les boues du puits sont pompées à certains moments et amenées à l'état de tourteaux, par le filtre-presse F. Comme précipitants chimiques, Dehne recommande la chaux, et quand il y a des matières colorées il propose de lui ajouter la *kiesérite*, corps qui contient beaucoup de sulfate de magnésie et donne de l'hydrate de magnésie dont les flocons précipitent les fines particules en suspension.

Procédés Eichen. — Outre le filtre Kröhnke, dont nous avons parlé pour les eaux potables et qui peut évidemment servir aussi à clarifier des eaux sales, l'Allgemeine Städtereinigungs-Gesellschaft (Wiesbaden) exposait les dessins du système Eichen.

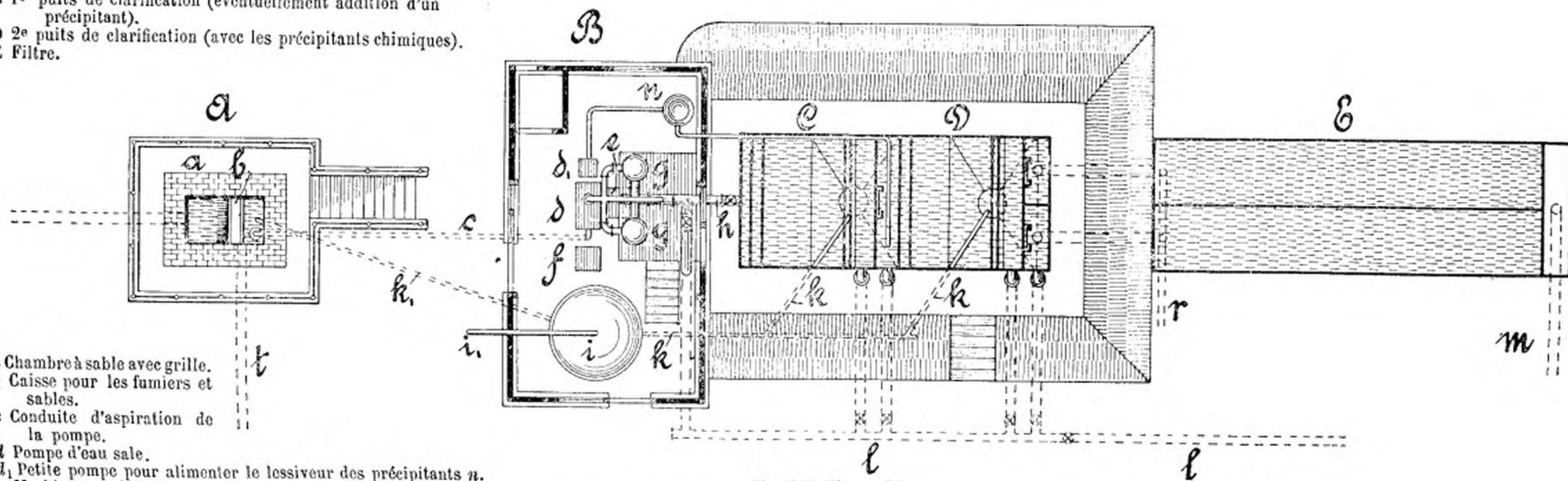
La fig. 200 montre une installation d'épuration chimique, avec filtration subséquente.

« Les deux réservoirs à dépôts ont une forme spéciale et adaptée à leur but. Par cette forme (brevetée) le décantage est accéléré, la vase déposée est rapidement enlevée par un conduit, sans interrompre l'opération de clarification. Le travail se fait dans le premier récipient C



- A Chambre à sable et puisard.
 B Bâtiment d'exploitation.
 C 1^{er} puits de clarification (éventuellement addition d'un précipitant).
 D 2^e puits de clarification (avec les précipitants chimiques).
 E Filtre.

Fig. 200 (a). — Coupe en long.



- a Chambre à sable avec grille.
 b Caisse pour les fumiers et sables.
 c Conduite d'aspiration de la pompe.
 d Pompe d'eau sale.
 d₁ Petite pompe pour alimenter le lessiveur des précipitants n.
 e Machine motrice (à gaz, à pétrole ou électrique).
 f Pompe à air pour l'aspiration des boues.
 g Récipient pour les corps en suspension.
 h Conduite de l'eau brute.
 i Réservoir des boues.

Fig. 200 (b). — Plan.

- i₁ Aménage des boues dans les tonnes de transport.
 k Conduite pour les boues.
 k₁ Evacuation de l'eau des boues
 l Canal de dérivation.

- m Canal de départ principal.
 r Vidange.
 s Pression sur le filtre.
 t Evacuation de nécessité.

Fig. 200. — Schéma d'une installation d'épuration par le procédé Eichen. (Epuration chimique suivie de filtration).

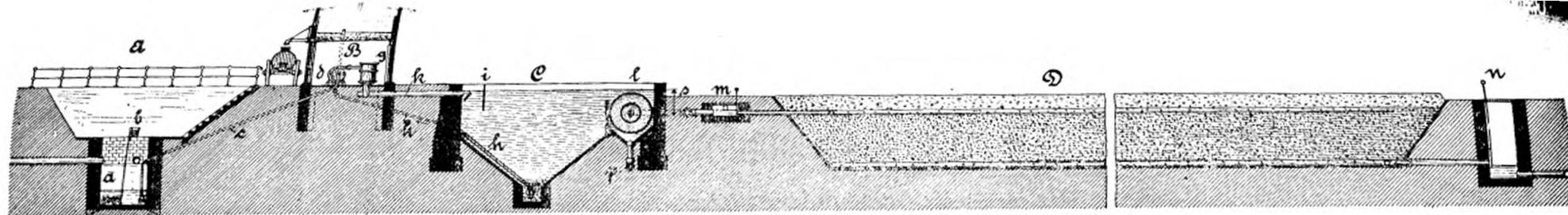


Fig. 201 (a). — Coupe en long.

A Chambre à sable et puisard.
B Bâtiment d'exploitation.

LÉGENDE :

C Puits de sédimentation.
D Filtre à oxydation. (Filtration intermittente).

a Chambre à sable avec grille.
b Caisse pour les fumiers et sables.
c Conduite d'aspiration de la pompe.
d Pompe d'eau sale.
e Machine motrice (à gaz, à pétrole ou électr.)

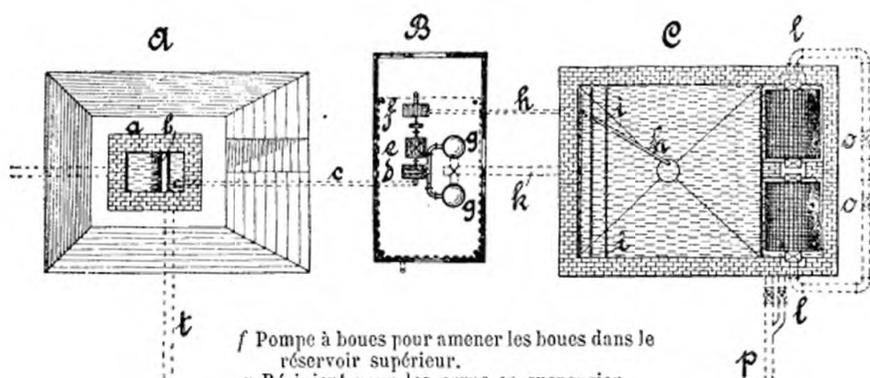


Fig. 201 (b) Plan.

f Pompe à boues pour amener les boues dans le réservoir supérieur.
g Récipient pour les corps en suspension.
h Conduite d'aspiration des boues.
i Plaque plongeante.
k Conduite de l'eau brute.
l Filtre rapide Kröhnke.
m Chambre de partage.
n Chambre d'évacuation.
o Robinet de commande.
p Evacuation de l'eau de lavage du filtre.
s Pression sur le filtre.
t Evacuation de nécessité.
u Tonne de transport des boues.

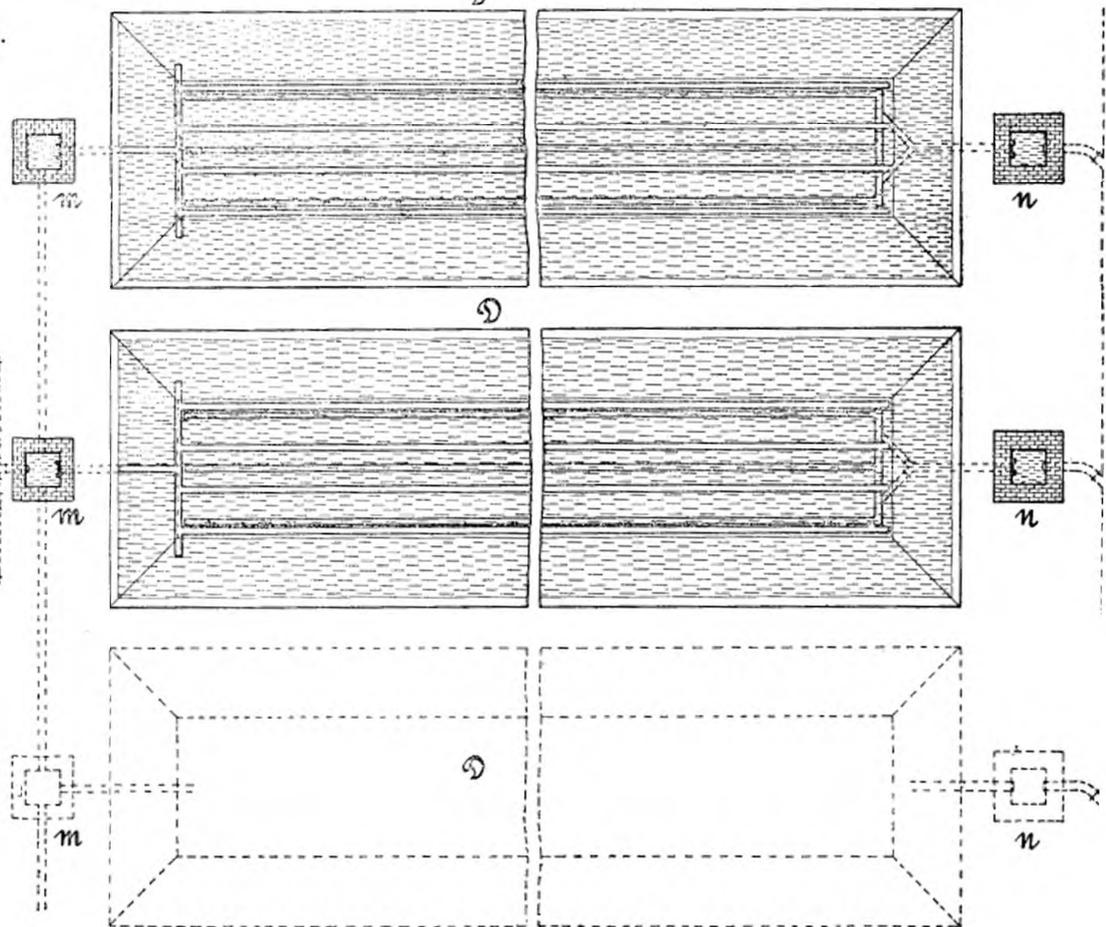


Fig. 201. — Schéma d'une autre installation d'épuration par le procédé Eichen. (Sédimentation simple, suivie de filtration oxydante ou intermittente).

chimiquement, ou bien avec addition d'une petite quantité d'eau de chaux (30 à 50 gr. de chaux par 1 m³ d'eau). L'addition de sulfates et autres substances, choisies de façon appropriée, se fait dans le récipient D.

« Le double filtre E est disposé de telle façon, que la hauteur de pression S peut s'arrêter automatiquement. Le nettoyage se fait par lavage en faisant couler l'eau dans le sens opposé par le second filtre ; on ouvre pour cela le conduit R du bas et on ferme celui M du haut, dès lors l'eau du filtre, qui ne marche pas, passe dans le filtre à nettoyer. On accélère ce nettoyage en remuant avec une pelle le matériel filtrant et l'opération est vite terminée. Ce matériel peut être du gravier, du sable ou du coke ; on peut aussi étendre à la partie supérieure du filtre une couche de laine à filtrer, retenue par un grillage placé au-dessus, et facile à nettoyer.

« Si en temps d'épidémie il était nécessaire de désinfecter fortement les eaux d'égout, il faudrait augmenter exceptionnellement l'addition de lait de chaux, ou ajouter de la chaux chlorurée ou de l'ozone. Dans certains cas on joint à l'installation une irrigation souterraine ou un autre système de nettoyage au moyen de couches de terre, ou encore un nettoyage biologique (filtre à oxydation) » (Catalogue officiel).

La fig. 201 montre un autre système de la même Compagnie, qui ne suppose plus l'emploi du précipitant chimique. Il y a un puits de simple sédimentation C, suivi d'un filtre rapide Kröhnke : à la suite de ces deux appareils destinés à retenir les corps en suspension, on installe des filtres à oxydation, ou à filtration intermittente (voir plus loin) pour agir sur les substances dissoutes. Cette combinaison ne peut être qu'excellente.

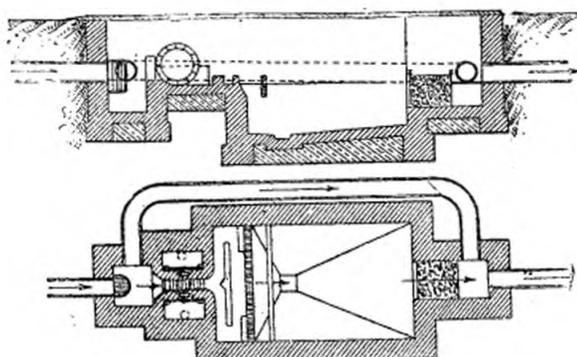
Une installation du premier système ci-dessus décrit (fig. 200) a été faite en 1897 à Pankow, près de Berlin (1). Il s'agit d'environ 500 m³ par jour, pour une ville de 3 à 5 000 habitants : la vitesse de passage dans les puits d'épuration descend à 2 mm. par seconde. La première clarification se fait au moyen d'un précipitant dont la composition est tenue secrète, la seconde au moyen de lait de chaux. Les résultats sont donnés par Vogel, Hintz, Frank et Bischoff : voici ceux de deux expériences :

(1) Voir l'article de Brix in *Vierteljahrsschrift für ger. Medizin*, 1898, XII. Supplément.

		Résidu fixe après calcination	Perte au feu	Azote total	Oxygène nécessaire pour l'oxydation	Nombre de germes par cm ³
		mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	
1 ^{re} expérience (Vogel)	Eau brute	»	»	228	588	2 400 000
	Eau après la 1 ^{re} clarifi- cation	»	»	174	472	»
	Eau traitée complète- ment	»	»	89	99	stérile
2 ^e expérience (Hintz et Frank)	Eau brute	1 055,4	186,0	142,4	568,8	3 760 000
	Eau traitée complète- ment	1 071,2	90,8	71,3	389,4	316

D'après Brix, le prix de revient d'une installation de ce genre pour 50.000 habitants serait compris entre 5^m,55 et 7^m,85 par tête et les frais annuels d'exploitation s'élèveraient à 1 mark, soit 1 pfennig 8 par mètre cube traité.

Procédés et appareils de la maison Friedrich (Leipzig). — Cette grande maison a installé des appareils de clarification dans un bon
Coupe en long.



Plan.

Fig. 202. — Bassin d'épuration Friedrich avec roue hydraulique et caisse filtrante.

nombre de villes : Koethen, Kottbus, Wittenberge, Linden, Wesel, Dessau, Detmold, Eschwiler, Risa, Salzwedel, Torgau, Stade, etc. Il y

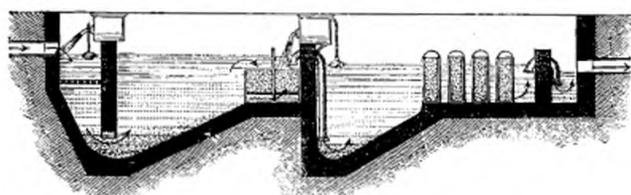


Fig. 203. — Double fosse d'épuration Friedrich avec caisses filtrantes.

en a de plusieurs types, à écoulement continu ou intermittent à volonté :

1° Les bassins plats, avec roue hydraulique pour le mélange automatique du précipitant et caisses filtrantes à la suite (ces caisses contiennent du gros gravier ou des morceaux de coke, etc.). La fig. 202 montre l'appareil simple, la fig. 203, un appareil double où la roue hydraulique est remplacée par deux mélangeurs automatiques à flotteur. La fig. 204 fait voir une installation à deux fosses, utilisées alternativement, l'une se remplissant pendant que la sédimentation se fait dans l'autre. La fig. 205 représente l'installation à l'abattoir de Barmen, avec

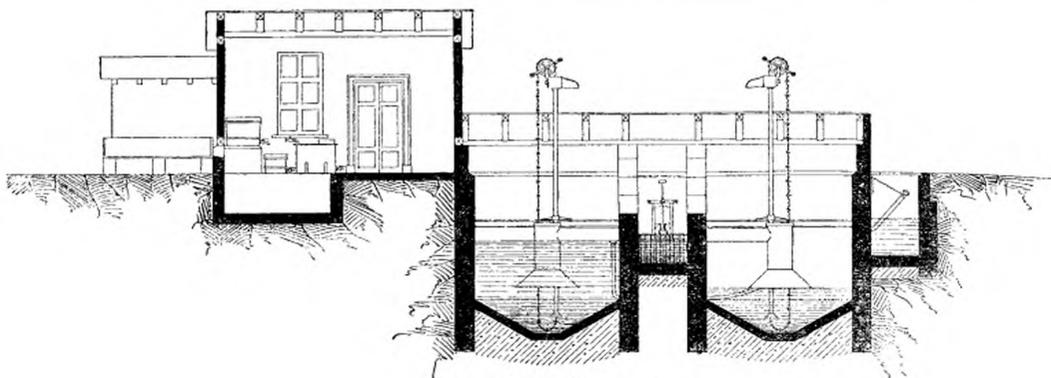


Fig. 204 a. — Coupe en long.

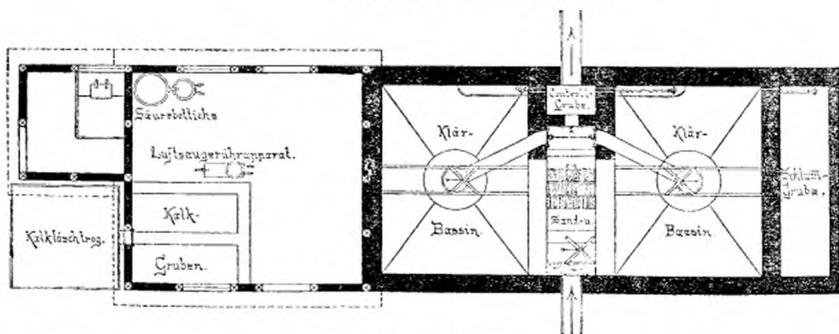


Fig. 204 b. — Plan.

Fig. 204. — Installation Friedrich avec deux fosses servant alternativement.

4 fosses du même genre : les boues sont pompées dans le fond des fosses.

2° Les puits profonds, suivis de filtres. La fig. 206 montre une installation avec deux puits jumeaux. Un bassin de régularisation à l'entrée (rendu nécessaire dans ce cas par l'irrégularité de production des eaux résiduaires) et un filtre horizontal à la partie supérieure de chaque puits : l'eau d'égout mélangée au passage avec le précipitant, descend directement au fond du puits par le gros tube médian, puis elle remonte en se sédimentant et traverse de bas en haut le filtre supérieur.

3° Le puits avec cloche élévatrice (fig. 207), comme à l'abattoir de Hanovre. L'eau à traiter arrive dans la chambre antérieure A où des grilles et un diaphragme arrêtent les corps flottants et une partie des

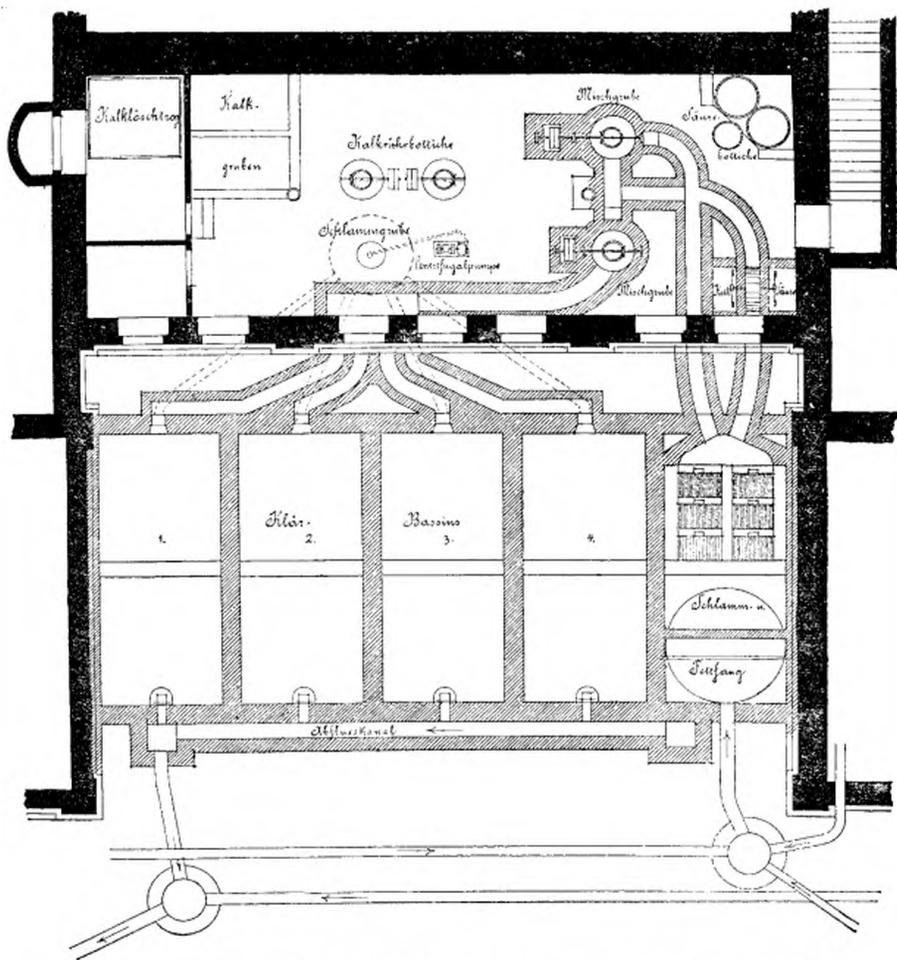


Fig. 205. — Installation Friedrich à l'abattoir de Barmen (quatre fosses).

corps lourds, et où l'eau est acidifiée. Elle se rend ensuite dans le canal de mélange B, où elle reçoit le lait de chaux par l'intermédiaire des appareils *f* et *g* à roue hydraulique, et de là dans le puits C par l'intermédiaire d'un tube central à entonnoir renversé qui débouche vers le fond du puits. L'eau en se sédimentant remonte donc vers la cloche D, dans laquelle on fait le vide, ce qui lui permet de s'élever jusqu'à ce qu'elle arrive à l'orifice d'un tuyau placé dans le haut de la cloche et

par où elle s'écoule. Les vases déposées sont amenées de A comme de C par des pompes spéciales dans le réservoir *h*.

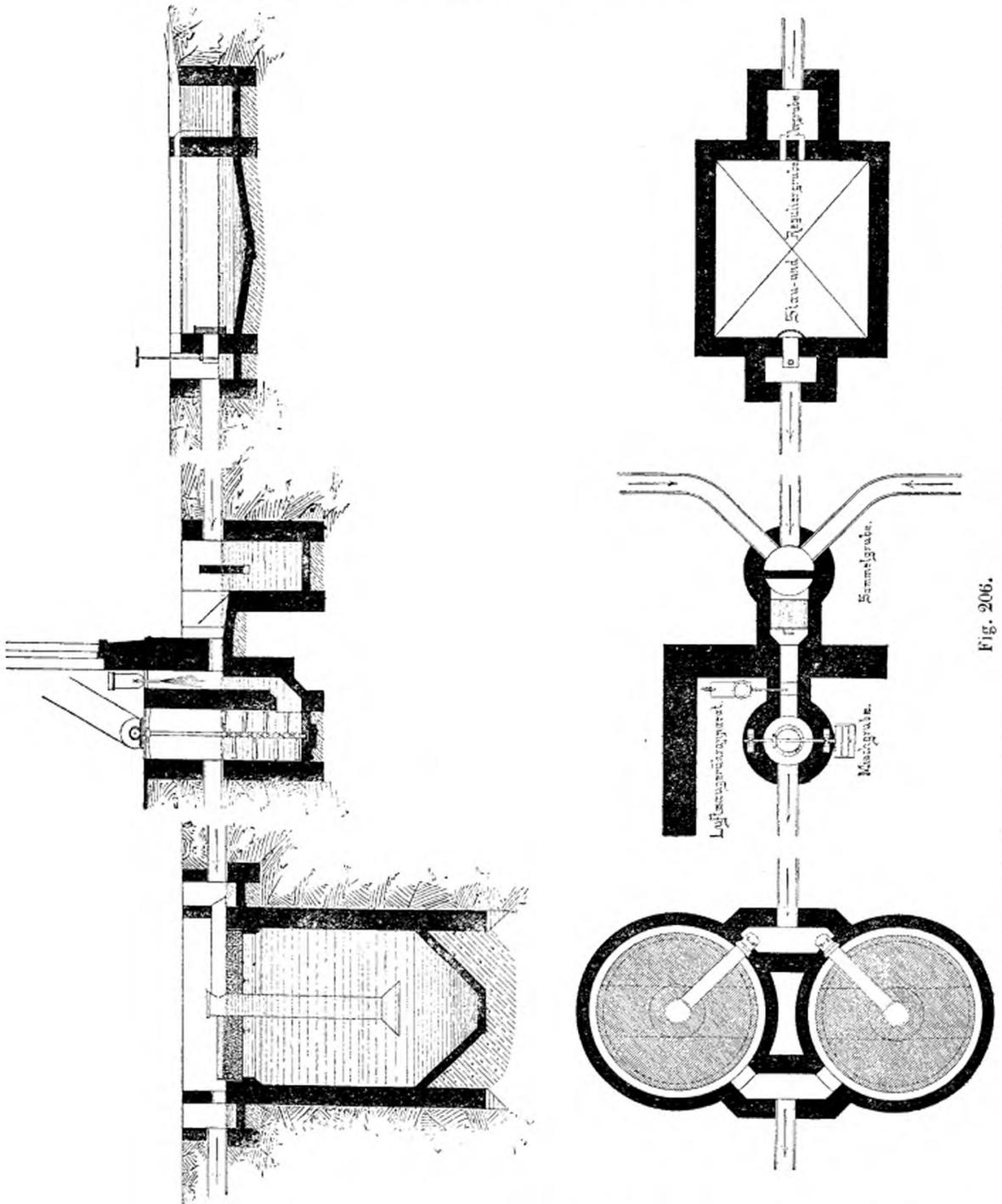


Fig. 206.

Puits de Friedrich avec filtre horizontal et bassin de retenue et de régularisation.

4° Le procédé d'épuration par l'emploi du charbon fourni par la combustion de la vase déposée (modèle et dessins exposés à Paris). Voir fig. 208.

Voici la description du catalogue officiel allemand.

« La base du procédé de clarification est que la vase résiduaire, obtenue par les sédiments et le filtrage des eaux d'égout forme, lorsqu'on la brûle lentement, un charbon (coak) qui s'emploie à son tour de façon spéciale à la clarification de nouvelles eaux sales. Le modèle et le dessin montrent les trois phases principales de l'opération, à savoir :

1. *Première clarification par une action directe du charbon de vase nouvellement brûlé.* Le charbon purificateur est obtenu comme suit : La vase poreuse déposée par les eaux sales est transportée à l'état sec du tas en pente F au four H. De ce four sort le charbon de vase tout frais brûlé qui se compose de morceaux gros et petits, et on l'utilise immédiatement en le faisant refroidir par les eaux sales qui arrivent.

L'extinction se fait dans la fosse B à l'intérieur du trieur b que meut l'eau. L'eau règle aussi par son arrivée la quantité de charbon qui entre. Le triage du charbon s'opère, les petits morceaux se confondent avec l'eau sale, d'où formation de gaz et combinaisons chimiques ; le gros charbon, qui ne s'est pas écoulé, est enlevé pour servir de matériel dans la deuxième filtration.

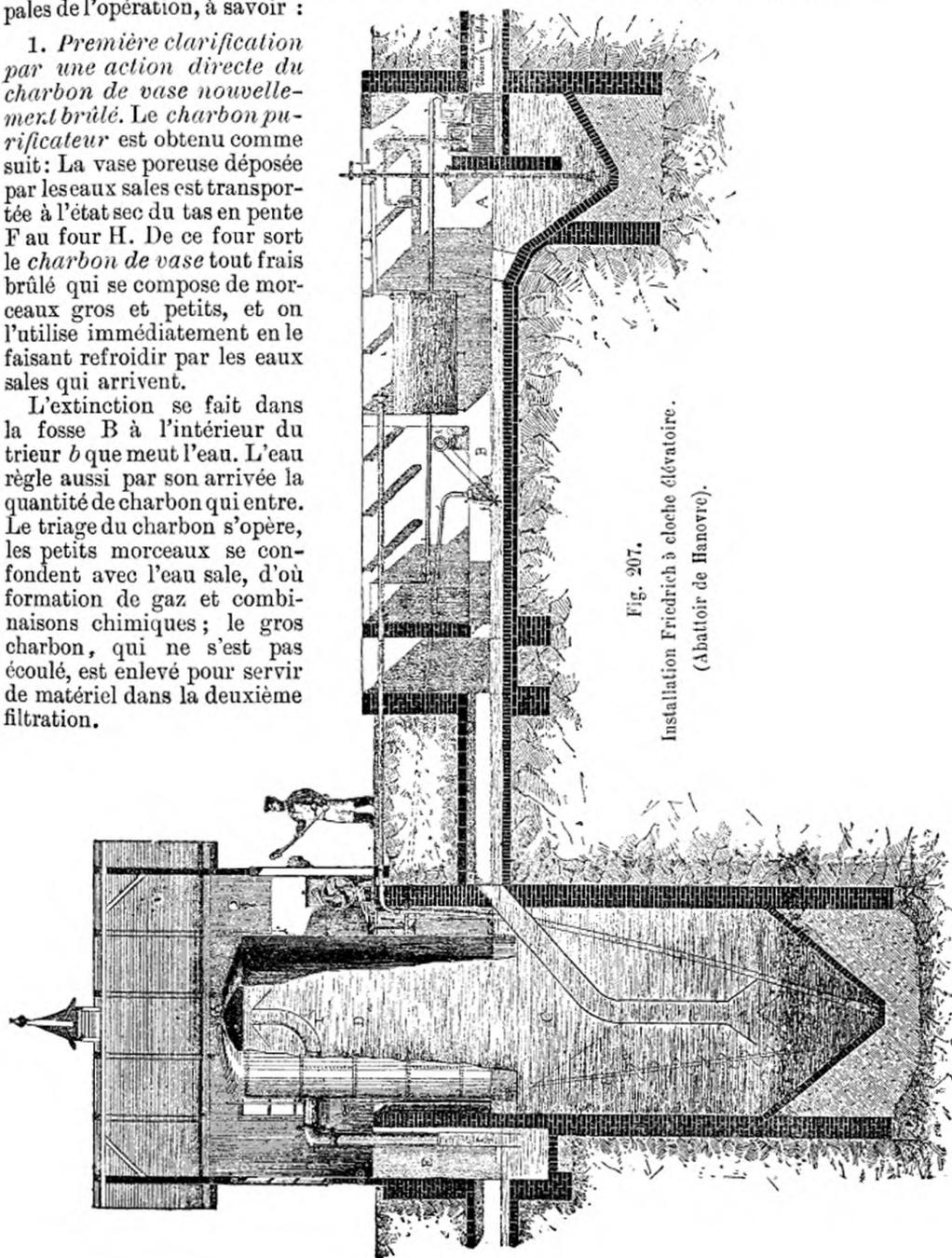


Fig. 207.
Installation Friedrich à cloche élévatoire.
(Abattoir de Hanovre).

2. *Aération sur le champ d'oxydation.* Celui-ci est un terrain dépaillé, grossier et légèrement incliné, que l'eau venant de la première clarification et

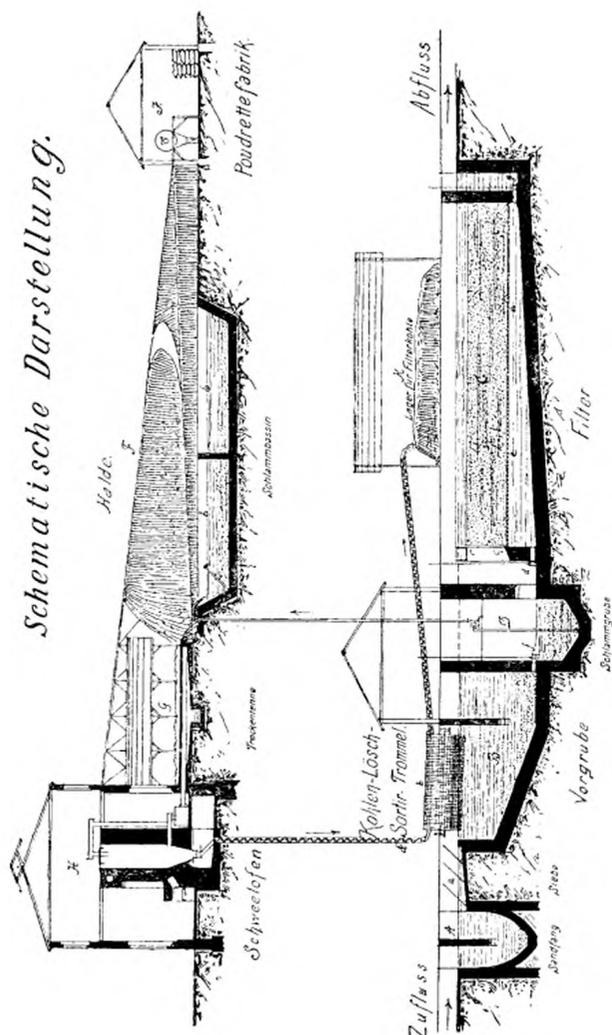


Fig. 208. — Schéma du procédé Friedrich au charbon produit par la combustion de la vase déposée.

mêlée de résidus de charbon, arrose en filets minces pour s'aérer. Par là on a une clarification intermédiaire importante, qui facilite la clarification finale.

3. *Clarification finale par filtration intermittente.* C'est ici qu'on emploie pour la constitution des filtres le gros charbon fourni par la cuisson lente de la vase et trié lors de la première opération.

L'eau déjà clarifiée qui vient du champ d'oxydation passe de bas en haut par les filtres C et est emmenée par des tuyaux de drainage situés sous les filtres, purifiée et clarifiée et va se jeter dans les rivières.

Les résidus de la clarification des eaux sales sont ici :

1. *La vase contenant du charbon* obtenue par la clarification préparatoire au fond de la fosse B et qu'on fait de temps en temps écouler dans le puits à vase D.

2. *Le dépôt floconneux et poreux* du champ d'oxydation, qu'on nettoie de temps en temps et qu'on fait écouler aussi dans le puits D.

3. *Les débris poreux et floconneux* déposés lors de la dernière clarification sous les filtres et au bas des filtres.

Ces résidus sont enlevés périodiquement, car lorsqu'on fait couler l'eau au pied de chacun des filtres pour les aérer, le dépôt formé est emporté par le courant d'eau qui vient dans le sens opposé. Le tout est dirigé aussi vers le puits à vase D.

De ce puits D on pompe la vase de fluidité suffisante dans le bassin élevé au-dessus E. Là l'eau qui se clarifie à la surface est ramenée à la section de clarification préparatoire, tandis que la vase poreuse est conduite au tas en pente F (halde).

Sur cette halde F on apporte aussi les gros charbons déjà utilisés dans les filtres et on les entasse avec la vase par couches ; bientôt cette vase, par suite de sa porosité, se dessèche complètement.

La vase poreuse séchée à l'air est alors portée au four H qui peut être construit comme cornue droite (fours à lignite) ou comme cornue allongée (établissement à gaz).

Comme on sait, les eaux d'égout des villes contiennent beaucoup de matières grasses et organiques. Celles-ci restent dans la vase et lors de la combustion dégagent des gaz abondamment et donnent des eaux de goudron et d'ammoniaque. Le gaz est utilisé pour le chauffage du four, aussi la combustion exige-t-elle peu d'autres combustibles ; le goudron et l'ammoniaque contiennent des produits estimés.

Le charbon de vase, qui sort du four, est employé, comme il a été dit plus haut à la clarification d'autres eaux sales, décrivant ainsi un vrai cercle.

Près du four est une aire couverte G où on amène le gaz de combustion, ce qui fait que les produits de condensation, eau goudronnée et ammoniaquée, sont retenus en bas, pendant que sur l'aire chauffée la vase qu'on n'emploie pas à la clarification, et qui a séjourné à l'air, est desséchée.

Cette vase desséchée et superflue est moulue et donne une poudrette qui se vend aisément.

Avec ce procédé, les frais, que paie la ville par habitant, s'élèvent, d'après la maison d'entreprise, à environ $1/3$ ou $1/2$ des frais, occasionnés par les autres systèmes connus, sans parler de la valeur de l'ammoniaque et de la poudrette. Des analyses chimiques et comparatives de l'eau clarifiée ont, dit-on, donné les résultats suivants :

1. Un nombre, restant presque le même, de parties dures.
2. Une diminution de l'oxygène, de $1/2$ à $2/3$.
3. Une diminution du nombre des bactéries, dont il ne reste que $1/10$ du nombre primitif.

La maison dit qu'un des avantages de son système est l'inutilité d'un clarificateur chimique ; pourvu qu'on clarifie assez d'eaux sales, on n'est plus embarrassé par la vase, et l'exploitation est simplifiée et moins coûteuse. »

Enfin la même maison exposait encore le modèle et dessin d'un four

à combustions pour la transformation et l'utilisation de matières fécales, par l'obtention d'ammoniaque, d'acide phosphorique et de potasse.

« *Le four de combustion Friedrich*, pour matières fécales, est organisé pour un fonctionnement continu avec addition aux matières fécales de combustibles appropriés. Les résidus brûlés qui contiennent de l'acide phosphorique et de la potasse sont donnés par le four de combustion, au moyen de la chaleur produite par les éléments organiques brûlés contenus dans les matières fécales. Les gaz dégagés sont employés au dessèchement et à l'évaporation de ces matières. Ces gaz contiennent l'azote qui se dégage lors de la combustion ; on obtient cet azote sous forme d'ammoniaque en faisant agir sur lui de l'acide sulfurique ; les gaz dégagés par le four sont emmenés par la cheminée ou bien conduits par un appareil à exhaustion dans un système de drainage souterrain.

Les matières fécales additionnées de combustible arrivent dans le *four à combustion*, d'abord dans la partie supérieure où sont brûlées sur des grilles par le feu et une chaleur progressive, les matières organiques. Une fois les couches inférieures des résidus complètement brûlées, elles passent dans un espace au bas du four, où elles se refroidissent peu à peu. Ensuite on éloigne les résidus, selon les besoins. Sous la partie inférieure du four, l'air nécessaire est introduit par la grille dans le four ; cet air se chauffe dans le bas du four tout en produisant lui-même un effet réfrigérant, et dans le haut il active la combustion. La chaleur est ainsi complètement utilisée. L'acide phosphorique et la potasse sont contenus comme excellentes matières d'engrais dans ces détritits carbonisés.

Le séchoir de la deuxième section est à deux étages. L'étage I reçoit les matières fécales épaissies par l'addition de matières combustibles et desséchées. Le dessèchement complet s'opère à l'étage II, puis les matières sont portées au four.

La salle d'évaporation se compose d'une chaudière à fond incliné, où on amène les matières fécales à transformer, additionnées de combustible, et où elles sont épaissies par évaporations à la surface. Les évaporateurs sont trois appareils rotatifs ou cylindres voûtés.

C'est dans l'évaporateur le plus petit, à travail rapide, que se fait le mélange des matières fécales et du combustible. Le grand évaporateur, à travail lent, est organisé aussi pour le transport du dépôt épaissi à l'étage I.

Lors de la combustion totale des détritits tout l'azote devient libre, on le conduit avec le gaz du four dans la chambre à acide sulfurique, et là il se dégage sous forme d'ammoniaque.

Dans cette chambre à acide on fait couler l'acide sulfurique par un appareil rotatif horizontal. L'acide en trop et l'ammoniaque récoltée se rassemblent dans un réservoir en plomb, dans lequel un appareil rotatif vertical plonge dans l'acide. L'acide se déverse par en haut pour resservir, après avoir été additionné d'acide frais. L'ammoniaque, qui se rassemble sur le sol, est recueilli pour servir d'engrais.

Les gaz dégagés sont conduits du four à travers la chambre à acide, dans une cheminée, où, au besoin, pour empêcher le refroidissement ou l'augmentation du tirage, on entretient un petit feu en bas. Ce dernier devient surtout nécessaire, si d'autres gaz ne s'échappent pas par la cheminée. Les gaz peuvent aussi s'échapper du four et de la chambre à acide par un appareil à exhaustion qui les mène dans un *drainage souterrain*. Ce dernier est une canalisation établie à l'endroit convenable, et semblable à un drainage pour l'eau, dans lequel s'opère la condensation de l'eau évacuée.

Le four à combustion Friedrich, à travail continu, que nous venons de décrire, offre selon ses fabricants les avantages considérables suivants :

a) La dépense du combustible pour la transformation des matières fécales, est la plus petite possible. Dans la combustion du four on utilise pour le chauffage, le séchage et l'évaporation de ces matières les parties organiques nombreuses qu'elles contiennent ; enfin on utilise, sans en rien laisser perdre, pour le séchage et l'évaporation la chaleur produite par le feu préparatoire et le four.

b) La récolte des engrais contenus dans les matières fécales (acide phosphorique, potasse, ammoniacque) est presque parfaite et sert à couvrir les frais en partie.

c) Par le système de transformation fermé et bactéricide dans le four à combustion, et par le dégagement commode des gaz, on supprime tous les inconvénients sanitaires. »

Procédés Rothe-Röckner et Rothe-Degener. — La maison W. Rothe, de Güsten, a fait d'assez nombreuses installations d'épuration et exposait un modèle du procédé Rothe-Degener (dit de l'humus ou de la boue de tourbe) et des photographies des usines installées (Potsdam, Spandau, Baden-Baden, Essen ⁽¹⁾, Tegel, manufacture Siemens et Halske). Au point de vue mécanique, le système Rothe-Röckner est semblable à celui de la cloche élévatoire de Friedrich : l'addition de Degener, consiste à utiliser comme premier précipitant de la bouillie de tourbe ou de lignite (à raison de 1 à 2 kg. de tourbe ou lignite par mètre cube de sewage), le second précipitant étant toujours un sel de métal lourd (généralement du sulfate de fer à raison de 200 grammes par mètre cube), D'après Steuernagel, la bouillie de tourbe se précipite difficilement et il ne faut pas trop ralentir la vitesse : c'est pourquoi Degener a proposé en dernier lieu le lignite en poudre.

La fig. 209 et sa légende font bien comprendre une installation type du système. Ci-après la description du catalogue :

« L'installation pour la clarification se divise en cinq sections : 1. Le sable et le tamis clarificateurs, 2. la rigole à mélanges, 3. l'appareil clarificateur, 4. la rigole de désinfection, 5. le filtre de sûreté.

Les eaux ménagères amenées par la canalisation passent par le sable et le tamis, où elles abandonnent leurs impuretés lourdes ou flottantes les plus grossières. Elles passent ensuite dans la rigole à mélanges, où on leur ajoute de l'humus humide, de la tourbe ou du charbon, et ensuite une dissolution d'oxydes de métaux lourds. La préparation de la bouillie humide d'humus et des oxydes métalliques se fait dans des moulins et autres appareils spéciaux. Au moyen d'un chemin en zigzag on opère un mélange complet de l'eau et de ces substances. L'eau ainsi préparée, passe dans l'appareil clarificateur. Celui-ci se compose d'un bassin aux parois imperméables, où plonge une cloche en fer battu. Tout d'abord, l'eau atteint dans le bassin le niveau de l'eau dans la rigole à mélanges. L'air

(1) A Essen, d'après Wiebe, où il y avait quatre cylindres clarificateurs (en 1894) pour 49000 mètres cubes par jour d'eaux d'égouts à traiter, l'installation a coûté 195000 marks et les frais d'exploitation annuels (non compris l'amortissement), étaient de 33500 m. (dont 16500 pour les substances chimiques) : cela fait ressortir les frais, tout compris à 0^m,55 par tête et par an. — A Potsdam, avec le procédé au lignite, la dépense atteint 1^m,40 par tête et par an.

étant raréfié dans la cloche, l'eau y pénètre et s'écoule par un conduit. Pendant cette opération les dépôts formés par les oxydes métalliques, les matières en suspens dans l'eau et les parties solides de l'humus retombent dans la cloche et font l'effet de filtre clarificateur. En même temps les matières contenues dans l'humus retiennent les matières organiques en solution, elles font ainsi l'effet de la force physique d'absorption du sol. La vase, située sur le fond, est enlevée par une pompe continuellement ou de façon intermittente, selon la nécessité. Sous cette forme, ou bien après s'être dépouillée de son eau dans un bassin drainé, on l'emploie comme fumier dans l'agriculture. Il est plus avantageux d'en faire mécaniquement des espèces de galettes, que l'on presse et que l'on brûle.

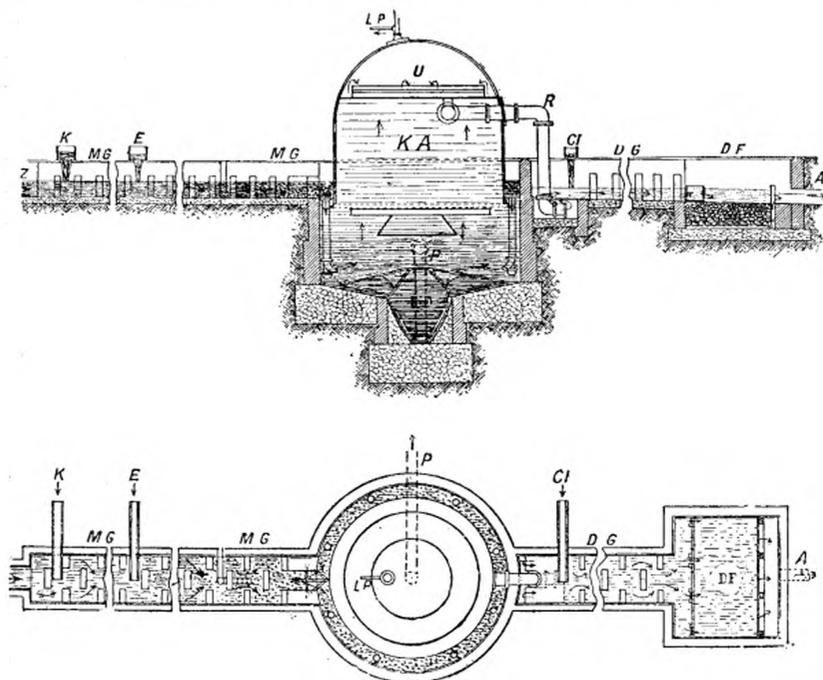


Fig. 209. — Schéma d'une installation complète d'épuration par le procédé Rothe-Degener.

Légende. — Z, Conduite d'arrivée. — M, G, Canal mélangeur. — K, Conduite de solution de charbon. — E, Conduite de solution d'oxyde de fer. — L, P, Conduite à la pompe à air. — U, Niveau de déversement. — K, A, Appareil clarificateur. — P, Conduite menant à la presse à fange. — R, Tuyau de déversement. — Cl, Chlorure de chaux. — D, G, Canal de désinfection. — D, F, Filtre de sûreté. — A, Déversement de l'eau épurée.

L'eau clarifiée peut être désinfectée, dans les temps d'épidémie, par une légère dissolution de chaux chlorurée, dans la rigole à mélanges : 12 grammes de chaux chlorurée, par mètre cube d'eau sale suffisent pour détruire les bactéries de la virulence des Colis et les microorganismes pathogènes comme la fièvre typhoïde et le choléra.

Pour empêcher que la chaux chlorurée ne contamine pas les cours d'eau, dans lesquels l'eau clarifiée se verse, on fait traverser cette dernière par un filtre à charbon grossier, et de cette manière toute trace de désinfectants employés disparaît.

Le procédé Rothe-Degener par l'humus donne aux villes la possibilité d'avoir,

selon leur situation et dans les temps d'épidémie, un fonctionnement simple et à bon marché. L'installation ne peut être faite qu'en tant que purement mécanique ou mécanique chimique. Dans le premier cas, il ne faut que le sable et les cribles et l'appareil clarificateur ; dans le second cas, il faut encore la rigole à mélanges.

De telles installations peuvent s'élever sans danger dans des quartiers habités, car elles ne gênent en rien. On évite par ce procédé un amas de débris, car ceux-ci sont employés au chauffage des chaudières et à d'autres endroits à leur incinération. »

La fig. 210 montre l'installation de Potsdam (35 000 hab.) où l'appareil clarificateur est incliné. Le sewage vient d'un puits élévatoire de 8^m3,5 de capacité, situé à 540 m de l'usine.

Les résultats obtenus par Rothe-Röckner à Essen et à Potsdam avec la chaux et le chlorure de magnésium comme précipitants sont donnés ci-dessous (en milligrammes par litre).

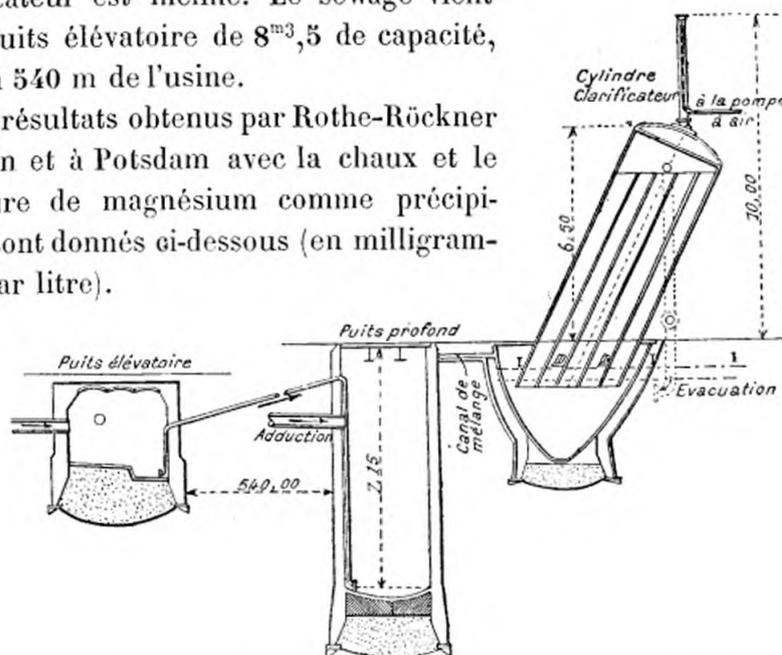


Fig. 210. — Installation d'épuration de Potsdam. (Echelle d'environ 4 mm par mètre).

PROVENANCE	EAU D'ÉGOUT DE	MATIÈRES en suspension			MATIÈRES DISSOUTES								Nombre de germes par cm ³		
		Minérales	Organiques	Azote organique	Minérales	Organiques (perte au feu)	Oxygène consommé	Azote ammoniacal	Azote organique	Hydrogène sulfuré	Chaux	Potasse		Acide phosphorique	Chlore
ESSEN (d'après König)	Eau brute	79,2	190,4	18,3	398,2	229,0	94,4	34,2	14,9	10,7	104,2	65,0	13,4	246,2	de 500 000 à plus. millions de 2 000 à 10 400
	Eau traitée	de 0 à 60	de 0 à 35	de 0 à 9,4	1329,9	276,4	413,3	25,4	13,9	4,0	402,3	60,4	1,7	450,3	
POTSDAM (d'après Proskauer et Nocht)	Eau brute	97,3	367,5	27,4	1423,3	597,5	184,4	136,9	77,8	»	65,7	»	»	186,4	208 000 000 3 725
	Eau traitée	0	0	0	1330,0	392,3	102,8	116,4	73,4	»	166,6	»	»	296,4	

Löffler a également suivi le procédé de l'hôpital de Königsberg et trouvé qu'il réduisait le nombre des germes de plusieurs millions à quelques milliers seulement. Quant aux boues, elles contiennent de 68 à 77 0/0 d'eau, et dans leur substance sèche on trouve en moyenne 1 0/0 d'azote, 1 0/0 d'acide phosphorique et 1/2 0/0 de potasse, ce qui donne une valeur de 4^m,50 par tonne de boue.

Depuis l'emploi de la tourbe (Degener), Vogel et Kœnig ont trouvé que la boue ne contient guère que l'azote provenant de la tourbe, en sorte qu'on peut dire que, comme ci-dessus, l'azote des matières organiques n'est pas sensiblement retenu par tous ces procédés. A Potsdam où l'on traitait en 1898 4000 m³ par jour à la bouillie de lignite (Kohlebreiverfahren, Proskauer et Elsner trouvent que pour une addition de 1^{kg},3 de lignite et de 210 grammes de sulfate de fer par mètre cube, l'oxydabilité diminue de 70 à 85 0/0 et l'azote organique de 60 à 70 0/0 : avec 1 kg. de lignite et 170 grammes de sulfate, la diminution d'azote est la même, mais l'oxydabilité ne baisse que de 65 à 80 0/0.

Nous apprenons au dernier moment que dans la banlieue de Berlin, Rummelsburg vient de remplacer le procédé Müller-Nalmesch qui était insuffisant par le Kohlebreiverfahren; à Lichteberg, on emploie aussi ce dernier, mais provisoirement et en attendant que la question de l'épandage soit résolue (on cherche à traiter avec Berlin).

Procédé Dervaux-Reisert. — Ce système, qui sert à l'épuration de

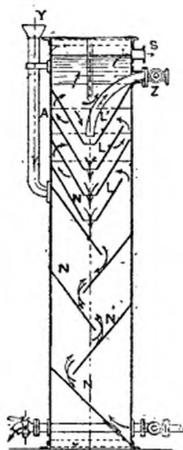


Fig. 211. — Saturateur Dervaux.

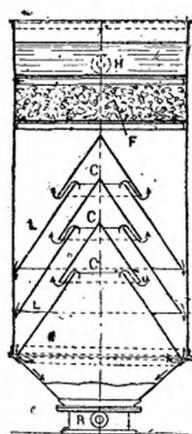
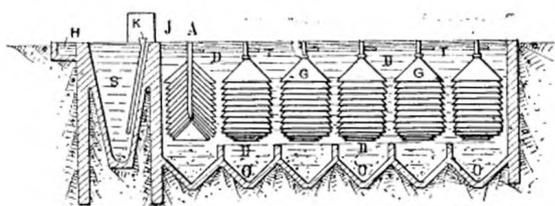


Fig. 212. — Cylindre clarificateur de Dervaux.

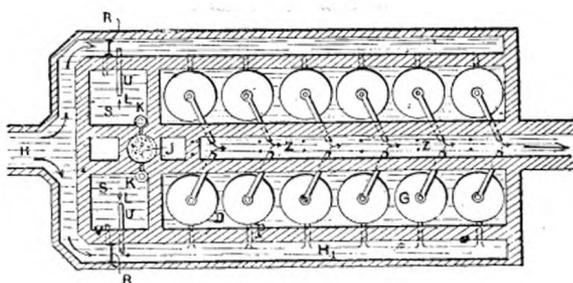
L'eau d'alimentation des chaudières a été aussi appliqué à l'épuration du

sewage : il est basé sur le principe de la division du courant par des diaphragmes angulaires superposés.

Les appareils Dervaux sont : 1° Un saturateur (fig. 211) à la chaux : le lait de chaux vient par Y de haut en bas, tandis que l'eau venant de X monte en sens contraire et s'écoule par S après s'être saturée, grâce au contact intime qu'assurent les écrans inclinés L et N (le dernier écran L' constitue une caisse fermée par le bas pour recueillir les vases qu'on écoule par Z). 2° Un cylindre clarificateur (fig. 212) : l'eau à épurer entre par le bas en r et rencontre en montant les diaphragmes angulaires C et les écrans inclinés L qui la forcent à se sédimenter; elle doit encore traverser le filtre supérieur F.



Coupe en long.



Plan.

Fig. 213. — Installation d'épuration de Dervaux-Reisert.

La fig. 213 montre une installation complète d'épuration. Par H et VV, l'eau brute arrive dans deux saturateurs SS qui reçoivent l'eau de chaux éteinte en J par les conduites KK; le mélange sort des saturateurs par UU, et par l'intermédiaire des canaux H, H, pénètre dans les deux compartiments clarificateurs DD par les orifices PP. Les compartiments contiennent des batteries de diaphragmes angulaires GG attachés à des conduites verticales perforées : l'eau monte, rencontre les diaphragmes sur lesquels elle dépose et sort claire par les conduites verticales pour venir se déverser par les tubes TT dans le canal Z.

Puits clarificateur Riensch (Uerdingen). — Le modèle de puits clarificateur exposé par Riensch est du même genre. L'installation représentée par la fig. 214 comporte un puits en maçonnerie *a* (avec fond en entonnoir) de 5 m de diamètre et 6 m de profondeur: à la partie

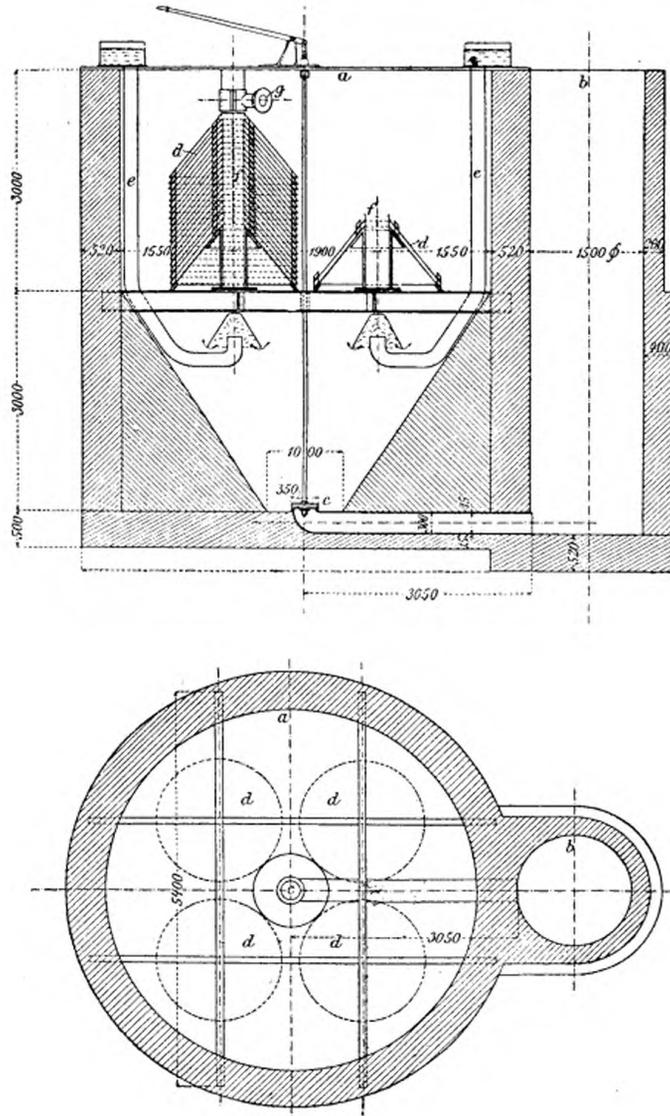


Fig. 214. — Puits clarificateur à diaphragmes angulaires de Riensch (Uerdingen).

la plus basse de l'entonnoir se trouve un tuyau qui unit le puits *a* à un petit puits voisin *b* et que l'on peut ouvrir ou fermer à volonté par une soupape à pied *c*. A la partie supérieure du puits *a* sont fixées quatre

batteries *dd* de vingt diaphragmes angulaires chacune, ayant 1^m,70 de diamètre. L'eau à épurer arrive par *ee*, remonte et abandonne les corps en suspension, lesquels tombent dans le fond ou sur les diaphragmes; elle s'écoule ensuite entre les lames par le tuyau *f* et finalement par *g*. De temps en temps, on ouvre la soupape *c* pour faire passer les vases dans le petit puits *b'* où on l'enlève par un compresseur à air.

Procédé Gerson. — C'est la succession d'un traitement chimique et d'une filtration du liquide de bas en haut : le précipité est conduit dans une fosse remplie de menus morceaux de tourbe qui seaturent et sont alors livrés à l'agriculture.

Procédés de Hulwa (Breslau). — Ces procédés n'ont guère de particulier que la composition des réactifs employés par Hulwa (mélanges variables d'après la composition de l'eau de sels de fer, d'alumine et de magnésie; composés alcalins obtenus en fondant des alcalis, soude ou potasse, avec des minéraux tels que phosphorite, feldspath, zéolithe, minerais de manganèse, scories, etc., etc.) Ce sont surtout des procédés d'épuration des eaux industrielles.

Procédé de Proskowetz. — Ce procédé, loué par Schmidtman, est la combinaison du traitement à la chaux et de l'épandage successif. Le sewage, traité par sédimentation avec une première addition de chaux, est utilisé à l'irrigation d'un champ drainé par des drains superficiels, c'est-à-dire posés au fond de fossés ouverts (des drains souterrains seraient trop vite obstrués par les dépôts de carbonate de chaux et autres) : le liquide recueilli par les drains est traité à la chaux et sert à un nouvel épandage sur une prairie disposée en gradins, disposition qui permet de diminuer beaucoup la surface nécessaire (elle se rapproche d'une filtration horizontale au travers de petites digues séparées par des fossés, le tout étagé sur un terrain incliné).

Il resterait à signaler quelques appareils spéciaux pour la préparation, la mesure et le mélange des réactifs : appareils de Liesenberg, de Walther, etc., etc.

II. — EPURATION MÉCANICO-CHEMIE EN ANGLETERRE.

Le Local Government Board ayant toujours recommandé l'épandage plutôt que le traitement chimique, celui-ci est surtout employé par les villes qui ne peuvent pas faire d'épandage ou préalablement à l'épan-

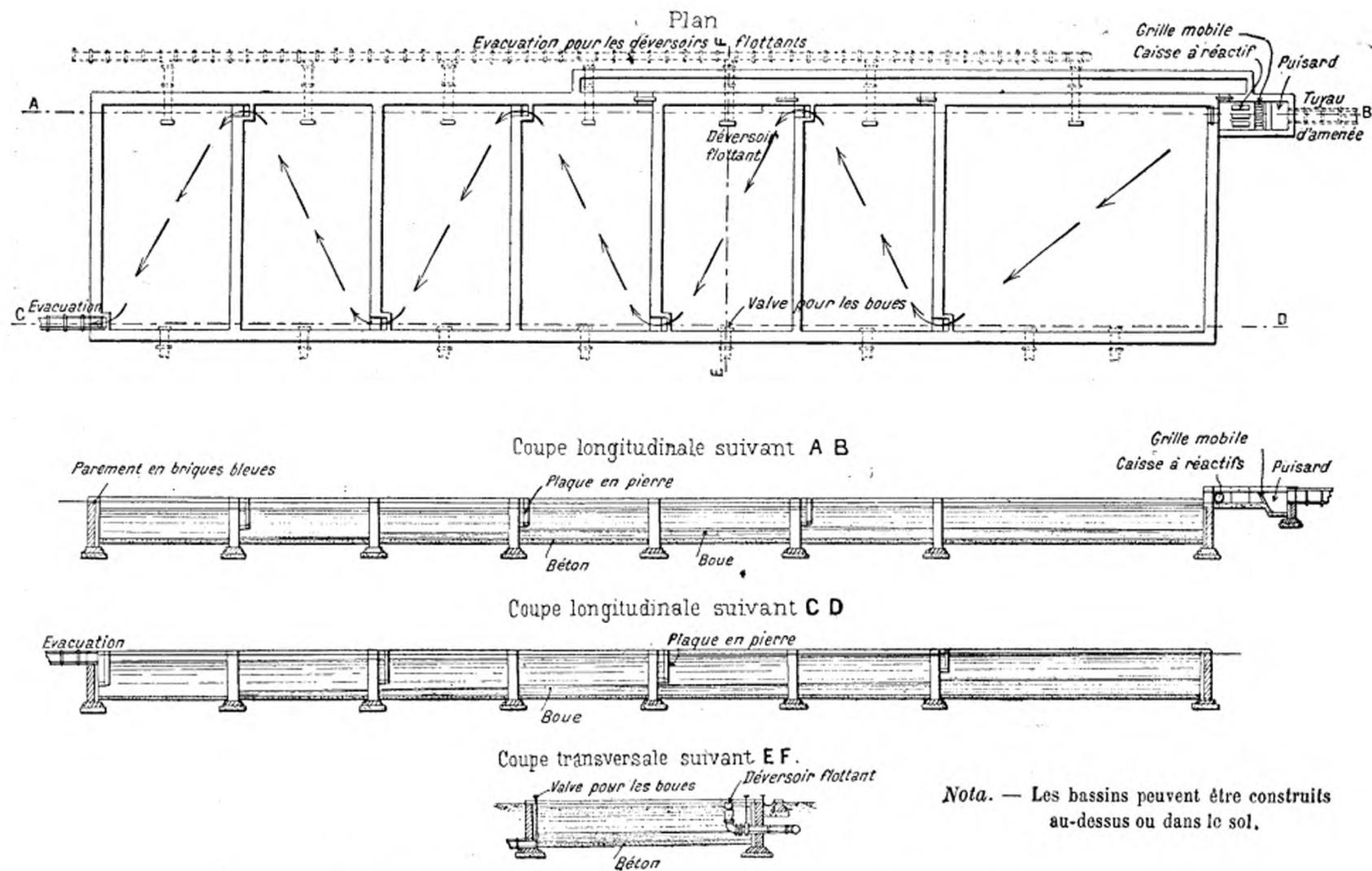
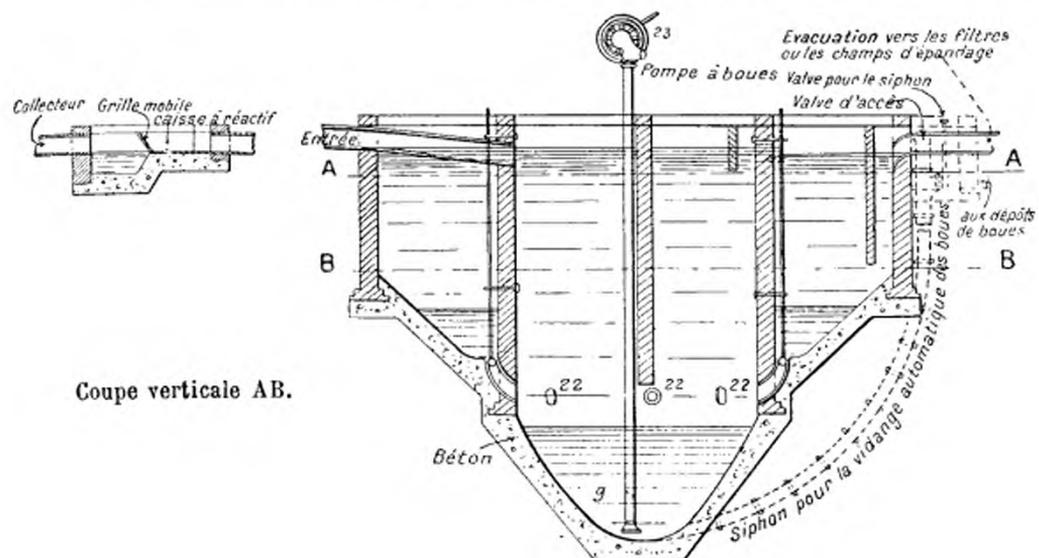
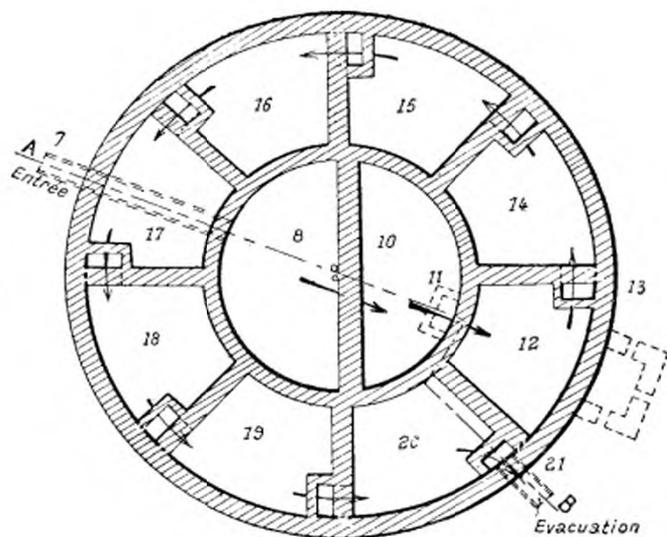


Fig. 215. — Système Cosham (the natural purification Company): bassins plats.



Coupe horizontale suivant AA.



Coupe horizontale suivant BB.

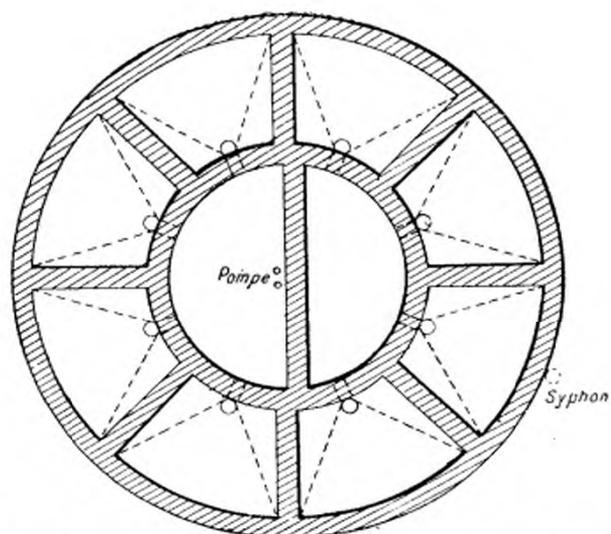


Fig. 216. — Système Cosham (the natural purification Company): puits profond.

dage lui-même. On a généralement reconnu l'insuffisance du traitement chimique seul et dans toutes les installations récentes on le fait suivre d'une filtration : enfin on sait que beaucoup de villes expérimentent actuellement les méthodes bactériennes.

Les procédés sont naturellement les mêmes qu'en Allemagne. Sans nous arrêter aux appareils plus ou moins ingénieux de mélange automatique des réactifs et de filtre-presses, pompes à boue, etc., etc. (maisons Manlove, Alliot et C^o, Johnson, Hutchinson et C^o, Wolstenholme, Goddard, Massey and Warner, Reeves, Keirby, etc., etc.), nous signalerons quelques systèmes des plus nouveaux ou des plus répandus.

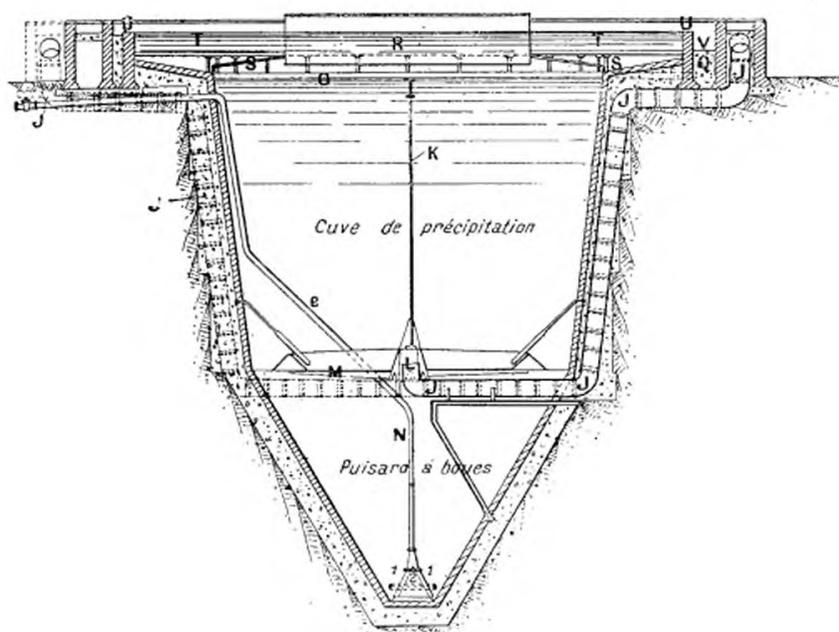
Système Cosham (Natural Purification Company). — La fig. 215 montre le système de cette Compagnie avec bassins plats, spécialement applicable aux grands volumes. Le premier bassin est plus grand que les suivants : quand il est rempli, le dessus déjà clarifié se déverse dans le second, et l'écoulement se fait des uns aux autres avec des chicanes et des diaphragmes. Le précipitant employé est la chaux et l'alumino-ferric (sulfate double d'alumine et de fer) : il faut 56 livres d'alumino-ferric pour 50 000 gallons de sewage.

La fig. 216 montre le système à puits profond. Le puits central divisé en deux compartiments par un diaphragme, est entouré de 8 puits moins profonds : comme on le voit, le sewage entrant dans le puits central en haut (7 et 8) passe en 9 sous la cloison médiane, arrive dans 10, puis par l'orifice supérieur se déverse dans le compartiment périphérique 12, et successivement de celui-là dans tous les autres jusqu'au départ par 21.

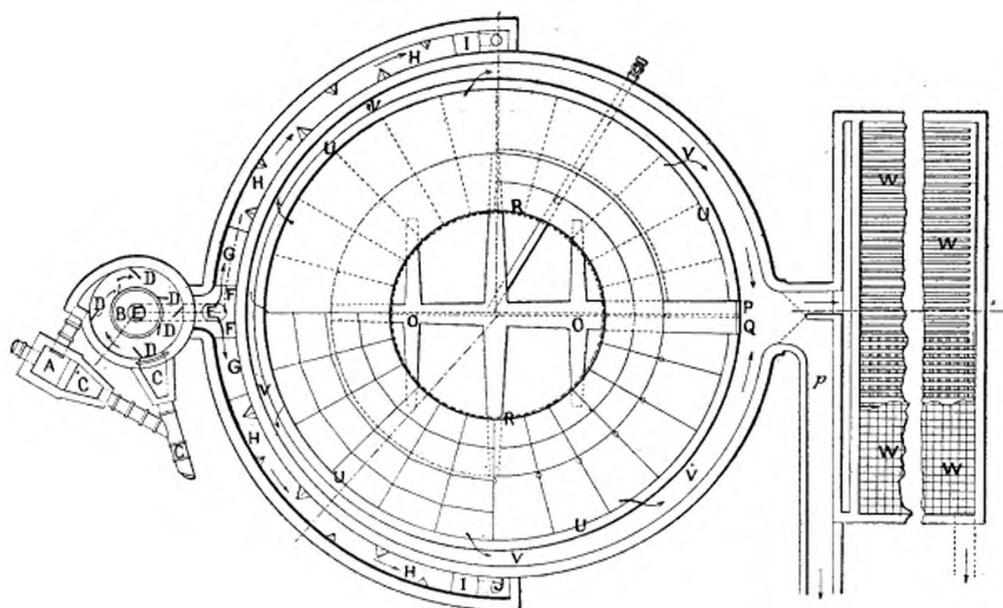
Les orifices 22 permettent de faire passer les boues du fond des petits puits dans le fond du grand, d'où elles peuvent s'extraire soit par le siphon, soit par la pompe. Le précipitant est toujours l'alumino-ferric, et d'après le rapport de Peacock, Medical officer of Health (17 février 1896), la purification serait de 70 0/0 à Nuneaton.

Après Nuneaton qui l'adopta en 1894, le système Cosham a été appliqué à Kimberley, Tibshelf et doit l'être prochainement à Pleasley, Shirebrook, Scarcliffe, Selston, Kirkby, Raddington, etc., etc.

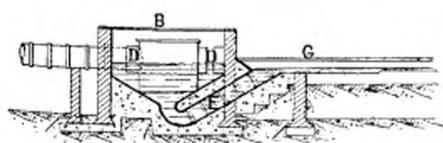
Système Yves (Universal sewage purification Company) (fig. 217). — Le sewage entre par A et arrive d'abord dans la chambre avec grille circulaire B et siphon : les corps étrangers, grâce à la rotation de l'eau autour de B et grâce aussi à la présence des chicanes DD, sont



Coupe verticale suivant JJ.



Plan.



Coupe verticale de la grille circulaire à l'entrée.



Coupe du filtre à la suite du puits.

Fig. 217. — Système Yves (the universal sewage purification Company).

arrêtés ; C est une décharge et un déversoir de sûreté. Le sewage au sortir de la grille circulaire arrive par E dans la chambre de mélange F où se fait l'addition des précipitants chimiques, addition qui peut être complétée en G : il suit le coursier H, tombe dans le puisard I, puis prend le tuyau d'entrée JJ qui le conduit vers le bas du puits K et le fait sortir à son centre L, par des bras distributeurs M ; on peut alors le faire sortir épuré par P. Si l'épuration est insuffisante, on met en jeu l'appareil d'aération supérieur : la valve Q étant fermée, l'effluent monte dans la cuve K, couvre le fond du cylindre R, emprisonne ainsi de l'air dans une chambre S, et par sa pression force cet air à traverser le filtre T ; le liquide sort ensuite en se déversant au-dessus de la paroi circulaire U et s'écoule par la rigole périphérique V. Quand on ouvre Q, le liquide redescend, l'air rentre dans S et dans le filtre T qui se trouve ainsi renouvelé.

Enfin si l'on veut encore plus de pureté, on utilise un filtre W placé à la suite : ce filtre peut s'aérer par l'ouverture de la valve Z. Quant aux boues, elles tombent dans le fond du puits et en sont extraites par une pompe, grâce au tuyau 22 et à l'appareil conique de son extrémité inférieure.

Le réactif employé est l'alumino-ferrie de Spence.

L'appareil Ives est utilisée dans plus de 60 villes : Ilkeston, Alfreton, Tamworth, Gloucester, Wellington, Brightlingssea, Tring, Horncastle, Bradford, Stamford, Wollaston, Shifnal, Higham, Ferrers, etc., etc.

Procédé de l'Oxygen Sewage purification Company. — Cette compagnie emploie comme réactif l'*oxynite*, formé de composés oxygénés du manganèse et fabriqué par elle suivant un brevet spécial.

Procédé Wanklyn et Cooper. — Il s'agit d'un système qui facilite le contact du sewage avec l'air en le faisant tomber en minces filets dans des bassins successifs (brevet de 1899) ; pour y arriver il faut le relever préalablement de 7 pieds.

Système A. B. C. — Il est encore usité avec un mélange d'alun, d'argile et de charbon de bois (on a supprimé le sang) à Aylesbury et à Kingston.

Système Reeves. — Outre la purification de l'air des égouts dont nous avons parlé, Reeves traite aussi le sewage dans des bassins avec un précipitant qu'il appelle la *thamisin*, de composition secrète (les boues sont encore additionnées du même précipitant) ; après le traite-

ment chimique le liquide est, soit filtré, soit envoyé à des champs d'épandage. Le système est appliqué à Staines et à Henley.

Procédé Howatson (International Process).— Nous nous arrêterons un peu plus sur le procédé Howatson, dont on parle beaucoup en France et qui figurait à l'Exposition d'hygiène de Paris, 1895 : c'est ce système qui est projeté pour Rouen et Toulon. Il est appliqué, dit M. Howatson, à 117 villes anglaises (Acton, Belville, Hendon, Loughton, Pendleburg, Swinton, Royton, Mormanton, Hyde, Mangotsfield, Huddersfield, etc.) ainsi qu'en Belgique à Heyst, Wenduyne et Middlekerke.

Voici la description sommaire du procédé d'après M. Howatson lui-même.

« Le procédé Howatson consiste dans une combinaison d'appareils brevetés, composés de décanteurs, filtres dégrossisseurs et filtres finisseurs. Le produit chimique et la matière oxydante employés sont le *ferozone* et le *polarite*, fabriqués en Angleterre par l'« International Water and Sewage Purification Company Limited ».

Le *ferozone* est préparé de différentes manières, suivant la composition et la nature des eaux d'égouts.

Voici les analyses de trois échantillons, par M. Vuafart, Chimiste en chef du Laboratoire départemental de Boulogne-sur-Mer, et M. le docteur Arthur Angell, du Laboratoire de Southampton :

	A	B
Sulfate de protoxyde de fer, anhydre	1, 33	0, 80
Sulfate de sesquioxyde de fer, anhydre	1, 00	0, 05
Sulfate d'alumine, anhydre	36, 29	30, 13
Partie insoluble (y compris un peu de carbone)	32, 40	26, 56
Humidité et indosé	28, 98	42, 46
	<u>100, 00</u>	<u>100, 00</u>
Sulfate d'alumine	69, 00	} 85, 1 % soluble.
Sulfate ferreux	10, 50	
Sulfate ferrique	5, 60	} 14, 9 % insoluble.
Oxyde ferrique	12, 50	
Alumine et silice	2, 40	
	<u>100, 00</u>	

Ce corps est employé avec succès à la désinfection de l'eau d'égout et à la précipitation des matières solides qu'elle contient.

C'est un produit peu coûteux, dont la supériorité est reconnue au point de vue de l'efficacité de la précipitation et de la désinfection recherchées quand il s'agit de purifier des eaux d'égouts. Le *ferozone* est riche en sels d'alumine et en sels de fer à l'état ferreux ou ferrique. Les sels solubles qu'il contient produisent une précipitation rapide des matières solides en suspension et attaquent la constitution moléculaire de la partie des matières organiques en solution que ne peut séparer la précipitation ordinaire. Ils modifient la constitution des matières putrescibles de manière à en assurer l'oxydation ultérieure par leur filtration à travers le *Polarite*, et l'on est toujours maître de régler complètement cette oxy-

dation. La boue précipitée est plus riche en ammoniacque que celle produite par les procédés à la chaux ou autres, et a, par conséquent, une valeur plus grande comme agent de fertilisation.

Quant au polarite nous le connaissons déjà (voir sa composition page 185). C'est une substance noire, dure et très poreuse, insoluble et inoxydable dans l'eau et pratiquement inusable. C'est un désinfectant et un décolorant puissant, en vertu de l'oxygène retenu dans ses pores microscopiques. Il purifie les eaux polluées, en oxydant les matières organiques en dissolution dans ces eaux et déjà partiellement attaquées, et en transformant ces matières en corps inorganiques et salins non nuisibles. L'effet du polarite est probablement dû, dans ce cas, à une force particulière appelée « force catalytique » par Berzélius, qui la considérait comme la manifestation d'un pouvoir électrique différent de l'action ordinaire de l'électricité, Mitscherlitz appelle « substances de contact » les substances qui agissent comme le polarite, et « action chimique ou combinaison par contact » le mode d'action de ces substances. Les termes de « catalysis » et d'« action par contact » sont appliqués aux actions chimiques dans lesquelles la combinaison de deux corps, ou la décomposition d'un composé, sont produites par l'intervention d'une substance telle que le polarite, qui ne montre pas de tendance à se combiner avec l'un des corps considérés, et n'est aucunement affecté par les transformations qui se produisent. C'est de cette manière que la force catalytique du polarite oxyde les matières organiques dangereuses en dissolution dans l'eau d'égout, en les rendant inoffensives.

Pendant leur passage dans le polarite, les liquides souillés sont divisés, pour ainsi dire, en brouillard dont chaque molécule est soumise à une action chimique.

Le système de filtration est basé sur l'observation des phénomènes qui se produisent dans la terre naturelle, c'est-à-dire l'épuration biologique ; il a cet avantage d'occuper un emplacement très restreint, et d'utiliser une matière filtrante composée de corps insolubles, formant un milieu dans lequel le ferment nitrique, agent épurateur qui prolifère naturellement dans le sol, se développe avec une grande intensité.

Pour encourager le développement de ces microbes nitrificateurs, il faut une source abondante d'oxygène, laquelle est fournie par le polarite. Le renouvellement de cet oxygène s'obtient en vidant complètement un filtre à polarite de l'eau qu'il renferme, et en laissant l'air traverser la matière filtrante.

Il ne faut pas croire que, dans une matière filtrante, une quantité équivalente d'oxyde de fer doit produire des effets égaux, au point de vue de la purification à ceux du polarite. Il n'en est pas ainsi. La mousse de platine, par exemple, ne contient pas d'oxyde de fer, ce qui ne l'empêche pas d'être l'agent d'oxydation le plus puissant que l'on connaisse, son prix énorme étant le seul obstacle à son emploi en pratique.

L'efficacité d'un corps, au point de vue de la purification, dépend entièrement de son état physique, de sa structure poreuse et de sa durabilité ; et ces propriétés, par contre, dépendent de la formation criginelle et de la structure de la matière première, mais non de sa composition minérale ; c'est ainsi que l'oxyde de fer magnétique a été employé par les chimistes du Gouvernement britannique en concurrence avec le polarite, pour les eaux du Nil, et n'a produit aucune amélioration de ces eaux, tandis que le polarite les améliorerait dans l'énorme proportion de 80 à 85 0/0.

Cette efficacité d'un agent de filtration au point de vue de la désinfection, de la décoloration et de la purification, dépend encore et surtout de son aptitude à retenir l'oxygène. L'efficacité parfaitement prouvée du polarite a conduit des savants et des hygiénistes à en recommander l'usage. Il n'entre rien de nuisible dans sa composition, et il est préparé spécialement par un procédé breveté. Son efficacité comme agent de purification des eaux polluées est merveilleuse et sa durée illimitée. Les couches filtrantes de polarite, aux usines de purification d'eaux

d'égouts d'Acton et Hendon, sont maintenant aussi bonnes et aussi efficaces, après avoir servi constamment depuis 1887, que si elles venaient d'être posées.

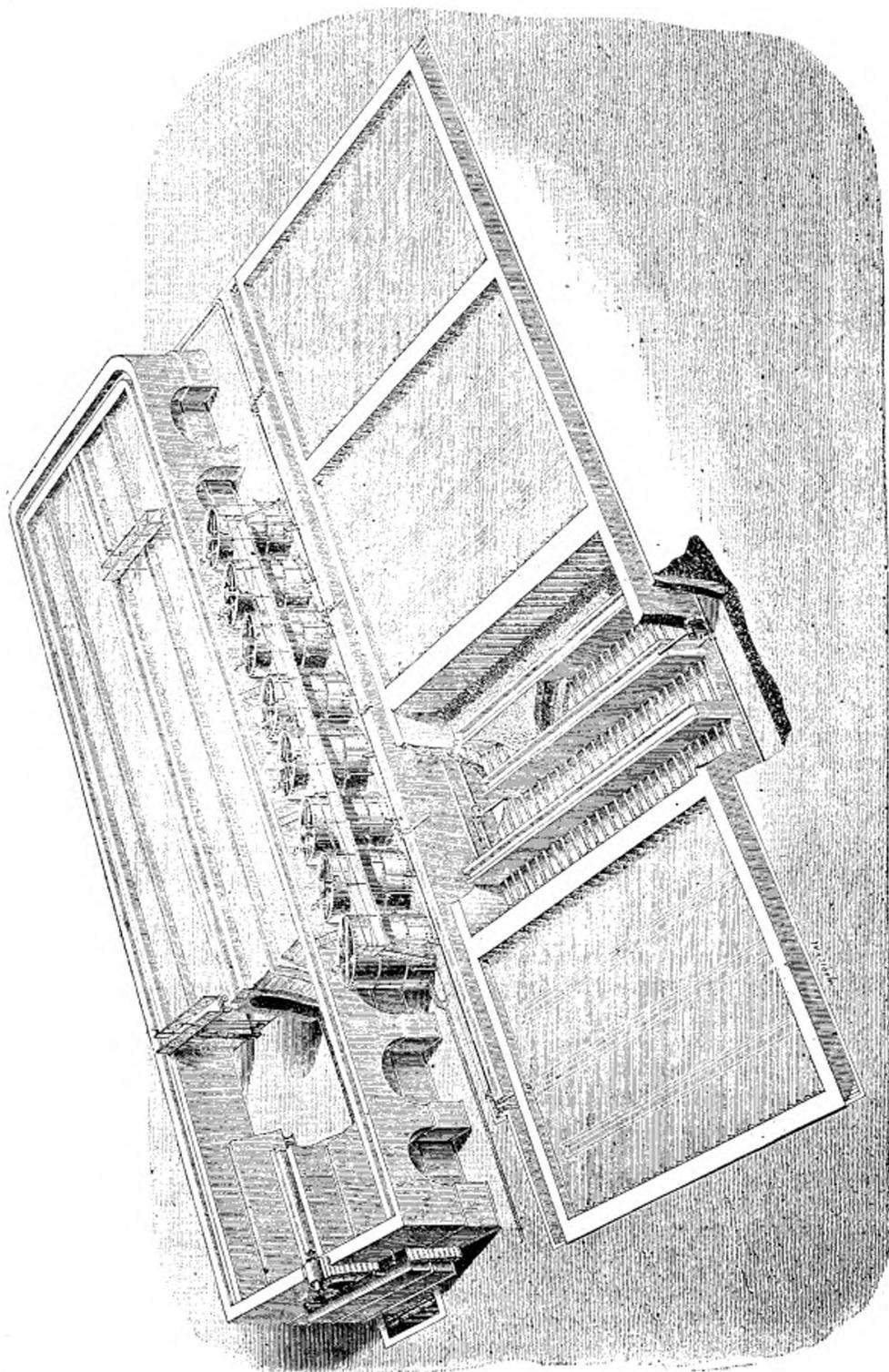


Fig. 218. — Système Howatson : Vue de l'usine projetée pour Toulon.

En principe, l'épuration comprend les différentes phases suivantes :

- 1° Précipitation des impuretés à l'aide du ferozone ;
- 2° Décantation des matières précipitées dans des bassins de dispositions spéciales ;
- 3° Filtration des eaux décantées au travers de dens filtres dégrossisseurs, pour les aérer et retenir les dernières matières en suspension qui n'auraient pu décanter (voir les filtres dégrossisseurs, fig. 57, page 184).
- 4° Filtration des eaux dégrossies au travers d'une matière oxydante de grande puissance, le Polarite, qui détruit les matières organiques.
- 5° Captation des boues déposées, sans arrêt du débit ;
- 6° Transformation de ces boues pâteuses en tourteaux transportables et utilisables comme engrais.

A ces six opérations, il convient souvent d'en ajouter une autre, qui devient alors la première, c'est l'élévation des eaux d'égout pour permettre leur déversement dans les bassins de décantation.

La fig. 218 représente le projet de l'installation prévue pour Toulon et déjà exécutée à Melton-Mowbray.

L'arrivée d'eau d'égout à épurer et mélangée de réactif a lieu à gauche entre les deux décanteurs accolés de façon à pouvoir, par un jeu de vannes, alimenter l'un ou l'autre des deux décanteurs, qui ici sont rectangulaires, d'un débit continu et dont l'un est de rechange.

L'eau décantée se déverse sur toute la longueur dans une conduite supérieure en pente, entourant les deux bassins et alimentant les filtres dégrossisseurs, en tôle, situés en avant des décanteurs.

La captation des boues se fait en pleine marche au moyen d'un dispositif spécial fixé aux passerelles roulantes posées sur les décanteurs, et l'on fait mouvoir d'une extrémité à l'autre de ceux-ci. Des siphons recueillent ainsi dans une conduite longitudinale située au milieu de chaque décanteur les boues qu'ils captent sur toute la surface du radier.

Ces boues sont reçues dans un bassin d'un volume suffisant accolé aux décanteurs, placé à gauche de la figure sous l'arrivée d'eau, fermé, qui les distribue à des élévateurs métalliques situés dans une fosse en avant du bassin des boues, d'où par une pression constante et déterminée d'air, elles sont refoulées au travers des filtres-presses spécialement construits, permettant un épuisement absolu et la formation de tourteaux transportables, d'un aspect grisâtre, d'une épaisseur de 25 à 30 millimètres, ne laissant échapper aucune odeur.

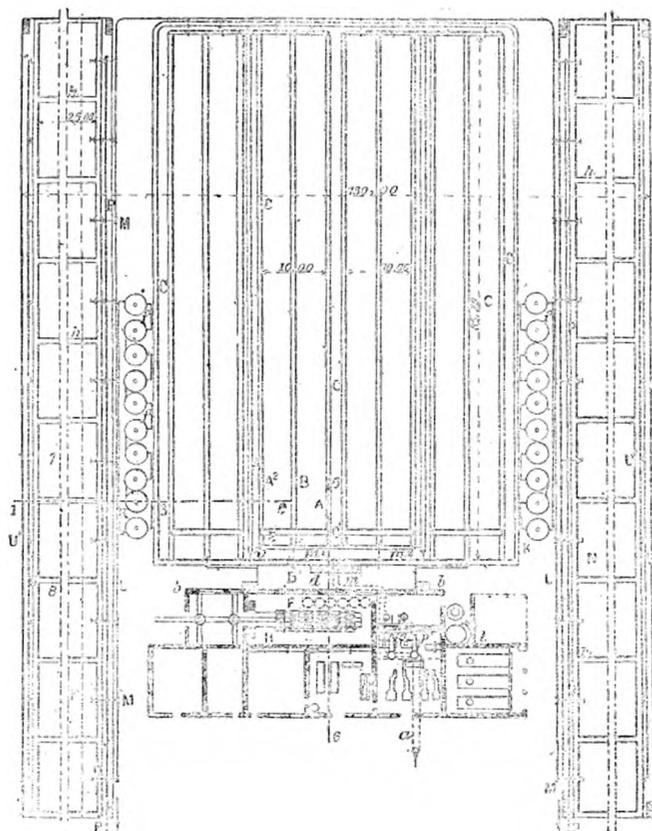
L'eau dégrossie est reçue dans une conduite longitudinale, laquelle alimente les filtres à polarite. Ceux-ci sont composés comme il a été expliqué précédemment, et sont traversés de haut en bas par l'eau qui est évacuée, complètement épurée, par la conduite inférieure longeant les filtres à polarite et portant une flèche qui indique le sens de l'évacuation.

Les filtres à polarite se nettoient l'un par l'autre au moyen de la conduite placée tout à fait en avant d'eux, et faisant communiquer les drains principaux d'évacuation. Pour laver un filtre, on fait, au moyen de cette conduite, arriver sous sa couche filtrante l'eau filtrée par les autres, et on fait sortir cette eau par le dessus de la matière filtrante. On brosse pendant ce temps la partie supérieure à l'aide d'un balai très large, pour aider à l'évacuation des dépôts dans une tuyauterie spéciale, qui les retourne à l'égout.

Lorsque les dépôts sont évacués, on remet le filtre en marche normale. »

Nous donnons également ci-après, d'après M. Langunier, l'ingénieur de M. Howatson, la description de l'installation qui est projetée pour Rouen, en vue de l'épuration d'un volume journalier de 36.000 m³ de sewage.

« La fig. 219 (a) montre le plan général de cette installation : les coupes (b), (c), (d) et (e) font comprendre les détails.



Plan de l'installation

Fig. 219 (a) -- Installation projetée pour l'épuration du sewage de Rouen (36000 m³ par jour), par le procédé Howatson.

a est l'arrivée d'eau d'égout à épurer. C'est le point terminus de l'émissaire général des égouts de la ville ;

b est la série des bâtiments abritant les machines et pompes ;

c sont les décanteurs ;

d est le bassin où sont recueillies les boues provenant de la décantation ;

f sont les filtres dégrossisseurs, en deux batteries ;

h sont les filtres à polarite, également en deux batteries alimentées respectivement par chacun des groupes *f*.

Les bâtiments forment deux corps parallèles comprenant : le premier, à gauche, une pièce formant deux bureaux, puis une autre servant aux ouvriers à la fois de vestiaire et de réfectoire.

Ensuite, un atelier avec les machines-outils nécessaires pour les réparations urgentes et peu importantes qui peuvent survenir. A la suite, la salle où

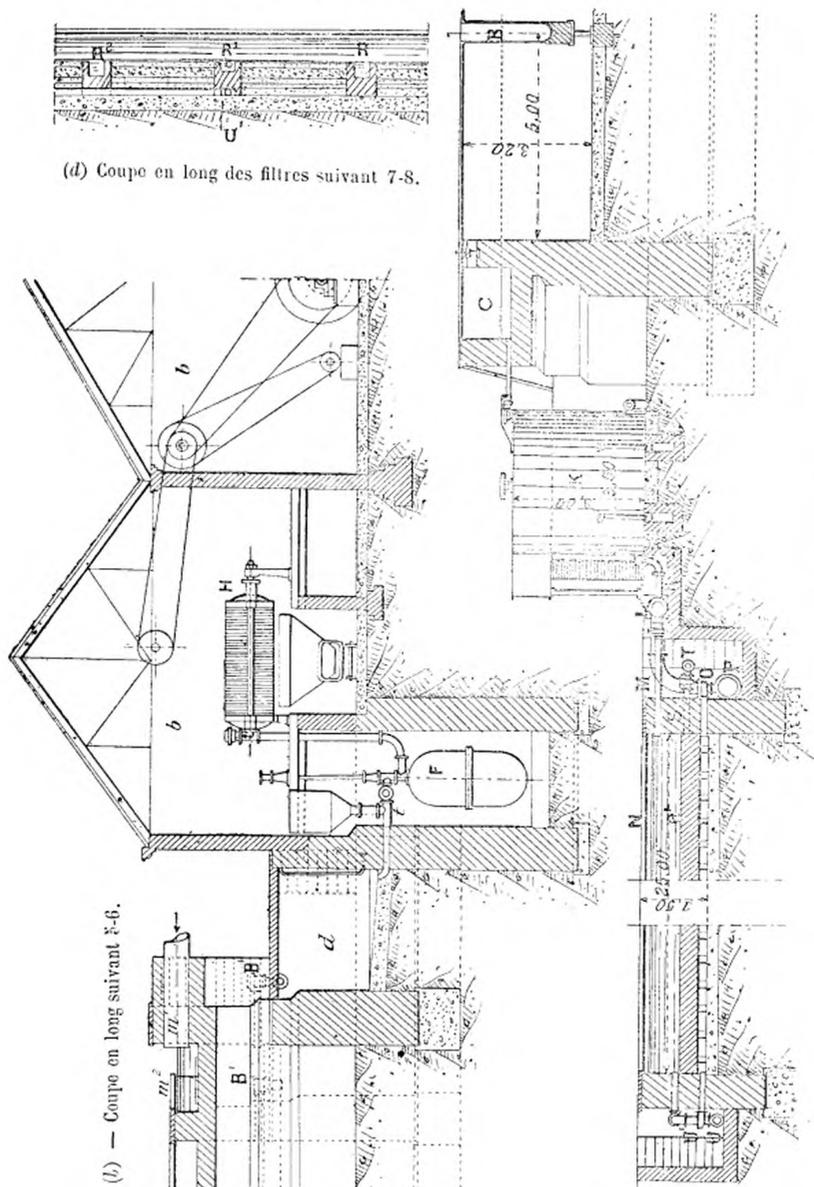
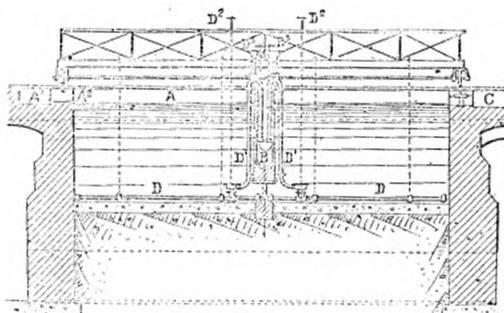


Fig. 249 (b, c, d). — Installation projetée pour l'épuration du sewage de Rouen (36 000 m³ par jour) par le procédé Howatson.

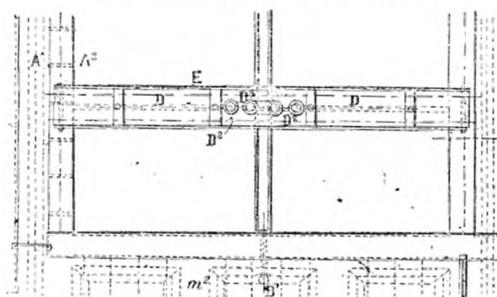
se trouvent les compresseurs d'air à action directe, au nombre de deux, le réservoir d'air comprimé, le moteur de 15 chevaux, donnant le mouvement général à l'atelier et aux malaxeurs, les dynamos destinées à produire l'éclairage.

A la droite de cette pièce se trouve la salle des pompes, renfermant deux pompes centrifuges destinées à élever l'eau d'égout puisée dans la chambre située au-dessous, et où l'amène le collecteur *a*. L'une de ces pompes suffit seule pour l'élévation du volume indiqué. L'autre est de rechange. En avant de ces pompes se trouve la machine à vapeur, type compound, de 200 chevaux, à condensation, destinée à leur donner le mouvement. Près d'elles, une seconde machine du même type actionne les pompes de circulation du condenseur.

Encore à droite est la salle de chauffe, renfermant trois chaudières à vapeur du type Galloway, de 180 chevaux chacune, dont une est de rechange, puis les appareils accessoires.



Élévation (Coupe transversale d'un décanteur).



Plan.

Fig. 219 (e). — Détail du chariot E nettoyant les décanteurs.

Le second corps de bâtiment, accolé au premier, comprend, en commençant par la gauche, un magasin où sont conservés, en attendant l'expédition, et à l'état de tourteaux, les engrais provenant de l'épuration des eaux d'égout.

Ensuite est une grande pièce où se trouvent les filtres-presses et les élévateurs des boues liquides. C'est ici que sont fabriqués les tourteaux qui sont déversés des filtres-presses dans des vagonnets les conduisant dans le magasin indiqué précédemment.

À droite de cette salle est le magasin du réactif ferozone, et les malaxeurs qui envoient ce réactif à l'état de dissolution et en quantité réglée aux pompes qui le mélangent avec l'eau d'égout. La cheminée sépare ce bâtiment d'un appartement ajouté au premier et qui sert de magasin à charbon. Entre ce magasin à charbon et la cheminée se trouve un appareil destiné à épurer l'eau d'alimentation des chaudières et à empêcher les dépôts et incrustations dans celles-ci.

Il y a quatre décanteurs, deux seulement de ces appareils sont suffisants et

fonctionnent ensemble, les deux autres sont de rechange. Chacun de ces décanteurs a 85^m,20 de longueur, 10 m de largeur et 3 m de profondeur.

Les filtres dégrossisseurs sont au nombre de vingt. Ils ont 3^m,50 de diamètre et 3 m de hauteur.

Les filtres à polarite sont également au nombre de vingt, ayant chacun 25 m de longueur, 10 m de largeur utile et 1^m,50 de profondeur.

Le bassin des boues a un volume de 100 m³.

L'eau d'égout, que nous avons vu arriver par le collecteur général α se déverse dans un puisard p , d'où les pompes centrifuges m l'aspirent alternativement pour l'amener aux décanteurs c par la tuyauterie m' .

L'eau d'égout reçoit, à l'aspiration même des pompes, la quantité de réactif (ferozone) qui doit l'épurer, et le mélange intime de l'eau et du réactif est obtenu par leur passage au travers des aubes de la pompe.

Le mélange précédemment indiqué d'eau et de réactif est déversé par le refoulement m' des pompes dans un conduit m^2 qui permet d'alimenter ceux des décanteurs que l'on désire employer, à l'exclusion des autres, et cela au moyen de vannes qui commandent, sur ce conduit, l'alimentation de chacun des décanteurs.

Nous allons supposer le décanteur A en fonction et faire la description sur lui ; les trois autres sont absolument semblables.

A étant en marche, la vanne v est donc ouverte, et une partie du débit de la pompe s'écoule dans le conduit A' .

Nous avons donné à nos décanteurs une très grande longueur par rapport à la largeur et nous faisons opérer le déversement du liquide à décanter par le conduit A' sur toute la longueur de ce décanteur, au moyen d'orifices A'' de nombre et dimensions convenables.

Notre décanteur est divisé en deux parties par une séparation B, en ciment armé, laquelle arrive à environ 50 cm du radier du décanteur A. Elle divise le décanteur en deux parties égales. Cette séparation repose sur une forte poutrelle portée par des supports métalliques, et forme dans sa partie supérieure un déversoir ayant à la partie postérieure une profondeur déterminée, et à la partie antérieure une autre profondeur donnant une pente suffisante pour l'écoulement rapide des dépôts assez denses qui viennent s'y déverser.

Le fond de ce conduit est demi-cylindrique afin de pouvoir être facilement nettoyé par un lavage, et de ne pas permettre l'adhérence des dépôts qui y sont véhiculés pendant quelques minutes à intervalles réguliers.

(Nous avons également à l'étude des bassins de décantation établis entièrement en ciment armé au lieu de maçonnerie de briques ou de moellons selon les lieux. Le ciment armé nous permettra de faire une construction plus légère et d'une homogénéité plus grande que la maçonnerie ordinaire indiquée au dessin).

L'eau mélangée de réactif arrive donc, par les orifices A^2 , sur toute la longueur du décanteur, et se déverse dans la première partie de celui-ci. A est donc d'abord rempli par gravitation, puis ensuite toute l'eau arrivant descend à la partie inférieure de A, passe sous la séparation B, et remonte dans la seconde partie du décanteur pour se déverser, également sur toute la longueur du décanteur A, dans le conduit C. La partie qui sert de déversoir est parfaitement horizontale, tandis que le conduit C qui fait le tour des décanteurs, accuse une pente vers chacune de ses extrémités. Son point haut est C', et, à partir de C², la pente est la même, à droite et à gauche. Deux vannes, au point où se forment les deux versants permettent d'envoyer à chaque batterie des filtres dégrossisseurs le volume d'eau décanter qu'elle doit recevoir.

La profondeur de ce conduit C est naturellement partout suffisante pour que l'eau décanter provenant des appareils qui fonctionnent ne puisse se déverser dans ceux qui sont inutilisés.

D'après le mode de déversement adopté, il est facile de comprendre que les dépôts seront répartis sur le fond du décanteur d'une façon absolument régulière dans deux compartiments de A, d'un bout à l'autre de ce décanteur, puisqu'en chaque point de sa longueur se déverse toujours régulièrement la même quantité d'un même mélange, laquelle suit le même trajet pour ressortir sur la même face opposée à la même hauteur. Les dépôts sont les mêmes et s'effectuent de la même façon à chaque instant. Leur enlèvement devient ainsi beaucoup plus pratique, car il nécessite un même travail d'une extrémité à l'autre des décanteurs, et aussi parce qu'étant également réparties les boues occupent une épaisseur plus faible. Le compartiment récepteur de A en contient plus que le suivant : mais, dans l'un comme dans l'autre, elles forment une couche régulière.

Nous les enlevons par siphonnage, en pleine marche, sans aucun arrêt, et de la façon suivante :

Deux tubes D (fig. e), placés dans le prolongement l'un de l'autre, laissant entre eux un peu d'intervalle (un peu plus que la largeur des supports qui maintiennent la séparation B) et occupant toute la largeur du décanteur, sont obturés à leurs extrémités. Sur un point de leur longueur, un raccord amorce leur communication à l'aide de robinets manœuvrés par les volants D², avec deux siphons D¹ dont les petites branches viennent déverser dans le conduit B et peuvent être fermées à leur extrémité par des clapets manœuvrés à l'aide des volants D¹. Les tubes D étant placés à une très faible distance — déterminée — du radier du décanteur, et étant, sur leur génératrice inférieure, percés de trous d'un diamètre et d'un écartement tels que la somme de leurs sections soit pratiquement, pour chacun des tubes, celle de ce tube et du siphon qui le continue, puis le décanteur étant toujours plein au niveau du déversoir d'eau décantée, si nous amorçons les deux siphons ci-dessus indiqués, ce qui peut toujours se faire au moyen d'une tubulure supérieure sur chacun d'eux puisqu'ils sont fermés sur leurs deux branches, et que nous ouvrons ensuite successivement les robinets manœuvrés par les volants D² et les clapets manœuvrés par D³, le contenu du décanteur A passera dans le conduit B. Mais, les tubes D ne peuvent vider ainsi que le fond même des décanteurs, c'est-à-dire les boues qui se sont déposées dans chacun des deux compartiments. Il suffira donc, pour que toutes ces boues soient évacuées, de faire mouvoir à une vitesse donnée, le système constitué par les tubes D et leurs siphons d'un bout à l'autre du décanteur.

C'est ce que nous faisons à l'aide de la passerelle E constituée par un châssis reposant sur quatre roues à boudins guidées par des chemins de roulement et supportant une plate-forme avec garde-corps). Les différentes pièces décrites ci-dessus sont fixées à cette plate-forme. Le mouvement de translation de celle-ci, qui peut être obtenu soit par un treuil à manivelle et deux roues d'angle agissant sur l'axe des roues, soit par une chaîne Galle reliant le treuil aux roues, n'est pas figuré.

Le conduit B débouche au moyen d'une tubulure B' (fig. b) dans le réservoir des boues *d*, pouvant contenir la totalité des dépôts d'un décanteur, complètement fermé et aéré. De ce réservoir, les boues sont, par opérations successives, envoyées dans les élévateurs *t*, desquels, par une canalisation d'air comprimé alimentée par les compresseurs d'air, elles sont refoulées au travers des filtres-presses H, et ainsi converties en tourteaux.

Le bassin *d* a son radier disposé pour permettre un lavage rapide et facile et aussi la vidange complète à chaque remplissage.

Nous avons vu que l'eau décantée est recueillie par le conduit C. Cette eau est, à ce moment, débarrassée des matières en suspension. Il reste à l'aérer et à la débarrasser, par une filtration sur une matière spéciale, des matières organiques en solution.

Ces résultats sont obtenus par deux filtrations distinctes ;

1° Filtration sur le silix concassé fonnant dégrossisseur, divisant l'eau et retenant les parties qui pourraient gêner ou diminuer la filtration définitive;

2° Filtration sur le polarite, oxydant les matières organiques et rendant l'eau claire, limpide et inodore.

La première partie est obtenue par nos filtres industriels disposés en deux batteries *f*. Ces filtres industriels K reçoivent chacun directement l'eau du conduit C, ils sont automatiques. Les plates-formes permettent la manœuvre très simple du nettoyage. L'eau sort en K' de chacun des filtres et alimente les conduites horizontales L sur lesquelles sont faites les prises M des filtres finisseurs.

Des rigoles placées sous les filtres dégrossisseurs permettent la sortie des dépôts provenant de leur lavage. Tous les filtres sont reliés par leur partie inférieure à une tuyauterie permettant toujours le nettoyage de l'un d'eux par renversement de courant avec l'eau filtrée sortant des autres. Les dépôts sont évacués à la partie supérieure de la couche filtrante.

Le renversement de courant peut être facilité par une arrivée d'air comprimé.

Les décanteurs sont reliés directement avec les conduits L, afin que, le cas échéant, l'eau décantée puisse être envoyée directement sur les filtres à polarite. Cela peut se produire quand on remplace un décanteur par un autre. Dans ce cas, le décanteur nouvellement employé concourra à alimenter les filtres dégrossisseurs dont le débit se répartira sur un filtre à polarite en moins, alors que le décanteur remplacé se videra sur le filtre à polarite non employé. Des jeux de robinets permettent les manœuvres nécessaires.

Les filtres finisseurs N des deux batteries *h* sont, vu leurs grandes dimensions, en maçonnerie ou en ciment armé, et accolés l'un à l'autre. Pour eux comme pour les filtres dégrossisseurs, la surface filtrante est proportionnelle à la quantité d'eau à débiter. La filtration a lieu de haut en bas, l'eau arrivant, comme nous l'avons vu, par les tuyauteries M, traverse la couche filtrante et sort complètement épurée par les robinets O, qui l'amènent à la conduite générale P.

Les filtres finisseurs sont divisés en quatre parties par trois murettes R, R', R² (fig. *d*), dont la hauteur est celle de la matière filtrante. Celle du centre R' possède à sa partie supérieure et à sa partie inférieure deux rigoles horizontales sur toute la longueur de la murette; les deux autres possèdent à leur partie supérieure une rigole ayant une profondeur déterminée à l'arrière des filtres, et une pente régulière d'arrière en avant. A leur point bas, les robinets S les font communiquer avec une conduite T. Les deux conduites inférieure et supérieure de la murette R' sont reliées à une canalisation U alimentée par les robinets U' des filtres, donnant également de l'eau filtrée.

Le fond des filtres est drainé, avec des ouvertures passant en travers sous les murettes R et R² et venant amener dans le conduit inférieur de R', qui est le drain collecteur, l'eau filtrée de toute la surface du filtre. Les couches filtrantes sont superposées au-dessus de ce drainage.

Lorsqu'on veut procéder au nettoyage d'un de ces filtres, on ferme le robinet O de sortie d'eau filtrée. On fait communiquer la canalisation U avec le fond du filtre suivant qui l'alimente en eau filtrée, et on fait arriver cette eau filtrée sous la matière filtrante du filtre à nettoyer au moyen du robinet U' et, également, en plus petite quantité, à la surface de la matière filtrante, dans la conduite supérieure de la murette R'. Si l'on ouvre le robinet S des rigoles inclinées des murettes R et R², l'eau qui arrive par le fond traverse la matière filtrante de bas en haut, détache les impuretés qui se sont fixées à la partie supérieure; celle qui arrive par le haut, et que la murette R' distribue sur toute la surface, lave cette surface, et il suffit d'un léger balayage pour déterminer l'évacuation à la conduite T de tous les dépôts qui sont ainsi retournés à l'égout, et le filtre reprend son fonctionnement normal.

Le polarite est placé, dans la couche filtrante, entre deux lits de sable de grosseurs différentes, celui du bas reposant sur le drainage de tuyaux demi-cylindriques. Les jonctions des drains sont étanches, et l'eau filtrée pénètre dans ceux-ci par des orifices de 4 à 5 mm placés de chaque côté des drains près du radier des filtres.

Les filtres à polarite, vu l'état de l'eau qui y arrive, peuvent fonctionner pendant très longtemps sans être nettoyés ; nous avons vu comment se fait ce nettoyage.

A l'extrémité de chaque drain, près de la cloison qui limite les filtres à polarite, se trouve un tube vertical dont la partie supérieure arrive à la même hauteur que le dessus de la maçonnerie des filtres. Ces tubes ont pour but, lorsque le filtre à polarite ayant fonctionné pendant longtemps (cette substance a besoin d'être régénérée), de faire traverser toute la matière filtrante du filtre vidé de son eau, par un courant d'air très fort qui suffit pour que le polarite se recharge rapidement en oxygène. Cette action est aidée par d'autres tubes semblables qui ne pénètrent que jusqu'à la couche de polarite, et dont la partie supérieure arrive à la même hauteur que celle des autres, et qui sont placés entre ceux-ci.

Nous avons vu que les boues de décantation sont recueillies dans un bassin *d*. Une série d'élevateurs *t* les reçoivent, et, sous la pression d'air fournie par les compresseurs déjà désignés, les refoulent au travers des filtres-presses. Le liquide est séparé et retourne à l'égout, la partie solide prend la forme de gâteaux carrés de 0^m,90 de côté et de 25 mm d'épaisseur. Chaque opération fournit quarante de ces gâteaux par filtre-pressé. Les tourteaux ainsi obtenus ne renferment plus que 40 à 45 % d'eau. Ils sont d'aspect grisâtre, très facilement transportables par les moyens ordinaires, et n'ont aucune odeur. »

Il nous reste à rendre compte des résultats de ce procédé.

Dans des expériences assez récentes, Rœchling a trouvé ce qui suit :

	Vitesse de filtration par heure	Matières en suspension		Matières dissoutes		Ammoniacque	Ammoniacque liée aux mat. organiques	Oxygène consommé en 3 heures
		Perte au feu	Résidu fixe	Perte au feu	Résidu fixe			
Eau brute.	»	217,0	117,0	327,2	1018,4	12,2	6,8	40,5
Eau traitée par le fer et le chlorure.	»	175,0	95,0	361,0	1017,0	11,9	5,3	36,3
Eau traitée complètement (filtration au polarite).	0 ^m ,243	34,7	7,7	256,7	1462,0	2,1	0,7	6,8

Cela montre bien l'effet oxydant du polarite. La réduction sur l'azote total est importante : elle est donnée ci-dessous pour Hendon, Akton et Royton.

Teneur totale en azote.

VILLES	Eau brute	Eau après le ferozone	Eau après filtration au polarite	Réduction définitive pour cent
	mmgr.	mmgr.	mmgr.	%
Hendon	250 à 300	84,6	34,6	87,5
Akton	id.	34,6	49,4	93
Royton	id.	40,0	36,7	86,8

Metzger (1), à Bromberg, a expérimenté le procédé et trouvé comme moyenne de 18 analyses, que les matières organiques passaient de 656^{mm},6 par litre à 184,1, et le nombre de germes de 535 194 par centimètre cube à 38 995.

Pour éclairer le Comité consultatif d'Hygiène publique sur les projets de Toulon et Rouen, le professeur Pouchet a expérimenté en 1895 sur les eaux d'égout de la maison départementale de Nanterre et a trouvé les résultats très favorables du tableau I (en mmgr. par litre).

Enfin, voici encore l'effet du procédé Howatson sur diverses eaux résiduaires, notamment sur celles de l'Espierre (Roubaix et Tourcoing) dont il sera parlé plus loin (tableau II).

Comme prix de revient du traitement, nous nous bornerons à citer l'importante usine de Huddersfield, qui date de 1893 et traite journellement 41 000 m³ de sewage (dont 18 000 d'eaux industrielles). Elle comporte deux rangées de 12 couples de bassins chacun, ces bassins étant carrés avec 12^m,20 de côté : les filtres sont formés de 0^m,20 de gros gravier à la base, 0^m,30 d'une couche de 6 de polarite pour 4 de sable, puis d'une couverture de 0,075 de sable fin ou de coke pilé. La quantité de ferozone employée varie de 0^{sr},58 à 1^{sr},29 par gallon (4^{lit},54) suivant la nature du sewage : on ajoute encore 30 kg. de chaux par tonne de boues avant de les comprimer aux filtres-presses. Le personnel employé est de 45 hommes et la puissance des machines de 130 chevaux. Dans ces conditions, l'usine a coûté comme premier établissement 60 000 livres sterling, et comme frais annuels on dépense 3 livres par million de gallons épurés, soit 0^{fr},017 par mètre cube d'eau d'égout traitée : le mètre cube donne 1^{kg},120 de tourteau.

(1) *Gesundeihits-Ingenieur*, janvier 1897.

TABLEAU I. — Tableau des analyses effectuées sur les eaux d'égout de la Maison départementale de Nanterre, avant et après leur épuration par le procédé Howatson.

	I ÉCHANTILLONS du 8 mai		II ÉCHANTILLONS du 9 mai		III ÉCHANTILLONS du 11 mai		IV ÉCHANTILLONS du 14 mai		V ÉCHANTILLONS du 17 mai		VI ÉCHANTILLONS du 21 mai			
	AVANT	APRÈS	AVANT	APRÈS	AVANT	APRÈS	AVANT	APRÈS	AVANT	APRÈS	AVANT	APRÈS		
Évaluation de la matière organique	en oxygène	(Solut. acide	425,0	62,5	2 000,0	50,0	1 500,0	25,0	85,0	12,5	70,0	10,0	70,0	6,25
		(Sol. alcaline	475,0	125,0	1 750,0	75,0	1 250,0	100,0	65,0	25,0	55,0	22,5	65,0	15
		acide oxalique	985,0	492,5	45 760,0	394,0	41 820,0	497,0	669,8	98,5	551,6	78,8	551,6	49,25
		($\text{C}_2\text{O}_4\text{H} + 2 \text{H}_2\text{O}$) (Sol. alcaline	1 379,0	985,0	43 790,0	591,0	9 850,0	788,0	512,2	497,0	433,4	177,3	512,2	118,20
Ammoniacque et sels ammoniac. en Az	40,33	4,78	44,9	4,91	5,6	0,98	22,4	3,0	5,85	0,95	2,38	0,24		
Azote albuminoïde, en Az.	43,49	4,65	98,0	2,82	30,24	4,60	31,8	4,4	45,93	4,70	46,53	0,44		
Azote organique total, à la grille. . .	59,50	5,07	283,0	9,90	64,26	43,27	435,75	45,75	53,20	5,35	37,20	2,03		
Nitrites, en acide nitreux AzO^2H . .	Traces	0	Traces	4,5	Traces	5,0	Traces	6,2	Traces	2,58	Traces	Traces		
Nitrates, en acide nitrique AzO^3H . .	0	Traces	0	4,3	0	5,0	0	5,0	0	7,75	5,0	8,50		
Acide sulfurique, en SO^3	462,0	233,0	93,0	265,0	430,0	316,0	*	»	*	»	»	*		
Chlore, en Cl.	445,6	431,7	434,7	426,2	427,5	409,30	408,0	409,2	416,5	417,7	423,2	421,4		
Degré alcalimétrique, en CO^2Na^2 . .	572,4	206,3	774,4	467,4	534,4	281,89	432,0	483,6	594,0	483,6	571,4	199,8		
Résidu à 440 degrés.	1 200,0	1 080,0	7 740,0	1 220,0	2 480,0	4 100,0	1 060,0	920,0	1 480,0	1 000,0	1 460,0	980,0		
Résidu après calcination	760,0	780,0	2 300,0	800,0	940,0	700,0	660,0	580,0	700,0	680,0	700,0	680,0		
Perte au rouge	440,0	300,0	5 440,0	430,0	1 540,0	400,0	400,0	340,0	480,0	320,0	460,0	300,0		
Nombre de germes aérobie par cm^3 d'eau	39 324 600	495 000	1 204 547 400	230 400	430 021 400	200 600	7 931 875	208 480	10 746 650	49 470	4 505 600	43 320		

Mise en charge des appareils le 8 mai. — Premier prélèvement cinq heures après.

TABLEAU II. — Résultats d'applications du procédé Howatson à des eaux résiduaires diverses.

	ESPIERRE			DÉPOTOIR DE BONDY			CARTONNERIE			AMIDONNERIE		
	Eau brute	Eau épurée	Élimination totale	Eau brute	Eau épurée après mélange de l'eau br. à 3 vol. d'eau	Élimination totale	Eau brute	Eau épurée	Élimination totale	Eau brute	Eau épurée	Élimination totale
Résidu à 410°.	4 840	4 760	63,6	43 000	43 600	0/0	3 950	4 400	72,4	3 320	850	74,4
Couleur du résidu.	Noir	Blanc	"	Brun	Blanc	"	Noir	Blanc	"	Noir	Blanc	"
Perte au rouge.	3 480	570	82,4	6 000	4 560	24,0	2 020	590	70,8	2 330	310	86,6
Oxygène brûlé (solution acide)	1 360	169	87,6	2 080	640	69,2	4 616	222	86,3	4 840	94	94,8
Azote ammoniacal en AzH ³ .	23,38	40,40	55,5	214,6	84,08	60,2	23,30	7,90	66,4	180,90	30,90	82,9
Azote albuminoïde en AzH ³ .	35,36	2,50	93,2	305,6	49,36	84,0	30,40	4,80	84,2	58,40	6,80	88,3
Matières réductrices en C ¹² O ¹² H ¹² .	"	"	"	"	"	"	"	"	"	909	410	88,0
Acidité exprimée en CaO.	"	"	"	"	"	"	299,6	"	"	257	"	"
Alcalinité exprimée en CaO.	251	45	82,2	574	5	"	"	22	"	"	7	"
Chaux totale en CaO.	352	90	73,0	4 932	4 792	7,2	448	73	83,7	27	477	"
Acide sulfurique en SO ₃ .	72	338	"	295	2 612	"	257	174	32,5	443	219	"
Oxyde de fer et alumine.	300	20	93,3	"	672	"	370	30	92,0	132	52	60,0
Chlorure de sodium.	487	164	42,3	3 525	Al ₂ O ₃ 3 276	7,4	487	417	37,4	"	"	"
Degré hydrotimétrique.	75	41	"	KO, 380	"	"	83	47	"	"	"	"
— — après ébullition.	75	33	"	PhO ³ , 168	"	"	83	37	"	"	"	"
Aspect de l'eau.	boue noirâtre	limpide incolore	"	Brun odorante	jaunâtre	"	Noire	incolore, limpide	"	Noirâtre	incolore limpide	"

Quant à la composition des boues et tourteaux, König donne les chiffres suivants pour cent :

VILLES	Eau	Matières organiques	Azote organique	Matières minérales	Acide phosphorique	Potasse	Chaux	Valeur de la tonne comme engrais
Hendon. } boues fraîches	37,49	24,42	0,68	38,37	0,45	"	41,67	9 fr.,35
Hendon. } tourteaux pressés.	4,48	30,03	4,32	65,77	4,02	"	28,98	18,75
Royton : boues fraîches	36,81	27,67	0,62	33,52	0,46	"	3,60	8,75
Akton : boues mélangées aux balayures	53,29	46,06	0,78	30,65	0,39	"	44,27	40,60
Southampton : tourteaux mélangés aux balayures	26,67	"	0,45	"	0,27	0,49	"	6,50

Procédé Howatson-Bergé. — Dans ces dernières années, M. Howatson propose de modifier son procédé en traitant l'eau sortant des filtres dégrossisseurs (à silex) par le peroxyde de chlore, préparé comme il a été dit à l'occasion du procédé Bergé (p. 209). Des essais ont été faits sur l'eau d'égout de Bruxelles, à Haeren, et le professeur Petermann en a rendu compte dans un rapport inséré au *Bulletin du service de santé et de l'Hygiène publique de Belgique* (1), avril 1899.

Ci-dessous le tableau des résultats de l'essai du 18 novembre 1898.

	I Eau d'égout brute	II Eau sortant du filtre à silex	III Eau après stérilisation par le peroxyde de chlore
Aspect	très trouble noirâtre.	presque limpide jaune clair.	presque limpide jaune clair.
Odeur.	nauséabonde.	sans.	chlorée, disparaissant au bout de quelques secondes.
Réaction	nettement ammoniacale.	faiblement acide.	faiblement acide.
Acide sulfhydrique.	réaction.	point	point.
1 litre renferme :			
Matières en suspension.	0,9890 gr.	0,0185 gr.	0,0248 gr.
Matières organiques en dissolution	0,2650 »	0,1360 »	0,1300 »
Matières minérales en dissolution	0,8906 »	0,9360 »	0,7200 »
<i>Résidu sec par litre.</i>	2,0848 gr.	1,0845 gr.	0,8748 gr.
<i>Dosages spéciaux :</i>			
Azote organique.	0,0090 »	0,0050 »	0,0040 gr.
id. ammoniacal	0,0550 »	0,4000 »	0,0250 »
id. nitrique	point.	traces.	0,0010 »
Chaux.	0,4915 gr.	0,2225 gr.	0,4875 »
Acide phosphorique.	forte réaction.	traces.	traces.
<i>Analyse bactériologique</i> (2) :			
Nombre de colonies pour cent.	1 000 000	»	complètement privée de germes.

La stérilisation serait donc complète, et la réduction de l'azote organique de plus de moitié. (L'essai du 19 décembre 1898 ne porta pas sur l'application du peroxyde de chlore : sur 1 500 000 germes, le filtre au silex en laissait passer 30 000). L'eau traitée ainsi est propre à l'irrigation).

(1) Voir également le compte rendu des expériences d'Ostende dans le numéro d'août 1898 du même Bulletin.

(2) Les analyses bactériologiques ont été faites par MM. de Molinari et Dr Rémy du laboratoire de l'Etat à Liège.

M. Howatson prétend qu'il pourrait traiter de la sorte les 100 000 m³ de sewage journalier de la ville de Bruxelles à raison de 5 à 6 millièmes par mètre cube.

Procédé de Conder, au sulfate de fer.— L'originalité de ce procédé consiste en ce que son auteur propose de traiter le sewage de chaque maison, de manière à le rendre immédiatement imputrescible. L'appareil qui se place dans les cabinets et vidoirs des évier est appelé *ferrometer* : il contient du sulfate de fer qu'un filtre d'eau dissout continuellement et déverse dans le branchement. Le système ne semble avoir été essayé qu'en petit, notamment à Chichester barracks (500 habitants).

Diverses villes anglaises.— En dehors des procédés cités ci-dessus, bon nombre de villes anglaises utilisent simplement la chaux, la chaux et le sulfate de fer, la chaux et l'alun, etc., etc., dans des bassins ordinaires.

Citons rapidement :

Londres, avec ses deux usines déjà anciennes de Barking et de Crossness traitant à la chaux 800 000 m³ de sewage par jour, mais n'obtenant qu'un simple dégrossissage ; les usines ont coûté 21 millions, le matériel de transport 3 millions 1/2, et les frais d'exploitation reviennent entre 6 à 7 millimes par mètre cube traité.

Manchester (544 000 habitants) qui traite 68 000 m³ par jour en temps ordinaire : on emploie 6 à 7 grains de chaux et 6 grains de sulfate de fer par gallon. L'usine, qui est de 1894, a coûté 3 012 000 francs : le traitement coûte 6,3 millimes par mètre cube pour la clarification, et 7,4 millimes pour le pressage des boues (Sludge) et leur enlèvement, soit en tout 13,7 millimes.

Salford (221 000 habitants) traite aussi à la chaux et au sulfate de fer : comme pour Londres, les boues sont emmenées à la mer par un bateau à clapets. L'usine avec ses accessoires a coûté 2 671 000 francs et le prix de revient du traitement atteint 13 millimes 5, dont 5 millimes pour frais de transport du sludge en mer.

Sheffield (380 000 habitants) traite à la chaux seule, mais cherche à favoriser l'oxydation par un ruissellement en minces filets et des chutes en déversoirs (aerating weir).

Leeds (429 000 habitants) appliquait le procédé ABC simplifié, et le procédé Hansen (chlorure de zinc, borax, etc).

Windsor : procédé Hille (au chlorure de magnésium ou de calcium ajouté au lait de chaux).

Birmingham (522 000 habitants) a à épurer environ 100 000 m³ par jour. L'installation comprend seize bassins de précipitation par le lait de chaux (on y ajoute en été 1/3 de grain de chlorure de chaux par gallon pour désinfecter ; l'efflux est envoyé à des champs d'épandage (environ 1 000 hect.) pour irrigation.

Richmond a des bassins de précipitation suivis de filtres à deux niveaux différents. Les réactifs sont ajoutés successivement : à l'entrée dans le puisard des pompes, on verse un peu d'acide phénique, après pompage, 4 à 5 grains de chaux par gallon, et ensuite 7 grains de sulfate d'alumine ou de fer. (La dépense en réactifs atteint 20 schillings par million de gallons). Les deux niveaux de filtres successifs étaient une indication pour la succession des lits bactériens.

Glasgow (760 000 habitants, près d'un million avec la banlieue). — La surface drainée occupe 39 milles carrés et est divisée en trois sections indépendantes, déversant leur sewage dans la Clyde, respectivement à Dalmarnock, Dalmuir et Braehead : les réseaux et les procédés de traitement avant déversement ont été approuvés successivement (1891, 1896 et 1898). L'usine d'épuration de Dalmarnock date de 1894 et traite journellement depuis lors 16 millions de gallons par jour (en temps sec) : à Dalmuir on compte sur 49 millions et à Braehead sur 43 millions de gallons, quand les réseaux auront reçu toute leur extension. Le sewage est très chargé (de 20 à 250 grains par gallon de matières en suspension) et contient beaucoup de résidus industriels. A Dalmarnock, la Clyde a un débit de 700 millions de gallons par jour, tandis qu'aux stations d'aval de Dalmuir et Braehead la marée amène dans l'estuaire un volume d'au moins 3 milliards de gallons.

Ces grandes dilutions permettent de s'en tenir au traitement chimique.

Les réactifs employés sont la chaux et le sulfate d'alumine versés simultanément, mais à des doses variables suivant la nature du sewage, laquelle dépend des décharges des tanneries et teintureriers.

COULEUR DU SEWAGE BRUT	DOSES (en grains par gallon)	
	de chaux vive	d'alumine
Gris.	5	2,5
Gris foncé.	7,5	3,75
Gris très foncé.	10	5
Légèrement brun.	15	7,5
Bleu.	20	10
Brun.	30	15
Brun foncé.	40	20

Après mélange avec les réactifs, le sewage arrive dans des bassins de décantation dont le fond est à entonnoir triple (trois V successifs), et en sort par déversoir, en gerbe qui se répand sur un plan incliné à petites chutes (importance de l'aération). Les bassins en construction à Dalmuir n'ont pas moins de 750 pieds de long : le courant y doit être continu. Les bassins de Dalmarnock, plus anciens, sont plus petits; on a commencé par y faire de la précipitation intermittente, et on faisait passer l'effluent sur un filtre à coke de 0^m,91 d'épaisseur et parfois même encore sur un deuxième filtre à sable; mais on a renoncé dans ces dernières années à ces errements, le courant est maintenant continu et les filtres sont abandonnés. On obtient une épuration d'environ 30 0/0 en oxygène consommé (en 4 heures à 27° C). Les fumiers extraits à l'entrée de l'usine sont brûlés dans un *destructor*; les boues sont additionnées de 2 0/0 de chaux: pressurées et amenées à l'état de tourteaux, grâce à des appareils mécaniques trop compliqués pour être décrits ici. Les boues des usines de Dalmuir et Braehead seront conduites directement en mer par des bateaux.

On n'a encore de résultats financiers que pour l'usine de Dalmarnock, dont l'établissement a coûté 105 000 livres sterling. Cette usine a traité pendant l'année 1900-1901 en moyenne 14 771 333 gallons par jour, ce qui a donné 266 248 tonnes de sludge, réduites à 29 171 tonnes de tourteaux après passage aux filtres-presses. La dépense du traitement a été au total de 2^{liv},7^{sh},4^d par million de gallons traités (soit 13 millimes par mètre cube), dont 14^{sh},2^d pour les frais de pompage, 7^{sh} pour l'achat des réactifs, 12^{sh},3^d pour la pressuration du sludge, etc.

III. — EPURATION MÉCANICO-CHIMIQUE AUX ETATS-UNIS.

Citons en courant, d'après Ronna :

Worcester (Massachusetts), ville très industrielle, qui se décida en 1888 à établir une usine de traitement chimique par la chaux et l'alun (à doses variables suivant la composition du sewage). En 1892, le volume du sewage était de 27 000 m³ par jour, et l'on utilisait moyennement 1^{gr},007 de chaux et 0^{gr},093 d'alun par litre : les bassins de précipitation entre lesquels circulait l'eau mélangée aux réactifs en allant lentement de l'un à l'autre venaient d'être portés à 16. On n'avait pas réussi à brûler les tourteaux. Comme toujours avec le traitement chimique, les matières en suspension sont assez bien éliminées, mais la matière organique

dissoute, l'ammoniacque libre et albuminoïde ne sont réduites que de moitié ou au plus des deux tiers. (A signaler un procédé ingénieux d'agitation dans les cuves où se prépare le lait de chaux : des tubes perforés de trous de 0^m,006 chaque 0^m,70 sont placés dans le fond de ces cuves et on y insuffle de l'air comprimé qui maintient le mélange en agitation continuelle).

Mystic Valley (Massachusetts). — Ici le précipitant est le sulfate d'alumine, à raison de 1 pour 3 000 de sewage. Pour un volume de 1,600 m³, par jour (en 1890), l'installation a coûté 54 000 francs.

Coney Island, Round Lake, White Plains, Sheephead Bay (New-York) se sont installées toutes les quatre de la même manière. Les réactifs sont la chaux et le perchlorure de fer qu'on introduit automatiquement dans les bassins de précipitation : dans ces bassins et dans les bassins de dépôt qui leur font suite, l'eau circule lentement à l'aide de siphons qui règlent automatiquement l'admission par suite des différences de niveau (brevet de l'ingénieur Powers, de Brooklyn). Les boues et au besoin l'effluent sont désinfectés à la sortie par le chlore. On emploie le perchlorure de fer à raison de 0^{gr},030 par litre : il est en solution titrant 60 0/0. A White Plains, en 1892, on traitait de 1 000 à 1 350 m³ par jour de sewage, avec une tonne de chaux et 50 lit. de solution de perchlorure, ce qui revenait de 60 à 70 francs par jour.

New Rochelle (New-York). — Chaux et sulfate de fer, se mélangeant au sewage dans un canal à chicanes précédant les bassins de précipitation.

Chautauqua (New-York). — Chaux, alun et sulfate de fer.

Canton (Ohio). — Epuration simplement à la chaux.

Enfin, à l'Exposition de *Chicago*, 1893, les eaux usées de l'Exposition étaient traitées par les puits profonds du système Müller-Nahnsen, décrits plus haut, avec la chaux et l'alun ou le vitriol.

Quelques villes ont appliqué un système mixte consistant à traiter l'effluent de bassins de précipitation chimique par la filtration intermittente (East Orange, Long Branch dans l'Etat de New-Jersey) : la réduction est naturellement excellente.

IV. — EPURATION MÉCANICO-CHEMIQUE EN FRANCE

En dehors des projets déjà cités pour Toulon et Rouen, nous ne voyons à parler sous cette rubrique que de l'épuration du sewage de Roubaix et Tourcoing, à l'usine de Grimonpont.

Il s'agit du mélange des eaux d'égout d'une agglomération de 222 000 habitants (Roubaix 123 000, Tourcoing 75 000 et Wattrelos 22 000) et des eaux résiduaires de nombreuses usines de peignage et lavage de laines, le tout tombant dans une petite rivière, l'Espierre, devenue par le fait un véritable collecteur. A la suite de plaintes du gouvernement belge on s'est décidé à construire en 1888 une usine d'épuration, à 4 km. de Roubaix. Cette usine occupe 8^{hect},34 de superficie et traite 40 000 m³ par jour d'une eau qui contient en moyenne 4^{gr},44 par litre de matière solide (résidu sec) savoir : graisse 1^{gr},080, matière organique 1^{gr},140 ; sulfate de soude 0^{gr},250 ; chlorure de sodium 0^{gr},190 ; carbonates alcalins 0^{gr},420 ; carbonate de chaux 0^{gr},700 ; silice, fer et alumine 0^{gr},660. De plus, la composition est très variable d'un moment à l'autre : le matin, les usines de peignage de laines vident leurs baches (eau jaune) et l'après-midi les eaux ménagères dominent (eau grise). Le problème est donc très complexe.

On trouvera une description détaillée de l'usine dans un rapport de M. l'Ingénieur Devos, annexé à celui déjà cité de MM. Arnould et Martin sur la protection des cours d'eau, au Congrès d'Hygiène de 1889 : aussi n'en esquisserons-nous que les grands traits. L'eau de l'Espierre, décantée préalablement dans deux bassins de 25 ares chacun, entre dans l'usine grâce à un barrage, pour tomber d'abord dans le puisard des pompes où elle se mêle au lait de chaux. La fabrication du lait de chaux est ingénieuse mais assez compliquée : le lait de chaux, repris par des pompes centrifuges dans un réservoir inférieur est envoyé dans un bac appelé distributeur, d'où on règle son écoulement dans le puisard d'après le volume et la nature de l'eau à traiter. Les pompes principales, centrifuges également et au nombre de quatre, refoulent le mélange dans une série de 20 bassins de précipitation : les 18 anciens ont 8 m de large, 20 m de long et 1^m,60 de profondeur et les 2 bassins nouveaux 20 m de large, 50 m de long et 2 m de profondeur. Ces bassins ont une pente longitudinale de 0^m,01 par mètre vers l'évacuation et des pentes transversales plus fortes vers l'axe du bassin : la décantation est continue. La boue est reprise avec des pompes centrifuges, et pour partie envoyée à 6 filtres-presses, pour partie répandue sur des bassins qui couvrent 3 hect., 1/2, et où l'essorage se fait par évaporation naturelle. Le tourteau pressé ou essoré contient 60 0/0 d'eau (1) et représente 5 kg. par mètre cube d'eau traitée : il contient environ 30 0/0

(1) La chaux ayant saponifié les graisses, ce tourteau est impropre à l'agriculture.

de matières grasses qui permettent de le brûler dans de petits fours verticaux et de réduire son volume au cinquième. On a essayé sans succès de régénérer la chaux. La puissance des machines est de 165 chevaux. L'usine a coûté en chiffre rond 700 000 francs.

On n'a guère traité jusqu'ici que par la chaux : on employait de 1 à 3 kg. de chaux par mètre cube, et la tonne de chaux fabriquée à l'usine revenait à 12 fr. 50. La dépense totale par mètre cube d'eau est moyennement de 0 fr. 032. L'épuration est très imparfaite : l'eau sort alcaline, jaune-verdâtre, prête à entrer en putréfaction. Voici sa composition moyenne en milligrammes par litre, après emploi de 2 kg. de chaux par mètre cube ; résidu 1 350 milligrammes ; résidu calciné 920 ; azote ammoniacal 25 ; azote albuminoïde 12,24 ; chaux 129 ; chlorure de sodium 187 ; oxyde de fer 40 ; acide sulfurique 237.

On a essayé à Grimonpont divers autres réactifs ; nous avons déjà vu (page 598) le résultat du procédé Howatson. Voici quelques autres essais ⁽¹⁾ :

Procédé P. Gaillet, au lait de chaux et au perchlorure de fer (ce dernier obtenu par l'action de l'acide chlorhydrique sur les pyrites). Avec 200 cm³ de perchlorure de fer à 40° B, et 3 kg. de chaux par mètre cube, on arrive à éliminer les matières grasses, les sulfures solubles et les trois quarts des matières organiques ; mais la dépense en réactifs atteint 43 millim. et la dépense totale 72 millim. par mètre cube. On peut remplacer le chlorure ferrique par le chlorure de manganèse.

Procédé Houzeau. — En traitant des lignites naturels, Houzeau obtient un mélange de sulfate ferreux, de sulfate ferrique et de sulfate d'alumine qui réagit fortement sur les eaux de l'Espierre, qu'on reprenait ensuite par la chaux. Mais on a l'inconvénient, même si on transforme les sulfates en chlorures, d'avoir toujours du sulfate de chaux qui, réduit par les matières organiques, donne de l'hydrogène sulfuré. De plus il faut 9 à 10 kg. de réactif par mètre cube, ce qui revient beaucoup trop cher.

Procédé au sulfate ferreux et à la chaux. — Réussit assez bien, les matières organiques étant en grande partie éliminées et les sulfures fixés à l'état de sulfure de fer insoluble.

Procédé Boblique. — Avec le phosphate de soude ferrugineux obtenu par la fusion des nodules ardennais avec du fer : résultats non divulgués.

(1) D'après l'ouvrage de M. de la Coux ; *L'Eau dans l'industrie* — Dunod, 1900.

Procédé Buisine (1), au sulfate ferrique. En présence des sels alcalins et alcalino-terreux, le sulfate ferrique précipite du peroxyde de fer qui fixe les sulfures et fait sédimenter les corps étrangers et même les microbes. On a essayé pendant plusieurs semaines à Grimonpont sur un débit de 20 000 m³ par jour, et on a obtenu les résultats ci-après, comparativement au traitement par la chaux :

MATIÈRES	EAU DE L'ESPIERRE					
	Brute	ÉPURÉE		Brute	ÉPURÉE	
		avec 4 kg. chaux éteinte par m ³	avec 1 kg. sulfate ferrique par m ³		avec 1 ⁵⁰⁰ chaux éteinte par m ³	avec 0 ⁵⁰⁰ sulfate ferrique par m ³
		gr.	gr.		gr.	gr.	gr.
Résidu sec par litre	5,75	3,90	2,40	3,20	4,65	4,06
Résidu minéral.	1,95	2,90	1,80	0,72	0,99	0,91
Matière grasse	2,08	0	»	1,40	0	»
Matières organiques en solution évaluées en acide oxalique . .	4,35	1,20	0,22	»	0,86	0,42
Alcalinité en CaO	»	0,80	neutre	»	0,26	neutre
Poids du précipité sec obtenu par l'épuration par litre.	»	6,96	4,29	»	3,03	4,90

L'eau sort claire, incolore et sans odeur, neutre ou légèrement acide.

Les boues provenant du traitement par le sulfate ferrique, recueillies après dessiccation sur le sol, présentaient la composition suivante :

Eau	20,90
Résidu minéral (sable, oxyde, peroxyde de fer)	30,63
Matières grasses	30,00
Matières organiques azotées	18,47
	<u>100,60</u>

Les matières grasses sont enlevées par le sulfure de carbone ; elles sont composées des corps gras, du savon, des graisses ménagères et laineuses ; après le traitement, il reste une poudrette titrant 3 0/0 d'azote. On peut aussi distiller les matières grasses par la vapeur d'eau surchauffée, ce qui donne des produits utilisés en savonnerie, stéarinerie, etc.

Pour les eaux de l'Espierre, on employait 1 kg. en moyenne de sulfate ferrique, obtenu en traitant les pyrites grillées par l'acide sulfurique : après avoir fait une bouillie épaisse, le tout est chauffé à 150° et donne une masse sèche et pulvérulente qui, reprise par l'eau, forme la liqueur ferrique. Le kilogramme de sulfate revient à environ 0 fr. 05.

(1) Note de MM. Buisine à l'Académie des Sciences - 31 octobre 1892.

Procédé aux acides. — En versant de l'acide chlorhydrique, on sépare les acides gras en un magma superficiel, qu'on retire et pressure à chaud : on obtient ainsi 60 0/0 des graisses, mais il faut 0^{kg},300 d'acide par mètre cube coûtant 0 fr. 12 pour obtenir 0^{kg},65 de graisse ne valant guère plus, en sorte que l'opération n'est pas rémunératrice.

Le sulfure de carbone, la gazoline peuvent servir à une extraction plus complète des graisses, mais il faut des appareils compliqués et coûteux dans le détail desquels nous ne pouvons entrer ici : ils ne paraissent pratiques en somme que pour des eaux industrielles très chargées de graisses.

Procédé Delattre : convention récente. — Malgré ses difficultés, le problème vient cependant d'aboutir à une solution toute nouvelle. A la suite d'une longue série d'essais dans ses usines de peignage de laines, M. Delattre a passé avec les villes de Roubaix et Tourcoing une convention, d'après laquelle il s'engage à épurer toutes les eaux de l'Espierre, moyennant une subvention annuelle de 365 000 francs qui cesserait toutefois d'être allouée dès que la vente du vitriol et autres produits deviendra suffisamment rémunératrice.

Le procédé est déjà appliqué à l'usine Delattre, de Dorignies-lès-Douai, à la récupération par l'acide sulfurique des graisses des eaux de lavage des laines : il a été exposé par Aimé Girard dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement*. Les eaux de lavage sont d'abord conduites dans deux citernes profondes, munies de chicanes en bois, qui forcent le liquide à faire un grand parcours et à se débarrasser des sables entraînés. Elles sortent de ces citernes par décantation et sont amenées dans un grand réservoir en maçonnerie où se fait l'acidulation par $H^2 SO^4$: pour faciliter cette opération importante, l'eau rencontre avant d'arriver au réservoir une grande nappe d'acide qui coule sur une plaque de verre, et en outre la conduite porte des chicanes pour assurer le mélange. L'acide employé est étendu d'eau, à 20 ou 22° B., dans des bacs doublés de plomb avec agitateurs. La seconde partie de l'opération consiste dans la neutralisation de l'acide en excès par un lait de chaux : l'eau sortant par un déversoir du réservoir d'acidulation rencontre un lait de chaux préparé dans une cuve circulaire et va de là dans un nouveau réservoir spécial où la neutralisation s'achève, et au sortir duquel elle est limpide et peut être déversée à la rivière.

Pour récupérer les graisses, on arrête l'entrée de l'eau et on décante la partie claire du réservoir d'acidulation : une vanne placée au fond

fait écouler les boues dans un puisard profond, d'où une pompe les amène successivement dans deux monte-jus. Un jet de vapeur arrive dans le monte-jus et élève la température à 80°. Les boues d'écoulement du second monte-jus sont envoyées au filtre-pressé : dans leur passage dans cet appareil, elles entraînent 40 à 50 0/0 des graisses dans une citerne, où on n'a plus qu'à les recueillir par décantation, puis à les épurer à l'acide et à les laver à l'eau pure pour pouvoir les livrer au commerce. Les toiles des filtres-pressés retiennent des tourteaux dont on extrait encore 20 à 25 0/0 de graisses par la benzine : ces tourteaux broyés sont introduits dans une série de cylindres de 2 m de haut et 1 m de large où s'effectue un épuisement méthodique par un passage successif de la benzine pure allant des tourteaux les plus épuisés vers les nouveaux ; un jet de vapeur vaporise la benzine qui reste à imprégner les tourteaux, tandis que la benzine chargée de graisse va à la distillation et se régénère. Les tourteaux dégraissés forment un bon engrais. On extrait ainsi à Dorignies 520 tonnes de graisses par an (valant 120 à 150 fr. la tonne et on vend également l'acide sulfurique à l'état de vitriol.

Le nouveau système ne fonctionne pas encore à Grimonpont. Les opérations ci-dessus décrites y seront quelques peu simplifiées : la récupération des graisses se fera en une seule opération par simple épuisement au moyen de la benzine. M. Calmette, dans son article de la *Revue d'Hygiène*, du 20 mars 1901, propose de traiter le liquide qui sortira et qui suivant ses expériences contiendra encore 200 milligrammes de matières organiques par les procédés d'épuration biologique, et notamment par les lits bactériens de Dibdin un peu simplifiés : il faudra avoir soin de neutraliser l'excès d'acide sulfurique par la chaux, car sans cela il nuirait à la pullulation des bactéries.

C. — Procédés physiques

Nous avons déjà vu les essais de stérilisation des eaux-vannes par la chaleur, notamment à Lyon, Trouville, etc., etc. Faut-il encore citer : le procédé H. Baggeley (Londres), qui propose d'évaporer les eaux d'égout dans une série de chambres chauffées et d'extraire l'ammoniaque des vapeurs ; — le procédé Wagner et Müller, qui consiste à faire le vide dans les chambres où se trouvent simultanément des augets pleins de sewage et d'autres contenant de l'acide sulfurique, de sorte que l'ammoniaque s'évapore et s'unit à l'acide : — le procédé H. Stitz, qui distille également le sewage dans le vide produit par la condensation de la va-

peur, etc., etc. ? Tout le monde a compris qu'il est bien difficile de cuire, distiller ou évaporer les milliers de mètres cubes de sewage que donne quotidiennement une grande ville.

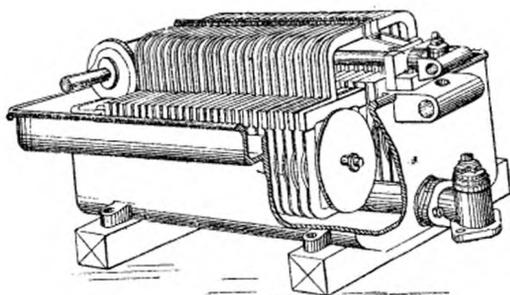
L'électricité a plus de chances d'application pratique et surtout plus d'avenir. Pour le moment on n'a encore essayé que les trois procédés Woolf, Hermite et Webster déjà cités à propos des eaux potables (pages 199, 200 et 210).

Le procédé Woolf était appliqué en 1896 à Brewsters (New-York) et à Danbury (Connecticut). A Brewsters, on prend 16 kg. de NaCl pour un mètre cube de sewage, et on soumet le mélange à un courant de 800 ampères sous 5 volts passant par une électrode positive de cuivre revêtu de platine et une électrode négative de charbon : l'électrozone ainsi préparé est déversé dans le collecteur. Le sewage traité deviendrait aseptique ou à peu près (8 à 40 germes au lieu de 20 000 à 32 000). A Danbury, le courant est de 1 000 ampères toujours sous 5 volts : pour une population de 16 550 habitants, la dépense par tête et par an serait de 1 fr. 50. C'est en somme une stérilisation par le chlore et ses dérivés, tout comme dans le procédé Bergé : Hargreaves a montré dans une communication à la Société Polytechnique de Liverpool (1896) comment au moyen des usines électriques d'éclairage (en les faisant travailler de jour), on obtiendrait à bas prix au moyen du sel marin du chlore ayant un grand pouvoir stérilisateur. (Il paraîtrait que le procédé Woolf a été employé en juillet 1899 à La Havane où on désinfectait contre la fièvre jaune et y a bien réussi : il serait revenu à 2 fr. 50 pour 1 000 gallons, soit 0 fr. 60 le mètre cube⁽¹⁾ !)

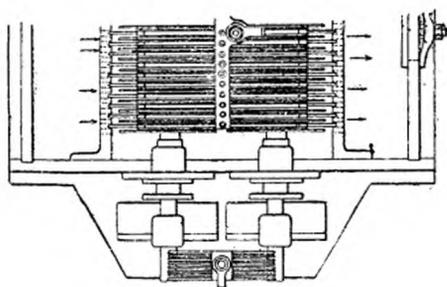
Le procédé Hermite a été essayé sur le sewage du Havre, de Lorient et de Brest (1893), de Nice, de Worthing et d'Ipswich (1894) : il est encore appliqué dans cette dernière ville. A la description de la page 210, nous ajouterons les dessins de l'appareil (fig. 220), lesquels nous étaient arrivés trop tard pour le chapitre des eaux potables. Le liquide à électrolyser arrive par le bas dans un tuyau percé de trous, puis traverse l'électrolyseur transversalement entre les disques tournants en zinc (électrodes négatives) et les plaques de platine maintenues dans des cadres en ébonite (électrodes positives) : les plaques de platines sont remplacées aujourd'hui par des ardoises percées de trous dans lesquels passe du fil de platine. Les couteaux-râcleurs sont en ébonite et nettoient les plaques de zinc par friction.

(1) D'après *Electricity de New-York* du 1^{er} novembre 1899.

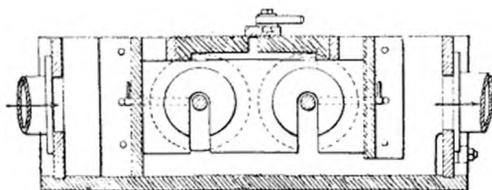
Les expériences de Worthing ont fait l'objet d'un rapport de Rœchling. Le courant agissant sur l'eau de mer était de 300 ampères sous 6 volts : il donnait en 2 heures 1/2 une teneur de 0^{gr},5 de chlore actif par litre



(a). Vue d'ensemble.



(b). Plan.



(c) Coupe transversale.

Fig. 220. — Appareil électrolytique Hermite.

dans 1000 lit. d'eau de mer, et en 5 heures 0^{gr},75. Mais ces solutions (du reste très instables), ni même celle de 1 gramme par litre, n'arrivent pas à stériliser un bouillon de culture de *bacillus subtilis* avec spores ; elles ne tuent le *colibacille* que si on les emploie aussitôt après leur fabrication et en quantité variant entre 2 et 5 fois celle du liquide à stériliser.

Il est bien entendu que l'intérieur des selles un peu dures n'est en

tout cas pas stérilisé : toutefois la désodorisation est assez parfaite. Les expériences de Klein à Londres, de Lambert ⁽¹⁾, des Commissions allemande ⁽²⁾ et française qui ont suivi le procédé au Havre ne sont pas plus favorables pour l'effet stérilisateur du procédé. Bref, il est loin d'être reconnu comme pratique, et il en est de même des tentatives faites par Jewell, Philipps, Newton, de Meritens, Fewson et Capron ⁽³⁾ pour l'améliorer.

Pour le *procédé Webster* (voir page 200), qui ajoute à l'électrolyse l'effet de l'oxyde de fer ou de l'hydrate d'alumine naissant, des expériences ont été faites également par Rœchling à Londres (Crossness) et à Salford. A Londres, le sewage a perdu 70 0/0 des matières organiques et 64,5 0/0 de l'ammoniaque organique ; à Salford où on faisait suivre l'opération d'une filtration, on obtint une réduction moyenne de 73,6 0/0 des matières organiques et 60,6 0/0 de l'ammoniaque, et le liquide traité ne se putréfiait pas. Au point de vue bactériologique, on a trouvé des réductions de 5 millions à 600 germes par centimètre cube. En 1891 (voir *Archiv für Hygiène*), Fermi rend compte des essais qu'il a faits pour déterminer l'action du courant électrique sur des liquides infects : on peut obtenir de bons résultats grâce à la double action de précipitation par l'oxyde gélatineux et de stérilisation par le chlore, mais la dépense à faire pour cela atteindrait 1 mark pour 100 lit., ce qui rend la chose impraticable. Enfin des expériences plus récentes de König et Remelè (*Archiv für Hygiène*, 1897) semblent prouver que le procédé n'agit guère que comme le traitement chimique par les composés du fer ou de l'aluminium : ici seulement ces corps sont constitués par le courant électrique, mais celui-ci revient généralement (sauf le cas d'une force naturelle) trop cher à produire.

Nous ne sachions pas qu'on ait appliqué jusqu'ici l'ozone aux eaux d'égout. On pourrait sans doute stériliser le sewage par l'ozone comme par le peroxyde de chlore ; mais y a-t-il intérêt à une stérilisation complète et surtout à l'addition d'antiseptiques, qui empêcheraient les microbes d'agir ultérieurement, suivant le mode naturel, en vue de la décomposition des matières organiques ?

Au moment même où nous écrivons ces lignes, nous recevons l'annonce du nouveau procédé dit *mangano-électrique* (The mangano-electric process, Paris) qui pourrait servir soit à la préparation de l'eau potable,

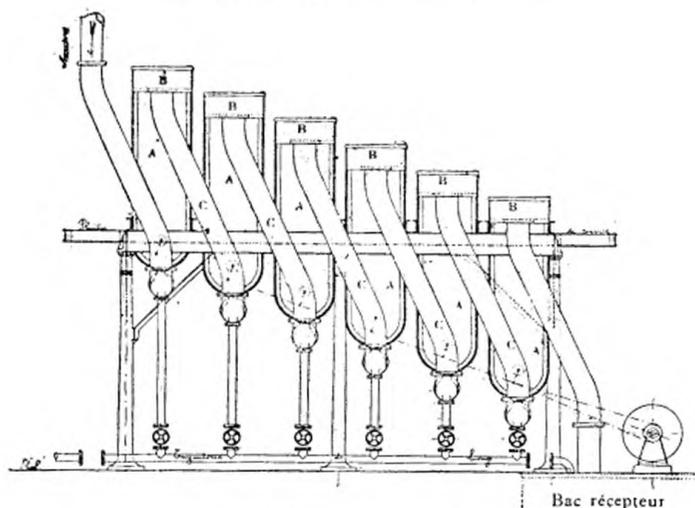
(1) *Bulletin de la Société chimique*, Paris 1894.

(2) *Chemisches Centralblatt* 1894 et *Chemische Zeitung*, 1894.

(3) La plupart de ces inventeurs ont pris des brevets en Angleterre

soit au traitement du sewage. Il consiste à traiter l'eau additionnée de manganate de chaux par un courant électrique (dont on ne donne ni le voltage, ni l'intensité) : sous l'influence du courant, le manganate se décompose, fournit son oxygène et produirait à la fois la stérilisation et l'épuration chimique. Le procédé est continu : il suffirait de calculer la capacité des électrolyseurs pour obtenir un contact de 6 minutes entre l'entrée et la sortie. L'application se fait au moyen de l'appareil représenté fig. 221 et décrit ci-après.

ÉLÉVATION COUPE SUIVANT AB



VUE EN PLAN DE LA BATTERIE.

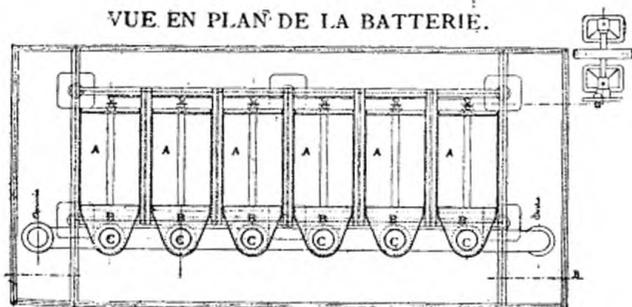


Fig. 221. — Appareil mangano-électrique.

Une série de bacs A, de faible section par rapport à leur hauteur, sont montés en cascade les uns à côté des autres, à leur partie supérieure ils sont munis d'un déversoir B, par le tuyau C, qui, se relie à la partie inférieure du bac suivant.

Les électrodes, en fer, sont suspendues dans les bacs et tous les groupes sont reliés en tension.

La circulation du liquide se fait de bas en haut à l'intérieur des électrolyseurs; de cette façon le mélange des matières (manganate et précipités organiques) ne peut retomber au fond des bacs, puisque la matière est toujours entraînée vers le haut.

L'installation comprend :

Un bac mélangeur, placé en charge sur la batterie d'électrolyseurs, pour l'addition du manganate de chaux ;

La batterie d'électrolyseurs dont nous avons parlé plus haut ;

Une batterie de filtres-presses pour recueillir les précipités organiques et en former des tourteaux ;

Une pompe pour refouler les eaux traitées dans les filtres, et enfin l'installation électrique.

La brochure évalue à 500.000 francs le coût d'une installation pour traiter 20000 m³ d'eau par jour, et le prix de revient varierait entre 13 et 25 millimes par mètre cube. Enfin elle cite des expériences (mais nous n'avons pu savoir par qui elles ont été faites) qui auraient porté sur l'eau de la Seine au Point du Jour et à Bougival, et sur le sewage arrivant à Achères : pour ce dernier, le traitement aurait ramené les matières organiques de 562 milligrammes à 40, le résidu sec de 791 milligrammes à 372 et le nombre des germes de 42 500 000 à 1 800.

D. — *Procédés terriens ou épuration par le sol.*

Nous arrivons à un procédé qui, comme l'auto-purification dans les rivières, est un procédé biologique naturel, c'est-à-dire qu'il met en jeu, outre l'action de l'air et de la lumière, l'action vitale des bactéries et autres organismes inférieurs pour décomposer la molécule organique complexe, la réduire en ses éléments simples et faciliter l'assimilation de ces éléments à de nouveaux êtres vivants qui les font rentrer dans le grand cycle universel : ce procédé, qui aboutit en somme à la *minéralisation* des matières organiques est donc complet. C'est ici le sol qui agit, tout d'abord en divisant le sewage entre ses pores, puis en le filtrant dans son cheminement de descente, enfin en servant de support aux races bactériennes successives ou simultanées qui travaillent aux décompositions et aux oxydations. De plus, le sol porte généralement des plantes qui utilisent les nitrates, la potasse et l'acide phosphorique produits et reconstituent des corps complexes : à côté de l'épuration se pose donc la question de l'*utilisation agricole*.

L'utilisation complète des produits du sewage est à peu près impossi-

ble pratiquement. Pour la réaliser il faudrait que les plantes absorbent tous les principes fertilisants de l'eau déversée et que par conséquent les volumes employés soient calculés d'après ces principes et non d'après la quantité d'eau qui convient à la végétation et qui est généralement beaucoup plus grande. Or, cela conduirait à des surfaces énormes, et de plus, même si on disposait de ces surfaces, il faut remarquer que les plantes s'incorporent des teneurs différentes des substances constitutives, en sorte qu'un dosage proportionné est irréalisable (1). En outre une grande difficulté résulte de l'irrégularité des exigences de la culture, qui n'a qu'une ou deux périodes d'activité dans l'année, tandis que la production du sewage est continue ou présente même (au moment des pluies dans le système unitaire) des exacerbations variables. Pour toutes ces raisons, l'utilisation n'est donc jamais que très partielle : au point de vue hygiénique pur, elle n'est du reste nullement indispensable, et l'on peut envisager un système d'épuration par le sol entièrement indépendant de la culture et du produit à en espérer. C'est justement là le système de la *filtration intermittente*, imaginé par Frankland et repris en Amérique dans ces dernières années, système dans lequel on ne cherche qu'à faire rendre au sol le maximum de volume épuré sur le plus petit espace possible : entre ce système et celui où l'épuration suit autant que possible les besoins de la culture et cherche à utiliser au mieux les produits du sewage, il y a tous les intermédiaires. Bref, s'il est naturel qu'une ville cherche à tirer le meilleur parti financier de son installation d'épandage, elle ne doit pas oublier que l'épuration est la principale affaire et qu'il ne peut être question de la subordonner à l'intérêt agricole ou pécuniaire : c'est pour cela qu'afin de rester maîtresses de la distribution en tout temps, les villes possèdent généralement un *domaine municipal* irrigable.

L'épandage agricole étant le plus ancien et en somme le plus répandu des modes d'épuration par le sol, c'est par lui que nous commencerons : on sait que Paris, Reims et Berlin montraient avec orgueil

(1) Ainsi un rendement de 10 000 kg. de pois à l'hectare emporte 450 kg. d'azote, 102 kg. de potasse et 117 kg. d'acide phosphorique, ce qui correspond comme azote à 11000 m³ de sewage parisien ; mais un rendement de 8000 kg. d'haricots n'exigera que 240 kg. d'azote, 117 kg. de potasse et 88 kg. d'acide phosphorique, en sorte qu'il suffira de 6000 m³ de sewage pour les lui fournir, tandis qu'un rendement de 49.000 kg. de navets demanderait 181 kg. d'azote, 225 kg. de potasse et 78 kg. d'acide phosphorique, soit 7 000 m³ de sewage pour lui fournir toute la potasse. Dans chacun de ces cas, il y aura un excès de deux éléments fournis, le calcul se faisant sur le troisième : à plus forte raison y aura-t-il une perte considérable si on déverse les 40.000 m³ prévus dans l'année.

à l'Exposition les modèles de leurs champs d'épandage. Le procédé a été appliqué très anciennement à Bunzlau (1559) en Allemagne, à Edimbourg (1760), aux *huertas* de la plaine de Valence (Espagne), aux prés marcites du Milanais, etc ; mais ce n'est que dans la seconde moitié du XIX^e siècle qu'il s'est développé sérieusement et a été suivi scientifiquement. Toutefois, il ne peut être appliqué partout et il faut se garder d'en faire une solution universelle : il est clair par exemple qu'on ne peut épandre le sewage d'une ville qui, par suite de l'abondance des eaux industrielles, contiendrait des composés chimiques nuisibles à la végétation ; il est clair aussi qu'il faut trouver dans le voisinage des villes à desservir des étendues de terrain irrigable (c'est-à-dire convenablement perméable) suffisantes et placées dans de bonnes conditions techniques (niveau, pentes, etc.) et économiques (prix d'acquisition ou de location, facilité de vente des produits, etc). On ne se prononcera donc pour ou contre l'épandage qu'après une étude raisonnée embrassant toutes les faces de la question et mieux après un essai fait en petit sur les terrains mêmes à utiliser.

Rien ne vaut en effet une expérience directe, non seulement pour apprécier la chance de réussite de l'opération, mais encore pour fixer les principales données du problème, très variables suivant la nature des terrains, le climat, et les autres conditions locales : ainsi, quel sera le meilleur mode de culture, quels seront les genres de plantes les plus propices, quelles seront les doses de sewage à donner par hectare à chaque espèce, les durées des intermittences, les variations avec les saisons, la profondeur des drains, etc., etc., autant de questions auxquelles un essai sérieux permettra généralement de répondre. Les exemples des installations déjà faites et qui fonctionnent bien seront évidemment des plus utiles, et dans chaque cas nouveau on se rapprochera de celui de ces exemples qui en est le plus voisin comme condition, notamment comme nature des terrains et comme nature du sewage : les exemples que nous allons citer, sont véritablement classiques et peuvent servir de modèle.

L'épandage agricole en France. — Paris et Reims ne sont pas les seules villes de France qui pratiquent l'épandage : la thèse du Dr Henrot fils, 1899, nous apprend que Montélimar et Poitiers épurent aussi méthodiquement leur sewage et que 27 autres villes plus petites (Rodez, Commeny, Salon, Château-Renard, Vic-sur-Cère, Ussel, Guéret, Revel, Yssingaux, Hasparren, Bruyères, etc.) déversent le leur dans les prairies plus ou moins complètement aménagées. — Lyon étudie un projet

que la fig. 141 nous a déjà fait connaître ; M. Résal propose l'installation de deux champs d'épandage dans les plaines graveleuses de Chassieux et de Corbas ; les parties hachurées sur la fig. 141 représentent 3700 hect. qui pourraient être facilement irrigués, mais naturellement on commencerait par beaucoup moins (800 hect. d'abord, dont 500 formant le domaine municipal, pour l'acquisition ou l'aménagement desquels M. Résal prévoit une dépense de 2560000 francs). — Dijon, Bordeaux, Tunis, Clermont-Ferrand ont aussi des projets à l'étude : à Rouen, les projets Gogear et Aimond prévoient des champs d'épandage, l'un dans la direction d'Oissel et l'autre le long de la route de Caen, mais nous avons vu que le projet Howatson leur faisait concurrence. Saint-Quentin a un projet préparé par la Compagnie des Eaux-vannes de Reims et qui était exposé par cette Compagnie.

L'épandage des eaux d'égouts de Paris. — Nous avons déjà conduit les 600 000 m³ du sewage parisien journalier par l'émissaire général, le collecteur du nord et les usines des Clichy, Colombes et Pierrelaye (voir p. 442 et fig. 128 à 132) jusqu'à l'entrée des champs d'épandage de Gennevilliers, Achères, Méry-Pierrelaye et Carrières-Triel. Pénétrons maintenant dans ces champs eux-mêmes dont l'ensemble forme une surface qui n'a pas moins de 5 000 hect. : voici la description officielle de chacun d'eux.

« **1° Gennevilliers** (fig. 222). — Le réseau de distribution comprend :

1° Des conduites maîtresses en maçonnerie ou en béton de 1^m,25 à 1 m de diamètre et un réseau de conduites de 0^m,60 à 0^m,45 de diamètre, représentant ensemble une longueur de 55 km.

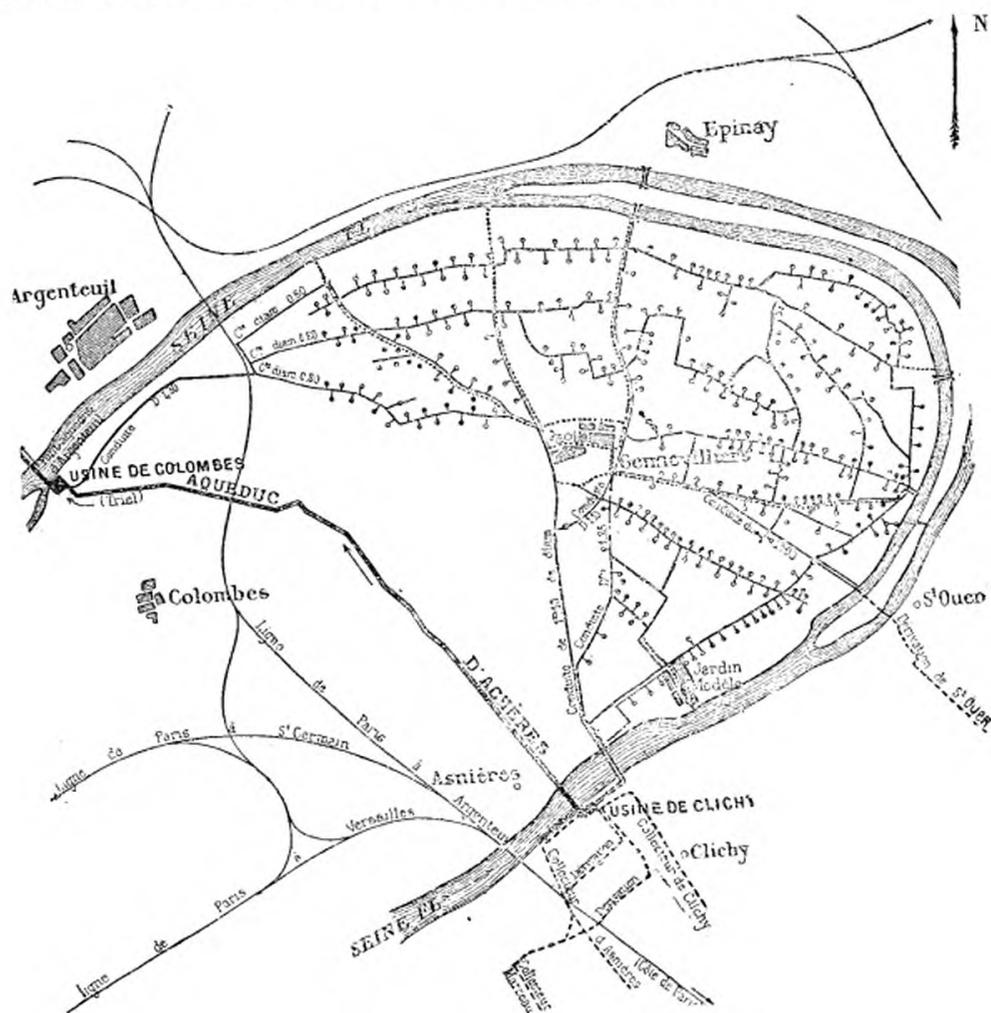
2° Des branches fermées par des clapets à vis, au nombre de 817, qui distribuent l'eau à la surface du sol. Les terrains à irriguer sont disposés par raies et billons, de manière que l'eau d'égout coule dans les raies et rigoles, imbibe la couche arable et baigne les racines des plantes sans couvrir le sol ni toucher les tiges et les feuilles ; c'est le système d'irrigation dit « *par infiltration* ».

Le *drainage* est destiné à recueillir les eaux qui se sont infiltrées à travers le sol et à empêcher l'élévation de la nappe souterraine. Il se compose de tuyaux perforés en béton de 0^m,30 et 0^m,45 de diamètre, placés à quatre mètres de profondeur environ au-dessous du sol, de manière à recevoir les eaux épurées pour les conduire à la Seine. La longueur totale des drains est de 11 908 m.

Grâce au réseau de drainage, la nappe souterraine reste à un niveau

peu élevé. La pureté des eaux de cette nappe, frappante au seul coup d'œil à la sortie des drains en Seine, est constamment vérifiée par les analyses.

Le poisson y vit parfaitement ainsi qu'on peut le constater dans la petite rivière du jardin de la ville, à Asnières, où coulent les eaux des drains des Grésillons avant de déboucher en Seine.



Echelle : $\frac{1}{62500}$ environ.

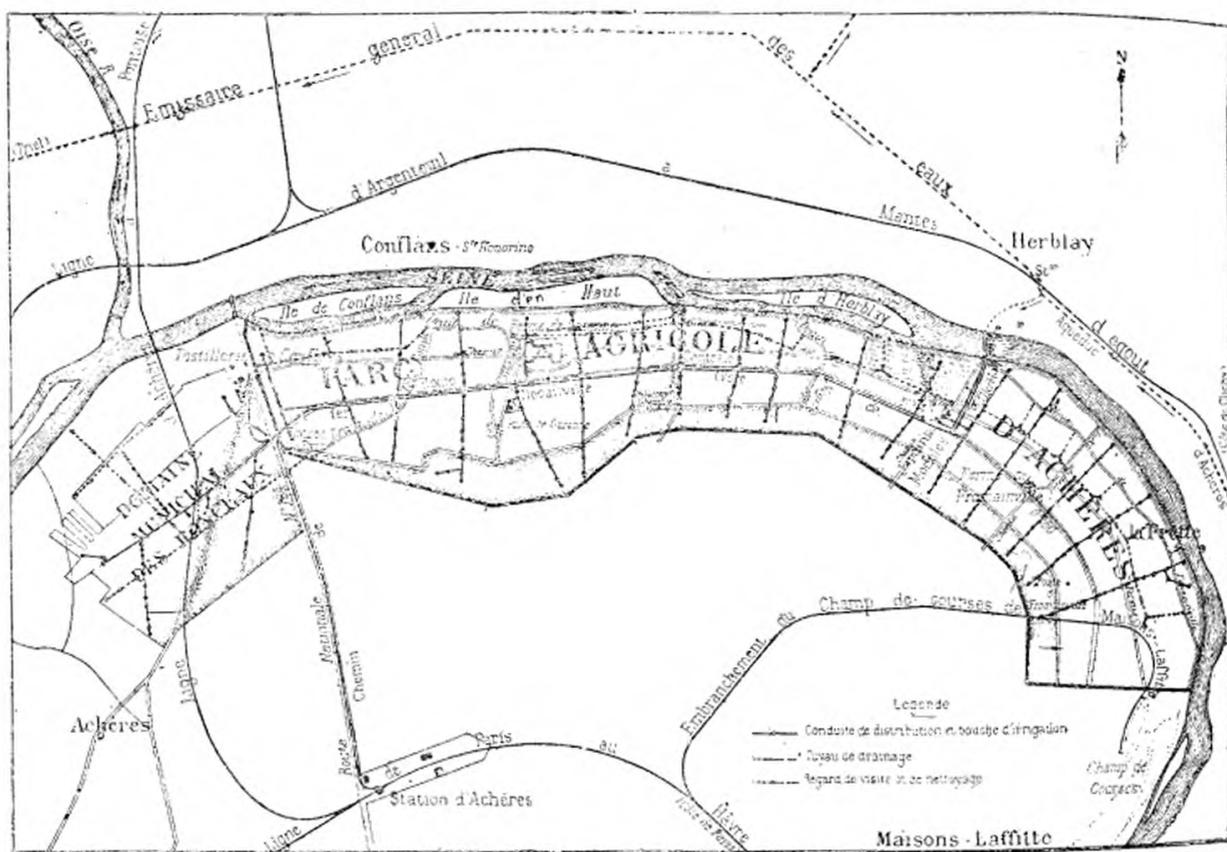
○ ○ ○ Conduites avec bouches d'irrigation.
 Drains.

Fig. 222. — L'épandage des eaux d'égout de Paris dans la presqu'île de Gennevilliers. Plan de canalisation et du drainage.

La surface irriguée a subi une progression croissante ; partie de 50 hect. en 1872, elle atteignait 295 hect. en 1876 : 450 en 1880 : 616 en 1884 : 715 en 1889 : elle est actuellement de 900 hect.. Cet accroissement témoigne suffisamment du succès de l'opération, car à Gennevilliers, l'usage de l'eau est absolument libre ; aucun cultivateur n'est obligé d'en prendre ; chacun peut en consommer autant qu'il lui

convient. La Ville n'a pas de terres, elle n'a que des clients, elle n'en trouverait pas si la culture à l'eau d'égout réussissait mal ou n'était pas lucrative.

2° Parc agricole d'Achères (fig. 223).— C'est l'extrémité du siphon d'Herblay qui marque le point de départ du réseau de distribution des eaux d'égout sur le domaine municipal désigné sous le nom de Parc agricole d'Achères.



Plan de la canalisation et du drainage.

(Echelle : 1,62500 environ).

Fig. 223. — L'épandage des eaux d'égout de Paris dans le parc agricole d'Achères.

Ce réseau comprend des conduites en ciment armé, de 1^m,10, 1^m,00, 0^m,80, 0^m,60, 0^m,40 et 0^m,30 de diamètre intérieur, constituées par des tuyaux en acier et ciment avec tube intérieur en tôle d'acier mince calculés pour supporter une pression de 40 m en service normal.

L'ensemble des terrains présentant la forme d'une longue bande de 10 km. de longueur sur un 1 km. de largeur, on a donné au réseau de distribution une disposition qui rappelle la forme d'une arête de poisson ; les conduites principales occupent la ligne médiane de cette longue

bande et les conduites transversales, espacées de 400 m en moyenne et sensiblement perpendiculaires aux conduites longitudinales, portent l'eau de chaque côté de cette ligne médiane jusqu'aux limites du domaine.

La surface totale a, d'ailleurs, été partagée en quatre zones distinctes, ou secteurs d'irrigations, pouvant être isolées chacune de la distribution générale au moyen de robinets-vannes de manière à faciliter et la réparation des conduites et la répartition des eaux.

Les conduites secondaires transversales de 0^m,40 et de 0^m,30 sont munies de distance en distance, aux points choisis pour la distribution des eaux, de tubulures de 0^m,30 de diamètre portant le branchement et la bouche d'irrigation qui est l'organe principal de la distribution.

Un certain nombre de ces bouches présentent une disposition différente du type courant avec clapet à vis (fig. 226 *a*) ; maintenues sur leurs sièges par des poids convenablement réglés, elles s'ouvrent automatiquement en cas de surpression et constituent ainsi une sorte de soupape de sûreté (fig. 226 *b*).

La longueur totale du réseau des conduites de distribution est de 33794 m.

Les bouches d'irrigation sont au nombre de 292, dont 21 automatiques ; leur espacement sur les conduites secondaires est de 75 à 100 m ; la surface desservie par une bouche de distribution est en moyenne de 3^{hect},40.

Dans le champ d'épuration d'Achères comme dans celui de Gennevilliers, les irrigations déterminent bientôt un relèvement de la nappe souterraine et, pour ne pas inonder les points bas de même que pour conserver une épaisseur filtrante suffisante, il est indispensable de s'opposer au relèvement de la nappe au moyen d'un drainage approprié. Dans son état naturel, la nappe présente une pente vers la Seine et y trouve son écoulement, mais elle doit traverser, pour y aboutir, une bande d'alluvions limoneuses peu perméables, de 100 à 200 m de largeur qui borde toutes les convexités de la rive et surmonte immédiatement les marnes peu perméables également du calcaire grossier supérieur, sans interposition de graviers anciens ; c'est cette bande qui, faisant obstacle à l'écoulement de la nappe, en provoque le relèvement.

Par suite, de drainage ne doit avoir d'autre objet que d'ouvrir aux eaux, à travers ce cordon limoneux, un débouche suffisant vers la Seine.

Les drains du parc sont à ciel ouvert ou couverts, c'est-à-dire en tuyaux.

Les premiers comprennent la noue de Fromainville, le drain d'Herblay,

le drain des Noyers, le drain de Garenne et le drain de la Tête Ronde : ils ont été disposés en partie pour l'agrément de la propriété et ont reçu l'aspect décoratif de rivières anglaises avec lacs et îlots artificiels, rocailles, petites cascades, passerelles.

Les abords du drain d'Herblay et du drain des Noyers sont aménagés en jardins anglais et les rives gazonnées sont complantées d'arbres, notamment de peupliers, jusqu'à la Seine, de manière à concourir à l'embellissement général du domaine.

Les drains couverts sont constitués par des files de tuyaux posés parallèlement à la Seine, à la limite des terrains d'alluvions limoneux et des sables, et formant pour ainsi dire la ceinture des terrains perméables.

Ces drains, en tuyaux de 0,40 de diamètre intérieur, sont placés à une distance moyenne d'environ 200 m de la rive gauche de la Seine avec laquelle ils communiquent par des drains transversaux d'un diamètre un peu plus grand (0^m,45) ; ils sont toujours placés à une profondeur minimum de 2^m,00 et recouverts de terre. Les tuyaux, d'une épaisseur de 0^m,045, sont en béton moulé et composé d'un mélange de ciment de la Porte de France et de ciment de Portland au dosage de 350 kg. par mètre cube de sable et de gravillon ; leur longueur est uniformément de 0^m,60.

L'ensemble du réseau de drainage représente une longueur totale de 20 km., dont 6^{km},300 de drains à ciel ouvert et 13^{km},700 de drains en tuyaux.

3° Champ de Méry-Pierrelaye (fig. 224). — La région de Méry-Pierrelaye, qui vient d'être canalisée, a un périmètre de 22 km. enveloppant une surface totale de 2 150 hect. dans laquelle on peut compter 1 800 hect. susceptibles d'être irrigués dès à présent.

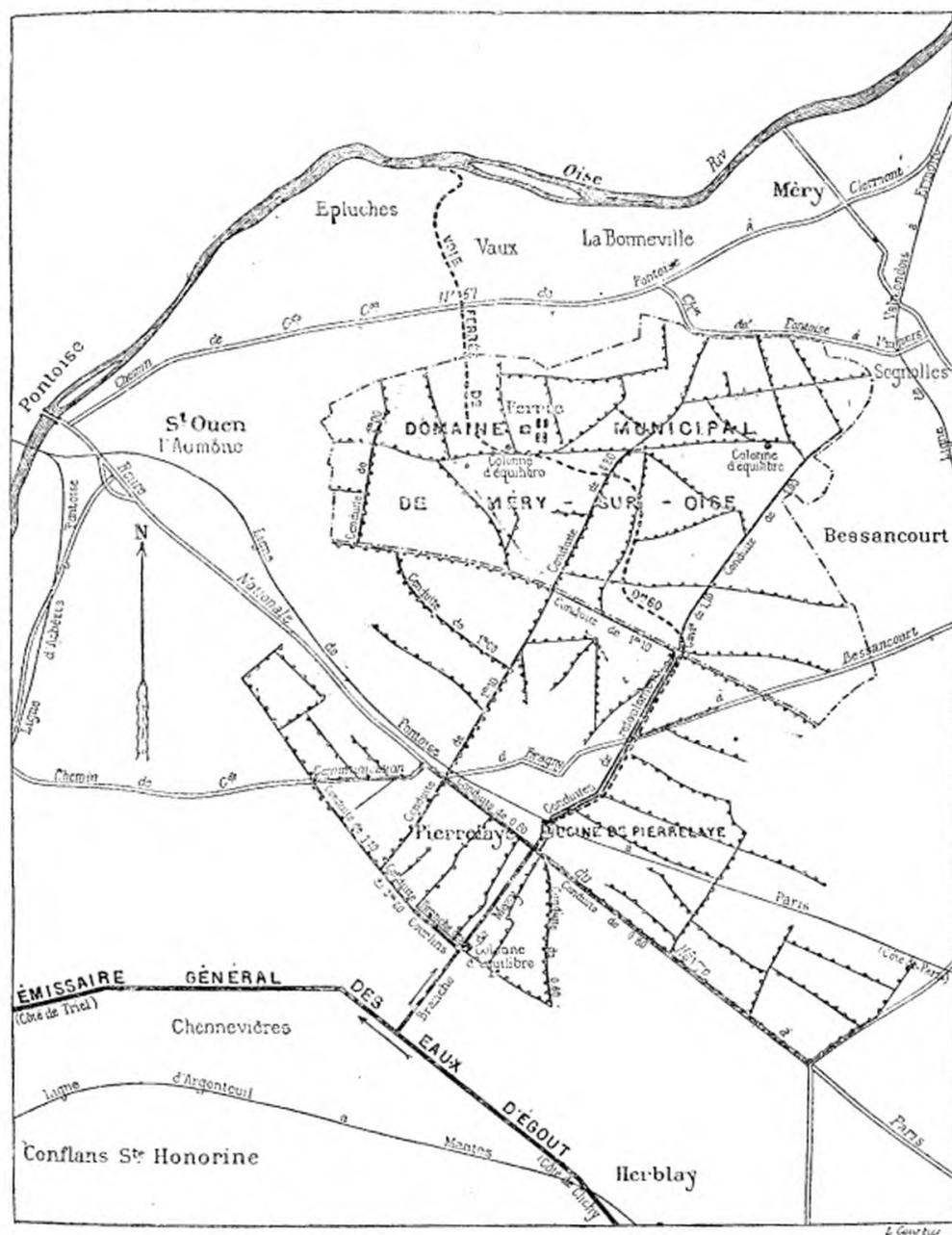
Dans la surface irrigable est compris le domaine de Méry-sur-Oise, appartenant à la Ville de Paris et qui a une surface de 520 hect.

L'installation s'étend sur tout le territoire de la commune de Pierrelaye et sur une partie du territoire des communes de Méry-sur-Oise, Saint-Ouen-l'Aumône, Frépillon et Bessancourt.

Sur une partie des terrains situés vers Saint-Ouen-l'Aumône et où l'altitude du sol est en contre-bas de l'altitude du plan d'eau dans la " Branche de Méry ", les eaux d'égout sont distribuées par simple gravitation.

Cette " zone basse " est commandée par la " Branche des Courlins " et comprend une surface d'environ 600 hect.

Tout le reste de la région est alimenté par l'usine de Pierrelaye et est divisé en trois zones de refoulement distinctes desservies chacune par une conduite de refoulement en fonte. [Huit robinets-vannes de 0^m,80,



Plan de la canalisation et du drainage. (Echelle 1/66000 environ.)

Fig. 224. — L'épandage des eaux d'égout de Paris dans le Champ de Méry-Pierrelaye.

placés dans le sous-sol de l'usine, permettent d'affecter à chaque refoulement une ou plusieurs machines suivant les besoins.

La conduite de refoulement desservant la " zone supérieure " a 4 000 m de longueur comprenant 2 350 m de conduite en fonte de 1^m,10 de diamètre et 1 650 m de conduite de 1 m de diamètre.

Celle desservant la " zone moyenne " a 3 000 m de longueur et 1^m,10 de diamètre.

Enfin celle qui dessert la " zone d'Herblay " n'a que 250 m de longueur et 1^m,10 de diamètre.

Ces conduites de refoulement ainsi que la " Branche des Courlins " alimentent un réseau de conduites de distribution en ciment armé ayant un développement total de 71 708 m depuis le diamètre de 2 m jusqu'à celui de 0^m,30.

La distribution sur les terrains se fait au moyen de 980 bouches.

L'isolement des zones, de même que l'isolement dans chaque zone de quelques conduites pour former des secteurs d'irrigation, a nécessité la pose de 41 robinets-vannes en fonte dont le diamètre varie de 1 m à 0^m,30.

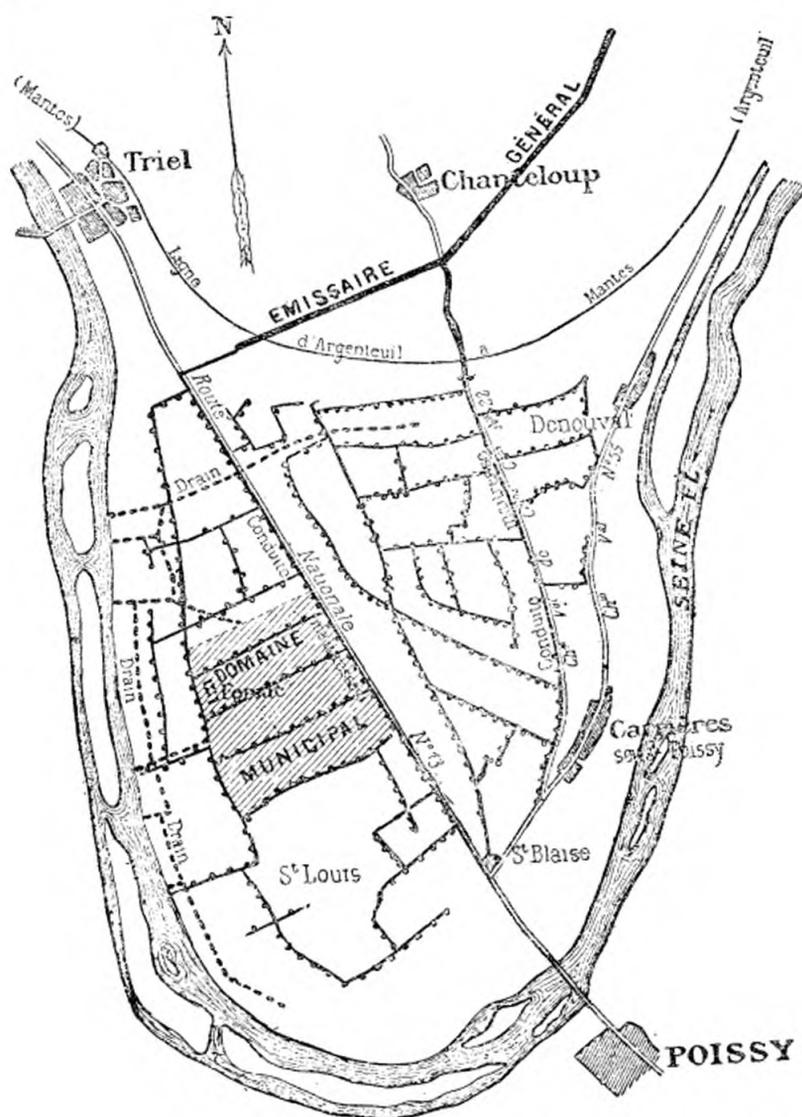
La sécurité du refoulement est obtenue au moyen :

1^o De 8 bouches automatiques.

2^o De 3 colonnes de déversement — 1 par zone de refoulement — formées de 2 tuyaux concentriques, en ciment armé, dont l'extrémité supérieure se trouve à l'altitude du maximum d'élévation de l'eau dans la zone correspondante. Si le refoulement atteint ce maximum, l'eau, qui a monté dans la colonne par le tuyau intérieur, se déversera par le tuyau extérieur dans la zone inférieure.

Par suite de la disposition géologique particulière des terrains de la région de Méry-Pierrelaye, qui n'ont pas l'homogénéité de ceux de Gennevilliers ou d'Achères et où les sables moyens ou de Beauchamp alternent avec les marnes du calcaire grossier recouvertes par le limon des plateaux, on n'a pu exécuter les travaux de drainage avant le commencement des irrigations ; la grande épaisseur et l'irrégularité de la masse perméable qu'ont à traverser les eaux d'infiltration ne permettaient évidemment pas de déterminer par avance la direction de leurs cheminements souterrains et il fallait attendre qu'on connût le régime qui allait s'établir pour fixer l'emplacement des drains. On est à peu près fixé maintenant sur ce régime et on exécute un ensemble de travaux destinés à conduire à l'Oise les eaux épurées de la nappe. Cet ensemble comprend deux collecteurs principaux à ciel ouvert, établis dans les vallées de Liesse et de Vaux qui pénètrent dans le plateau, et des drains en tuyaux pour l'assainissement des villages d'Epluches, de

Courcelles, de Bonneville et de Méry établis sur le bord de la rivière. De plus, la nature imperméable des terrains bordant les collecteurs de Liesse et de Vaux, nécessite l'établissement d'un réseau de drains analogues à ceux de la Brie, de petits diamètres, placés à faible distance du sol, et destinés à canaliser les eaux pour les ramener dans les collecteurs.



Plan de la canalisation et du drainage. (Echelle : 1/50 000).

Fig. 225. — L'épandage des eaux d'égout de Paris dans la presqu'île de Carrières-Triel.

4^o Champ de Carrières-Triel (fig. 225). — La presqu'île de Carrières comporte 950 hect. de terrains irrigables, dont 100 hectares seulement appartiennent à la Ville de Paris et constituent le

domaine des Grésillons, dans lequel une ferme a été récemment construite.

La canalisation de distribution est en tuyaux de ciment armé, système A. Bonna.

De Chanteloup, part une conduite de 1^m,25 et de Triel une conduite de 1 m qui desservent la partie haute et la partie basse de la plaine et se ramifient en conduites de 0^m,80, 0^m,60, 0^m,40 et 0^m,30 de diamètre. La longueur totale du réseau de distribution est de 46 283 m.

L'eau est distribuée par 650 bouches ordinaires et 22 bouches automatiques.

Afin de faciliter la distribution de l'eau et de régulariser cette distribution, la canalisation est divisée en 5 secteurs indépendants.

Des drainages ont été établis dans les parties basses de la plaine.

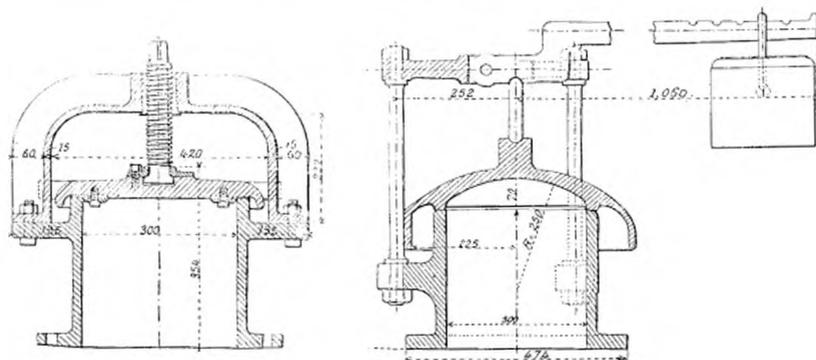
Ces drains sont formés de tuyaux de 0^m,60, 0^m,50 et 0^m,40 en béton moulé, représentant une longueur totale de 5 200 m.

De plus, un drain à ciel ouvert a été creusé sur 130 m, dans le domaine de la Ville, afin d'y faire ressortir la limpidité de l'eau épurée.

Des regards de visite et de nettoyage sont ménagés sur les drains à des distances moyennes de 200 m ».

Après cette description nous n'avons plus qu'à donner quelques détails complémentaires et à indiquer les résultats obtenus.

La fig. 226 fait voir les bouches d'irrigation soit à clapet à vis, soit



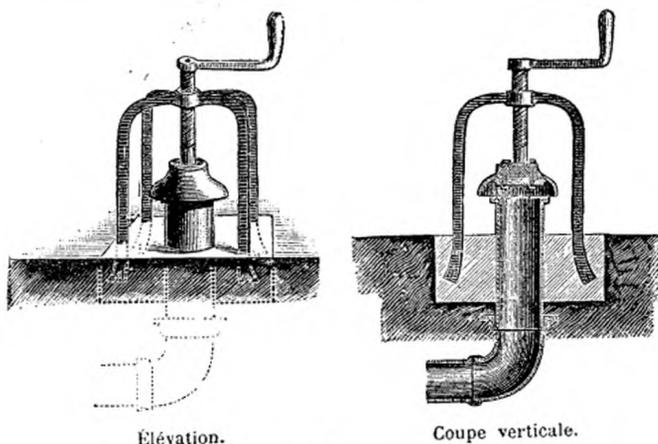
(a) Bouche à clapet à vis.

(b) Bouche d'irrigation automatique.

Fig. 226. — Bouches d'irrigation des champs d'épandage de Paris.

automatiques avec contrepoids dont il a été question plus haut. On utilise aussi des bouches de systèmes plus ou moins voisins, fournis par

quelques maisons sérieuses : la fig. 227 représente le système de la maison Flicoteaux. La fig. 228 celui de la maison Geneste-Herscher (la bouche est au milieu d'un petit bassin de distribution).



Élévation.

Coupe verticale.

Fig. 227. — Bouche d'irrigation Flicoteaux.

D'après l'article 4 de la loi du 4 avril 1889, la quantité d'eau qui peut être versée sur les champs d'épuration ne doit pas dépasser 40 000 m³ par hectare et par an : cela correspond à une nappe d'eau de 0^m,011 répandue chaque jour sur toute l'étendue des terres irriguées. D'ailleurs, l'eau n'est pas distribuée d'une manière continue ; au contraire, l'irrigation est systématiquement intermittente, ce qui est la condition essentielle du bon fonctionnement du système. Tout le débit d'une journée est concentré sur une partie de la surface ; le lendemain c'est une autre partie qui est arrosée ; puis une troisième, et ainsi de suite, de manière qu'il n'y ait jamais, à un moment donné, plus d'un quart de la superficie totale qui soit soumis à l'épandage, et que l'eau ne revienne au même point que tous les quatre ou cinq jours, suivant la nature des cultures.

Les quantités déversées varient beaucoup suivant cette nature. A Gennevilliers où l'irrigation est entièrement libre et où il s'agit surtout de cultures maraîchères, l'expérience des cultivateurs a réglé d'elle-même les quantités. D'après le compte administratif de l'exercice 1899, on y a employé en 1899 moyennement 54 446 m³ par hectare et par an répartis comme suit : oignons et divers, 5 000 m³ ; pommes de terre, asperges, pois, haricots, 8 950 m³ ; carottes, salades, épinards, betteraves, 14.000 m³ ; choux, céleri, poireaux, 20 780 m³ ; oseille, persil,

pépinières, 38 000 m³; artichauts, 42 000 m³; luzerne, 133 000 m³;

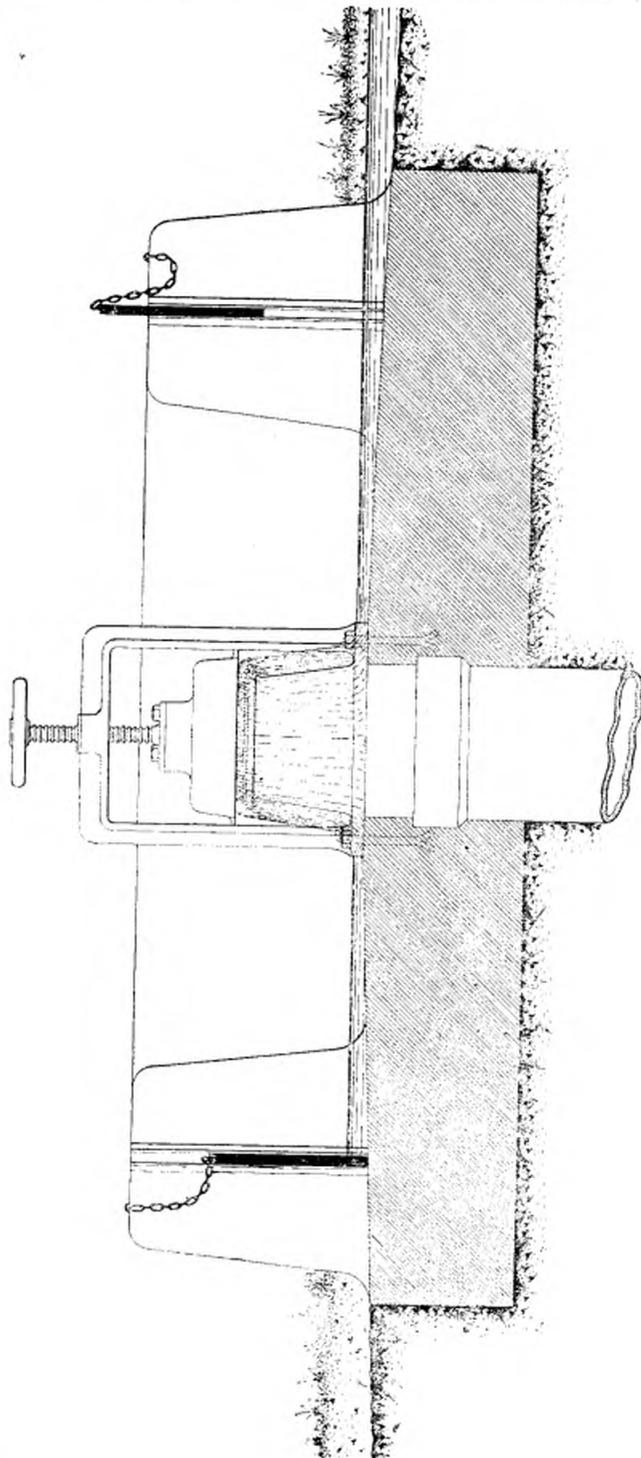


Fig. 228. — Exemple d'installation d'une vanne Geneste-Herscher dans un bassin d'irrigation.

prairies naturelles, 156 445 m³. Ce sont donc là des *doses culturales pratiques*, et il semble qu'elles correspondent aux exigences, en eau,

des différentes plantes dans les sols graveleux des méandres de la Seine. Pour les 900 hect. de Gennevilliers, le rendement moyen net a été de 2 450 francs : quant à la ville, le service de distribution dans la plaine lui a coûté 91 856 francs.

Le parc agricole d'Achères (domaine municipal de 1 000 hect. qui sert en quelque sorte de régulateur aux irrigations de Méry et de Carrières) a reçu en 1899 un cube total de 59 177 130 m³, soit en moyenne 59 177 m³ par hectare (minimum de 2 812 065 m³ pour le mois de janvier et maximum de 6 778 085 m³ pour le mois de septembre). Ce cube dépasse les 40 000 m³ prévus, ce qui tient à ce que cette année-là les cultivateurs de Méry et de Carrières étaient encore hésitants et prenaient peu d'eau, en sorte que le surplus devait être déversé sur Achères — ce qui, du reste, a été sans inconvénient, ainsi que l'a reconnu la Commission de contrôle. Ici, ce sont les betteraves industrielles qui dominent (135 hect. à la ferme de Fromainville, 266 hect. à celle de Garenne et 102 hect. à celle des Fonceaux, soit ensemble 504 hect.), et on leur a fourni 79 187 m³ par hectare : elles ont donné un rendement de 34 000 à 42 150 kg. à l'hectare. Les céréales (37 hect.) ont reçu 23 128 m³ à l'hectare et produit 42 à 46 hectolitres d'avoine à l'hectare. Les cultures maraîchères (148 hect.) ont de leur côté absorbé 91 524 m³ à l'hectare et produit 12 000 kg. de pommes de terre, 6 à 7 000 kg. de pois, 22 à 23 000 têtes de choux, etc. Enfin les prairies naturelles et artificielles et fourrages verts (100 hect.) ont reçu de 33 à 38 000 m³ par hectare. Le compte ne donne pas en argent l'évaluation du produit des trois fermes : la dépense faite par la ville pour la distribution est de 111 308 fr., soit 0^f,0019 par mètre cube, comme à Gennevilliers.

Dans les champs de Méry-Pierrelaye (de plus de 2 000 hect.), les eaux n'ont été distribuées régulièrement qu'à partir de mai 1899, et seulement sur les 500 hect. du domaine municipal de Méry et sur 200 hect. de terrains particuliers : pour les huit derniers mois de cette année, on a déversé 17 millions de mètres cubes sur ces 700 hect., ce qui correspond à une dose de 36 087 m³ par hectare. Les rendements restent inférieurs à ceux d'Achères, mais cette première année ne peut être regardée que comme une année d'essai. Le rapport du 21 décembre 1899 de la Commission de contrôle rend compte des difficultés du début, lesquelles provenaient de la nature géologique du plateau dominant la vallée de l'Oise : l'eau traversant trop rapidement les fissures du calcaire grossier, est allée renforcer la nappe située à sa base et sortir, soit en renforçant les émissions anciennes (sources), soit en en créant de nou-

velles, à flanc de coteau dans la falaise tournée vers la rivière : comme l'eau n'était pas suffisamment filtrée, quelques puits et sources ont été contaminés. Comme nous l'avons vu plus haut, la ville a fait le nécessaire pour conduire à l'Oise les eaux surabondantes : elle a également distribué de l'eau potable aux populations intéressées. Depuis lors l'eau des drains est limpide et sans odeur, et si on ne peut la dire potable, on peut du moins affirmer qu'elle ne souille pas l'Oise, plus du moins que cette rivière ne l'est déjà elle-même. Cet exemple n'en montre pas moins le danger de jeter des eaux d'égout sur des terrains *perméables en grand*, comme les calcaires, alors que la couche de terre végétale supérieure est d'épaisseur insuffisante.

A Carrières-Triel, les irrigations n'ont commencé qu'en septembre 1899 ; on a déversé pour les quatre derniers mois 17 500 000 m³, correspondant à un peu plus des 40 000 m³ par hectare. Le relèvement de la nappe souterraine a également amené quelques accidents dans les villages. Denouval et Carrières sont situés sur une bande étroite de calcaire grossier qui longe et domine la Seine à l'Est de la presqu'île : or, la nappe souterraine, arrêtée par cette bande, a siphonné dans les sables du Soissonnais situés au-dessus du calcaire, et est remontée de l'autre côté, envahissant les puits et les caves des maisons bâties sur le versant regardant la Seine. L'envahissement ayant été brusque, quelques puits se sont effondrés, et les eaux sont sorties troubles et nauséabondes : ce trouble n'a pas persisté, et par l'exécution de rigoles de drainage, la ville a fait baisser le niveau de la nappe, en sorte que le régime normal de l'épandage est aujourd'hui établi.

En général, l'irrigation se fait par *infiltration*, c'est-à-dire que l'eau coule dans les rigoles entre les planches horizontales qui portent les plantes : celles-ci ne sont donc ni submergées, ni aspergées, et elles ne touchent l'eau d'égout que par leurs racines. (L'assertion récente de Metchnikoff, d'après laquelle la consommation des légumes de Gennevilliers et d'Achères aurait fait augmenter la fréquence de l'helminthiase et par suite de l'appendicite à Paris nous paraît dès lors bien téméraire). On ne fait de déversement superficiel que sur les prairies naturelles. Quant à la période d'hiver, où la culture n'a plus besoin d'eau, on utilise le sewage à fertiliser par des *limonages* des terres nues destinées aux ensemencements de printemps : on évite également toute mare stagnante en procédant par rigoles et non comme à Berlin (où du reste cette pratique tend à disparaître) par submersion. L'irrigation peut très bien se poursuivre par les temps de forte gelée et sous une

couche de glace, ainsi que l'a montré M. Launay pendant l'hiver rigoureux de 1894-95 (1) et que cela se voit également à Berlin : la température plus chaude des eaux d'égout facilite même certaines opérations et préserve certaines plantes de la gelée.

La grande œuvre de libération de la Seine entreprise par la Ville de Paris est donc arrivée à son terme. (Il reste toutefois au département de la Seine à la compléter, en épurant les eaux d'égout des communes suburbaines, Saint-Cloud, Versailles, etc. ; il y songe, car un projet évalué à 12 millions a été préparé et une loi a été demandée pour permettre l'épuration terrienne du sewage de ces localités ; de plus l'aménagement agricole de deux domaines, à Créteil et Aulnay-les-Bondy, a été mis à l'étude). Financièrement parlant, l'opération est coûteuse et nullement rémunératrice. On peut estimer les frais de premier établissement à 45 millions (dont 6 millions pour l'opération ancienne de Gennevilliers, 15 millions pour celle d'Achères terminée en 1893 et le reste pour les extensions récentes. Quant aux frais annuels d'exploitation (entretien des ouvrages, fonctionnement des usines, personnel de distribution et de direction), ils se montent à 1 875 000 fr., en regard desquels on ne trouve comme produit que le prix des fermages des domaines municipaux ; tout au plus peut-on espérer que ce prix arrive à couvrir, comme à Berlin, les frais spéciaux de la distribution et de l'entretien des ouvrages correspondants.

L'utilisation des matières fertilisantes contenues dans l'eau d'égout est loin d'être considérable, car elle ne paraît pas dépasser 10 à 12 0/0. D'après une étude de M. Vincey (2) portant sur l'année 1893 à Gennevilliers, un hectare aurait reçu, avec la dose moyenne de 44 819 m³ d'eau d'égout, 3 138 kg. d'azote, 1 271 kg. d'acide phosphorique et 1 407 kg. de potasse : or, les récoltes auraient enlevé seulement 173 kg. d'azote, soit 7 0/0, 126 kg. d'acide phosphorique, soit 10 0/0, et 239 kg. de potasse, soit 17 0/0. — ce qui fait en moyenne une perte de 89 0/0 des matières fertilisantes passant dans les eaux de drainage, et on conçoit qu'il y aurait grand intérêt sous ce rapport à faire servir ces eaux de drainage à de nouvelles irrigations. On voit par là que pour utiliser tous les principes fertilisants du sewage parisien, il faudrait en chiffre rond qu'il soit dix fois plus dilué, ou qu'on arrose des surfaces dix fois

(1) Voir note de M. Launay dans la *Revue d'Hygiène* du 20 mai 1895.

(2) P. Vincey : Communication faite à la Société des Ingénieurs civils de France. — Voir un extrait de cette communication, intitulé : « L'Épuration terrienne des eaux d'égout » dans le numéro du 20 novembre 1899 de la *Revue d'Hygiène*.

Epuration de l'eau d'égout de Paris par l'irrigation.

EAU D'ÉGOUT BRUTE						EAU ÉPURÉE					
DATES des prélèvements	DEGRÉ hydroti- métrique total	Matière organique	AZOTE		Bactéries par cm ³	DATES des prélèvements	DEGRÉ hydroti- métrique total	Matière organique	AZOTE		Bactéries par cm ³
			nitrique	ammo- niacal					nitrique	ammo- niacal	
I. — Bassin de dégrossissage de Clichy.						I. — Région de Gennevilliers : Drain d'Asnières.					
19 Janvier 1900	n'a pas été déterminé	27,0	3,2	8,2	"	2 Février 1900	77	4,4	47,8	0	6 125
16 Février »		29,1	3,6	6,3	4 750 000	4 ^{er} Juin »	66	4,5	28,5	0	250
16 Mars »		24,2	3,0	8,2	41 500 000	26 Octobre »	62	4,4	30,0	0	4 280
13 Avril »		39,6	3,6	25,7	34 500 000	18 Janvier 1901	71	4,4	29,4	0	250
18 Mai »		33,9	3,2	12,9	78 160 000	III. — Région d'Achères : Drain d'Herblay.					
8 Juin »		33,6	3,5	11,4	58 000 000	16 Février 1900	49	4,4	48,7	0	125
10 Juillet »		28,1	3,0	11,0	203 296 000	13 Juillet »	56	4,4	27,9	0	3 000
17 Août »		27,2	2,7	13,7	40 200 000	12 Octobre »	53	4,4	24,6	0	125
14 Septembre »		28,8	3,0	15,3	34 000 000	25 Janvier 1901	53	4,7	45,1	0,7	250
12 Octobre »		24,0	2,8	12,3	62 565 000	III. — Région de Méry-Pierrelaye : Drain de Vaux.					
16 Novembre »		"	3,2	12,4	71 392 000	23 Février 1900	36	4,0	40,7	0	425
20 Décembre »		37,4	4,9	12,8	90 500 000	20 Avril »	35	0,8	7,3	0	375
4 Janvier 1901		27,9	2,5	14,3	81 250 000	22 Juin »	35	0,8	40,8	0	4 125
13 Février »		35,6	0	12,0	280 480 000	24 Août »	38,4	0,6	7,2	0	8 750
II. — Chambre terminus à Triel.						20 Octobre »	38	0,9	11,3	0	3 425
20 Avril 1900		37,8	2,6	32,4	133 000 000	15 Décembre »	40	4,3	12,9	0	2 850
8 Juin »		43,9	3,7	23,8	très nombreuses	8 Février 1901	38	4,0	44,5	0	425
12 Octobre »		33,7	2,6	23,2	68 500 000	IV. — Région de Carrières-Triel : Drain de Denouval.					
20 Décembre »		42,5	4,9	26,4	32 500 000	19 Janvier 1900	43	0,6	42,8	0	500
4 Janvier 1901		41,4	2,5	28,3	200 953 000	6 Avril »	43	0,6	46,4	0	425
15 Février »		47,2	0	28,2	35 400 000	1 ^{er} Août »	44	0,6	45,5	0	20 875
						23 Novembre »	38	4,0	46,6	0	500
						18 Janvier 1901	42	0,6	47,2	0	425

plus étendues (mais dans ce dernier cas on ne donnerait plus assez d'eau à la plupart des cultures); à Berlin, où on arrose avec des doses trois fois moindres qu'à Paris, la perte est cependant à peu près la même parce que le sewage est presque trois fois plus concentré. C'est du reste la perméabilité des terrains qui fixe la dose, et non le désir d'obtenir un coefficient d'utilisation agricole plus élevé. (Si on ne voulait pas perdre d'azote, par exemple, il faudrait donner à 1 hect. seulement 350 kg. d'azote, soit le produit correspondant à 100 habitants, ce qui exigerait des surfaces énormes).

Les résultats de l'épuration elle-même sont au contraire très brillants. Voici les analyses de 1900 que le service de Paris a bien voulu nous communiquer : ces chiffres se passent de commentaires, et on y voit très bien notamment le passage de l'azote ammoniacal à l'état d'azote nitrique (page 630).

L'épandage à Reims date de 1887. Après divers essais de traitement chimique (procédé aux lignites alumineux des environs, procédé Holden, procédé Houzeau et Devedeis, procédé Knab aux phosphates naturels, procédé Lechâtelier aux pyrites de Picardie), la Ville traita avec la Compagnie des Eaux-Vannes (filiale de la Compagnie générale des eaux de Paris). Le contrat est fait pour 36 années : la Compagnie doit épurer toutes les eaux d'égout, et pour cela elle a dû fournir une partie des terrains nécessaires, installer les machines élévatoires, les bassins de réception, les conduites de distribution, etc. La Ville, de son côté, a fourni 150 hect. de terrain, puis quand la moyenne de 40 000 m³ par jour a été dépassée (en 1893), 33 nouveaux hectares; elle paie à la Compagnie une redevance de 0 fr., 0045 par mètre cube d'eau épurée, avec un maximum de 66.000 francs. Ce maximum a été atteint en 1894, époque où le volume journalier moyen était de 46 150 m³; depuis lors, par suite d'une très forte réduction dans l'apport des eaux industrielles, le volume est retombé à 35 ou 36 000 m³ et la redevance annuelle de la Ville aux environs de 58 000 francs.

Outre les 183 hect. fournis par la Ville, la Compagnie des Eaux-Vannes irrigue 397 hect., soit en tout 580 hect., qu'elle loue à un fermier unique moyennant un prix assez élevé. Ce domaine et sa situation par rapport à Reims sont représentés par la fig. 229. Le sewage y est amené par les deux grands aqueducs que nous avons vus précédemment (page 392) : l'un reçoit les eaux de la partie haute de la Ville et aboutit à une chambre de répartition permettant d'irriguer tout ce qui est au-dessous de la cote 78.50; le second aboutit au bassin de réception (de

2 500 m³ de capacité) des machines élévatoires, dont le radier est à la côte 73.40. Les machines élévatoires sont au nombre de quatre, trois avec pompes à pistons plongeurs, la quatrième avec pompes centrifuges.

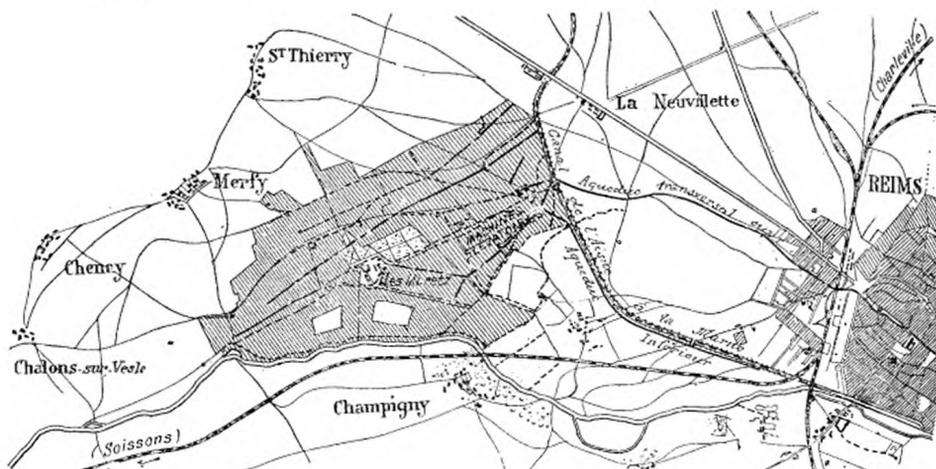


Fig. 229. — Plan des champs d'épandage de Reims.

Les champs d'épandage sont divisés en trois zones : la zone supérieure, alimentée par les eaux de l'aqueduc inférieur relevées par les machines ; la zone moyenne desservie par les eaux de l'aqueduc supérieur ; et la zone inférieure qui reçoit le trop-plein des deux aqueducs. Du bassin de réception, les machines refoulent dans une chambre d'équilibre en béton de ciment située à 900 m de distance de l'usine et à 11^m,50 au-dessus du sol : de cette chambre partent de conduites en fonte répartissant les eaux dans la zone supérieure, laquelle a une canalisation entièrement en fonte d'environ 11 km. de longueur. — La zone moyenne a des tuyaux en béton, qui font suite aux deux conduites en béton de 0^m,80 résultant de la bifurcation de l'aqueduc supérieur (de 1^m,20) : le réseau de cette zone est de 9 km. de développement. — Enfin, la zone basse a également une conduite principale en béton de 0^m,80 de diamètre, avec un réseau principalement formé de rigoles à ciel ouvert sur 10 km. de longueur.

Les prises d'eau sont au nombre de 120. Elles se font généralement par des petits bassins, au milieu desquels émerge un siphon vertical de 0^m,30 (voir fig. 228), et d'où partent plusieurs rigoles secondaires. Sauf pour les prairies et les céréales qui admettent la submersion, l'irrigation se fait comme à Paris par raies et billons. Le système a dû être

complété par des drains, représentant une longueur de 13 km., destinés à abaisser le niveau de la nappe souterraine et à évacuer les eaux épurées dans la Vesle.

Les doses déversées ont atteint en 1897 jusqu'à 43 600 m³ par jour, mais elles ne sont plus en 1899 que de 38 200 m³, chiffre correspondant à 24 059 m³ par hectare et par an. Les différentes cultures de l'exploitation des Maretz ont reçu pendant les trois dernières années les quantités ci-après :

Betteraves industrielles, par hectare et par an.		37 000 m ³
Prairies, choux, artichauts	id.	18 000
Céréales	id.	6 000

La Compagnie des Eaux-Vannes exposait ensuite des tableaux et graphiques, montrant les quantités d'eaux épurées depuis 1887 (il n'y a pas eu un seul jour d'arrêt depuis le début, même par les plus fortes gelées), les rendements obtenus à l'hectare pour les principales cultures (40 200 kg. de betteraves, 3 600 kg. de blé et 3 200 kg. d'avoine, au lieu de chiffres qui étaient à peine moitié avant l'irrigation), enfin les prix de revient comparés pour l'épuration dans différentes villes d'Europe. En somme, la ville de Reims ne paie en totalité que 0^f,0093 par mètre cube épuré, tandis qu'à Londres l'épuration coûte 0^f,015, à Francfort et à Huddersfield 0^f,017. Nous regrettons de ne trouver aucun tableau indiquant le degré d'épuration chimique et bactériologique.

La notice de la Compagnie des Eaux-Vannes se termine par une description sommaire du projet qu'elle avait dressé pour *Saint-Quentin* et qui n'a pas encore abouti. Il s'agit d'un volume journalier de 12 000 m³ de sewage, qui serait déversé sur 200 hect. de terrain (prairie marécageuse), situés au Sud-Ouest de la ville, dans la haute vallée de la Somme : ces terrains devraient être d'abord aménagés, en vue de leur dessèchement, par une dérivation de la Somme. La Compagnie demande à la Ville de fournir les terrains et de payer une redevance annuelle de 25 000 francs pendant les 50 années de durée du traité.

II. — L'ÉPANDAGE AGRICOLE EN ALLEMAGNE.

C'est Dantzig qui a installé le premier *Rieselfeld* de l'Allemagne : dès 1871, cette ville envoya son sewage sur les dunes de Heubude (il faut reconnaître qu'elle ne pouvait vraiment le jeter dans le bras mort

de la Vistule qui lui est resté), où elle a actuellement un champ de 500 hect. recevant moyennement 15 425 m³ par hectare. Berlin, empêchée de déverser dans la Sprée, créa ses magnifiques champs d'épandage, les plus vastes du monde, dès 1879; Breslau commença en même temps, Fribourg en Brisgau en 1889. Une douzaine d'autres villes les imitèrent : à citer tout d'abord les localités de la banlieue de Berlin, Charlottenburg, Wilmersdorf, Schöneberg ⁽¹⁾, Steglitz, Rixdorf, Weissensee; puis Mulhouse, Darmstadt, Worms, Liegnitz, Magdeburg ⁽²⁾, Brunswick ⁽³⁾, Neunkirchen et quelques autres moins importantes.

La fig. 143 nous a déjà montré l'ensemble des champs d'épandage de la capitale germanique. On voit qu'ils sont répartis en deux groupes, l'un au Nord-Est à 3 ou 4 km. de la ville, l'autre au Sud à 12 km. environ. L'ensemble forme un domaine municipal de 11 503 hect., dont 7 019 hect. exploités directement en régie par la ville, 1 233 hect. affermés et le reste (soit 3 251 hect.) encore sans rendement; sur cette surface, 6 124 hect. ont été préalablement aménagés (*apptiertes land*).

Voici la superficie des six districts et la correspondance avec les systèmes radiaux qu'ils desservent :

		SURFACES	Systèmes radiaux correspondants
		Hectares	
1 ^o	District d'Osdorf.	4 229, 4	I, II et VI en partie.
2 ^o	— de Grossbeeren.	4 766, 7	I, II, III, VI et VII en partie.
3 ^o	— de Sputendorf.	2 082, 5	III et VII en partie.
4 ^o	— de Falkenberg.	4 626	V et XII.
5 ^o	— de Malchow.	4 883	IV.
6 ^o	— Blankenfelde.	4 956, 5	VIII, IX et X.
7 ^o	Nouveau district de Buch (biens seigneuriaux non encore irrigués)	4 239	»
Total.		11 502, 8	

Toute cette surface de 11 500 hect. n'est pas chaque année effectivement irriguée; dans l'année 1899-1900 (1^{er} avril), les cubes déversés et les surfaces qui les ont reçus ont été les suivants :

(1) Les trois localités de Schöneberg, Friedenau et Wilmersdorf viennent de s'entendre pour exécuter un projet d'ensemble pour leurs égouts. Ce projet élaboré par Brix s'élève à 25 millions de marks. Un traité est passé avec Charlottenburg pour envoyer tout le sewage aux champs d'épandage de Gatow, mais il n'entrera en vigueur qu'en 1905.

(2) Magdeburg a un champ d'épandage de 1 000 hect. recevant 15 111 m³ par an et par hectare, soit 1 hect. pour 230 habitants.

(3) Brunswick a un champ d'épandage de 450 hect. recevant 16,754 m³ par an et par hectare, soit 1 hect. pour 255 habitants.

Noms des districts	SURFACES irriguées (domaines municipaux) hectares	Usagers particuliers		Volumes d'eau d'égout utilisés (en tout) m ³	Volumes moyennés utilisés par hectare et par an m ³	NOMBRE de gardiens	Surface confiée à un gardien hect.
		Nombre d'usagers	Surfaces irriguées par eux hectares				
Osdorf	780	45	75	9 286 736	11 906	26	30
Grossbeeren	4 058	9	17	12 780 207	11 809	24	44
Sputendorf	887	30	44	13 647 583	15 386	29	31
Falkenberg	4 238	28	149	16 243 464	13 121	33	37
Malchow	4 022	3	42	14 496 633	14 184	39	26
Blankenfelde	4 015	»	»	11 538 227	11 387	29	35
Totaux et moyennes.	6 000	85	297	78 012 870	13 002	480	33

Il y a environ 5 710 hect. drainés et le nombre des bouches de distribution se monte à 5 118. Les dépenses faites pour l'acquisition et l'aménagement des champs d'épandage en avril 1900 sont données ci-dessous :

NOMS des districts	DÉPENSES TOTALES (en marks)				DÉPENSES PAR HECTARE			
	Acquisition	Aménagement et drainage	Constructions et dépenses diverses	Ensemble	Acquisition	Aménagement et drainage	Constructions et dépenses diverses	Ensemble
	m	m	m	m	m	m	m	m
Osdorf	2 311 995	2 053 206	388 238	4 753 839	4 881	4 671	316	3 868
Grossbeeren	2 695 296	3 022 777	951 846	6 669 919	4 326	4 711	539	3 775
Sputendorf	7 736 737	2 304 300	593 272	5 634 310	4 314	4 406	285	2 705
Falkenberg	3 597 443	3 215 503	360 132	7 172 778	2 212	4 978	221	4 411
Malchow	4 870 522	2 215 223	392 484	7 477 929	3 077	4 399	248	4 724
Blankenfelde	4 216 777	2 642 465	730 034	7 589 295	2 455	4 351	373	3 879
Buch	3 492 717	380	46 822	3 539 919	2 774	»	37	2 812
Totaux et moyennes	23 921 487	15 454 254 (1)	3 462 348	42 837 989	2 080	4 344	301	3 724

(1) Sur ce chiffre, il y a 42 519 950 marks qui s'appliquent à l'aménagement et 2 934 304 au drainage.

Quant aux frais d'exploitation, nous trouvons qu'abstraction faite de l'intérêt et de l'amortissement du capital engagé, il est résulté de la balance des dépenses et des profits de l'année 1899-1900 un déficit de 289 149 marks; avec l'intérêt et l'amortissement, le déficit de l'opération arrive à 1 859 052 marks. Cela correspond à 1^{pf},8 par mètre cube traité pour l'exploitation seule et à 8 pfennigs en y ajoutant l'intérêt et l'amortissement du capital.

Ce qui frappe le plus en parcourant ces tableaux, c'est la faible quantité de sewage déversé par hectare (13 000 m³). Elle tient à ce que les conditions sont bien moins favorables que pour les graviers de la Seine ; il s'agit de dunes sablonneuses assez peu perméables et de faible épaisseur (1^m, 50 en moyenne et parfois 1 m seulement), reposant sur une couche imperméable. Aussi a-t-il fallu drainer presque partout.

Nous empruntons à M. Launay (note de 1894 déjà citée) les détails relatifs à la distribution :

« La distribution des eaux sur les champs d'épuration s'opère à l'aide d'un réseau de conduites maitresses de refoulement en fonte et d'artères secondaires, quelques-unes en poterie, la plupart à ciel ouvert, fossés de 0^m,50 de profondeur au moins avec une pente convenable.

La première opération qui précède l'aménagement et le nivellement des terrains consiste dans la pose des conduites maitresses de distribution.

La conduite principale, venant de la station des pompes, aboutit au point culminant du domaine où est établie une haute colonne d'un diamètre égal à celui de la conduite, formant ventouse et soupape de sûreté ; la hauteur de la colonne limite la pression au-dessus du terrain environnant ; lorsque le niveau de l'eau dans la colonne atteint la limite fixée, elle trouve un déversoir par lequel elle se décharge dans un tuyau accolé au premier. Ce tuyau-ventouse porte un flotteur qui suit les fluctuations du niveau et indique ainsi, de loin, la pression aux cantonniers des irrigations au moyen d'un drapeau le jour et d'une lanterne la nuit.

Les ramifications des conduites de distribution se terminent par des robinets-vannes aux points hauts des terrains où leur diamètre peut descendre à 0^m,25.

On compte à peu près cinq de ces robinets-vannes par 100 hect. de terres irriguées. Ils se terminent par une sorte de col de cygne d'où les eaux s'échappent pour tomber dans un bassin circulaire d'où partent les rigoles. Quelquefois le robinet-vanne débouche à l'extrémité d'un bassin rectangulaire de 12 m de long sur 4 m de large et 2 m de profondeur formant bassin de dépôt pour les sables ; l'eau y est contrariée par des chicanes (cloisons en fascines) et sort à l'autre extrémité après avoir déposé les matières en suspension ; d'ailleurs, bassins circulaires ou bassins rectangulaires, tout cela n'est pas très propre et ne vaut pas nos clapets de Gennevilliers à chapeau et à vis, au niveau même de la rigole.

Aussitôt après la pose de ces conduites, commencent les travaux d'appropriation des terrains en vue de la réception des eaux d'égout et de l'enlèvement des eaux de drainage.

Les terrains sont aménagés de trois manières différentes : les planches pour cultures diverses, les prairies et les bassins de colmatage ; les travaux de nivellement comportent pour chacun de ces aménagements l'établissement des rigoles d'irrigation, des fossés principaux de drainage et des chemins d'exploitation.

Planches de cultures. — Les planches pour les cultures courantes ⁽¹⁾ sont disposées en raies et billons comme à Gennevilliers ; l'eau coule dans les sillons horizontaux qui séparent les billons, de façon à s'imbiber latéralement et à n'atteindre que les racines des plantes ; les raies ont une longueur de 20 à 25 m, une largeur de 0^m,30 à 0^m,50 et leur profondeur est de 0^m,50 à 1 m. Les billons, assez élevés, sont écartés de 0^m,90 à 1^m,20 d'axe en axe ; ils sont généralement réunis en grandes planches de 6 à 9 m de large par séries de six, avec une petite digue tout autour de 0^m,50 de hauteur environ.

Prairies. — On fait des *prairies* sur les grandes surfaces ; on les arrose par planches unies et inclinées au moyen d'une rigole supérieure, c'est-à-dire par déversement et ruissellement.

Les planches ont une largeur de 60 m et une longueur de 40 à 50 m, soit une surface de 10 à 30 ares.

Les prairies reçoivent un arrosage de trois à quatre heures tous les trois jours.

Bassins de colmatage. — On aménage les *bassins de colmatage* sur des terrains à peu près horizontaux, et l'on y fait surtout de l'épuration (irrigation d'hiver).

Ils reçoivent l'eau sans aucune espèce de culture par couches successives de 0^m,30 à 0^m,50 de hauteur maintenues entre des digues.

Le colmatage a lieu en hiver seulement ; au printemps, on cesse l'introduction de l'eau, on laisse le terrain se ressuyer ; on le retourne par un labour et on y plante des céréales, des graines oléagineuses, des navets, des betteraves, etc.

Ces bassins ont de 2 à 9 hect. »

La fig. 230 fait voir en détail les domaines de Blankenburg et de

(1) Céréales, avoine, betteraves, maïs, carottes, pommes de terre, légumes, arbres fruitiers, plantes médicinales, etc.

Malchow (partie Ouest). Les courbes de niveau (qui n'ont pu être figurées) indiquent la dépression de terrain que suit le fossé principal d'évacuation.

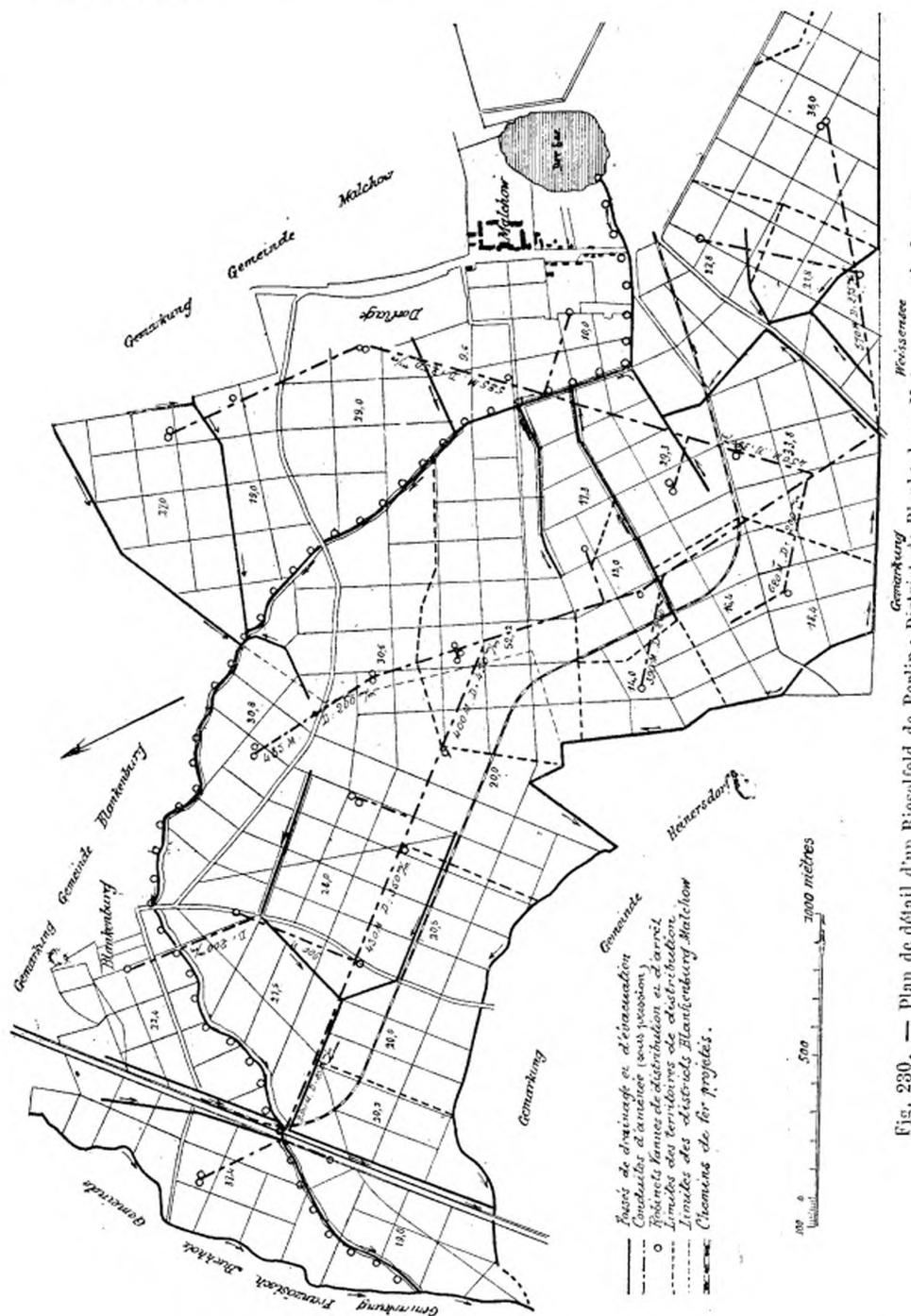


Fig. 230. — Plan de détail d'un Riesefeld de Berlin : District de Blankenburg-Malchow (partie Ouest).

Les salaires payés par la ville sur ses domaines d'épandage sont les

suivants : gardes, 2 marks le jour et 2,50 marks la nuit, en outre du logement ; ouvriers logés, 42 marks à 46,25 marks par mois ; journaliers logés, 1 mark à 1,80 mark par jour, plus 3 000 kg. de pommes de terre ou les terrains correspondants ; journaliers ordinaires, 1,50 mark à 2,50 marks ; femmes 0,80 mark à 1 mark ; pépiniéristes, 1,80 mark à 3 marks.

Pour donner une idée des rendements et de la répartition des cultures, voici les chiffres relatifs à l'année 1896-97 pour un district du Nord et un du Sud :

NATURE DES CULTURES	Surfaces	Récolte par hectare		Valeur de la récolte par hectare	Frais de culture par hectare	Bénéfice ⁽¹⁾ laissé par la culture par hectare
		Fruits	Paille			
	hectares	kg.	kg.	m	m	m
I. — Rieselfeld d'Osdorf :						
Colza	9,74	1 478	2 800	277,78	407,36	170,42
Blé d'hiver	30,02	1 767	2 210	304,70	140,96	163,64
Blé d'été	72,76	1 431	1 930	245,75	122,87	122,88
Seigle	141,90	1 799	3 012	288,47	139,04	149,46
Orge	17,43	1 755	1 740	203,95	135,50	68,45
Avoine	102,54	955	1 325	144,47	159,97	»
Fèves de Marais	0,37	2 500	2 500	312,46	204,16	108,00
Pois	0,25	1 600	1 600	200,00	163,96	34,04
Betteraves	57,33	35 309	»	330,99	254,63	76,36
Pommes de terre	42,44	9 162	»	194,59	135,05	56,54
Carottes	9,57	34 235	»	683,77	347,39	336,38
Prairies ⁽²⁾	178,00	»	45 468	275,00	95,00	180,00
II. — Rieselfeld de Falkenberg :						
Colza	12,55	1 290	2 580	245,38	126,43	119,25
Blé d'hiver	23,81	1 680	3 360	339,39	119,65	219,74
Blé d'été	67,03	1 651	3 302	229,38	118,99	110,39
Seigle	149,95	1 830	3 660	330,00	106,73	223,27
Orge	3,23	1 455	2 910	193,96	118,27	75,69
Avoine	77,94	1 924	3 848	276,42	400,66	175,76
Betteraves	53,89	40 180	»	401,80	288,32	113,48
Pommes de terre	27,77	12 099	»	232,72	186,91	45,81
Carottes	9,77	17 917	»	543,69	387,76	155,93
Prairies ⁽²⁾	254,00	»	70 989	378,00	121,00	257,00

(1) Non compris bien entendu les frais de distribution de l'eau d'égout.
(2) On fait 6 et même 7 coupes par an.

Nous n'avons plus qu'à voir les résultats obtenus comme degré d'épuration.

Voici à ce sujet un tableau de König, donnant par saisons et par natures d'irrigation la moyenne de quatre années récentes. Ajoutons que d'après Salkowski, en 1897-98, l'azote ammoniacal et organique qui était de

204 milligrammes par litre dans le sewage brut, était ramené dans l'eau des drains à un chiffre variant de 2,3 à 6,4, tandis que l'acide nitrique qui n'existait pas dans l'eau d'égout avant l'épandage était dans les drains compris entre 65 et 215 milligrammes; cela montre bien l'importance du processus nitrificateur. Quant aux bactéries dans l'eau des drains, leur nombre a varié dans la même année entre 9 222 et 26 076, sans qu'on n'ait pu y déceler aucun germe pathogène.

L'état sanitaire sur les Rieselfelder est du reste excellent et la ville y a des établissements de convalescence.

Analyses des eaux d'égout de Berlin avant et après l'épandage, d'après Kœnig
(moyenne de quatre années) en mmgr. par litre.

		Matières dissoutes		Permanganate de potasse employé (oxydabilité)	AMMONIAQUE	POTASSE	SOUDE (°)	Acide phosphorique	Acide sulfurique	CHLORE (°)	ACIDE NITRIQUE	ACIDE NITREUX
		MATIÈRES minérales (résidu fixe)	Matières organiques (perte au feu)									
		mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.
En été	Eau brute. . .	786,2	366,4	374,8	403,3	67,7	241,5	70,2	53,2	246,4	0	0
	Eau des drains	948,7	445,2	32,0	2,8	22,0	470,5	1,5	47,0	233,0	421,8	3,0
En hiver	Eau brute. . .	866,4	360,9	454,6	458,2	79,0	262,3	32,3	85,5	282,2	0	0
	Eau des drains	964,0	427,1	30,3	4,0	39,0	223,0	4,1	20,0	215,8	437,6	4,0
Eau brute . . .		825,0	363,5	425,6	434,4	72,9	253,9	31,6	72,6	266,6	0	0
Eau des drains	des raies et billons . . .	1 012,8	434,2	27,7	3,1	14,6	484,1	4,5	97,3	205,6	442,7	2,9
	des prairies . .	962,4	428,4	26,4	2,4	21,0	484,0	5,0	47,0	220,8	445,4	3,2
	des bassins de colmatage . .	1 084,8	241,7	57,2	41,3	26,2	204,3	2,8	94,6	223,0	248,9	46,8

(1) On voit qu'il y a d'énormes quantités de chlorure de sodium: elles proviennent principalement des fabriques d'aniline. La Municipalité de Berlin chargea le professeur Herzfeld d'examiner si cette forte teneur nuisait ou non à la croissance des plantes sur les champs d'épandage; le rapport de ce savant en date du 1^{er} décembre 1899 conclut qu'il ne résulte de ce fait aucune gêne sensible.

Champs d'épandage de Breslau. — Nous avons déjà fait voir par la fig. 112 la situation des champs d'épandage de Breslau. Il s'agit ici d'un terrain plat, et la fig. 231 montre comment on en a tiré parti, en se servant presque exclusivement de rigoles d'irrigation à ciel ouvert et en partageant le champ en compartiments, par de petites levées de 0^m,40 de hauteur.

Dans cette figure, on voit le canal principal d'amenée AB (canal rectangulaire en béton de 1^m,40/1,30 couvert en dalles de granit), qui est surélevé de 1^m,40 au-dessus du niveau général du terrain, et le canal principal d'évacuation CD qui est établi à son pied. Les champs

ont généralement une largeur de 80 à 90 m et une longueur de 200 à 500 m, avec une pente en long de $\frac{1}{1000}$ et des pentes en travers de

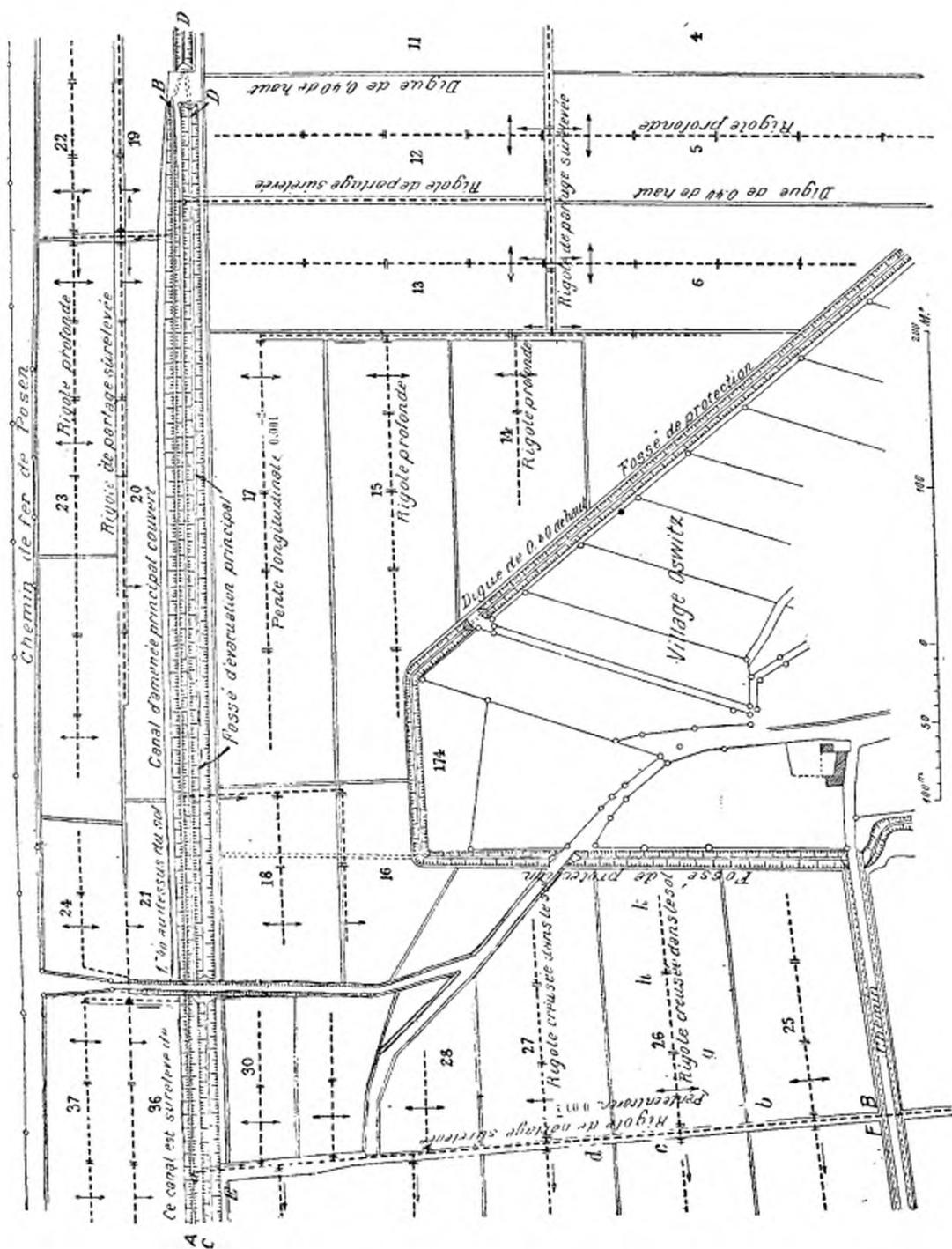


Fig. 231. — Plan de détail d'une partie du Riesefeld de Breslau, à Oswitz. Echelle

chaque côté de la rigole d'irrigation de $\frac{1}{500}$. Veut-on, par exemple, irriguer le champ 26, on ouvre la vanne *a* qui laisse arriver l'eau d'égout

dans la rigole principale de distribution EF : la ventelle *c* étant enlevée, mais la ventelle *g* posée, l'eau déborde latéralement du fossé *eg* et ruisselle latéralement ; quand la première partie du champ a assez bu, on lève *g* et on ferme *h* et ainsi de suite.

Le sol est du sable et du gravier, sous une couche de limon argileux superficielle de 0^m,50 d'épaisseur. Le drainage est à peu près complet.

Pour 360 000 habitants, la Ville possède un domaine de 800 hect., qui va s'augmenter sous peu de 450 hect. Avec les 800 hect., elle déverse moyennement 28 365 m³ par hectare et par an (soit 1 hect. pour 450 habitants). Les récoltes sont plus belles qu'à Berlin (2 000 kg. de seigle, 2 400 kg. de blé, 2 600 kg. d'orge, 30 000 kg. de betteraves et 12 000 kg. de pommes de terre à l'hectare). Le coût d'acquisition des terrains et celui de l'aménagement et du drainage sont voisins de ceux de Berlin (2 102 marks d'achat à l'hectare, 1 855 marks pour l'aménagement et la distribution) ; mais les frais d'exploitation sont beaucoup moindres et ne dépassent pas 1/2 pfennig par mètre cube traité.

Le degré d'épuration a été étudié par Klopsch dès 1885, et depuis par König qui donne les résultats ci-dessous :

EAU D'ÉGOUT de Breslau		Matières en suspension	Matières dissoutes		Permanganate de potasse employé (oxydabilité)	Ammoniacque	Chaux	Magnésie	Acide phosphorique	Acide sulfurique	Chlore	Acide nitrique
			Matières minérales (résidu fixe)	Matières organiques (perte au feu)								
		mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.
Eté	Eau brute . . .	358,2	501,8	222,4	220,5	78,8	81,4	21,0	16,2	73,9	140,9	0
	Eau des drains.	24,1	466,6	73,7	22,3	4,8	92,4	19,8	0	99,0	99,5	17,8
Hiver	Eau brute . . .	441,4	628,6	240,9	216,8	94,3	83,6	21,1	22,1	86,0	188,9	0
	Eau des drains.	48,9	443,7	83,7	22,8	7,6	98,8	19,0	0	101,2	101,2	16,3

A titre de curiosité, citons encore les chiffres donnés par Klopsch ⁽¹⁾ pour la teneur du sol et du sous-sol des Rieselfelder de Breslau en divers principes. Ces chiffres s'appliquent à 1000 grammes de terre et sont une moyenne des analyses de six échantillons :

(1) *Gesundheits Ingenieur*, 1891.

CHAMPS D'ÉPANDAGE de Breslau		Azote total	Azote ammoniacal	Azote nitrique	Potasse	Magnésie	Chaux	Acide phosphorique
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Terre du sol à la surface	Non irrigué	1,716	0,051	0,003	1,945	2,029	1,297	1,390
	irrigué	1,214	0,051	0,033	2,562	2,780	1,417	1,536
Terre du sous-sol	Non irrigué	0,657	0,056	0,003	1,782	1,982	0,807	1,068
	irrigué	0,769	0,060	0,018	2,560	2,512	1,289	1,261

Champ d'épandage de Fribourg-en-Brisgau. — Cette installation pour une ville de 55 000 âmes, est de 254 hect. (soit 1 hect. pour 216 habitants), et on y déverse par hectare et par an seulement 14 200 m³. Le terrain est du gravier, et la surface est régulièrement et assez faiblement inclinée (1/126), ce qui a facilité l'établissement des rigoles d'irrigation ; toutes à ciel ouvert. La fig. 232 montre la distribution : l'eau d'égout arrive par une conduite souterraine *ab* dans les bassins de sédimentation *c* (on ne saurait trop recommander de laisser se déposer les corps en suspension avant l'irrigation), d'où partent les rigoles de distribution ; sur celles-ci s'embranchent les rigoles secondaires espacées l'une de l'autre de 60 m et se disposant en arêtes de poisson. La manœuvre se comprend d'elle-même. Le terrain est drainé par des drains placés de 1^m,50 à 2 m de profondeur et espacés l'un de l'autre de 8 à 10 m.

La dépense d'acquisition n'a été que de 643 marks par hectare, mais l'aménagement du sol d'une ancienne forêt et le drainage ont été onéreux (ensemble 3650 marks à l'hectare).

Un article de Otto Korn dans *Zeitschrift für Hygiene*, 1898 (auquel nous renvoyons pour les détails) montre que l'oxydabilité passe de 146^{mmgr}, 1 de permanganate à 12,5, l'ammoniaque de 66^{mmgr}, 7 aux environs de 1 milligramme, la potasse de 20^{mmgr}, 4 à 4^{mmgr}, 6, enfin le nombre des germes de plus de 700 000 par centimètre cube aux environs de 20 000. L'auteur a étudié spécialement cette flore bactérienne de l'eau des drains et y a trouvé notamment : les *micrococcus cereus albus*, *candidus*, *candidans*, *roseus*, *ureæ* ; les *bacillus fluoresc. liquef. et non liquefaciens*, *janthinus*, *prodigiosus*, *aquatilis communis*, *subtilis*, *vulgatus*, *mesentericus*, *pyocyaneus*, *albus*, *fluorescens putridus* ; le *bacillus coli communis* ; les *sarcina lutea et aurantiaca*, etc. C'est la flore habituelle des eaux.

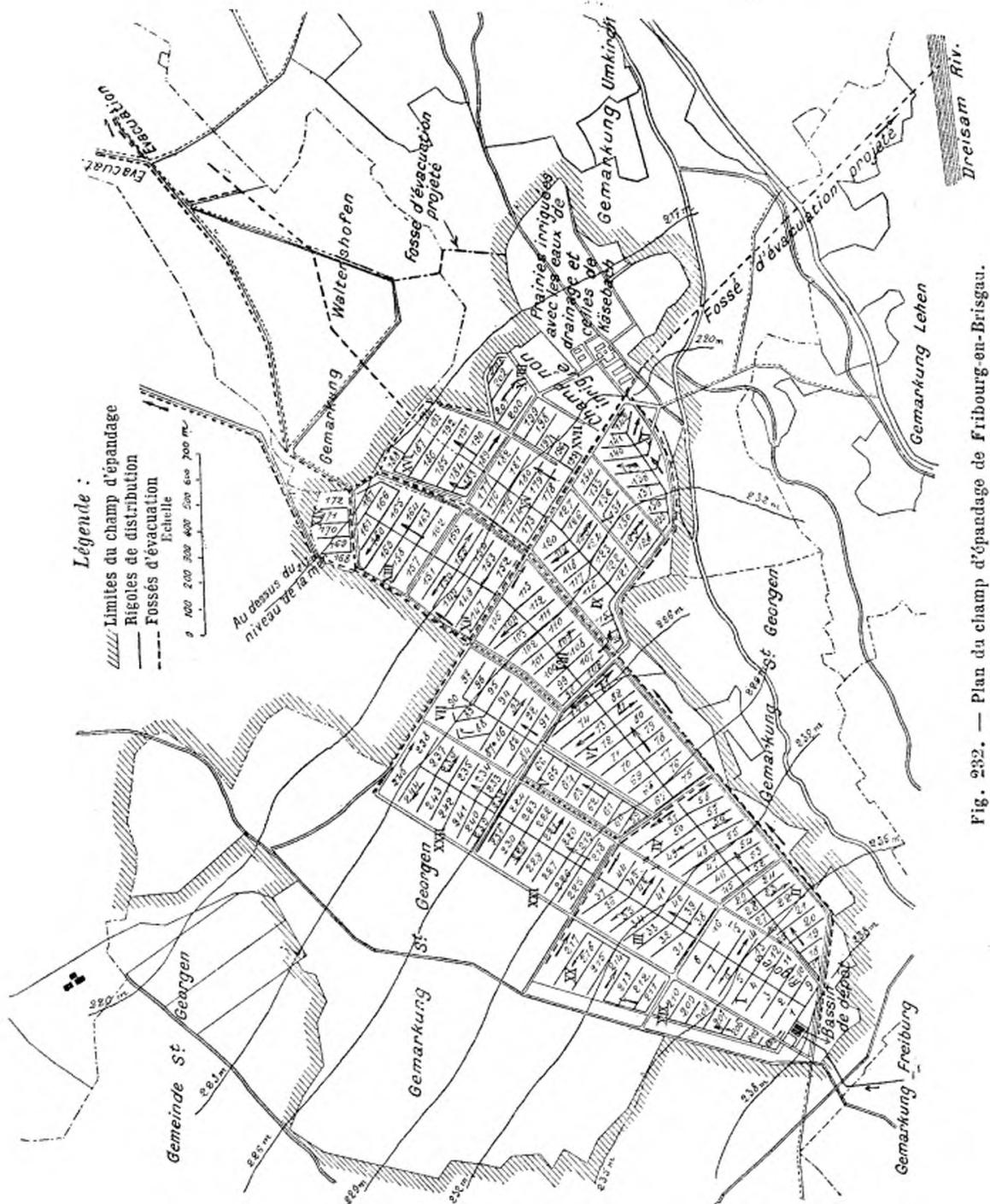


Fig. 232. — Plan du champ d'épandage de Fribourg-en-Brigau.

III. — L'ÉPANDAGE AGRICOLE EN ANGLETERRE.

L'Angleterre est la patrie des *sewage-farms* ; dès 1878 ⁽¹⁾, on compte

(1) A cette époque, sur 462 villes anglaises de plus de 5 000 habitants, 18 épuraient chimiquement, 39 mécaniquement par des procédés de grossière filtration, 64 faisaient de l'épandage, et le reste jetaient leur sewage directement dans les rivières.

64 villes qui font de l'utilisation agricole (Edimbourg, Blackburn, Nottingham, Birmingham, Cheltenham, Charley, Harrogate, Merthyr-Tydfil, Tunbridge-Wells, Oxford, Nordwood, Rugby, Aldershot, Wolverhampton, West-Derby, Wrexham, Banbury, Bedford, Penrith, Croydon, Doncaster, Leamington, Warwick, Preston, Liverpool en partie, etc.), et depuis lors le nombre a encore augmenté, plusieurs villes qui faisaient de l'épuration chimique comme Leicester (1) (procédé Wicksted) y ayant renoncé en faveur de l'épandage.

Nousempruntons à Ridéal la plupart des renseignements contenus dans le tableau ci-dessous :

NOMS DES VILLES	Nombre d'habitants desservis	Surface irriguée (en hectares)	Volume de sewage déversé par jour	Nombre d'habitants par hectare irrigué	Nature du sol	OBSERVATIONS
		hectares	m ³			
Aldershot. . .	42 000	3 1/4	4 766	200	sable argileux	Traitement préalable par la chaux et le sulfate d'alumine.
Banbury . . .	42 700	63	2 043		argileux	
Bedford . . .	25 400	53	4 543	480	graveleux	
Birmingham. . .	620 000	483	72 700	1 280	id.	
Burton-on-Trent.	46 400	175	»	265	id.	Traitement préalable à la chaux.
Cheltenham . . .	49 000	146	4 543	335	id.	
Crewe. . .	35 000	104	6 251	335	id.	
Croydon . . .	114 000	229	20 430	498	id.	
Derby (West). . .	40 400	84	4 594	480	id.	
Doncaster. . .	23 600	113	2 272	210	fin gravier	
Edimbourg . . .	80 000	401	»	800	argilo-sablonneux	Entièrement en prairie) (donne 4 récoltes par an).
Leamington . . .	27 000	142	3 496	490	id.	
Nordwood . . .	4 000	12	»	330	argileux	
Norwich . . .	106 000	125	20 430	848	id.	
Nottingham . . .	275 000	421	»	653	id.	
Oxford . . .	50 000	135	5 902	370	sable argileux	
Penrith . . .	8 000	32	»	250	crétacé	En jachère un an sur trois.
Preston . . .	120 000	243	17 037	490	sable léger (dunes)	Sédimentation préalable.
Reading . . .	63 000	142	6 814	460	id.	
Tunbridge Wells.	30 000	125	3 632	240	id.	
Warwick . . .	42 000	107	3 407	412	argile graveleux	
Wigan . . .	59 000	170	5 679	347	id.	
Wimbledon (3) . .	25 000	30	2 724	833	argile et gravier	Traitement chimique et filtration préalables.
Wrexham. . .	42 000	35	4 816	343	gravier	Sédimentation préalable

(3) A Wimbledon, où le sol était très argileux, on l'a singulièrement amélioré en le recouvrant après un bon labour d'une épaisseur de trois pouces de cendres de ville criblées.

(1) A Leicester, suivant Mawby (*Society of Engineers*, décembre 1898), comme on ne dispose que d'un terrain argileux, on commence par filtrer grossièrement le sewage par des bancs de clinker de 1 à 2 pouces de grosseur ; mais on songe aujourd'hui à l'épuration bactérienne.

rows (raies et billons), et en terrain incliné la *catchwater method* qui consiste à avoir des rigoles étagées, au-dessous desquelles le sewage se déverse pour aller, après l'irrigation, se collecter dans la rigole inférieure servant ensuite de nouveau distributeur.

A titre d'exemple nous empruntons à l'ouvrage de Moore le plan de la *Beddington farm*, champ d'épandage de Croydon, qui a servi de modèle à bien des villes : c'est la fig. 233, qui se comprend d'elle-même. L'eau est amenée dans des rigoles cimentées de forme trapézoïdale : les canaux adducteurs sont dirigés suivant les pentes et les distributeurs normalement aux précédents ; ces derniers sont échancrés tous les 15 yards (13^m,71) pour laisser écouler l'eau dans des rigoles parallèles de distribution dirigées à leur tour suivant la pente. Pour égaliser l'épandage, on se sert de barrages mobiles constitués par des plaques de tôle zinguées que l'on déplace vers l'aval des rigoles. L'irrigation se fait généralement par trois étages successifs (système milanais), chaque étage ou champ ayant environ 150 yards de long, au bout desquels les eaux sont réunies dans un collecteur qui les rend à un nouveau distributeur. Comme partout, l'évaporation a un grand rôle : on estime qu'elle enlève un tiers de l'eau. Les principales cultures sur cette ferme de 565 acres sont surtout le ray-grass, puis le blé, les betteraves et les légumes. Le ray-grass donne quatre coupes par an ; on épand sur les champs de ray-grass pendant trois ou quatre jours, puis on suspend pendant sept ou huit jours ; tous les trois ans, on laboure ces prairies pour y faire une autre culture.

Les Anglais n'ont pas beaucoup étudié l'effet d'épuration de l'épandage et il faut remonter à Frankland pour avoir les quelques données ci-après (en milligrammes par litre) :

NOM DES VILLES	Epoque des analyses	Matières en suspension		MATIÈRES DISSOUTES							
		Matières organiques	Matières minérales	Teneur totale	Carbone organique	Azote organique	Ammoniaque	Azote nitrique ou nitreux	Azote total	Chlore	
		mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	mmgr.	
Aldershot	16 juillet	eau brute	442,8	67,2	466	58,8	20,5	90,2	0	94,8	94,5
		eau des drains	6,5	6,8	486	6,7	1,3	4,9	41,5	46,8	35,5
Croydon	30 déc.	eau brute	108,8	35,2	480	28,8	12,7	27,0	0	34,9	43,0
		eau des drains	traces	traces	450	7,7	0,8	5,3	6,8	41,9	29,5
Nordwood	12 mars	eau brute	449,6	40,8	1 478	54,4	22,9	89,7	0	96,8	88,7
		eau des drains	traces	traces	831	42,9	4,8	9,7	3,8	43,6	88,7
Penrith	24 sept.	eau brute	448,8	58,8	535	54,4	49,0	103,9	0	104,6	
		eau des drains	0	0	249	3,2	4,4	0	0	4,4	26,8
Rugby	13 juillet	eau brute	89,6	34,8	526	55,4	23,2	72,8	0	83,4	82,5
		eau des drains	3,6	8,8	682	45,3	1,6	4,2	0	5,1	105,5
Warwick	14 juillet	eau brute	33,6	26,4	669	51,3	46,8	24,4	0	36,9	63,0
		eau des drains	traces	traces	661	44,5	4,7	8,4	4,4	40,0	81,5

IV. — L'ÉPANDAGE AGRICOLE AUX ÉTATS-UNIS.

L'épandage s'est surtout développé dans les États de l'Ouest, où l'eau a une grande valeur pour l'agriculture. Citons Cheyenne (Wyoming), Colorado Springs, Trinidad (Colorado); Los Angeles, Pasadena, Santa Rosa, Redding (Californie); Helena (Montana), etc. qui ont des sewage-farms prospères. Dans les États de l'Est, où le terrain est cher et souvent occupé par l'industrie, il y a peu de *broad irrigation*: cependant la ville de Wayne (Pensylvanie) a un domaine de 242 hect.. Beaucoup d'établissements isolés, collèges, hôpitaux, asiles etc., utilisent leur sewage à l'irrigation. Quelques localités comme Lenox (Massachusetts) Lawrenceville (collège) pratiquent l'irrigation souterraine, telle que l'ont recommandée l'anglais Chadwyck ou l'allemand Petersen, c'est-à-dire en amenant l'eau par des tuyaux à joints libres un peu au-dessous de la surface du sol: on comprend que ce système soit trop coûteux pour se développer beaucoup, aussi bien en Amérique qu'en Europe.

Enfin on trouve un certain nombre de villes, Hastings, Meriden, South Framingham, etc., qui ont combiné l'utilisation agricole et la filtration intermittente. A côté ou au milieu des champs d'épandage, elles ont des bassins filtrants, sur lesquels elles envoient le sewage quand la culture n'en a pas besoin: c'est là une pratique évidemment très rationnelle,

et on peut l'imiter aujourd'hui en remplaçant les bassins par des *lits bactériens* (1).

V. — LA FILTRATION INTERMITTENTE (ANGLETERRE ET ÉTATS-UNIS).

L'épandage agricole exige des surfaces énormes et malgré tout est déjà un filtrage intermittent, puisque pour la distribution de l'eau une rotation doit s'exercer entre les différentes parties du domaine irrigué. Si on abandonne toute idée d'utilisation ou si on ne dispose que de très faibles étendues de terrain, on est conduit à traiter ce terrain comme un filtre à sable et à y faire passer autant d'eau d'égout qu'il peut en épurer ; mais on ne tarde pas à remarquer en faisant cette tentative que l'opération ne peut être continue (avec de l'eau d'égout le filtre s'encrasse très vite et ne débite plus), et qu'il faut laisser *reposer* le filtre à certains intervalles réguliers, une ou plusieurs fois par jour. Ce repos, en permettant à l'air de rentrer dans les interstices des éléments filtrants, donne aux germes aérobies la possibilité d'exercer leur action suivant le processus biologique naturel qui leur est propre et qui aboutit finalement à l'oxydation des matières organiques et à la nitrification : il permet donc à une nouvelle masse liquide d'entraîner, solubilisés et oxydés, les résidus de la masse précédente. Bref, la filtration intermittente, intermédiaire entre l'épandage, procédé entièrement naturel, et les lits bactériens, procédé tout à fait artificiel, met en œuvre les mêmes actions qu'eux : elle concentre sur une faible surface, et en les renouvelant aussi fréquemment que possible, ces actions qui sont disséminées par l'épandage sur une grande étendue, et elle n'est autre chose, en somme, qu'un procédé biologique prenant pour lits bactériens les couches graveleuses d'un sol convenablement choisi.

Historiquement parlant, la filtration intermittente a bien joué ce rôle d'intermédiaire, et c'est elle qui a conduit la science aux procédés biologiques artificiels. Sans remonter aux travaux de la Commission anglaise

(1) Dans les autres pays, l'épandage n'est encore que peu développé. Outre Milan et Valence, un projet à Florence et l'irrigation des dunes de Cuma à Naples, nous ne pouvons guère citer qu'Odessa qui a un champ d'épandage de 1000 hect. Bruxelles hésite encore : il y a eu trois projets, l'un de M. Babut de Marès qui proposait d'irriguer le plateau de Beersel et Putte, l'autre de MM. de Rote et Van Mierlo pour le plateau de Loo et Penthy (4000 hect.), enfin celui de M. Moreau (article des *Annales des Travaux Publics de Belgique* de Juin 1898) qui n'envisage rien moins que l'irrigation de la forêt de Soignes ; comme le sous-sol de cette forêt fournit l'eau potable, on aurait ainsi le cycle complet, mais malgré la valeur filtrante du sable bruxellien, ce cycle n'a-t-il pas quelque chose de vraiment répugnant ?

contre la pollution des rivières, aux théories de A. Müller, de Frankland, de Schløesing et Müntz, de Bailey-Denton, d'où elle est sortie, nous rappellerons qu'elle a été et est encore appliquée en Angleterre à un certain nombre de villes : Merthyr-Tydfil, Kendal, Hitchin, Withington, Abingdon, Northampton, Forfar, Dewsbury, Malvern, etc. (quelques-unes de ces villes ont aussi un champ d'épandage auquel les bassins filtrants servent en quelque sorte de suppléments). L'installation comprend généralement une série de bassins dont le fond entre les digues en terre du pourtour a été nivelé : le sewage déversé aux heures voulues filtre de haut en bas et est repris à 1^m,50 ou 2 m de profondeur par un drainage soigné. Bailey-Denton recommande et a établi à Hitchin le système des raies et billons : les raies sont des fossés de 1^m,37 de largeur en gueule et 0^m,50 de profondeur, recevant le sewage sur 0^m,15 de hauteur dans le fond, et séparés par des billons dont le couronnement n'a que 0^m,61 de large et peut porter des herbes ou des légumes ; la position des raies et billons est changée chaque hiver. Comme surface utilisée, la Commission de la pollution des rivières pensait qu'un acre pouvait suffire à épurer le sewage de 2000 habitants, (soit un hect. pour 4950 habitants), mais les auteurs plus récents (1) sont d'accord pour réduire ce chiffre de moitié (et même plus pour certains sols) : en fait, Merthyr-Tydfil (2) utilise une surface de 136 hect. pour une centaine de mille d'habitants ; Kendal 2 hect. pour 13500 habitants ; Dewsbury 4^{hect.},05 pour 30000 habitants ; Withington 19^{hect.},8 pour 33000 habitants avec un volume journalier de sewage de 4544 m³. Hitchin 8^{hect.},09 pour 8 à 9000 habitants et un sewage de 1818 m³ par jour. Pratiquement, on obtient une épuration suffisante (88 à 94,5 0/0) en déversant sur le sol filtrant une tranche d'eau de deux centimètres et demi et même de trois centimètres et demi par jour, mais on a intérêt à fractionner les doses en plusieurs opérations séparées par des repos, plutôt que d'amener le sewage tout d'un coup et de n'avoir qu'un seul repos par 24 heures.

En Allemagne, la filtration intermittente — Wechselfiltration — ne paraît pas avoir été appliquée. G. Franck (3) a proposé en 1897, un filtre artificiel en gravier (0^m,40 au bas), gros sable (0^m,40), et par dessus une couche de tourbe débarrassée d'air de un à deux centimètres : malgré les propriétés désinfectantes que peut avoir la tourbe, la couche

(1) Santo Crimp (*Sewage disposal Works* 1894), Bailey Denton (*Sewage purification* 1896).

(2) On a déversé dans cette ville jusqu'à 180000 et 240000 m³ de sewage par hectare et par an sans que l'épuration en ait souffert (Bechmann).

(3) Voir *Centralblatt für allg. Gesundheitspflege* 1897-16-380.

de tourbe supérieure s'encrassant très vite empêche l'accès de l'air et semble contraire au principe de l'oxydation intermittente.

Mais c'est aux expériences de la station de Lawrence (1887-1893) que la filtration intermittente doit son explication scientifique. Il faut parcourir les vingtième à vingt-troisième *Reports of the Massachusetts State Board of Health* — déjà cités à propos des eaux potables — pour voir avec quelle sagacité et quelle précision ces expériences ont été conduites : faites à la fois sur des bassins remplis artificiellement de sable de différentes dimensions et sur le sol en place (silloné de tranchées remplies de gros sable jusqu'un peu en dessous de la surface), répétées par tous les temps et notamment par la gelée, elles ont prouvé qu'un filtre à sable ou un bon sol graveleux pouvait épurer sans difficulté et pendant toute l'année 100 000 gallons d'eau d'égout par acre et par jour (935 m³ par hectare et par jour, ou 341 000 m³ par hectare et par an) à la condition que, grâce aux alternances des bassins, on assure à chacun d'eux des repos correspondant à 18 heures sur 24. Ces repos ont pour but de donner le temps aux bactéries d'opérer les transformations résultant de leur activité, et aussi à l'air de rentrer dans les interstices et de permettre la vie des aérobies. A chaque nature de sol correspond pour un sewage donné une limite de débit que le filtre peut épurer convenablement sans s'engorger : si on dépasse cette limite, il y a engorgement, et il faut alors revivifier la surface (ce qui se fait soit en retournant la couche supérieure, soit en l'enlevant et la remplaçant par du sable et gravier neufs) ; si on reste notablement en dessous, le degré d'épuration est plus élevé, et par exemple avec 20 à 30 000 gallons par acre et par jour, on a un effluent aussi pur que l'eau de source (nous revenons aux filtres à eau potable).

Dans les années suivantes (1893 à 1897), la station de Lawrence, après s'être occupée de l'épuration des eaux industrielles — ce qui sort de notre mission — a cherché à pousser à l'extrême le débit des filtres. Un bassin a reçu, de septembre 1894 au 1^{er} janvier 1897, une dose de sewage variant de 2 000 à 4 000 m³ par hectare et par jour, mais bien qu'il ait détruit pendant certaines périodes de 60 à 85 0/0 de l'azote apporté sur lui, il s'engorgea à plusieurs reprises, et pour le remettre en service on dut enlever le dépôt, faire un lavage en amenant de l'eau propre et pratiquer l'aération forcée. Dans une autre expérience, on opéra d'abord un filtrage sur du gravier et du gros sable de 5 mm de

(1) Voir plus loin les filtres à aération artificielle, notamment ceux de Waring.

diamètre. Le filtre qui avait $1^m,35$ de surface et $1^m,50$ d'épaisseur (soit 2 m^3 de volume) recevait des injections d'air de 1 m^3 pendant un quart d'heure dix fois par jour, puis après chaque injection une quantité de sewage, également répartie en dix doses égales, correspondant à $3\,300\text{ m}^3$ par hectare et par jour. Après chaque épandage, l'eau disparaissait d'ordinaire très vite de la surface; mais, bien qu'une nitrification active se produisit ($2,29$ en moyenne d'azote nitrique), l'effluent sortait trouble et il fallait en outre râcler la surface deux ou trois fois par semaine pour ameublir le sable. On reprit l'effluent sur un second filtre de sable fin ($0^{\text{mm}},19$ de grain) qui acheva l'épuration: l'azote albuminoïde qui était encore de $0,362$ au sortir du premier filtre tombait à $0,056$ au sortir du second.

On voit bien par là que la limite existe, même avec l'aide d'une aération artificielle, qui est, de l'avis des Américains eux-mêmes, une complication considérable et peu pratique: on voit de plus que la limite est reculée par l'emploi d'un premier filtre à gros grains, soit en gravier, soit en morceaux de coke; mais si nous ne retombons pas par là sur les dégrossisseurs, n'arrivons-nous pas aux lits bactériens successifs? Quoiqu'il en soit, il est évident qu'étant donné cette limite, voisine de $1\,000\text{ m}^3$ par hectare et par jour, il ne peut être question de filtration intermittente (au sens ci-dessus) que pour les villes qui ont à proximité une certaine surface de terrain graveleux disponible (s'il fallait en effet construire des bassins à sable artificiels, il en faudrait 600 hect. pour le sewage de Paris!). En somme, bien qu'environ dix fois moins exigeante comme surface que l'épandage agricole, la filtration intermittente par le sol l'est encore trop pour bien des cas, puisqu'elle demande pour le terrain des conditions de nature, d'étendue, d'emplacement et de niveau que bien des villes ne rencontrent pas: c'est ce qui a fait chercher le moyen de réduire toujours plus la surface filtrante, et les méthodes bactériologiques artificielles nous apparaissent comme le dernier degré de cette réduction.

A la suite des enseignements de Lawrence, une douzaine de villes des Etats-Unis ont appliqué la filtration intermittente: nous en dirons quelques mots, et à titre d'exemple nous montrerons les plans de deux de ces installations (en partie d'après l'ouvrage de Rafter and Baker déjà cité).

La fig. 234 se rapporte à la ville de *Malborough* (Massachusetts). Les bassins de filtrage sont situés à 3 km. de la ville: l'installation est prévue pour 51 bassins de près d'un acre chacun et le terrain de la ville

tuyaux de distribution en fer de 10 pouces (0^m,25) suivant sous les banquettes les lignes de plus grande pente entre les séries de bassins étagés (voir coupes AB et CD); les bassins se remplissent à volonté et alternativement, le déversement se faisant sur des petites surfaces pavées. Le sol des bassins est drainé par des drains parallèles de 0^m,10 de diamètre espacés de 15 m; les drains collecteurs ont 0^m,40. L'entretien des filtres consiste dans le labour à la herse quand la surface se trouve trop chargée de matières sédimentaires. Les six premiers bassins servent à traiter les boues extraites du separating tank et amenées par des canaux pavés (sludge carriers).

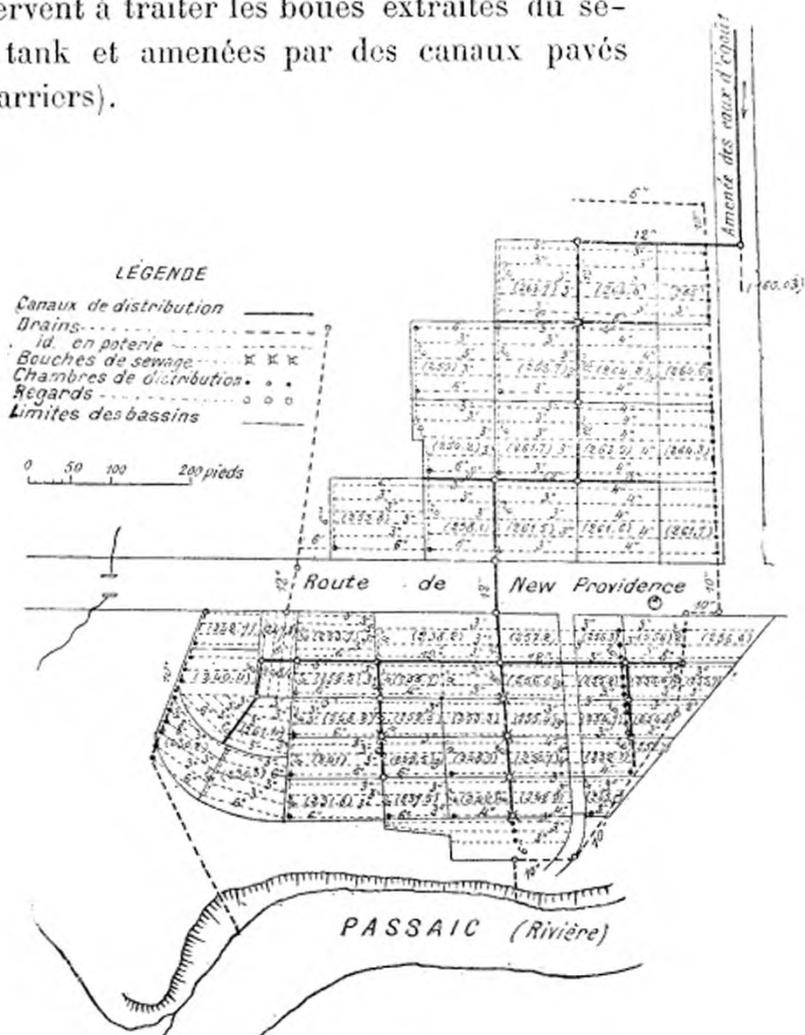


Fig. 235. — Plan des bassins de filtration intermittente de Summit (New-Jersey).

La ville de Summit (New-Jersey) a également des bassins filtrants étagés (fig. 235), dans un terrain de 10 hect. (en 1892, les bassins n'en occupaient que 4) incliné assez uniformément vers la rivière Passaic. Le sewage arrive par le collecteur (outlet sewer) et se distribue par des conduites qui suivent la crête des banquettes jusqu'aux bouches indi-

quées sur le plan. Les drains sont peu profonds (0^m,90) et très rapprochés (6 m), ce qui tient à la faible couche de gravier : les tuyaux sont de 3, 4 et 6 pouces, et les collecteurs de 12. A l'angle de chaque bassin opposé à la bouche de sewage se trouve une chambre de réunion des drains, dite chambre de distribution, et en raison de la différence de niveau des bassins on peut envoyer le produit du drainage d'un bassin se déverser sur le voisin inférieur pour y subir une seconde filtration.

Brokton (Massachusetts) ⁽¹⁾ a 23 bassins d'environ un acre de surface utile, soit un champ de 12 hect. faiblement incliné. Le sol est du gros sable recouvrant sur 2^m,45 de hauteur une couche argileuse imperméable : les drains sont espacés de 18 m. L'installation des bassins, des drains et de la distribution a coûté 310 000 francs : le tout est précédé d'un grand réservoir de dépôt et de distribution de 2 270 m³ de capacité.

Gardner (Massachusetts) a 14 bassins filtrants, dont le service se fait de 2 en 2 heures pendant 2 jours, 4 d'entre eux fonctionnant pendant la nuit. A *Medfield*, au contraire, chaque filtre après avoir opéré pendant 2 jours se repose et se ressuie pendant 6 jours. Citons encore dans le même Etat, la petite ville de *Natick* ⁽²⁾ qui a 5 hect. consacrés au filtrage, celle de *Clinton* et l'école des enfants assistés de *Waltham*.

La ville de *Plainfield* (New-Jersey) a une installation établie suivant les conseil d'Allen Hazen : elle a 20 bassins bien drainés à 2 m de profondeur et 12 m d'écartement, et elle fait de la culture de maïs sur une partie d'entre eux (lesquels de mai à juillet reçoivent le sewage tous les trois jours), les autres servant à recueillir le surplus.

Une partie de la ville de *Pawtucket* ⁽³⁾ (Rhode-Island) filtre son sewage dans 12 bassins filtrants occupant 1 hect. 1/2, précédés de deux bassins de dépôt : en 1895 on a traité 260 m³ par jour. Certains bassins sont à surface plate et d'autres disposés en raies et billons : chaque vingt ou vingt-cinq jours on ratisse la surface des filtres sur une épaisseur de

(1) Voir la description détaillée dans le numéro du 2 mai 1895 de *Engineering News*.

(2) Voir la description détaillée dans le numéro du 4 juin 1896 de *Engineering News*.

(3) Voir la description détaillée dans le numéro du 10 septembre 1896 de *Engineering News*.

(4) *Engineering News*, 2 janvier 1896.

2 cm. L'installation a coûté 62 400 francs. Des analyses régulières montrent que l'ammoniaque libre et albuminoïde est réduite de 95 0/0 en moyenne.

Enfin nous devons citer — en signalant combien il se rapproche des lits bactériens à double contact et des filtres avec insufflation de Waring — le procédé de double filtration rapide avec aération employé à *Reading* (Pennsylvanie) : c'est après un concours que cette ville adopta en 1894 le projet présenté par la Pennsylvania Sanitary Sewerage Co. — Une clarification et aération préalables sont tout d'abord produites dans l'un ou l'autre des deux puits de 6^m,10 de diamètre créés sur le collecteur : ces puits contiennent un lit de coke de 0^m,30 d'épaisseur maintenu entre deux grilles, et des conduites d'air amènent l'air pur en dessus et en dessous de ces grilles. Des pompes élévatoires envoient ensuite l'eau aux filtres installés à 2 km. de la sortie de la ville. Ces filtres sont doubles, c'est-à-dire formés de deux filtres superposés et séparés par un espace libre de 3^m,05 de hauteur où l'air circule : il oxyde ainsi les gouttelettes qui tombent en pluie de la base du filtre supérieur. Celui-ci est formé d'une couche de morceaux de laitier (de 0^m,02 à 0^m,05 de diamètre) épaisse de 0^m,15 et d'une couche de 0^m,35 de sable grossier par dessus : l'eau d'égout est distribuée à la surface par un réseau de gouttières demi-cylindriques en fer galvanisé, et forme une couche de 0^m,30 sur le filtre. Le filtre inférieur est en sable grossier, de 0^m,61 d'épaisseur : il repose sur un fond en béton comportant des caniveaux. Le plancher du filtre supérieur est formé de tubes en fer de 0^m,022 de diamètre, accolés et supportés par des poutres en acier et des colonnes.

Le filtre comprend dix compartiments de 7^m,62 sur 13^m,24. On comptait sur un rendement de 100 000 m³ par hectare et par jour, mais en 1897 il n'était en réalité que 19 860 m³, soit 1/5 des prévisions. En revanche le degré d'épuration obtenu était très élevé : de 92 à 97 0/0 pour l'azote albuminoïde, et sur 50 000 germes par centimètre cube, réduction à 233 après la première filtration et à un en moyenne après la seconde. (Voir pour plus de détails l'article de l'*Engineering News* 1898).

E. — Procédés biologiques ou bactériologiques

Nous devrions qualifier les procédés nouveaux que nous allons passer en revue de *procédés biologiques artificiels* ou plutôt *artificiellement dirigés*, par opposition aux *procédés biologiques naturels* déjà examinés. Ils ne tendent rien moins en effet qu'à la *domestication* des microbes

en vue de l'application raisonnée de leur activité vitale à la purification du sewage : de même que l'homme dirige à son gré et à son profit l'énergie musculaire du cheval et autres animaux domestiques, ainsi entend-il aujourd'hui diriger les processus naturels de la putréfaction et de la nitrification, et non seulement leur ôter toute nocuité mais même les faire servir à la satisfaction de ses besoins ; c'est là un beau succès pour la Bactériologie appliquée.

L'Exposition ne montrait qu'une faible partie des efforts faits dans cette voie, ouverte depuis quelques années à peine. On y trouvait cependant deux modèles (l'un pour le traitement du sewage d'une ville, l'autre pour celui d'un château) du procédé de Cameron à Exeter, c'est-à-dire du *Septic tank* suivi de filtres à oxydation⁽¹⁾ ; un modèle du système Erich Merten (filtres à oxydation) ; enfin des dessins de l'Ingénieur italien E. Monaco pour l'installation de 4 filtres (2 primaires et 2 secondaires) bactériens, avec la pouzzolane⁽²⁾ comme matière de support. Nous n'avons pu, à notre grand regret, voir personnellement autre chose sur ce sujet⁽³⁾ : heureusement les ouvrages déjà cités de Rideal et Moore, les rapports des D^{rs} Clowes et Houston pour Londres, des experts Baldwin Latham, Frankland et Perkins pour Manchester, du D^r Sims Woodhead, de la Commission de Baltimore, etc., etc., les relations de voyage de A. Meyer, Reincke, Richter et Nocht, de Hambourg, en 1898, — de Heuser (Gesundheits-Ingénieur du 13 novembre 1900), — de Kinnicutt (Journal of the New England Water Works Association de décembre 1900) — enfin de MM. Launay et Calmette (rapport séparé de M. Launay, et article de M. Calmette dans la Revue d'hygiène du 20 mars 1901), nous ont mis au courant de ce qui vient d'être fait en Angleterre et nous permettront d'en

(1) Il y avait dans le premier modèle deux réservoirs septiques avec 8 filtres et un appareil de distribution alternative ; le second modèle ne comportait qu'un réservoir septique et deux filtres.

(2) Disons tout de suite que des essais ont été faits à Rome par MM. Gosio, Rimini et Monaco (*Annales de la Société des Ingénieurs et architectes italiens*, Fascicule I 1900) sur deux filtres accouplés : dans une première série les filtres étaient remplis de coke, le supérieur en morceaux de 0,02, l'inférieur de 0,005 ; dans une seconde série, on employa la pouzzolane, le premier filtre la recevant mêlée de morceaux de craie, telle qu'elle sort de la carrière, et le second ne contenant que de la pouzzolane criblée. Les filtres recevaient successivement l'eau d'égout pendant 12 heures et se reposaient 12 heures ; après un mois de service on trouva que les matières organiques étaient réduites de 70 0/0 par les filtres à coke, tandis que la réduction atteignait 88 et même 90 0/0 avec les filtres à pouzzolane.

(3) On verra toutefois plus loin qu'à la dernière heure nous avons pu faire profiter les lecteurs de la *Revue technique* des nouveaux renseignements recueillis dans notre voyage en Angleterre à l'occasion du Congrès de Glasgow (Septembre 1901).

donner une idée suffisante aux lecteurs de la Revue technique. Pour l'intelligence même de la suite, nous devons commencer par indiquer comment se passent, à notre avis, les processus biologiques mis en œuvre.

Nous savons déjà que par le mot de purification d'une eau d'égout ou plus généralement de produits de déchet de la vie (animale ou végétale), on entend la destruction des matières organiques et finalement leur réduction en éléments simples, en un mot leur *minéralisation*. Or les substances à décomposer se groupent en deux grandes classes : d'une part, les substances *ternaires*, savoir cellulose, amidon, sucres, savons, graisses et acides organiques, etc., etc., qui se trouvent en si grande abondance dans les pailles, fumiers, papiers, linges, débris de bois, résidus de légumes, herbes, matières fécales et autres corps entraînés si souvent dans les eaux d'égout; d'autre part les substances *quaternaires* ou *azotées*, notamment les substances albuminoïdes, l'urée, les amines et amides et tous leurs dérivés, provenant principalement des organismes animaux. La décomposition de ces deux sortes de corps se fait par *fermentation*, c'est-à-dire par l'action successive ou simultanée de différentes races de microorganismes, végétant chacune suivant son affinité propre; mais il y a une distinction très importante à faire suivant que ces germes ont besoin de la présence de l'oxygène ou doivent au contraire en être privés, en d'autres termes suivant qu'ils sont *aérobies* ou *anaérobies*. Quant au processus lui-même, s'il s'adresse à un corps organique solide, il doit généralement passer par deux grandes phases : la première qu'on appelle *hydrolyse* ou *bactériolyse* a pour effet de solubiliser les substances en quelque sorte en les *digérant* à l'aide des *diastases*, la seconde est la phase *d'oxydation* aboutissant à la nitrification finale.

1° *Décomposition des substances hydrocarbonées.* — L'hydrolyse se fait surtout pour ces substances par fermentation anaérobie (on l'a appelée aussi *forménique* parce qu'elle produit un dégagement de gaz des marais) : le rôle du septic tank est donc capital pour cette transformation,

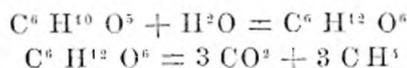
La cellulose paraît être le corps le plus difficile et le plus long à transformer. Il y a déjà une quinzaine d'années que les travaux de Dehérain⁽¹⁾ Gayon⁽²⁾, Hoppe-Seyler⁽³⁾ ont mis en évidence le fait que la fermenta-

(1) Dehérain : *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCVIII et XCIX, *Annales agronomiques*, 1884 et 1887.

(2) Gayon, *Compte rendu de l'Académie des Sciences*, XCV et XCVIII, *Journal de l'Agriculture*, 1884.

(3) Hoppe-Seyler : *Zeitschrift für phys. Chemie*, vol. VIII.

tion du fumier et du papier donne un gaz combustible et formé de méthane et d'acide carbonique : Van Tieghem ⁽¹⁾ et Prazmowsky ⁽²⁾ ont signalé comme agents de cette fermentation le *bacillus butyricus* (*b. amylobacter*, *clostridium butyricum*) et le *spirillum rugula*, qui sont des anaérobies vrais et sont très répandus dans la nature. Ces microbes secrèteraient une diastase, une *cellulase*, ayant pour propriété de rendre soluble la cellulose, sans doute après l'avoir transformée en glucose, et d'en faciliter ainsi l'absorption : on aurait les réactions ci-après :



Cette diastase serait sans doute analogue à celles que Senus (1890) et Horace Brown (1894) disent avoir trouvé dans l'estomac des herbivores pour leur permettre la digestion des plantes, ou encore à la *cytase* que Brown et Morris ont isolée (1890) de certains champignons. Omeliansky ⁽³⁾ a repris récemment la question; il trouve qu'il y a une fermentation de la cellulose vraie qui se fait très lentement et donne non pas du formène, mais de l'hydrogène et de l'acide carbonique; à côté d'elle, les diverses variétés de cellulose subiraient principalement l'action des ferments butyriques, ce qui produirait le formène, parfois aussi de l'hydrogène (peut-être réducteur pour les corps oxygénés voisins), de l'acide carbonique et des acides organiques (formique, acétique, butyrique). Ces acides et leurs sels, en y ajoutant les lactates, malates, tartrates, citrates, glycérates, etc., etc., se décomposent à leur tour par oxydation sous l'influence de divers organismes qui sont encore mal déterminés, malgré les travaux d'Herfeldt ⁽⁴⁾ : d'après Fenton et Jones ⁽⁵⁾, ces acides s'oxyderaient aussi en présence de traces de sels ferreux, qu'on trouve toujours dans les eaux d'égout.

L'amidon pour être assimilé a besoin d'être *saccharifié*, c'est-à-dire transformé en maltose et glucose, grâce à un ferment soluble, l'*amylase*. Beaucoup de bactéries, soit aérobies, soit anaérobies secrètent ce

(1) Van Tieghem, Sur la fermentation de la cellulose (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. LXXXVIII, et *Bulletin de la Société botanique de France* XXIX et XXVI).

(2) Prazmowsky, *Untersuchungen über Entwicklungsgeschichte und Fermentwirkung einiger Bakterien Arten* 1880.

(3) Omeliansky : Sur la fermentation de la cellulose (*Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 9 décembre 1895), *Archives des Sciences biologiques de Saint-Petersbourg*, t. VII et *Chemische Centralblatt*, 1899.

(4) Herfeldt, in *Centralblatt für Bakteriologie*, 1895 (janvier et février).

(5) Fenton et Jones : *Journal of Chem. Society transactions*, janvier 1900.

ferment: Perdrix (1) a isolé un bacille anaérobie, dit *amylolyse*, qui transforme directement la fécule de la pomme de terre en sucre, lequel fermente à son tour en donnant des alcools. Fermi (2) donne l'amylase comme très abondamment répandue chez *b. mégatérium* (anaérobie), *b. subtilis*, *b. ramosus*, *b. fitzianus*, *b. anthracis*, *Spirillum Finkelneri*, etc., etc.

Les sucres ont besoin d'être intervertis. Fermi ne compte pas moins de 70 espèces bactériennes qui secrètent l'*invertine* : les principales sont *b. butyricus*, *b. lacticus*, *b. subtilis*, *proteus vulgaris*, *b. fluorescens liquefaciens*, *b. rouge de Kiel*. Les sucres intervertis se transforment en alcool, l'alcool en acide acétique par des fermentations bien connues; mais anaérobiquement le *b. butyricus* fait fermenter les sucres, comme du reste les matières amylacées, en donnant de l'acide butyrique (Pasteur).

La décomposition des graisses dans le septic tank est mal connue. Les alcalis et notamment l'ammoniaque doivent les saponifier; puis diverses bactéries ou moisissures (le *penicillium glaucum* d'après Hanriot) secrètent des *lipases* qui ramènent les acides gras en acides plus simples (acétique, butyrique, etc., etc.) La glycérine elle-même fermente.

2° *Décomposition des substances azotées.* — L'hydrolyse doit commencer par fluidifier les substances albuminoïdes. Or de même que la pepsine, la pancréatine, la trypsine, la papaïne secrétées par les organismes supérieurs assurent la digestion des albuminoïdes, ainsi un grand nombre de bactéries secrètent des ferments solubles capables de *peptoniser* les mêmes matières. La liquéfaction de la gélatine, produite par tant d'espèces, est un phénomène de ce genre. Lehmann pense que dans cette liquéfaction le ferment n'est autre que la trypsine; Rietsch dit l'avoir isolé; Rideal, Orchard et Boyce assurent que les diastases secrétées par *b. fluorescens liquefaciens* et par *b. enteritidis sporogenes*, séparées des microbes eux-mêmes, liquéfient encore la gélatine (3), etc. Quoiqu'il en soit, dit Macé, ces ferments protéolytiques semblent se rapprocher plutôt de la trypsine, qui agit en milieu neutre ou alcalin, que de la pepsine qui agit en milieu acide : c'est la raison pour laquelle la décomposition bactérienne de la matière albuminoïde dépasse toujours

(1) Perdrix : Sur les fermentations produites par un microbe anaérobie de l'eau, in *Annales de l'Institut Pasteur*, V 1891.

(2) Fermi : Contributo allo studio dei fermenti diastatici ed inversivi segregati dei microorganismi, in *Annales d'Igiène expérimentale*, II 1892 et IV 1894.

(3) Dès 1886 et 87. Bitter et Sternberg avaient déjà montré que les cultures de certains microbes, stérilisées, continuaient à liquéfier.

le terme de peptone et donne des acides amidés, surtout de la leucine et de la tyrosine. Rappelons encore que Duclaux a montré que la fermentation de la caséine était due aux *Tyrothrix* et isolé une *caséase* voisine ou identique à la trypsine, secrétée par ces espèces.

La peptonisation n'est que le début de la *putréfaction*. Celle-ci a principalement pour effet de transformer les matières azotées en dérivés de l'ammoniaque, acides amidés, leucine, tyrosine, glycolle, etc. et finalement en ammoniaque même ⁽¹⁾ ou carbonate d'ammoniaque, ce qui représente le terme ultime de la destruction de la molécule azotée, que les stades suivants ne feront plus qu'oxyder. Les espèces qui causent la putréfaction sont nombreuses et la part qui revient à chacune est loin d'être déterminée; tout d'abord, les espèces banales *b. subtilis*, *b. mesentericus vulgatus*, *bactérium termo*, *b. violaceus*, *b. fluorescens liquef.*, *b. fluorescens putridus* pullulent; mais dès qu'elle ont consommé l'oxygène ou que l'accès de l'air est interdit (ce qui arrive souvent par le fait même du voile que ces aérobies produisent à la surface du liquide), les anaérobies vrais ou facultatifs entrent en scène. Outre ceux déjà cités, ce sont surtout les *proteus vulgaris* et *mirabilis* qui interviennent; d'après Marchal ⁽²⁾, *b. mycoïdes* serait un des principaux agents de cette transformation ammoniacale (on ne connaît pas bien le rôle du colibacille que Hugouenq et Doyon ⁽³⁾ disent avoir vu dégager de l'hydrogène et de l'acide carbonique et réduire les nitrates, mais il pourrait bien être actif à ce moment). Ces fermentations dégagent des gaz odorants et aussi de l'hydrogène naissant qui s'unit au soufre et au phosphore pour donner de l'acide sulfhydrique et de l'hydrogène phosphoré: il se forme également des amines de mauvaises odeurs (ainsi *m. ureæ*, *m. prodigiosus*, *b. fluorescens putridus* produisent de la triméthylamine). Enfin, la transformation ammoniacale finit par se compléter (il ne faut pas la laisser aller trop loin, car de nouvelles combinaisons pourraient se faire et nuire à la nitrification), les *sulfuraires* (*beggiatoa*) viennent clore la scène, le liquide s'éclaircit lentement et la vie tend à disparaître: c'est le moment où moyennant la fourniture d'oxygène, la nitrification va commencer.

(1) Cette transformation anaérobique peut être représentée schématiquement par la formule $2 \underbrace{(C^8H^{15}Az^2O^3)}_{\text{albumine}} + 16 H^2O = 4Az H^3 + 11 CO^2 + 5 CH^4 + 3 H^2$.

(2) Marchal: Sur la production de l'ammoniaque dans le sol par les microbes (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, XXV, 1893).

(3) *Annales de chimie et de physique* 1898; voir également un travail de Grimbert in *Annales de micrographie*, 1889 1896.

Il faut dire un mot en passant de la décomposition de l'urée en carbonate d'ammoniaque, laquelle rentre dans le groupe précédent et est un peu mieux connue. Miquel (1) ne trouve pas moins de neuf espèces d'*urobactéries* pour produire cette transformation, qui se fait souvent de très bonne heure dans les urinoirs mal tenus et dans les égouts (m. ureæ, b. ureæ, sarcina ureæ et divers *urobacilles*). Comme toujours ces espèces doivent sécréter une diastase (*uréase*), mise en évidence par Musculus, Pasteur et Joubert. Les *proteus* font aussi fermenter énergiquement l'urée qui aurait échappé aux espèces précédentes.

Le processus de la nitrification a été mis en évidence par les travaux de Winogradsky déjà cités et confirmés tout récemment par ceux d'Omeliansky (également cités ci-dessus). Il paraît bien établi : 1° Que l'azote ammoniacal seul, à l'exclusion des amines et des amides, est susceptible d'être oxydé par les ferments nitrifiants, ce qui veut dire que la transformation ammoniacale du stade précédent doit être complètement terminée avant qu'on mette en action les nouveaux ferments; 2° Que le passage de l'azote ammoniacal à l'état d'azote nitrique se fait en deux étapes, c'est-à-dire en passant par l'intermédiaire de l'acide nitreux, en sorte qu'il y a d'abord une *nitrosification*, suivie seulement de la *nitrification* proprement dite; 3° Que lorsque tout l'azote est passé à l'état de nitrates, les bactéries ne pouvant plus vivre, diminuent très rapidement de nombre, ce qui indique que l'épuration est complète et que les éléments dissous sont devenus assimilables pour les plantes.

Les agents de ce double phénomène paraissent bien être le *nitrosomonas* et le *nitrobacter* de Winogradsky, le premier transformant l'ammoniaque en nitrites, et le second les nitrites en nitrates. *Nitrosomonas* est une cellule ronde ou ellipsoïdale de 1 à 1,8 μ de diamètre, généralement immobile, mais ayant quelques courtes périodes de mobilité : au repos, les éléments sont réunis en petits amas par une matière gélatineuse peu consistante. *Nitrobacter* est un bâtonnet très fin de 0,2 μ de large sur 0,5 μ de long, entouré d'une mince couche de gelée et se colorant mal aux couleurs d'aniline. Ils vivent bien en symbiose : d'après Omeliansky, ces deux espèces jointes à *b. racemosus* dans du bouillon donnent de l'acide nitrique, *b. racemosus* produisant l'ammoniaque; si on n'ensemence que *b. racemosus* avec *nitrobacter*, on n'a

(1) Miquel : Etude sur la fermentation ammoniacale et sur les ferments de l'urée, in *Annales de micrographie*, 1889-1896.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, LXXXII et LXXXIII.

que de l'ammoniaque, tandis que si on n'ensemence *b. racemosus* avec *nitrosomonas* on a de l'acide nitreux et pas du tout d'acide nitrique. C'est la nitrification qui exige les plus grandes quantités d'oxygène. Les deux espèces ne poussent pas sur gélatine, car elles ont comme caractère important d'exiger un milieu absolument privé de matières organiques : Winogradsky et Kühne ont indiqué pour les cultiver les milieux gélatineux minéraux, notamment la gelée siliceuse (silica jelly) additionnée d'une solution nutritive minérale de composition assez complexe (1).

Pour être complet dans l'examen du cycle parcouru par l'azote, il faudrait ajouter que certaines bactéries ont la propriété inverse des ferments nitrifiants, c'est-à-dire qu'elles réduisent les nitrates en nitrites et en ammoniaque : ainsi les ferments butyriques (anaérobies), le colibacille, le *b. mycoïdes*, etc., etc., jouissent de cette propriété. Il faut évidemment ici éviter que de tels agents rentrent en scène après l'épuration; mais généralement celle-ci reste trop incomplète pour que cela soit à craindre et le danger est plutôt dans un trouble, tel qu'un manque d'oxygène, pendant les opérations de la nitrification.

En résumé, les phénomènes qui tendent à l'épuration des eaux d'égout résultent de l'activité d'une série de microorganismes, dont les conditions vitales, délicates et encore peu connues, peuvent toutefois déjà être soupçonnées et même dirigées avec habileté vers le but poursuivi. Etant donné la complexité de la flore bactérienne du sewage, il ne semble pas qu'on ait intérêt, du moins pour le moment (les essais de Dibdin et de Scott-Moncrieff dans ce sens ont échoué) à ensemercer certaines espèces spéciales, mais il est tout indiqué de surveiller les évolutions naturelles pour favoriser celles qui sont utiles, empêcher les actions contraires, en un mot aider la nature sans la contrarier : le contrôle du chimiste et du bactériologue doit donc être incessant, et c'est la succession même des transformations que nous venons d'énumérer qui servira de guide dans ce contrôle.

Cette succession nous montre qu'il y a en somme, deux phases capitales la phase d'*hydrolyse* ou *anaérobique* (fermentation et solubilisation de la cellulose, peptonisation et transformation ammoniacale des albuminoïdes), et la phase d'*oxydation* ou *aérobique* (nitrosification et nitrification). On ne peut pas plus se passer de l'une que de l'autre de ces phases et, pour réussir, la seconde ne doit commencer que lorsque

(1) Voir pour les détails les mémoires originaux ou la dernière édition (1901) du *Traité de bactériologie* de Macé, page 413.

la première est terminée (1). C'est donc une erreur de diviser les procédés en *anaérobiques* et en *aérobiques*, ils doivent être tous *anaéro-aérobiques* : en fait, Waring et Dibdin ne peuvent pas plus se passer du réservoir septique préalable (2) que Scott-Moncrieff et Cameron ne peuvent omettre les filtres oxydants ou lits bactériens subséquents. Nous distinguerons toutefois les essais et installations suivant qu'ils développent plus spécialement l'une ou l'autre phase ; nous devons ensuite dire quelques mots des tentatives faites pour supprimer l'intermittence, ainsi que des appareils spéciaux imaginés pour la distribution de l'eau, l'aération forcée et le chauffage.

I. — Procédés plus spécialement anaérobiques

1° *Système Scott-Moncrieff*. — Dès 1891, Scott-Moncrieff montra le rôle de l'hydrolyse anaérobie. Il installa à Ashtead, dans sa propre

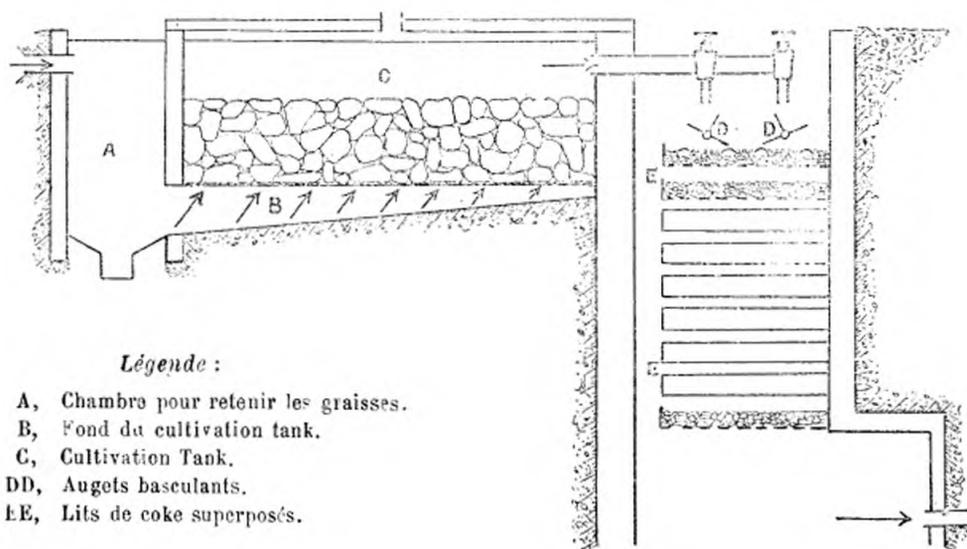


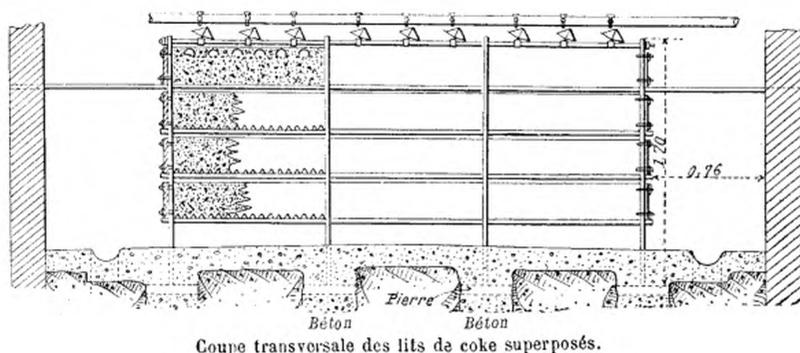
Fig. 236. — Schéma du système Scott-Moncrieff (Expériences d'Ashtoad).

maison, un appareil composé d'une boîte (*cultivation tank*) remplie de cailloux reposant sur un faux-fond perforé : le sewage arrivait sous le faux-fond, comme dans la fig. 236, et traversait au sortir de la boîte

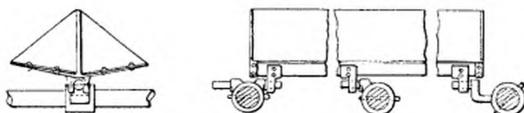
(1) Puisque tout l'azote qui n'a pas été transformé en ammoniac ne peut être attaqué par les ferments nitrifiants.

(2) Il arrive que cette phase anaérobie se passe parfois dans les égouts eux-mêmes, par suite de la stagnation des matières, et dans les bassins de sédimentation qui précèdent toujours une installation : c'est ce qui fait qu'elle a pu rester inaperçue et qu'on a cherché à passer de suite aux filtres oxydants. Le premier filtre de Dibdin travaille souvent du reste anaérobiquement.

à graisse la couche de cailloux de bas en haut, en sorte que la fermentation anaérobie se faisait dans l'espace B ainsi que dans les interstices des cailloux et qu'en fait il n'y eut pas encrassement, mais bien



Coupe transversale des lits de coke superposés.



Détail des augets basculants.

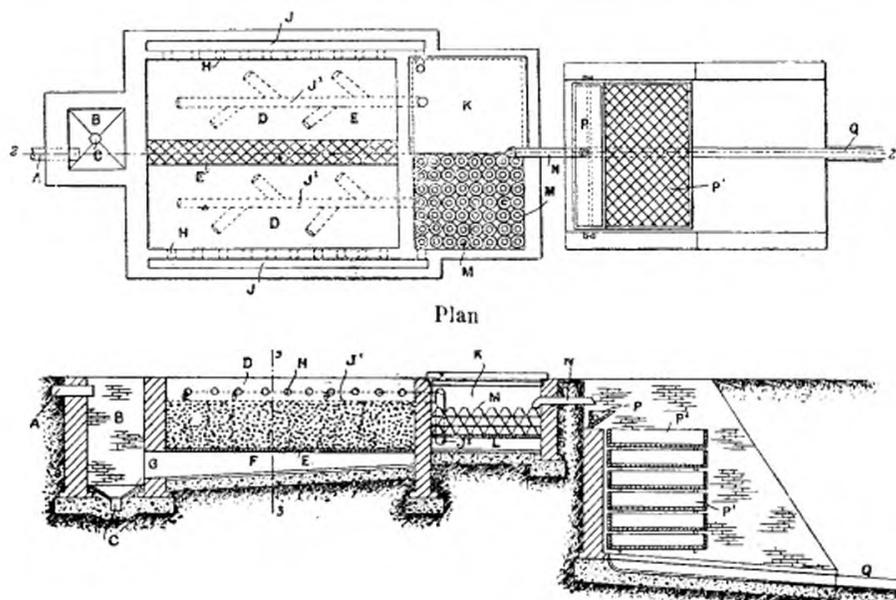
Fig. 236 bis. — Appareils Scott-Moncrieff.

Lits de coke superposés et augets basculants de l'installation d'Eccleston-Ferry.

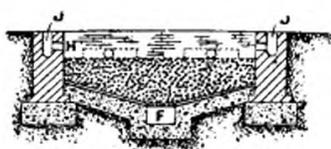
bactériolyse. L'inventeur sentit bientôt la nécessité d'assurer la nitrification subséquente, et il fit d'abord passer l'effluent dans une conduite demi-circulaire, ouverte suivant un plan diamétral et remplie avec des fragments de coke, conduite qu'il appela *canal nitrifiant*. Depuis, il a encore développé davantage cette partie, et pour cela il a fait descendre le sewage sortant du «cultivation tank» au travers de neuf caisses filtrantes superposées, remplies de morceaux de coke et laissant entre elles, pour la circulation de l'air, des espaces libres de 7 à 8 cm : le déversement sur la caisse supérieure se fait automatiquement et aussi régulièrement que possible au moyen d'augets basculants DD (*tilter* ou *tipper*). La fig. 236 montre schématiquement une installation de ce genre : la fig. 236 bis fait voir le détail des lits de coke superposés (il n'y en a ici que quatre) et les augets basculants d'une installation faite en 1897 à Eccleston Ferry, pour l'établissement du duc de Westminster. Il paraît qu'il y en a plusieurs semblables dans des villes sud-africaines.

Le système Scott-Moncrieff a été appliqué en 1898 pour le War Office aux Caterham Barracks, pour traiter le sewage très concentré de 1200 hommes à raison de 75 m³ par jour. Le «cultivation tank» a 42 pieds

de long, sur 20 de large (soit 3 pieds cubes par homme) et les lits nitrifiants occupent une surface à peu près égale. La fig. 237 et sa légende suffisent à faire comprendre cette installation : la chambre K, où



Coupe en long suivant 2-2.



Coupe en travers suivant 3-3.

Légende: A, Entrée du sewage; B et C, Chambre à graisse et évacuation; D, Cultivation tank; E, Grille faisant faux-fond du tank; F G, Espace inférieur du tank; H J, Evacuation par orifices latéraux supérieurs; J' J', Evacuation au niveau du dessus des cailloux; K, Chambre couverte pour complément du processus de putréfaction anaérobie; M, Vases en grès renversés et superposés; N, Issue du sewage; P, Augets basculants; P', Lits de coke (nitrifiants superposés); Q, Evacuation.

Fig. 237. — Système Scott-Moncrieff à Catterham-Barracks.

se trouvent des vases en grès renversés et superposés et qui est fermée, permet l'achèvement du processus anaérobie à la faveur des gaz dégagés; mais il faut vérifier par la teneur en ammoniacque si ce complément est utile, car en cas contraire il se formerait des amines et des toxines nuisibles aux agents nitrificateurs, qui doivent agir ultérieurement; ce serait donc surtout une chambre de contrôle. Le traitement du sewage a eu un effet agricole très marqué: auparavant, une petite ferme à sewage recevait les eaux usées des baraquements, mais n'en tirait que peu de profit à cause de la nature très calcaire du terrain; depuis, le fermier a remarqué que les plantes profitaient beaucoup mieux.

Le Birmingham Tame and Rea District Drainage Board vient aussi de mettre à l'essai un « cultivation tank » de mêmes dimensions que

Léonard à Exeter (environ 2 000 personnes, produisant 225 m³ de sewage en moyenne par jour). Après avoir traversé une chambre à sable en grès

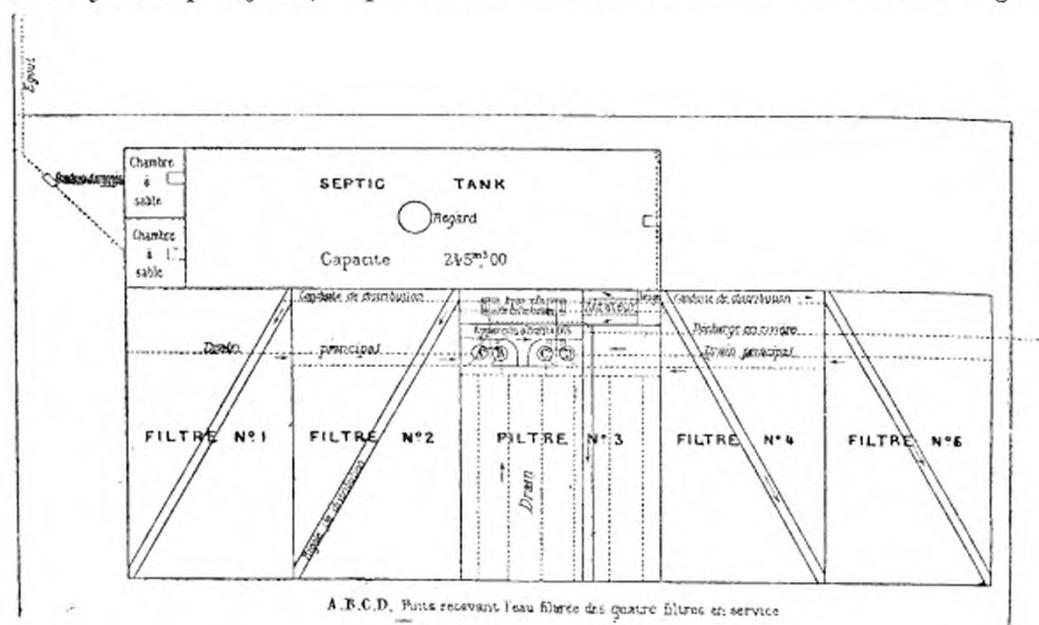


Fig. 238. — Système Cameron.

Plan du septic tank de Belle-Isle, pour le traitement des eaux du quartier Saint-Léonard (Exeter). (grit chamber), le sewage arrive dans le réservoir septique, simple bassin en briques voûté de 56 pieds 10 pouces de long, 18 pieds de large et 7 pieds 6 pouces de profondeur, soit une capacité utile de 53 800

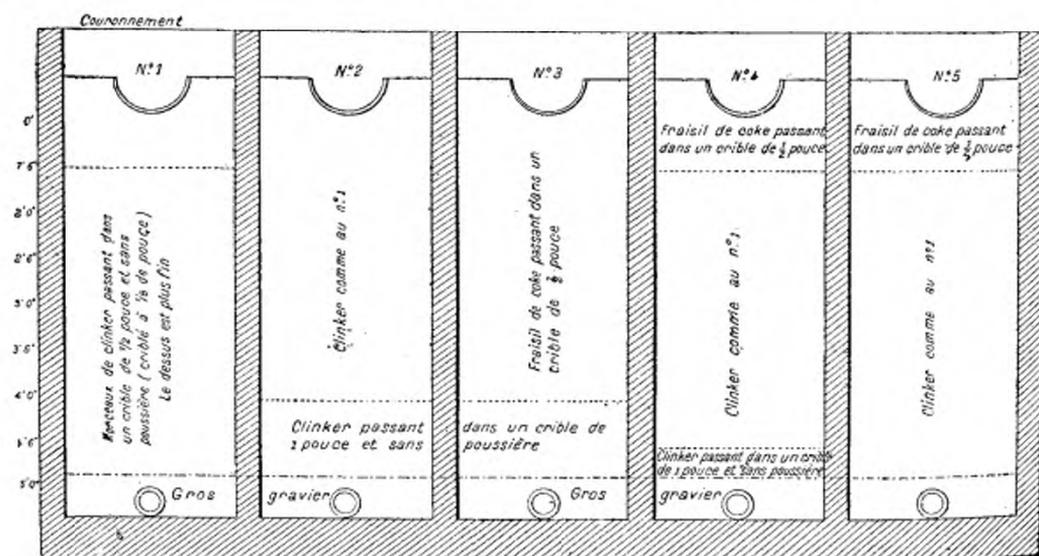


Fig. 239. — Coupe transversale des lits filtrants d'Exeter (montrant leur constitution).

gallons (244^{litres},4) correspondant à peu près à l'apport de 24 heures. La lenteur avec laquelle le sewage traverse le septic tank permet aux anaérobies de faire leur œuvre et il en résulte un dégagement de gaz

inflammable qui peut être utilisé (1). A la sortie du tank anaérobie, l'effluent passe dans une chambre de jauge graduée et circule dans un canal allongé en forme d'auge, d'où il tombe sur les côtés en nappe mince,

Diagramme des tuyaux de trop-plein.

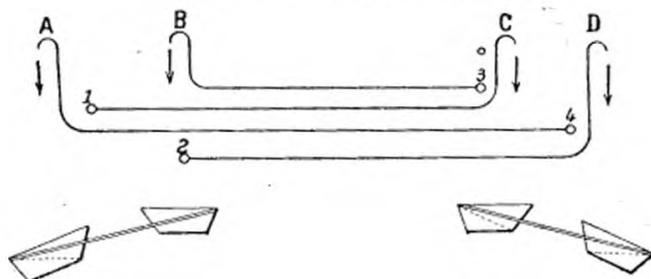
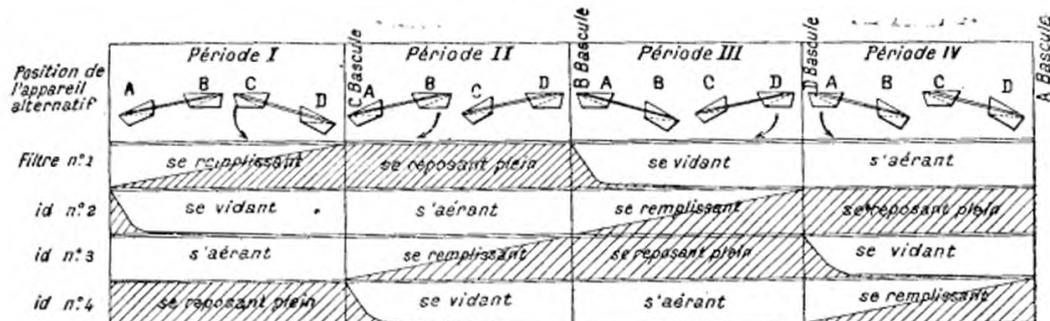


Diagramme montrant les situations successives des filtres, correspondant à celle des appareils alternatifs.



Cycle pour les quatre filtres n°s 1, 2, 3, 4, se vidant dans les quatre puits collecteurs A, B, C, D.

Au départ le puits n° 4 est plein et au repos et le n° 1 se remplit.

Quand le n° 1 va être plein, il déverse dans le baquet C, faisant vider le n° 4, abaissant la valve d'évacuation du n° 3, et ouvrant celle d'arrivée au n° 3. — Période I.

Quand le n° 3 va être plein, il déverse dans le baquet B, faisant vider le n° 1, abaissant la valve d'évacuation du n° 2, et ouvrant celle d'arrivée au n° 2. — Début de la période II.

Quand le n° 2 va être plein, il déverse dans le baquet D, faisant vider le n° 3, abaissant la valve d'évacuation du n° 4, et ouvrant celle d'arrivée au n° 4. — Début de la période III.

Quand le n° 4 va être plein, il déverse dans le baquet A, faisant vider le n° 2, abaissant la valve d'évacuation du n° 1, et ouvrant celle d'arrivée au n° 1. — Début de la période IV et ainsi de suite.

Fig. 240. — Appareils de distribution automatique de Cameron.

de manière à être bien aéré, pour entrer dans les lits aérobiques. Ceux-ci au nombre de cinq (dont un de rechange) sont des compartiments de 66^m280 de superficie avec 1^m,52 de profondeur (5 pieds), remplis et drainés comme il est montré par la fig. 239. Les phases successives du fonction-

(1) Rideal, qui a étudié la composition de ces gaz la donne comme suit:

	Pour cent	En volume
Acide carbonique	0.3	0.6
Formène ou méthane	20.3	24.4
Hydrogène	48.2	36.4
Azote	61.2	38.6

nement de chaque compartiment sont réglées automatiquement au moyen d'appareils alternatifs (*alternating gear*) très ingénieux, imaginés par M. Cameron : la fig. 240 fait voir le cycle de la distribution du sewage sur les filtres.

(On trouvera une description détaillée de ces appareils dans l'ouvrage de Rideal, pages 247 à 249 : il nous suffira d'en indiquer le principe. Quand un filtre se remplit, l'eau monte dans le puits de décharge correspondant ; quand le filtre va être plein, l'eau du puits passe dans une conduite dite de trop-plein (de 1 pouce $1/4$ de diamètre) et vient tomber dans deux paires de baquets montés sur des arbres oscillants. Ces arbres, prenant des positions variables suivant le remplissage des baquets, meuvent en même temps les valves qui commandent l'arrivée du sewage sur les filtres et leur vidange. Le filtre qui vient d'être rempli fait ainsi vider celui qui était plein avant lui, en même temps qu'il fait fermer la valve de vidange et ouvrir la valve de remplissage de celui qui doit être rempli après lui. — M. Graham, de Newcastle, a imaginé un appareil analogue à celui de Cameron et qui serait parait-il, meilleur marché : c'est une trémie oscillante montée sur la paroi séparant deux filtres et manœuvrée par deux flotteurs se mouvant dans des chambres contiguës à chaque filtre ; le sewage arrive dans la trémie qui se décharge dans l'un ou l'autre des compartiments suivant l'action des flotteurs).

Une enquête fut faite en 1897 sur le système d'Exter par le Local Government Board, qui en reconnut l'efficacité et en autorisa l'extension à toute la ville, sous la condition dont il ne s'est pas encore départi — mais qu'on n'applique pas — de faire servir l'effluent à l'épandage agricole. Exeter compte 46 000 âmes et a un efflux moyen de 4 833 m³ par jour : on a prévu six tanks de 181 pieds de long, 35 de large et 7 de profondeur, soit une capacité totale de 7 350 m³, et huit filtres d'une surface totale de 1 hect. en chiffre rond (2 $1/2$ acres) avec 3,5 pieds de hauteur. Les travaux sont en cours d'exécution ; c'est donc une installation qui occupera 1 hect. 36 et qui traitera ainsi 3 550 m³ par hectare et par jour ou 1 300 000 m³ par hectare et par an. Nous voici loin des surfaces exigées par l'épandage et même par la filtration intermittente.

Installation de Barrhead (fig. 241). — A Barrhead (Ecosse), on traite le sewage de 10 000 habitants, avec un débit maximum de 1 800 m³ par jour. Il y a quatre septics tanks couverts ayant chacun 100 pieds de long, 18 de large et 7 de profondeur, et huit filtres à grains fins de chacun 55 pieds de long, 54 de large et 4 de profondeur, remplis avec du mâche-

ter concassé. Le système de distribution est le même qu'à Exeter.

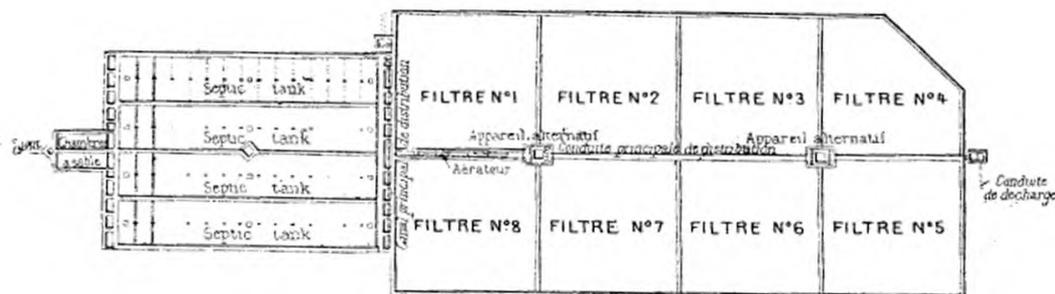


Fig. 241. — Système Cameron; plan de l'installation de Barrhead.

Autres installations.— On compte 75 autres installations du système Cameron actuellement en service en Angleterre : Yeovil, Andover, Cromer, Marlborough, Morecambe, West Bridgford, Taunton etc., ainsi que pour le War Office celles de Tipperary et Devizes Barracks et d'Obekampton Camp. Il y a de nombreux projets pour des villes petites et grandes, jusqu'à Walthamston qui a plus de 100 000 habitants.

Résultats comme épuration.— En 1897, divers auteurs ont trouvé que le traitement d'Exeter donnait les réductions suivantes pour cent.

	Ammoniaque albuminoïde	Oxygène consommé
Dupré	84,9 0/0	88,3 0/0
Perkins	64,4	78,7
Dibdin et Tudichum	63,2	80,9
Pearmain et Moor	80,0	90,2
Rideal	77,0	82
Moyenne	75	84,0

Les analyses plus complètes de M. Dibdin donnent ce qui suit (en milligrammes par litre).

	Matières en suspension			Matières dissoutes			Oxygène consommé (en 4 heures)	Ammoniaque libre	Ammoniaque albuminoïde	Azote nitreux	Azote nitrique
	Total	Minérales	Organiques	Total	Minérales	Organiques					
Eau d'égout brute	350,4	143	207,4	427,6	200,2	227,4	29,0	34,3	3,0	»	»
Effluent du septic-tank	134,4	50,4	104,3	439,0	230,2	208,8	20,2	39,5	2,4	»	»
Effluent final	0	0	0	290,3	290,3	346,4	5,6	24,3	1,4	3,6	5,4

A Yeovil, où le sewage (60 m³ par jour en 1897) est extraordinairement chargé d'eaux résiduaires (industrie du feutre, des gants, etc.),

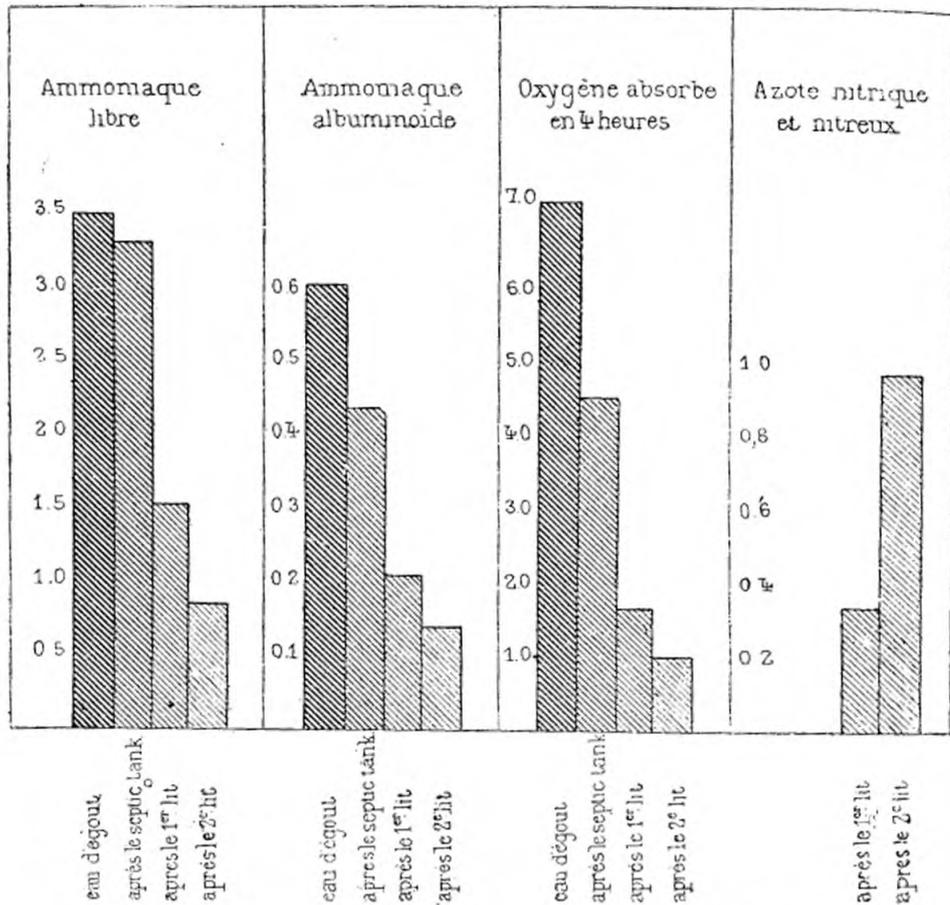


Fig. 242. — Diagramme des résultats de l'épuration des eaux d'égout d'Yeovil, traitées par le septic tank et les lits de double contact. (Analyses de M. Dibdin).

Nota. — Les quantités sont en grains par gallon: il faut les multiplier par 14,3 pour avoir les chiffres en milligrammes par litre.

L'épuration avec un seul lit filtrant était insuffisante, et on a dès lors ajouté un lit secondaire (double contact). On a alors obtenu les résultats excellents indiqués par le schéma ci-dessus, fig. 242.

II. — Procédés plus spécialement aérobiques.

1^o *Système des lits bactériens à double contact, ou système Dibdin ou encore système de Sutton.*

Expériences de Barking. — C'est en 1891 que Dibdin et Tudichum entreprirent à Barking, sur le sewage de Londres déjà précipité par la

chaux, les célèbres expériences qui leur révélèrent la puissance épuratrice de l'activité bactérienne. A vrai dire, ces expériences ne sont que la suite de celles de Lavrence, mais le mérite de leurs auteurs est d'avoir vu que la filtration n'agissait pas seulement mécaniquement, mais surtout biologiquement: les couches filtrantes doivent dès lors être aménagées pour jouer le rôle de couches de support, de *lits*, sur lesquels les bactéries peuvent pulluler à l'aise, et c'est dans ce sens que les couches de coke, d'argile cuite concassée, de mâchefer etc., ont été trouvées tout aussi efficaces et même plus que le gravier et le sable (ces derniers clarifient mieux, mais éliminent moins bien la matière organique dissoute, ainsi qu'on le constate par la réduction de la quantité d'oxygène absorbé, et laissent un effluent plus susceptible de se putréfier).

A Barking, M. Dibdin employa un filtre d'un acre de surface et de 2 pieds d'épaisseur de matériaux; ceux-ci étaient des morceaux de coke de 0^m,05 de diamètre, recouverts d'une couche de cailloux de 3 pouces à la partie supérieure. Le drainage était assuré par des tuyaux en terre cuite disposés en arête de poisson. Ce filtre marcha d'abord d'une manière continue pendant 6 semaines et s'engorgea: l'effluent, qui avait diminué de 4500 m³ à 1135 par jour, restait putride. Devenu bientôt hors d'usage, le filtre fut ratissé superficiellement, puis laissé au repos pendant 3 mois 1/2. M. Dibdin constata alors avec surprise qu'il était régénéré (il y avait eu hydrolyse des matières qui l'encombraient), et le fit fonctionner cette fois par intermittences, avec deux remplissages par jour (le remplissage durait 2 heures, le repos à l'état plein 1 heure et la vidange 5 heures). Le filtre atteignit son maximum d'effet purificateur au bout d'un mois et le conserva; il était de 83 0/0 en oxygène consommé (teneur en matières organiques), avec un débit qui varia de 2270 m³ à 4550³ par jour. Le filtre continue à fonctionner sans s'obstruer; toutefois, on le laisse au repos toutes les semaines pendant 32 heures consécutives. L'hiver très rude de 1893 n'a pas arrêté son fonctionnement; la nitrification est seulement un peu moins active par la gelée.

Installation de Sutton. — La petite ville de Sutton — 16 500 âmes — est devenue, dit Moore, la *La Mecque* des ingénieurs sanitaires; en 1898, elle n'a pas reçu moins de 305 députations, venues de toutes les parties du globe pour visiter les *lits bactériens à double contact* installés par Dibdin. Elle est récompensée de la confiance qu'elle a eue en ce savant, et cela malgré les avis du Local Government Board, alors défavorable au nouveau système.

En 1891, Sutton, drainée d'après le *separate system*, construisit six bassins de 225 m³ chacun pour la précipitation chimique par la chaux et le vitriol; l'effluent devait être employé à l'épandage agricole. Le volume journalier est de 500 000 gallons (2 250 m³). Le sol qui est de l'argile de Londres ne se prêta pas bien à l'épandage; aussi, en 1893, Dibdin conseilla l'établissement de deux lits bactériens à grain fin, de chacun 750 m³ de capacité, pour traiter le sewage sortant des bassins de précipitation.

A partir de novembre 1896, le sewage ne fut plus traité chimiquement, mais il fut reçu dans des lits à gros grains, formés de morceaux d'argile cuite de plus de 0^m,01, et installés dans les anciens bassins de précipitation: ce sont les *lits primaires*, les lits à grains fins étant dits *secondaires*. Le premier lit primaire ainsi installé avait 1^m,06 d'épaisseur et une surface de 155 m²; les drains étaient des tuyaux de 0^m,075 se collectant dans un autre de 0^m,15 de diamètre.

Le système du double contact ainsi essayé ayant parfaitement réussi, on l'étendit de manière à traiter tout le sewage. Mais Dibdin ayant remarqué combien il était important d'écarter au préalable les corps étrangers et les sables qui encombreraient inutilement les filtres, l'eau d'égout fut tout d'abord décantée et tamisée au moyen de la grille rotative, dont il a été question précédemment (page 539). Puis, comme il fut démontré que dans le lit bactérien à gros grains il s'exerçait souvent — surtout pendant la période de repos à l'état plein — une action hydrolytique anaérobie, on ajouta un *septic tank ouvert*, c'est-à-dire un bassin de sédimentation, où le sewage, arrêté ou passant lentement sous une croûte qui le met à l'abri de l'air, subit la fermentation ammoniacale complémentaire que nous connaissons; il en sort donc, comme du septic tank de Cameron, prêt pour la nitrification. Bref, il y a aujourd'hui quatre lits primaires de chacun 55 pieds sur 30 (capacité totale d'un filtre, 5 800 pieds cubes ou 165 m³, dont un tiers environ de capacité utile pour le liquide), et deux autres plus grands (n^{os} 8 et 9) en construction — voir fig. 243 — et huit lits secondaires à grains fins, dont six ayant chacun 65 m² de surface et 0^m,60 à 0^m,90 de profondeur et deux tout récents beaucoup plus grands, l'un de 390 m² et l'autre de 570 m².

Le réservoir septique ouvert fonctionne depuis février 1899 à raison de 1 350 m³ de sewage par jour et digère les boues apportées à raison de 7 à 8 tonnes par jour. Les lits primaires sont remplis en 3/4 d'heure, maintenus pleins pendant 2 heures (pour achever l'action anaérobie), puis vidés en 1 heure 1/4 et laissés au repos 2 heures (pour l'action

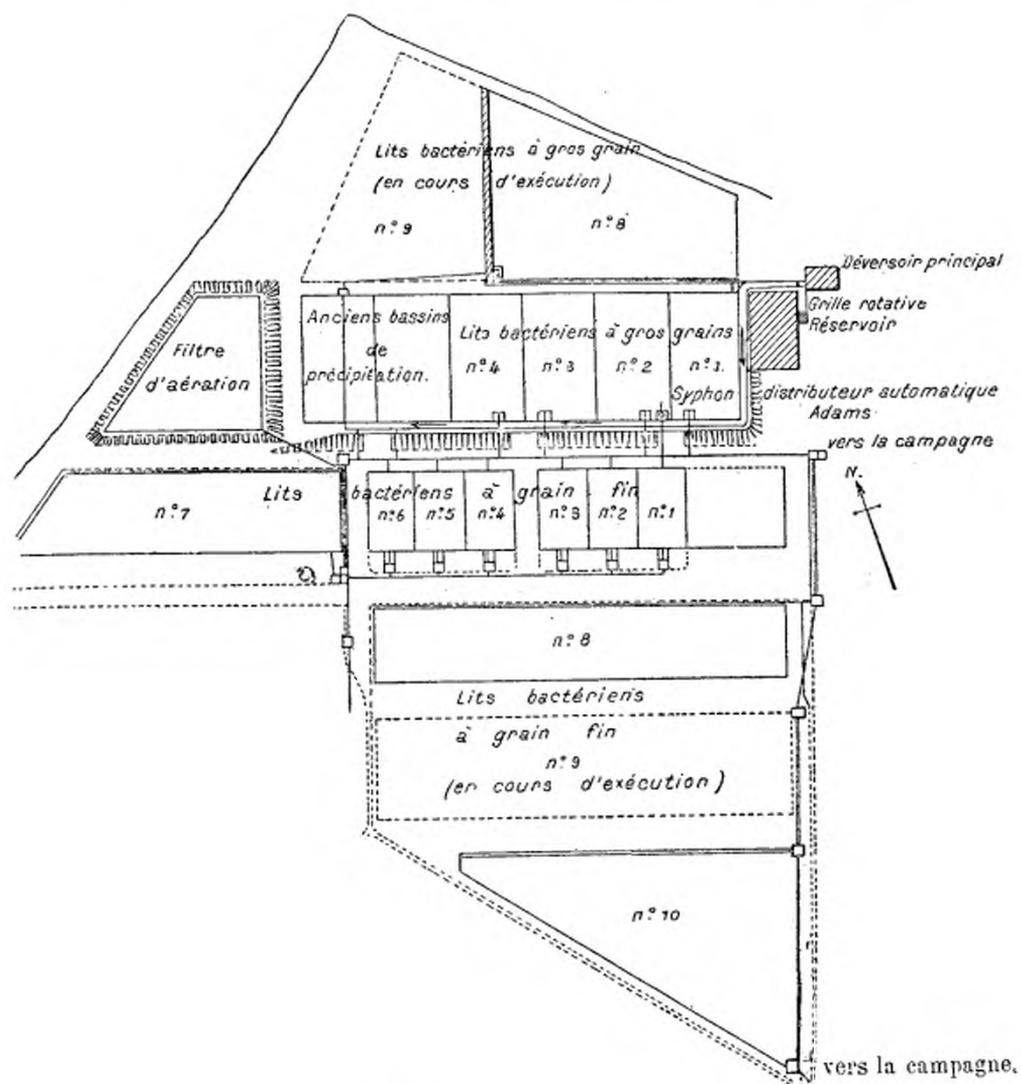


Fig. 243 (a). — Plan général.

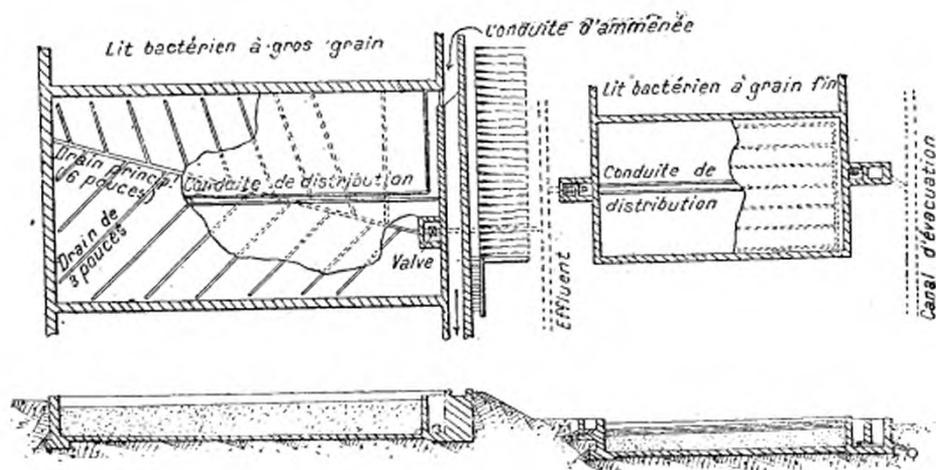


Fig. 243 (b). — Plan et coupe d'un lit primaire (gros grain) et d'un lit secondaire (grain fin).

Fig. 243. — Plan des lits bactériens à double contact de Sutton.

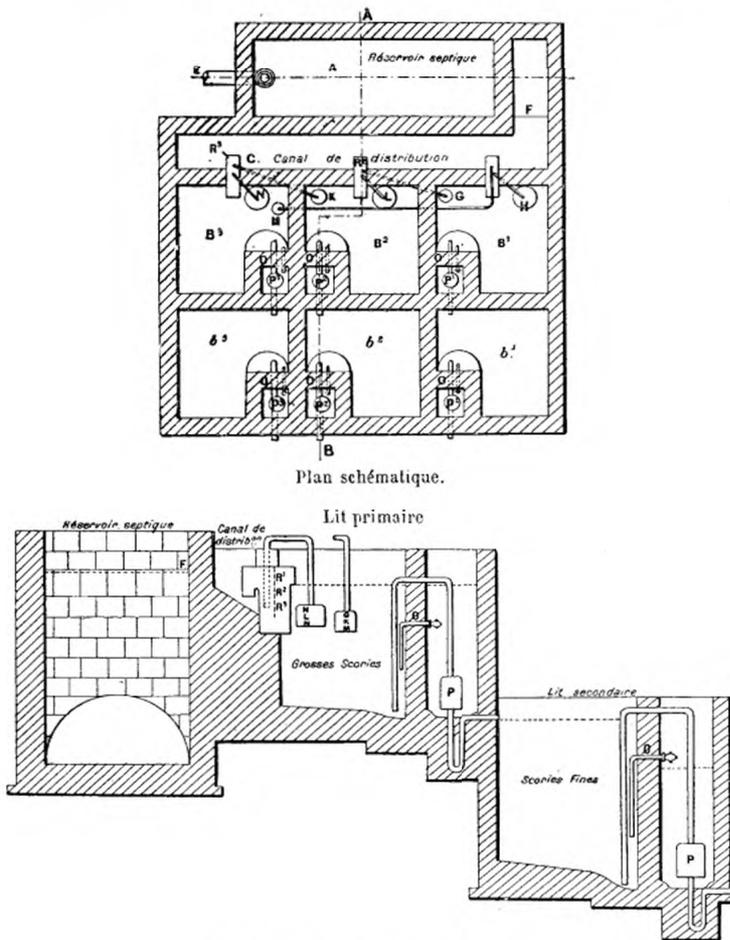
aérobique); on fait deux charges par jour, ce qui fait 27 000 gallons (123 m³) par filtre et par jour, soit 0^m³,800 par mètre carré de surface filtrante. Les lits secondaires reçoivent trois charges par jour et à chaque charge, pour l'ensemble, un volume de liquide de 353 m³ correspondant à 31 0/0 de leur capacité totale, ce qui fait pour la journée entière 0^m³,862 par mètre carré.

Jusqu'en 1899, la distribution du sewage sur les filtres de Sutton se faisait très simplement par des canaux de distribution (fig. 243—*b*) le conduisant à l'extrémité opposée du compartiment. Mais, on y adapta alors le système automatique Adams, qui est très ingénieux et repose sur l'emploi du siphon de chasse déjà connu (p. 483 et suivantes).

La fig. 244 en montre le schéma : B¹, B², B³ représentent les lits primaires ; b¹, b², b³ les lits secondaires ; P¹, P², P³ les bassins de chasse destinés à vider les lits primaires ; p¹, p², p³ ceux destinés à la vidange des lits secondaires ; R¹, R², R³ des distributeurs automatiques ; G, K, M des cloches d'amorçage des distributeurs ; H, L, N des cloches d'arrêt des distributeurs ; O, O, O des tuyaux et robinets de réglage des bassins de chasse. Le sewage sort du réservoir septique A par le bassin d'écoulement F et le canal de distribution C, dans lequel plongent les tubulures des distributeurs R¹, R², R³ ; au début, R² et R³ sont fermés artificiellement et l'eau passe par R¹ pour pénétrer dans B¹. Cette alimentation se poursuit jusqu'à ce que la cloche G soit noyée ; l'air, en se comprimant alors sous cette cloche, dégage le cantonnement d'air qui empêchait l'alimentation par le distributeur R², et le lit B² commence à se remplir. Le niveau s'élevant davantage dans B¹ noie à son tour la cloche H, et la compression d'air qui s'opère ainsi sous cette cloche arrête en formant un cantonnement d'air le distributeur R¹. L'alimentation se poursuit alors dans B² jusqu'à ce que la cloche K ouvre le distributeur R³ et que la cloche L obture le distributeur R². Les mêmes faits se reproduisent dans B³ par les cloches M, qui dégage R¹, et N qui obture R³. Pour la vidange, chaque lit est muni d'un bassin de chasse, P ou p, lequel s'alimente par trop plein du lit même, au moyen d'un tuyau O muni d'un robinet de réglage dont le débit est calculé pour que le départ du siphon n'ait lieu qu'au bout du laps de temps déterminé ; ledit siphon est muni également d'un tuyau d'aspiration qui plonge dans le lit et en vide le contenu à la suite de celui du bassin de chasse.

L'adoption des procédés bactériens à Sutton a permis de réduire la dépense du traitement des eaux d'égout de 15^l, 11^{sh}, 11^d à 3^l 19^{sh} par million de gallons, soit de 86^{fr},50 à 21^{fr},95 par 1 000 m³.

Quant aux résultats relatifs au degré d'épuration, nous ne pouvons que renvoyer — comme du reste pour tous les détails sur ce qui précède — au volumineux rapport de M. Chambers Smith, Surveyor du



Coupe schématique suivant AB du plan.
Fig. 244. — Appareils de distribution automatique Adams.

Sutton Urban District Council, du 31 mars 1899. De nombreuses analyses et de nombreuses expériences sur les capacités des filtres ont été faites à Sutton; nous citerons seulement, d'après les analyses de Dibdin et Tudichum, la moyenne de l'épuration pendant l'année 1898 :

	en oxygène consommé en 4 heures	en ammoniaque albuminoïde	en matières en suspension
Epuration après le lit primaire.	48 0/0	44 0/0	90 0/0
Epuration après le lit secondaire	89	84	100

Rideal, en faisant en juin 1899 une enquête pour le Local Government Board, a trouvé comme moyenne de composition les chiffres ci-dessous, en milligrammes par litre :

Eaux d'égout de Sutton	Matières en suspension	Matières dissoutes	oxygène consommé (en 4 heures)	Chlore	AZOTE						Degré d'épuration pour cent		
					Nitreux	Nitrique	de l'am- moniaque libre	de l'ammo- niacque albu- minoïde	Organique	Total	en oxygène consommé	en ammo- niacque albuminoïde	en azote organique
Eau d'égout brute	609	970,3	29,4	114,7	0	0	30,4	4,9	31,2	61,2	»	»	»
Effluent du lit primaire . . .	152	866	14,6	97,8	1,9	7,3	11,1	2,0	14,1	34,4	51	59	55
Effluent du lit secondaire. . .	0	978,3	8,3	85,3	1,1	33,3	3,4	1,5	3,9	41,7	72	70	87

Installation d'Oswestry. — Le système de Sutton a été établi en 1898 à Oswestry, ville de 10 000 habitants, traitant 1 360 m³ de sewage par jour ; filtres primaires de 1^m,37 d'épaisseur et filtres secondaires fins de 1^m,22, constitués avec des morceaux de scories charbonneuses ; décantation préalable dans des bassins. Coût de l'installation 45 000 francs, et frais d'exploitation annuels de 2 000 francs.

Installation de Southampton. — M. Bennett a installé à titre d'essai pour traiter le sewage d'un quartier de Southampton (4 000 habitants), trois lits bactériens, dont deux de 80 pieds sur 30 entièrement fermés (sans air ni lumière) et l'autre de 60 pieds sur 30, ouvert et placé entre les deux premiers. Ils ont été faits aussi économiquement que possible, creusés en pleine terre argileuse sans revêtement et remplis de morceaux de *clinker* venant du *refuse destructor*, sur 3 1/2 pieds d'épaisseur ; dans le lit d'oxydation, au *clinker* est ajouté du polarite. On a été très content du résultat obtenu pendant la première année de fonctionnement ; la distribution du sewage sur les lits, qui était d'abord très primitive, vient d'être améliorée par l'adaptation de distributeurs (sprinkler) tournants, et on étend l'installation pour desservir 10 000 ha-

bitants. Des analyses du 18 septembre 1899 ont montré que l'oxygène consommé (en 4 heures) passe de 120^{mmgr},2 par litre à 61^{mmgr},6 après le lit fermé et à 3,3 après le lit oxydant ; l'ammoniaque libre passe de 252,3 à 45,2 puis à 15 milligrammes et l'ammoniaque albuminoïde de 30,8 à 4 et finalement à 0,5 ; inversement, l'azote nitrique qui n'existe pas dans le sewage brut, ni après le passage du lit primaire (ici anaéro-bique) arrive à 25 milligrammes par litre à l'issue du lit secondaire.

2° *Système des lits bactériens à triple contact.* — *Installation de Hampton.* — A Hampton (6 900 habitants, 154 000 gallons de sewage par jour en temps sec), sur les conseils de Dibdin, on a établi au commencement de 1899 des lits à triple contact, sur trois terrasses successives, sans réservoir septique préalable ; chaque terrasse contient cinq filtres en béton (fig. 245).

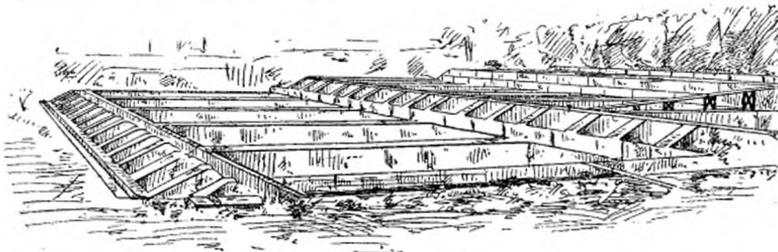


Fig. 245. — Vue générale des filtres à triple contact de Hampton (d'après le rapport de mission de M. Launay).

Les lits primaires sont en gros morceaux de mâchefer (au-dessus de 1/2 pouce) et occupent 790 m² ; les lits secondaires sont en morceaux moyens (au-dessous de 1/2 pouce) et occupent 890 m² ; les lits tertiaires, en sable de mâchefer, occupent 950 m². L'épaisseur uniforme des couches filtrantes est de 1^m,22. Le remplissage d'un lit se fait en 1 heure ; on le laisse plein 1 heure et on le vide également en 1 heure, puis on le laisse vide pour s'aérer pendant 4 ou 5 heures ; on fait ainsi trois opérations par jour.

La distribution du sewage sur les filtres se fait très simplement au moyen de rigoles en bois. Le dessus des lits primaires est nettoyé à peu près une fois par mois (c'est dans ces lits que se fait surtout l'action anaéro-bique) ; les lits tertiaires fonctionnent depuis deux ans sans avoir été nettoyés.

La dépense de premier établissement a été de 73 000 francs, soit 28 francs par mètre carré de filtre. Des analyses faites en octobre 1899 montrent que l'épuration est poussée à un haut degré ; l'oxygène absorbé (en 4 heures) passe de 1 290 milligrammes par litre à 40 (96,9 0/0 d'épura-

tion); l'ammoniaque libre de 790 à 9,6 (98,8 0/0) et l'ammoniaque albuminoïde de 152 à 4,5 (97 0/0). Le triple contact paraît donc indiqué quand on a un sewage très chargé ou qu'on veut obtenir un effluent très pur.

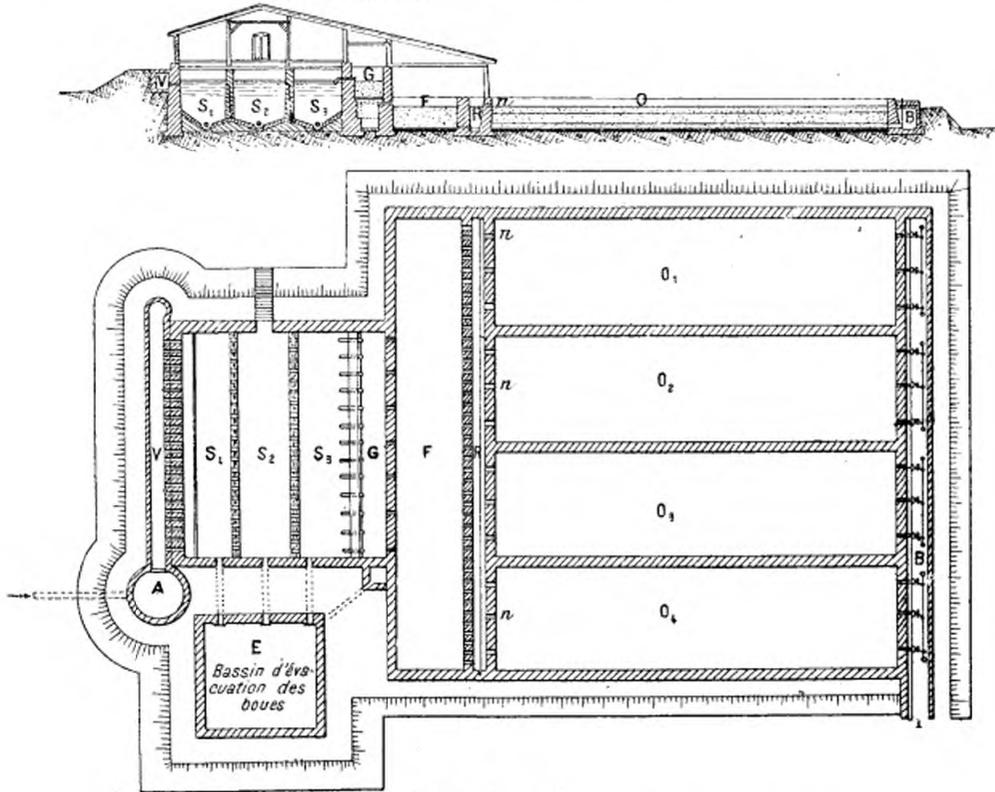
3° *Essais faits en Allemagne. — Oxydationsverfahren.* — Des essais du procédé biologique ont été faits dans ces dernières années en Allemagne, ainsi que quelques applications restreintes. — C'est à Gross-Lichterfelde que Schweder fit les premières tentatives; il imita l'installation d'Exeter et au sortir d'un septic tank couvert (faulkammer) il déversa l'effluent sur les filtres à oxydation. Il traitait 100 m³ par jour; une application fut faite également par lui à Landeck (Silésie). Dans un article de 1898, il estime qu'une installation pour traiter le sewage de 30 000 habitants, évalué à 1 500 m³ par jour, exigerait 3 500 m² et coûterait 120 000 marks de premier établissement et 3 600 marks de frais d'exploitation annuels; mais il faut remarquer que son évaluation de 1 500 m² est beaucoup trop faible et qu'il faut au moins doubler ce chiffre et par suite tous les autres. Naturellement, plusieurs expérimentateurs suivirent les résultats obtenus à Gross-Lichterfelde; Schmidtman, Proskauer, Elsner, Wollny et Baier (1), puis Schumburg, trouvèrent que l'oxygène consommé était réduit de 70 0/0 et l'azote ammoniacal de 75 0/0, tandis qu'il se formait des nitrites et nitrates; le nombre des microbes était réduit, mais pas très fortement. Pour obtenir une meilleure oxydation, Schweder établit à un moment donné un second filtre (double contact); voici la moyenne de huit analyses citées par König:

ANALYSES de Gross-Lichterfelde (moyenne de 8 analyses)	Matières en suspension		MATIÈRES DISSOUTES											
	Organiques	Minérales	Organiques	Minérales	Oxygène consommé		Azote organique	Azote ammoniacal	Azote nitrique	Azote total	Acide sulfurique	Acide phosphorique	Chlore	Chaux
					en solut. acide	en solut. alcaline								
Eau d'égout brute. . .	1574,9	1327,6	418,9	601,5	45,0	53,2	33,6	79,1	6,7	119,4	45,3	34,5	303,5	301,2
Effluent du réservoir septique	461,4	70,7	266,6	500,8	34,3	41,0	12,4	77,0	6,4	95,2	45,9	20,3	303,3	122,8
Effluent du 1 ^{er} filtre oxydant	traces	traces	268,5	918,3	12,9	17,3	9,5	22,0	30,5	62,0	68,9	3,8	353,5	229,6
Effluent du 2 ^e filtre oxydant	traces	traces	352,5	884,4	11,9	14,9	8,9	7,2	40,2	56,3	108,8	0,6	343,2	196,7

(1) In *Vierteljahrsschrift für gericht. Medizin*, XVI, 1898, supplément de 1899.
 — — — — — XVII, 1898, — — — — —
 — — — — — XIX, supplément de 1900.

Après la mort de Schweder, l'Allgemeine Bau-Gesellschaft für Wasserversorgung und Kanalisierung Erich Merten et Cie, aujourd'hui l'Hydor Allgemeine Baugesellschaft für Wasserversorgung und Kanalisierung a continué l'application du procédé: il y a ainsi des installations au camp de Lechfeld (près d'Augsbourg), à Tempelhof (près Berlin), à Grabowsee, Binz et quelques autres. Cette Société exposait à Paris un modèle pour l'épuration du sewage d'une ville de 30 000 âmes. La description officielle ci-après et la fig. 246 le font bien comprendre.

Section longitudinale.



Plan horizontal.

Fig. 246. — Modèle d'une installation d'épuration par le procédé biologique : système de la Compagnie Hydor Allgemeine Gesellschaft, etc.

« L'installation de clarification se compose des parties essentielles suivantes :

1. Du conduit de répartition V.
2. De la chambre à dépôts S.
3. Des filtres G et F.
4. Des chambres d'oxydation O.

« L'eau souillée passe à la sortie des égouts, avant d'entrer dans les appareils clarificateurs, par le conduit de répartition V, pourvu de cribles

et de récepteurs pour la vase ou le sable, opérant le triage des matières flottantes et lourdes. Par les ouvertures K l'eau souillée arrive dans la chambre S. Là sont construits des murs creux, qui forcent l'eau, dans chacune des chambres S 1, S 2, S 3, à prendre un mouvement ascendant. Par suite de la vitesse minime dans la chambre à dépôts et par suite du mouvement ascendant du liquide, les matières vaseuses se déposent dans les chambres S 1, S 2, S 3 et les matières flottantes se rassemblent à la surface. La vase recueillie est éloignée par des ouvertures pratiquées sur les côtés et fermées par des curseurs. On enlève les matières flottantes avec des bèches ou de toute autre manière. Les chambres à dépôts sont couvertes avec des planches et de la tourbe, qui sert à maintenir à l'intérieur une température constante. Les chambres sont préservées des eaux de pluie par un toit.

Au sortir des chambres de dépôt, les eaux sales arrivent par des tuyaux coudés dans le filtre grossier G. Ce dernier est rempli de gros gravier ou de pierraille. Il sert à retenir les objets lourds ou légers, qui ne sont pas restés dans les chambres de dépôt. Sous ce filtre se trouve un bassin destiné à la formation de nouveaux dépôts ; les eaux, qui en sortent, passent dans un filtre fin, semblable à un filtre à eau potable, rempli de gravier et de sable grossier.

Au fond du filtre se trouve un drainage, par lequel les eaux filtrées pénètrent dans le tuyau de rassemblement R. Celui-ci sert à répartir les eaux filtrées dans les chambres d'oxydation ; cette répartition se fait par les ouvertures *n*, qu'on peut fermer. La salle d'oxydation se compose de quatre chambres, pourvues chacune d'un drainage sur le fond et remplies de coke et de gravier. La couche de coke enfermée entre deux couches de gravier a une épaisseur de 75 cm. Les chambres d'oxydation O 1, O 2, O 3, O 4, reçoivent l'eau filtrée de façon intermittente, et chaque chambre se remplit en deux heures, puis reste pleine pendant deux ou trois heures. Pendant ce temps, un nouveau dépôt se forme et les parties vaseuses se déposent à la surface du gravier : le filtre reste au repos le reste de la journée pour s'aérer.

Lorsqu'on ouvre les conduits de rassemblement du drainage K, l'eau propre s'écoule et n'a ni couleur ni odeur. L'air remplace l'eau dans les petites chambres formées de matières poreuses, et par suite de la décomposition de la vase par l'oxygène de l'air, on obtient une régénération de la masse qui les remplit ».

Des essais importants et suivis ont aussi été faits à Hambourg, par Dunbar, sur les eaux usées de l'hôpital d'Eppendorf (800 m³ par jour

provenant de 2 000 habitants). L'auteur en a rendu compte à plusieurs reprises : d'abord dans son rapport en collaboration avec Rœchling au Congrès d'Hygiène de Cologne (Voir *Deutsche Vierteljahrschrift für öffent. Gesundheitspflege*, 1899, p. 136 à 219), puis dans son article spécial à l'épuration biologique des eaux d'égout dans la même revue et la même année, page 625, enfin, dans deux articles (1), donnant plus de détails encore, insérés dans le supplément de *Vierteljahrschrift für gericht. Medizin* : on comprend que nous ne puissions que renvoyer à ces documents. On y voit que Dunbar, s'en tenant aux lits bactériens de Dibdin, n'est pas partisan de la *putréfaction* précédant l'oxydation, ou en d'autres termes du septic tank ; mais nous savons que celui-ci a fait ses preuves et nous savons aussi pourquoi la phase anaérobique est indispensable : du reste ne se faisait-elle pas, dans l'installation de Dunbar, à son insu ?

Cette installation consistait en trois bassins étagés : le bassin le plus élevé recevait l'eau d'égout brute qui y séjournait de 5 à 12 minutes, temps suffisant pour précipiter le plus gros des matières en suspension ; dans le deuxième bassin était organisé le support de l'oxydation, composé par mesure d'économie d'une épaisseur de 1^m,25 de morceaux de 4 à 6 mm de diamètre, de clinker provenant de l'usine à incinérer les gadoues de Hambourg. Le troisième bassin renfermait un filtre à sable ordinaire, et dans un certain nombre d'essais on y fit passer l'effluent du filtre oxydant. En n'employant que le support d'oxydation et y mettant l'eau seulement une fois par jour avec repos à l'état plein pendant quatre heures (2), on pourrait avec un hectare de support traiter le sewage de 25 à 30 000 personnes (à raison de 120 lit. par tête) : l'effluent était encore opalescent, et quand l'eau brute consommait 400 à 500 milligrammes de permanganate par litre, il n'en consommait plus que de 86 à 134, soit une réduction de 73 à 80 0/0 ; l'azote total n'était guère diminué que de 35 0/0, et si une partie est passée à l'état de nitrates, la plus forte proportion persiste à l'état d'ammoniaque. Le passage sur le filtre à sable (secondaire) améliorait l'effluent et le rendait tout à fait clair.

Dunbar fit de nombreux essais avec divers matériaux et un nombre de remplissages allant de 1 à 6 par jour. Il trouve que le coke en morceaux de 1 à 3 cm pour le lit primaire, et en morceaux de 3 à 10 mm

(1) L'un est de Dunbar seul, l'autre de Dunbar et Zirn.

(2) C'est pendant un repos aussi long qu'il doit s'exercer une action anaérobique très sérieuse.

pour le lit secondaire produit les meilleurs effets : il ne faut pas faire plus de deux ou trois remplissages par jour. Il y a un très grand intérêt à faire déposer au préalable les sables, vases et autres corps étrangers : malgré cette sédimentation, les filtres s'encrassent à la longue et il faut les régénérer de temps en temps ; le moment de cette opération est arrivé quand le support n'admet plus que le quart de son volume. On admet généralement que les germes qui se multiplient sur les couches du support pendant qu'il est vide entrent en contact avec l'eau lors du remplissage et s'emparent de ses matières organiques pendant la durée du contact ; mais Dunbar a remarqué que l'action d'oxydation est très brusque (l'oxydabilité baisserait de 42 0/0 durant les cinq premières minutes) et il en conclut qu'il y a autre chose que l'action microbienne : ce serait une action physico-chimique due au pouvoir absorbant, à la porosité et à la nature même des matériaux de support.

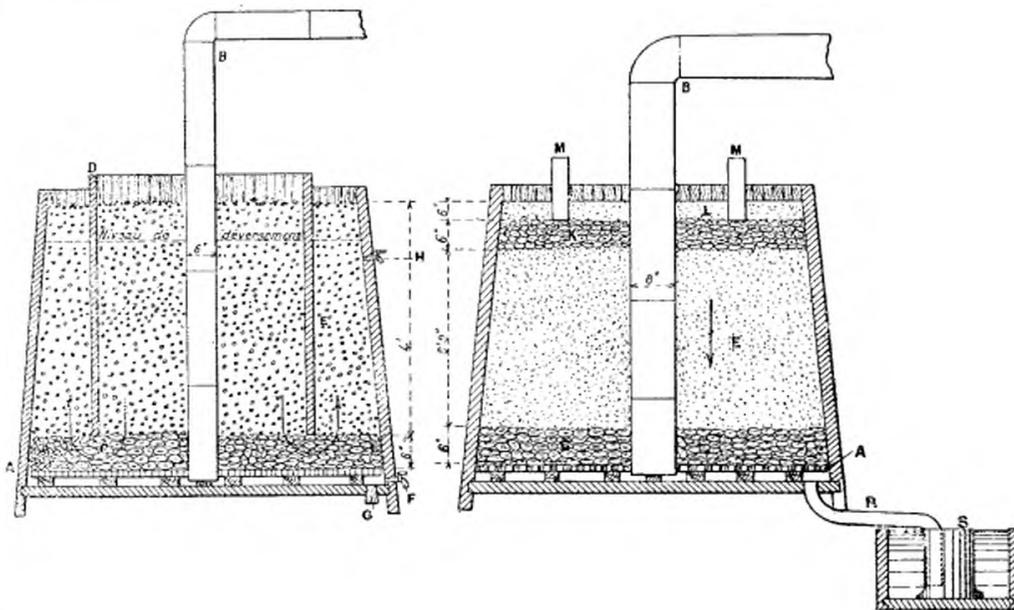
Pour en finir avec l'Allemagne, nous apprenons à l'instant que la ville de Leipsig vient de décider de faire des essais d'épuration biologique à côté de son usine de traitement chimique.

III. — *Procédés divers : aération forcée ; chauffage artificiel ; écoulement continu.*

La phase d'oxydation et nitrification a toujours fortement frappé les esprits, et on a cherché dès lors à favoriser artificiellement le phénomène, soit en insufflant de l'air, soit en introduisant des corps riches en oxygène, soit en chauffant (pour supprimer l'effet retardant du froid). Ce sont là généralement de bien grandes complications et il paraît indiqué d'y renoncer : nous devons cependant en dire quelques mots.

Système Waring. — Comme l'avait déjà tenté le professeur Drown, le grand hygiéniste américain G. Waring chercha à aérer artificiellement les filtres intermittents, étudiés à Lawrence. En 1894, il fut autorisé à traiter, suivant son système, le sewage de Newport (Rhode Island). Il installa quatre cuves filtrantes telles que les représente la fig. 247 (a) : l'eau arrive d'une manière continue dans l'espace circulaire central, passe sous le diaphragme et remonte dans l'espace annulaire extérieur pour sortir par trop-plein. Les quatre cuves étaient disposées de manière à pouvoir fonctionner isolément ou en série, c'est-à-dire que l'effluent de l'une pouvait être conduit en haut de la suivante. La vitesse du liquide était d'environ trois pieds par heure, correspon-

nant à un débit journalier de 7 à 8 m³ par mètre carré de surface. On n'arrêtait l'écoulement que quand les filtres étaient par trop engorgés : alors on vidait les boues (qu'on traitait dans l'aërating tank) et on insufflait de l'air par le tuyau B jusqu'à ce que les matières restantes étant suffisamment nitrifiées, le filtre reprenait sa perméabilité primitive. Dans l'aërating tank (fig. 247 b) l'insufflation d'air était continue : on n'y traita pas seulement les boues, mais on y fit aussi passer l'effluent des autres cuves pour avoir un supplément d'épuration, et en effet, Waring trouva que l'azote organique, qui était réduit de 51, 2 0/0 après le passage dans les cuves filtrantes, se réduisait encore beaucoup plus dans l'aërating tank, puisqu'on obtenait un abaissement total de 92,5 0/0 (1).



(a) Cuve filtrante (capacité 3 m³, 70 l)

- A, faux-fond perforé de trous de 3/4 de pouce.
 B, tuyau en fer galvanisé de 6 pouces pour insufflation de l'air.
 C, couche inférieure de pierres cassées (de 1 à 2 1/2 pouces de diamètre).
 D, diaphragme cylindrique formé de douves.
 E, couche filtrante en pierres, cailloux ou gravier de plus en plus fins suivant le n^o des filtres.
 F et G, appareil de vidange.
 H, robinet de prise, un peu au-dessous du du niveau de l'évacuation par déversement supérieur.

(b) Aërating tank

- A, faux-fond perforé de trous de 3/4 de pouce.
 B, tuyau en fer galvanisé de 8 pouces pour insufflation de l'air.
 C, couche inférieure de pierres cassées (de 1 à 2 1/2 pouces de diamètre).
 E, gravier de 1/8 de pouce de diamètre.
 K, couche de pierres cassées.
 L, couche supérieure de sable fin.
 MM, tuyaux d'évacuation de l'air.
 R, tuyau d'évacuation de l'eau.
 S, syphon (pour empêcher la sortie de l'air par R).

Fig. 247. — Coupes des cuves filtrantes et de l'aërating tank de Waring à Newport.

(1) Voir pour les détails et les résultats des nombreuses expériences de Waring sa brochure : *The purification of sewage by forced Aeration* (New-York).

Waring, estimant que les premiers filtres (*strainers*) agissent surtout pour retenir les matières suspendues et les seconds (*aërators*), pour oxyder les matières dissoutes, généralisa la combinaison de ces deux appareils l'un à la suite de l'autre. Il fit plusieurs installations basées sur ce principe et représentées par la fig. 247 (c) : les deux premiers compartiments

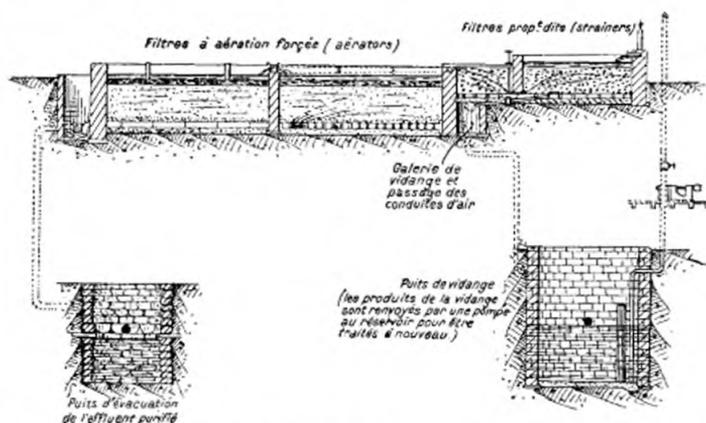


Fig. 247 c. — Coupe des bassins filtrants à aération forcée de Waring (installations récentes).

filtrants, séparés par une cloison sous laquelle l'eau passe de l'un dans l'autre, représentent la cuve filtrante de tout à l'heure et ne sont insufflés qu'à de longs intervalles, quand il sont engorgés (1); les deux autres reçoivent

continuellement l'injection d'air (sous une pression de 5 à 6 cm d'eau). Une de ces installations fut faite à Providence pour une grande teinturerie et blanchisserie; une autre, en 1897, au Willow Grove Park, près de Philadelphie, pour traiter 350 m³ par jour, une troisième, également en 1897, pour la communauté de Homewood dans un faubourg de Brooklyn (120 m³ par jour); enfin, en 1898, deux autres encore pour les villes de Tuxedo (New-York) et de East Cleveland (Ohio). Des analyses de juin 1899, de l'installation de Homewood donnèrent ce qui suit :

	Ammoniaque libre	Ammoniaque albuminoïde	Oxygène consommé	Chlore	Nitrites	Nitrates	DEGRÉ D'ÉPURATION pour cent	
							d'après l'ammoniaque libre	d'après l'oxygène consommé
	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.		
Sewage brut	40,0	32,0	85,3	200,8	0	0	„	„
Effluent du strainer	30,6	7,0	61,9	193,6	0	0	23,50	27,44
Effluent de l'aérateur	0,75	0,6	5,7	168,4	0,6	20,0	98,42	93,32

(1) L'eau doit y couler très lentement, et Waring reconnaît qu'il doit s'y faire une décomposition de la matière organique préparant et rendant possible la nitrification : n'est-ce pas de l'hydrolyse anaérobie ?

Système Lowcock. — Dès 1893, en Angleterre, Lowcock (1) proposait l'insufflation d'air dans des filtres à écoulement continu et la réalisait à Malvern et à Wolverhampton (1895), au moyen d'un filtre dont la fig. 248 donne la coupe et qui faisait suite à un bassin de sédimentation ordinaire : l'air injecté avait une pression de 11 cm d'eau. A Malvern,

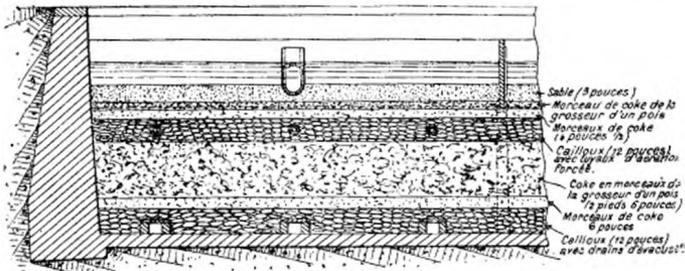


Fig. 248. — Coupe du filtre à aération de Lowcock à Wolverhampton
(Echelle : 1,8 de pouce par pied).

les lits filtrants étaient en gravier ; à Wolverhampton, on remplaça le gravier par du fraïsil de coke. La filtration se fit au mieux avec un débit de 263 780 gallons par acre et par jour (3 000 m³ à l'hectare) : des analyses de 1895 montrent que la réduction en ammoniacque libre était de 70 0/0, en ammoniacque albuminoïde de 80 0/0 et en oxygène consommé de 77 0/0, et cependant le sewage de Wolverhampton, très chargé d'eaux industrielles, est un des plus difficiles à traiter. En 1896, Lowcock fit une autre installation à Tipton : on traite d'abord le sewage par la chaux et le sulfate aluminoferrugineux, et l'effluent du bassin de précipitation vient sur les filtres à aération artificielle pendant douze heures par jour : les bouches d'évacuation des filtres restent constamment ouvertes. En 1898, le débit le plus convenable fut fixé à 1^{m3},300 par mètre carré et par jour : l'épuration atteignait 95 0/0 sur le sewage brut et 68 à 75 0/0 sur l'effluent du bassin de précipitation.

Système Garfield. — En 1896, Garfield proposa un filtre à charbon qui a reçu quelques applications, notamment à Lichfield où le sewage est très chargé de déchets de brasserie. Toutes les espèces de charbon conviennent, pourvu que les matériaux soient bien propres. A Lichfield, il y a à la base et autour des drains une couche de 1/2 pied de morceaux de charbon de 1/2 pouce de diamètre (comme une noix), puis une couche de 3/4 de pied de morceaux de 1/4 de pouce de diamètre, ensuite 3/4 de

(3) Communication à l'Institution of Civil Engineers (*Proceedings*, 1893).

ped de morceaux de $1/8$ de pouce, et enfin 1 pied $3/4$ de morceaux de $1/16$ de pouce de diamètre. Le débit convenable est de un million de gallons paracre et par jour, soit $11\,300\text{m}^3$ par hectare; l'eau passe continuellement pendant douze heures, après quoi on laisse le filtre s'aérer au repos pendant autant de temps. Des essais ont été également faits à Wolverhampton; il résulte des analyses qui y ont été pratiquées ainsi qu'à Lichfield, que le degré d'épuration a varié entre 73,6 et 91,8 0/0 d'après l'oxygène consommé (alors que le système Dibdin donnait 78,5 0/0) et a été de 80 0/0 d'après l'ammoniaque organique (Dibdin, 72,7 0/0) la teneur en azote nitrique était également un peu supérieure dans l'effluent du Garfield. On conclut de là que le charbon exerçait une certaine action chimique qui s'ajouterait à celle des microbes, mais ce n'est pas bien certain.

Polarite biological system, avec sprinkler Candy-Caink. — On a cherché d'autres corps qui ajoutent leur action oxydante à celle des lits bactériens ordinaires, et dans ce but, le polarite était tout indiqué. La

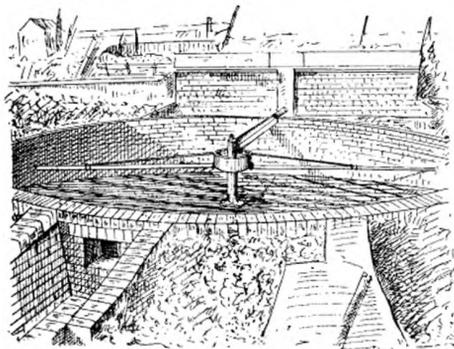


Fig. 249. — Lit bactérien (vido) avec le sprinkler de Candy-Caink, à Reigate.

Compagnie *International purification syndicate* établit ainsi des lits bactériens à double contact, dont le lit secondaire, de quatre pieds d'épaisseur, contient à sa base une couche de $1/2$ pied de polarite mêlé au clinker: ces lits sont munis de l'appareil de distribution automatique tournant (tourniquet hydraulique) de Candy-Caink. Il y a des installations de ce genre à Reigate, Redhill, Southampton, Wealdstone, Southwolk et Knottingley: d'après Moore, nous dirons quelques mots des deux dernières, qui sont très récentes.

Tout d'abord, la fig. 249 fait voir le *sprinkler* de Candy-Caink en place sur son lit bactérien (non rempli de ses matériaux) de 24 pieds de diamètre: on en fait naturellement de toutes les dimensions. La distri-

bution se fait donc uniformément et régulièrement sur toute la surface du filtre ; mais elle est, dit l'inventeur, *intermittently continuous*, c'est-à-dire que sur trois minutes, l'engin se repose deux minutes, puis tourne une minute et vide pendant ce temps l'apport des trois minutes et ainsi de suite : une valve automatique d'un système ingénieux délivre cet apport à l'appareil au moment voulu. Cette série de rotations produit à la surface du lit bactérien un courant d'air très fréquemment renouvelé, lequel assure l'aération ; aussi les couches supérieures du lit s'encrassent-elles jamais ; le *sprinkler* est donc en même temps *aërator*. Quant aux lits bactériens, ils n'ont rien de spécial, si ce n'est la couche de polarite du secondaire : le lit primaire à gros grain est précédé ou non d'un septic tank et muni ou non d'un sprinkler. Si la série est incomplète et qu'il n'y ait pas de septic tank, il convient à notre avis de faciliter au lit primaire le travail anaérobie ; toutefois on assure qu'on obtient encore un meilleur résultat en le munissant d'un sprinkler et le faisant travailler aérobiquement (cela dépend sans doute de l'état du sewage à l'arrivée à l'usine).

La fig. 250 montre comment à Southwold on a tiré parti des anciens bassins de précipitation chimique : en en divisant un en deux, on a formé un lit primaire en galets de trois à quatre pouces de diamètre, travaillant surtout anaérobiquement, et un lit secondaire à polarite avec sprinkler ; le filtre qui suivait le traitement chimique a été transformé en un deuxième lit secondaire. Le lit primaire a quatre pieds d'épaisseur, mais les lits secondaires seulement deux pieds (par suite du manque de pente). On traite 30 000 gallons par jour d'un sewage très fort (*separate system*), à raison de 500 gallons par yard carré ($3^m,04$ par mètre carré) et même plus. Les résultats sont excellents (1) :

(1) A Reigate, on avait trouvé que l'épuration en ammoniacque albuminoïde

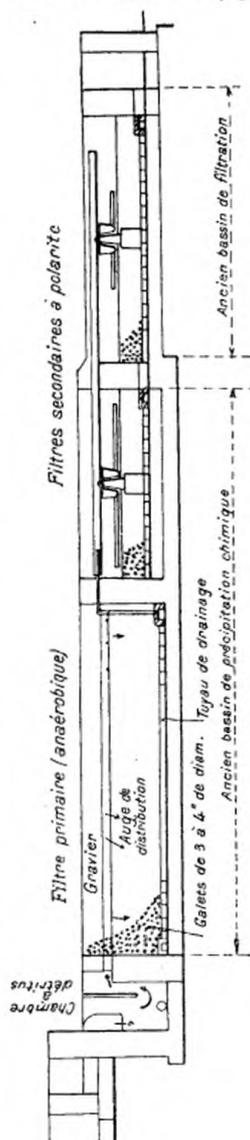


Fig. 250. — Coupe des lits bactériens de Southwold (à polarite et avec sprinkler Candy).

d'après les analyses d'Angell et Griffiths, 1899, on a trouvé en moyenne :

EAU D'ÉGOUT de Southwold	Ammoniaque libre mmg.	Ammoniaque albuminoïde mmg.	Chlore mmg.	Oxygène consommé en 3 minutes mmg.	Oxygène consommé en 4 heures mmg.	Azote nitreux et nitrique mg.	Nombre de bactéries au c ³	Degré d'épuration pour cent		
								d'après l'ammoniaque albuminoïde	d'après l'oxygène consommé	d'après le nombre de bactéries
Sewage brut	200,3	67,9	628,	448,6	283,8	0	4 682 222	»	»	»
Effluent du lit primaire (anaérobie)	43,9	4,3	628,	28,5	53,2	0	2 700 000	93,67	81,95	43,
Effluent du lit secondaire (à polarité)	8,9	4,7	626,5	12,9	49,9	19,2	48 000	97,50	92,99	99,

Ce serait surtout à l'action de la couche de polarité que serait due la grande réduction du nombre des bactéries.

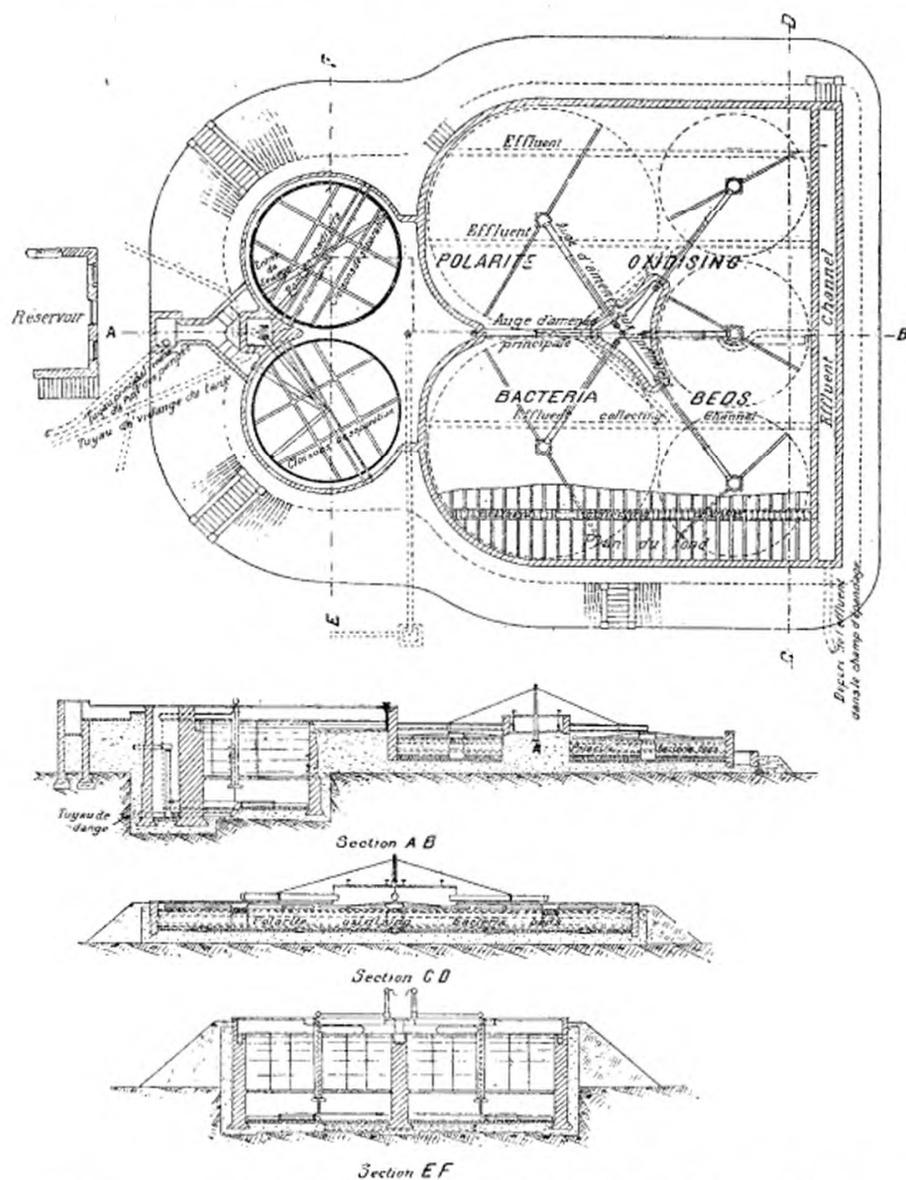
A Knottingley (fig. 231), il y a deux septics tanks ouverts (liquifying bacteria tanks) et un grand filtre oxydant à polarité surmonté de cinq appareils Candy-Caink (deux de 20 pieds de rayon et trois de 13 pieds). Les tanks sont divisés en neuf compartiments par des cloisons en planches qui ne descendent pas jusqu'au fond : le sewage arrive au milieu et se déverse par les bords après avoir passé lentement sous les cloisons. Les lits oxydants sont formés de clinker de diverses tailles : la couche à polarité est ici au milieu de la hauteur et a un pied d'épaisseur. D'après Clowes et Houston, l'effluent est très pur et bien plus oxygéné qu'on ne s'y attendait ; néanmoins, suivant les exigences du Local Government Board, on l'envoie à un champ d'épandage.

Oxygen System (Adeney et Parry) (1). — Ce système se rapproche du traitement chimique et utilise pour cela des tanks successifs qui ressemblent aux puits de Dortmund. Comme le procédé à l'oxynite (p. 584), dont il dérive, il utilise les composés du manganèse pour une précipitation préalable, mais il prétend ensuite fournir l'oxygène nécessaire à l'action bactérienne par l'addition de nitrate de soude. Il faut reconnaître que, s'il est vrai que les bactéries décomposent ce nitrate pour lui prendre son oxygène et former d'autres nitrates avec l'azote organique

était de 86 0/0 au sortir du lit primaire (qui était à sprinkler) et de 82 0/0 sur ce qui restait, au sortir du lit secondaire, soit 96 0/0 en tout.

(1) Mémoire de Parry au Congrès du Sanitary Institute à Leeds, 1897.

(ce serait une succession bien problématique d'espèces nitrifiantes à des



Plan et section montrant les lits bactériens oxydants (à la polarite) avec l'appareil de distribution automatique.

Fig. 251. — Installation d'épuration de Knottingley.

espèces dénitrifiantes), c'est là un moyen coûteux de se procurer de l'oxygène et que l'aération naturelle ou même forcée est plus simple : de plus, on retombe dans la difficulté des boues si encombrantes. Cependant, on affirme que le système qui a du moins l'avantage de n'exiger que fort peu de place (un carré de 50 m de côté pour une ville de 100 000 âmes disent les auteurs), donne satisfaction depuis

plusieurs années à l'asile d'aliénés de Dundrum, à Northallerton, aux baraques de Chapelizod, à Blarney Castle, etc.

Système Ducat (à aération automatique et chauffage).— Ce filtre a été expérimenté à Sutton, Leeds et Hendon : il a été adopté en mai 1899 par le ville de Market Drayton. Les fig. 252 et 253 montrent la première le schéma, la seconde le plan et les coupes détaillées du filtre de Hendon ; en les examinant attentivement, on comprendra le mode de construction.

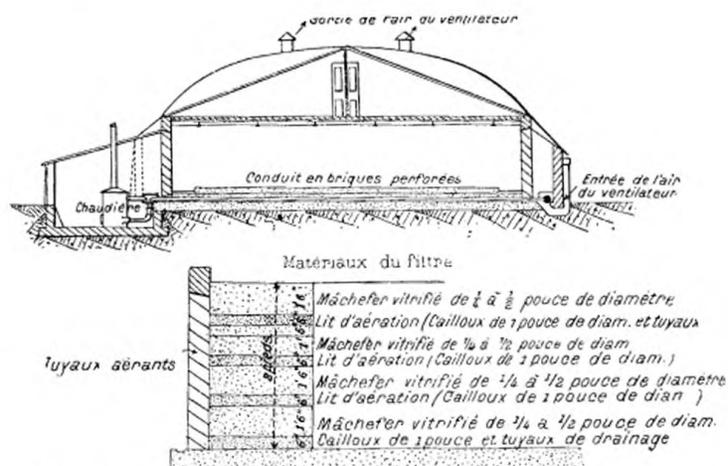


Fig. 252. — Coupe schématique du filtre Ducat et constitution de ce filtre.

L'appareil est conçu pour épurer l'eau par écoulement continu et au moyen d'une seule opération. Il est enfermé dans un bâtiment couvert qui le met à l'abri des intempéries, mais l'air envoyé par un ventilateur circule largement entre les murs et les parois du filtre. Ces dernières sont constituées par des bouts de tuyaux de grès de trois pouces, superposés et enrobés dans du ciment Portland, mais inclinés vers l'intérieur (leur extrémité en dedans du filtre est de trois pouces plus basse que celle du dehors) : pour que l'air pénètre encore mieux la masse, on y intercale trois *lits d'aération*, c'est-à-dire trois couches de cailloux contenant des tuyaux semblables à ceux de drainage et amenant l'air des carneaux latéraux. Pendant l'hiver, on fait arriver dans une double rangée de tuyaux de drainage, placés dans le fond, de l'air artificiellement chauffé par un fourneau : la température doit être maintenue entre 13 et 15° pour que l'action bactérienne se fasse au mieux.

Le sewage brut est distribué superficiellement par des augets en tôle

Fig. 253 (a). — Plan général du filtre Ducat (aerating bacterial self-acting filter).

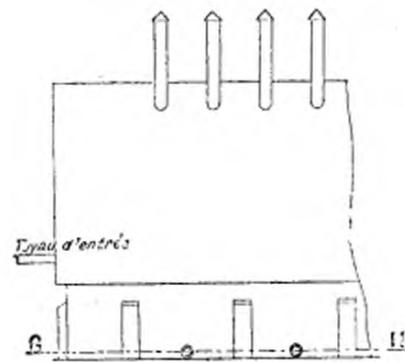
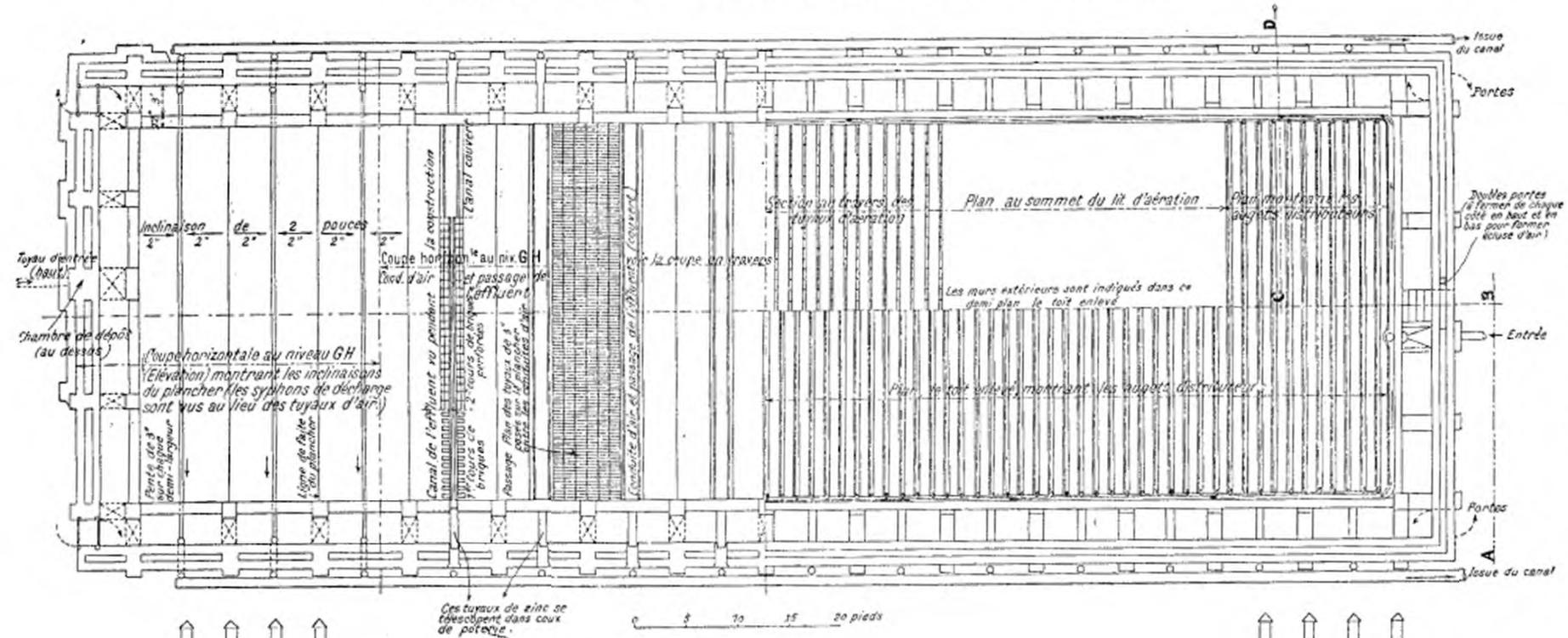


Fig. 253 (b). — Elévation partielle (se continue pareillement).

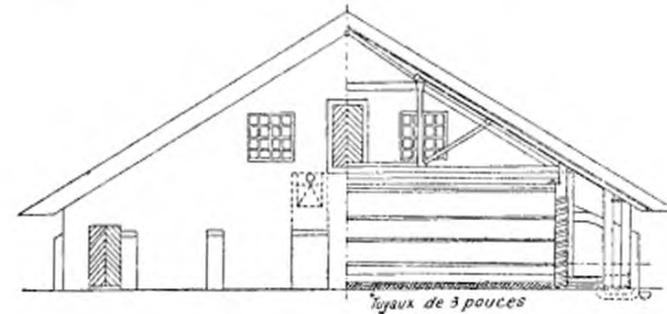


Fig. 253 (c). — Demi-élévation et Demi-coupe transversale suivant AB du plan et suivant CD du plan.

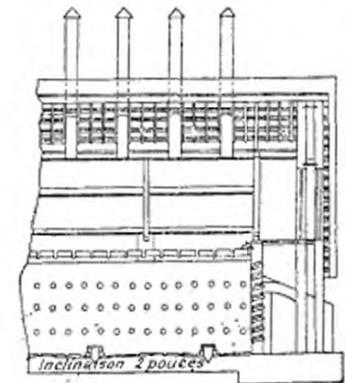


Fig. 253 (d). — Coupe longitudinale médiane (se continue pareillement).

d'acier basculant automatiquement suivant une disposition ingénieuse dans le détail de laquelle nous ne pouvons entrer. Le filtre peut débiter 250 gallons par yard carré et par jour ($1^m^3,350$ par mètre carré), et les frais d'exploitation ne seraient qu'un peu plus du salaire d'un homme pour un million de gallons ($4540 m^3$), sans doute quand on ne chauffe pas. L'inventeur ne dit pas à combien se monte la dépense de premier établissement; mais il est clair qu'elle doit être élevée, surtout en raison de la construction du bâtiment-enveloppe.

Les résultats obtenus à Hendon en 1898 par Houston et en 1899 par Severn sont relatés ci-dessus (en milligr. par litre): ils sont excellents.

		Oxygène	Ammoniaque	Ammoniaque	Ammoniaque	Azote oxydé	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre
		consommé (en 4 heures)	libre	albuminoïde	total		de bactéries croissant sur gélatine	de colonies liquéfiantes	de colonies du groupe "Coli"	de spores d'espèces aérobie	de spores d'espèces anaérobies
		mgr.	mgr.	mgr.	mgr.	mgr.	au c ³	au c ³	au c ³	au c ³	au c ³
Analyses du Dr Houston (oct. 1898)	Sewage brut.	147,2	87	16	103	"	42 000 000	2 200 000	1 200 000	4 420	de 4 000 à 40 000
	Effluent du filtre Ducat.	7,8	3	0,9	3,9	4,8	25 000	(1)	(1)	22	de 1 à 10
	Réduction o/o	94	96	94	96	"	99	"	"	98	99
Analyses du Dr Severn (sept. 1899)	Sewage brut.	104	94	23,5	117,5	"	9 600 000	2 500 000	700 000	2 400	850
	Effluent du filtre Ducat.	4,2	1,2	0,6	1,8	3,1	22 000	4 200	40	70	0
	Réduction o/o	95	98	97	98	"	99	99	99	97	100

(1) On n'a trouvé aucune colonie dans une dilution de $\frac{1}{100,000}$ de c³.

Système Whittaker-Bryant (thermal aerobic filter).— C'est aussi un procédé continu, avec aération et chauffage: il est appliqué à Acerington. Le filtre est constitué par des chambres circulaires ou polygonales, élevées de 2 m au-dessus du sol, dont les parois sont formées par des briques creuses permettant de l'extérieur à l'intérieur le libre accès de l'air. Les chambres sont remplies de couches successives de coke ou de gravier, et le fond en est drainé en arête de poisson. Le sewage passe d'abord par un septic tank, puis il est distribué sur le filtre par un tourniquet hydraulique assez analogue à celui de Candy: il reçoit au moment de son arrivée au tourniquet un mince jet de vapeur qui élève légèrement sa température (de 5° environ) pour la rendre, surtout en hiver, plus favorable à la nitrification. L'eau traverse en dix minutes toute la hauteur du filtre et sort épurée. Il suffit de 800 m² de surface pour

traiter 900 m³ de sewage par jour, mais le procédé est évidemment coûteux. Naylor, dans son rapport de janvier 1899 l'évalue à deux livres sterling par million de gallons traités ; mais alors à Accrington, on commençait par une addition de chaux de une tonne (coûtant 10 shillings) par million de gallons : le chauffage seul entrant dans le prix ci-dessus pour 1^{liv},5 shillings. Voici le résultat des analyses de Naylor :

	Température	Matières en suspension		Matières dissoutes		Azote nitreux et nitrique	Oxygène consommé (en 4 heures)	Chlore	Degré d'épuration pour cent			
		Minérales	Volatiles	Minérales	Volatiles				Ammoniaque albuminoïde	d'après l'ammoniaque albuminoïde	d'après l'oxygène consommé	
												cent
25 janvier 1899	Sewage brut . . .	7°3	220	300	530	320	10,6	104	»	120	»	»
	Effluent du septique tank . . .	10°6	30	30	410	320	4,1	42	»	82	61,2	59,6
	Effluent du filtre Whittaker . . .	7°6	0	30	260	440	4,6	41	23	74	85	89,4
27 janvier 1899	Sewage brut . . .	6°4	190	300	500	360	19,2	163	»	125	»	»
	Effluent du septique tank . . .	11°7	40	40	490	290	5,7	40,7	»	88	70,4	75,4
	Effluent du filtre Whittaker . . .	8°7	40	20	430	310	4,6	42,8	19,6	92	91,7	92,2

Systeme Stoddart. — Dès 1893, Stoddart (1) expérimenta des filtres continus, constitués de morceaux de craie (il chercha aussi à les ensemer avec les organismes produisant la fermentation ammoniacale, la nitrosification et la nitrification, mais il trouva que la flore bactérienne du sewage était trop mélangée pour pouvoir faire réussir ces cultures). Un filtre Stoddart figurait à la réunion de la British Medical Association à Bristol en 1894 ; toutefois ce n'est qu'en septembre 1899 que le système a été réellement appliqué à Horfield.

Le filtre de Horfield a six pieds d'épaisseur et est composé de morceaux de 3/4 à 1 1/2 pouce de diamètre de craie ou toute autre substance insoluble et pas trop friable. Le sewage y est distribué en pluie fine : se déversant au-dessus du bord du canal d'amenée, il entre dans des gouttières perpendiculaires entre elles, à fond perforé, et s'égoutte régulièrement sur le filtre, de manière à le mouiller constamment (cette pluie

(1) *Practitioner*, 1893 et *Analyst*, 1894.

entraîne de l'air qui assure une aération convenable). Il convient de faire subir au sewage soit une clarification préalable par la chaux, soit un passage au septic tank : dans ce cas, on peut faire débiter au filtre jusqu'à 5^{m3}, 50 à 6 m³ par mètre carré et par jour. Le degré d'épuration atteint 890/0 en oxygène consommé et 910/0 en ammoniaque albuminoïde.

Autres distributeurs automatiques.— Rideal signale encore : 1° Le distributeur *Ridgway*, qui repose sur la vidange automatique d'un siphon de chasse placé dans le réservoir d'arrivée et sur la manœuvre des valves d'admission dans les bassins, manœuvre produite en temps voulu par les mouvements d'un flotteur dans le réservoir ; 2° Le nouveau chariot distributeur de *Scott-Moncrieff* : c'est un tube perforé porté par un chariot qui se promène tout le long des bassins filtrants en roulant sur le bord des parois. Nous renvoyons pour les détails à l'ouvrage de Rideal.

IV. *Expériences de Salford, Londres, Leeds et Manchester.*— *Conclusions.*

Quoique nous ayons déjà parcouru à peu près entièrement toutes les faces de la question, nous croyons intéressant de mettre encore sous les yeux du lecteur la pratique et le détail des expériences (1) intéressantes faites dans ces dernières années par les Municipalités des quatre villes anglaises ci-dessus nommées. Pour les deux dernières nous ne pourrions mieux faire que de citer textuellement le rapport de mission de M. l'Ingénieur en chef Launay, et nous demanderons également la permission de citer ses conclusions, ainsi que la traduction qu'il donne des règles actuellement admises par le Local Government Board.

1° *Expérience de Salford* (d'après l'ouvrage de Moore).— Salford a 228 000 habitants et évacue journallement 12 millions de gallons (55 000 m³) en temps sec et le double en temps de pluie. Le sewage arrive à deux niveaux différents et doit être élevé par des pompes ; jusqu'ici il était traité chimiquement par la chaux et après avoir traversé la chambre de mélange (voir le plan de l'installation et des transformations projetées, fig. 254) il se rendait aux bassins de précipitation. Ceux-ci, groupés en deux séries de six, étaient au nombre de douze, de 115 pieds de long, 80 pieds de large et 6 à 8 pieds de profondeur chacun ; mais on vient

(1) En France, nous ne sachions pas qu'il ait encore été fait aucune expérience de ce genre, si ce n'est celles que M. Calmette dit avoir faites sur une très petite échelle avec les eaux résiduaires de l'abattoir de Lille et dont il rend compte dans son article de la *Revue d'Hygiène* du 20 mars 1901. Nous ne pouvons qu'y renvoyer le lecteur.

Le même auteur, dans un nouvel article de la *Revue d'Hygiène* du 20 août 1901, traite la question d'épuration des eaux d'égout de Verviers (Belgique), lesquelles ressemblent à celles de Roubaix-Tourcoing. L'épuration par le sol étant impossible, M. Calmette reconnaît que l'épuration bactérienne seule est impuissante sur des eaux aussi chargées en graisses et autres résidus industriels ; il conseille dès lors de commencer par l'application du procédé Delattre (que nous avons décrit précédemment), et de faire suivre cette précipitation chimique par l'action oxydante des lits bactériens.

d'en transformer deux en un filtre dégrossisseur, dans lequel passe le liquide sortant

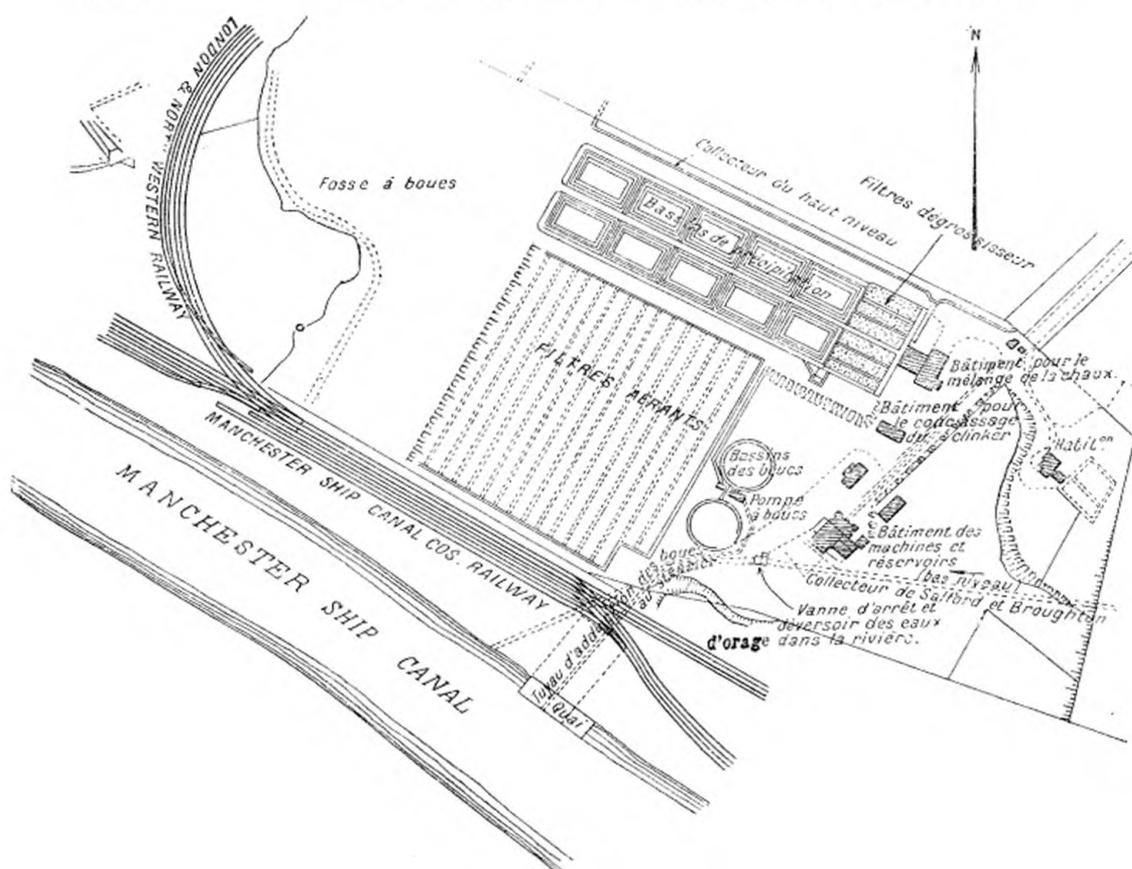


Fig. 254. — Installation pour le traitement du sewage de Salford et modifications de cette installation en vue d'un traitement bactériologique final.

de la série des cinq bassins en fonctionnement : de là, il va aux nouveaux lits filtrants d'aération et d'oxydation. Les boues des bassins de précipitation sont transportées à la mer par un bateau à vapeur : on vient d'installer un appareil permettant d'évacuer les boues pendant le fonctionnement ininterrompu des bassins (c'est une sorte de godet qu'on promène au moyen d'un ponton flottant sur le fond du bassin et qui est relié à un tuyau flexible déchargeant les boues, grâce à l'effet de la pression, par son autre extrémité débouchant dans un orifice de fond). Le râclage des parties supérieures du gravier du filtre dégrossisseur est aussi assuré par un appareil mécanique roulant sur le dessus des parois.

La principale innovation est l'adjonction toute récente des lits d'aération aux lits bactériens, adjonction décidée en suite des belles expériences poursuivies de 1893 à 1898 par

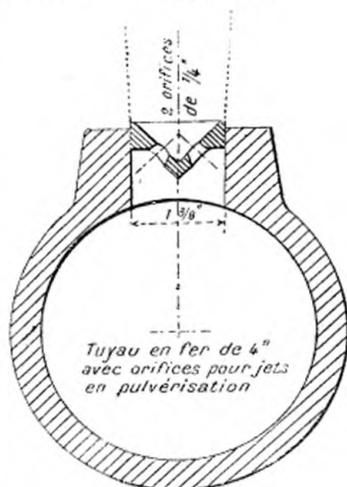


Fig. 254(b). — Tuyau distributeur de Cjor et Harrison.

M. Corbett, ingénieur de la ville : le passage de l'eau d'égout sur ces lits oxydants fait donc suite à la précipitation par la chaux et au dégrossissage, ce qui fait un système *mixte* (chimico-bactériologique). La distribution sur les lits se fait par une série de tuyaux percés de trous suivant le brevet Gjer et Harrison (fig. 254 b), lesquels produisent une sorte de pulvérisation du liquide (sous une charge de quatre pieds). L'écoulement est continu, sauf quelques arrêts à grands intervalles pour régénérer le filtre.

Les expériences de la ville de Salford ont porté sur la nature des matériaux des filtres, l'épaisseur, l'utilité d'interposer des tuyaux d'aération dans des couches intermédiaires, le débit convenable, etc. : elles sont donc très importantes pour fixer nombre de points de la pratique. — De trois filtres, l'un en sable et gravier l'autre en coke, et le troisième en morceaux de clinker, c'est ce dernier qui a été le meilleur, mais toutefois les autres étaient bons aussi. C'est l'épaisseur de cinq pieds qui a paru la plus convenable : on n'a trouvé aucun avantage à la subdiviser en trois ou quatre étages par des lits d'aération. Avec le sewage déjà traité par la chaux et le dégrossisseur, le filtre de cinq pieds peut débiter dans de bonnes conditions d'épuration 500 gallons par yard carré et par jour (2^m⁵,700 par mètre carré) avec un écoulement continu : toutefois le filtre s'engorge au bout d'un certain temps et il suffit alors de le laisser reposer une ou deux semaines pour qu'il se régénère. Quand on augmente l'épaisseur du filtre, on peut augmenter proportionnellement le débit : par exemple avec huit pieds, on peut porter à 800 gallons par yard carré et par jour, et en 1896, de tels filtres ont même fonctionné pendant toute l'année à raison de 160 heures en moyenne par semaine avec un débit de 1 000 gallons.

L'influence de la distribution en pluie ou en pulvérisation a été reconnue très sérieuse.

Enfin on a profité de l'occasion pour expérimenter 25 précipitants chimiques divers, sur lesquels nous n'avons pas à insister puisqu'on s'en tient à la chaux.

De nombreuses analyses ont été faites ; nous ne citerons que les résultats de la Commission de Manchester qui visita les filtres de Salford le 13 janvier 1898 et trouva ce qui suit (en grains par gallons) :

	Oxygène consommé en 4 heures	Ammoniaque libre	Ammoniaque albuminoïde	Chlore	Epreuve de l'incubator test (voir page 338)			
					Oxygène consommé en 3'		Odeur après les 5 jours d'incubation	
					avant l'incubation	après l'incubation		
Sewage de Peudleton	brut . . .	7,58	1,40	0,75	»			
	après repos.	5,86	1,60	0,34	17,2	1,44	1,92	putride
Sewage de Salford	brut . . .	5,28	2,00	0,50	»	»	»	
	après repos.	3,88	1,80	0,34	10,4	1,54	2,00	putride
Effluent des bassins de précipitation	3,46	1,20	0,23	17,0	1,42	1,05		légère odeur
Effluent du filtre dégrossisseur	2,58	1,40	0,22	16,2	0,86	0,74		Id.
Effluent des lits bactériens.	0,60	0,48	0,06	»	0	0		sans odeur

2° *Expériences de Londres.*— Les Docteurs Clowes et Houton ont publié trois rapports successifs sur les expériences poursuivies à Barking et Crossness, sur le sewage de Londres : le dernier de ces rapports qui nous soit connu est du 24 mai 1900. Les expériences portent sur des lits de coke (gros comme une noisette), d'épaisseurs différentes (3, 5, 6, 10 et 13 pieds), travaillant soit isolément, soit par la méthode du double contact, mais toujours avec intermittence (10 minutes de remplissage, trois heures à l'état plein, une heure de vidange et huit heures de repos). Un filtre demande généralement un mois pour se former. Si l'on prend soin de bien assurer l'aération des couches en fichant des tuyaux verticaux dans le filtre, on obtient des débits croissant proportionnellement avec l'épaisseur. Ainsi les filtres de quatre et six pieds travaillaient respectivement avec des débits de 555 000 et 832 000 gallons par acre et par jour (soit 6 300 et 9 400 m³ par hectare), mais on a pu pousser ce dernier jusqu'au double et le filtre de 13 pieds pourrait débiter trois millions et demi de gallons par acre et par jour (37 000 m³ par hectare). Les résultats comme épuration varient entre 70 et 82 0/0, mais un grand nombre de bactéries restent dans l'effluent.

2° *Expériences de Leeds* (M. Lannay).

« La ville de Leeds, devenue l'un des centres industriels et manufacturiers les plus importants non seulement du Yorkshire, mais encore de toute l'Angleterre, occupe une surface de 7 000 hect. et compte 450 000 habitants. La ville est traversée par la rivière d'Aire ; on y distribue environ 40 gallons (180 litres) d'eau potable excellente par tête. Le débit total des égouts, en temps sec, est de 16 millions de gallons par 24 heures (72 000 m³).

Les eaux d'égout de Leeds ont été épurées jusqu'ici par les procédés chimiques appliqués à Knostrop, terrain municipal d'une contenance de 10 hect. environ (précipitation par la chaux). Mais on a, comme toujours, rencontré des difficultés considérables par suite de l'accumulation des boues et la municipalité fut amenée, en 1896, à étudier les nouveaux procédés biologiques ou bactériens pour suppléer à l'insuffisance de l'épuration chimique. C'est ainsi qu'on a poursuivi, depuis 1897, une série d'expériences et installé un laboratoire pour étudier tous les systèmes connus d'épuration bactérienne : septic tank ouvert ou fermé, système Dibdin, avec un ou deux lits de contact, procédé Ducat, procédé Scott-Moncrieff, procédé Whittaker, etc. ; les expériences ont été poursuivies pendant plus de trois ans dans les conditions les plus variées, et elles sont d'autant plus intéressantes que les eaux de Leeds sont très difficiles à traiter parce qu'elles contiennent beaucoup d'eaux résiduares industrielles de tanneries, de fabriques de produits chimiques, de peignages de laines, des abattoirs, etc.

Entrer dans le détail de toutes ces recherches nous entraînerait beaucoup trop loin, mais il est intéressant de dégager les conclusions auxquelles elles ont abouti et qui sont extraites d'un rapport très documenté de l'ingénieur Hewson et du chimiste de la ville de Leeds.

Expériences sur les lits de contact.

Les expériences ont été faites principalement avec des lits de double contact, au nombre de six, dont trois avec gros matériaux et trois avec matériaux fins (coke). Ce système de double filtration a produit une épuration de 75 à 95 % ; il est plus efficace à l'égard des matières en dissolution que pour les matières en suspension qui sont plus lentement réduites et dont les parties non dissoutes tendent à engorger les lits au bout d'un certain temps. On a reconnu qu'en général les lits grossiers retenaient 65 à 75 % des matières solides en suspension. Dans l'eau filtrée, après le double contact, il reste encore 3 grains et demi par gallon de matières en suspension (50 milligrammes par litre).

L'expérience acquise pendant une période de plus de deux ans, a prouvé qu'en traitant les eaux d'égout, soit brutes, soit après passage sur des grilles, soit par-

tiellement déposées, on pouvait obtenir des eaux épurées de qualité bien supérieure à celles que l'on obtient par le procédé à la chaux. L'analyse chimique a donné des résultats satisfaisants ; l'eau effluente ne contenait jamais plus de un grain d'oxygène absorbé, ni plus de un grain d'ammoniaque albuminoïde par gallon (14 milligrammes par litre). Ces limites ont été, dans ces dernières années, acceptées par les autorités du Lancashire et du Yorkshire, comme un étalon provisoire de pureté pour les eaux déversées dans des cours d'eau non utilisés pour l'alimentation. Les poissons vivent très bien dans l'effluent final. L'effluent bien aéré n'est jamais exposé à une putréfaction ultérieure, il contient des éléments d'épuration subséquente, et s'améliore en passant à la rivière.

Dans un lit nouvellement mis en service, il faut six semaines à deux mois avant que l'épuration fonctionne bien ; dans les premiers temps, l'eau effluente reste putrescible ; les nitrates ne font leur apparition qu'après un mois de fonctionnement.

La conclusion générale, tirée des expériences sur les seuls lits à double contact, est que, dans les conditions de Leeds, malgré la bonne qualité des eaux effluentes, il est impossible d'assurer le traitement parce que les premiers lits à gros matériaux finissent par s'obstruer de matières qui ne peuvent être dissoutes et digérées par le repos du filtre (1).

Expériences sur les réservoirs septiques.

Lorsqu'un réservoir septique est rempli, il ne se produit d'abord qu'un simple dépôt des matières en suspension et l'effluent obtenu est, en réalité, de l'eau d'égout reposée. Bientôt, pourtant, la fermentation des matières solides commence et il se dégage une grande quantité de produits gazeux. Le délai qui s'écoule entre le remplissage des réservoirs et l'apparition du phénomène varie selon l'état de la température ; c'est en été qu'il est le plus court. Ce dégagement de gaz augmente graduellement jusqu'à ce que le gaz accumulé dans le dépôt du fond soit suffisant pour en faire monter des parties à la surface du liquide. Ces parties solides, exposées à l'air et au soleil, séchent à la surface et se durcissent ; elles s'agglomèrent d'abord du côté opposé au vent et se répandent graduellement sur toute la surface. Des bouchons, des allumettes et des matières légères font partie de cette masse qui, durant les mois chauds de l'été, atteint souvent en certains endroits une épaisseur de plus d'un pied (0^m,30). Pendant les mois d'hiver et notamment après un froid vif, la couche superficielle a une tendance à s'amincir.

Pendant que ces changements se produisent dans le réservoir, la nature de l'écoulement obtenu se modifie également. Il a d'abord tous les caractères de l'eau d'égout simplement décantée et, à Leeds, sa couleur est jaune à cause de la présence du fer. A mesure que la putréfaction du sédiment se développe dans le réservoir, l'écoulement devient plus foncé, presque noir et nauséabond par suite de la dissolution de quelques-uns des produits de l'action bactérienne, notamment du sulfure de fer. Les gaz dégagés sont inflammables et, sans aucun doute, si l'on disposait d'une surface de réservoirs septiques *couverts* suffisante, ils pourraient être employés pour le chauffage ou l'éclairage.

La question de savoir si les réservoirs septiques doivent être couverts ou non est controversée. Les avantages attribués aux réservoirs fermés, malgré la dépense assez importante de couverture, sont :

- 1° que l'accès de l'air extérieur étant interdit, on réalise ainsi les meilleures conditions anaérobiques ;
- 2° que les gaz développés peuvent être recueillis et utilisés pour l'éclairage ou le chauffage ;

(1) Ajoutons que la diminution de la capacité utile des lits primaires fut en moyenne de 70 0/0 pour un fonctionnement de 14 mois.

3° qu'on évite ainsi les mauvaises odeurs ;

4° que la chaleur de la masse d'eau d'égout est mieux conservée.

Et, cependant, l'expérience de Leeds montre que tous les résultats obtenus avec les réservoirs septiques clos, l'ont été également avec les réservoirs ouverts ; l'écume qui se forme à la surface devient bientôt elle-même une fermeture naturelle et à bon marché qui protège la masse contre les déperditions de chaleur.

On a trouvé que la perte moyenne de chaleur des eaux d'égout était de 1°6 F, en passant par les réservoirs septiques couverts tandis qu'elle était de 0°8 F, en passant par les réservoirs ouverts, et la différence est trop minime pour compenser les frais de la couverture.

En apparence, les écoulements obtenus des réservoirs ouverts ou couverts ont été identiques et au point de vue chimique aucune différence sensible n'a pu être relevée :

GRAINS PAR GALLONS	MATIÈRES solides totales	MATIÈRES en suspension	AMMONIAQUE libre	AMMONIAQUE albu- minoïde	OXYGÈNE absorbé en 4 heures (80° Fahr.)
Eau provenant d'un <i>septic tank</i> <i>ouvert</i>	77,6	13,1	1,83	0,455	4,18
Eau provenant d'un <i>septic tank</i> <i>fermé</i>	77,9	12,8	1,80	0,437	4,82

Par suite de la fermentation putride qui se produit dans ces réservoirs, une forte proportion des matières en suspension existant dans les eaux d'égout de Leeds (40 0/0) est transformée en gaz ou solubilisée. Une partie est emportée dans l'effluent et est traitée ensuite sur les différents filtres, et une autre demeure dans les réservoirs où elle s'accumule.

De temps en temps, une partie de la boue doit être enlevée, mais il faut, autant que possible, le faire sans vider le réservoir afin de ne pas interrompre l'action septique, qui, au début, demande toujours quelques mois pour se développer.

Il était intéressant de savoir quelle est la vitesse d'écoulement à travers le réservoir septique qui donne le meilleur résultat. C'est ce que l'on a recherché à Knostrop au moyen des trois réservoirs semblables à travers lesquels l'eau d'égout a été traitée avec un débit capable de remplir le premier en 12 heures, le second en 24 heures et le troisième en 48 heures. Il semble, d'après les premiers résultats acquis, qu'une augmentation du courant au delà de celui qui correspond au remplissage en 24 heures diminue la qualité de l'effluent, tandis qu'une diminution de vitesse, jusqu'au remplissage en 48 heures, procure peu d'avantage.

*Comparaison des différentes vitesses de passage à travers
le septic tank*

GRAINS PAR GALLON	REMPLETTAGE		
	en 12 heures	en 24 heures	en 48 heures
Matières solides totales dans l'eau effluente.	88,0	72,2	78,6
— en suspension —	49,6	41,5	40,9
Ammoniaque libre	1,44	1,50	1,53
— albuminoïde.	0,502	0,348	0,377
Oxygène absorbé en 4 heures (80° F.)	5,71	4,37	4,27

En résumé, les avantages de l'emploi des réservoirs septiques sont les suivants :

1° La production d'un effluent pratiquement uniforme, alors que l'eau d'égout a une composition aussi variable que celle de Leeds ;

2° La digestion ou la dissolution d'une partie des matières solides en suspension laquelle, à Leeds, peut s'élever à 40 0/0.

3° La putréfaction anaérobie, qui a lieu dans le réservoir septique, facilite la filtration ultérieure en rendant la matière moins sujette à une putréfaction secondaire.

Expériences de filtration continue, système Whittaker.

M. le Conseiller Whittaker, président du Comité des eaux d'égout d'Accrington, ayant insisté sur les avantages de la filtration continue pratiquée après le traitement en réservoir septique, on a installé un lit de ce système à Knostrop.

La disposition du lit est circulaire et, n'ayant pas à résister à une pression d'eau, l'enveloppe est simplement composée de lattes verticales en bois, le tout cerclé de bandes de fer. C'est à l'intérieur de ce grillage à claire-voie que le mâchefer est renfermé. Le fond est constitué par un radier circulaire en béton, traversé suivant un diamètre par un drain collecteur de 18 pouces (0^m,45) et en pente de 1/45. C'est par ce drain que s'écoule l'eau filtrée ; il est, pour cela, percé de petits trous sur sa moitié supérieure et de plus larges sur les côtés par où débouchent des conduites de 9 pouces (0^m,225) en pente de 1/22. Ces petits tuyaux sont aussi perforés sur la moitié de leur section ; le béton est coulé de manière à affleurer le niveau des trous les plus bas, ce qui empêche la stagnation de l'eau filtrée. Il existe au centre du lit un trou d'homme vertical de 6 pieds (1^m,83) de diamètre et de 10 pieds 6 pouces (3^m,20) de hauteur entouré de briques ajourées.

Le mâchefer du filtre est composé de fragments ayant de 3 pouces à 1 pouce (0^m,075 à 0^m,025) de grosseur, excepté au centre et à la périphérie où il est plus grossier. L'eau effluente refoulée par une pompe est distribuée par l'*aspersoir* Whittaker (voir précédemment).

Le lit a fonctionné depuis le 9 mars 1899 à raison de 100 000 gallons (450 m³) par 24 heures, soit 3 000 000 de gallons (13 500 m³) par acre ou 33 500 m³ par hectare et par jour. Le premier effluent fut très clair et très pur ; les matières solides étaient retenues ; puis, après un certain temps, l'eau filtrée devint trouble.

Ces expériences de filtrage continu par l'épandage des eaux d'égout en pluie, sur la surface de gros coke bien aéré au fond et sur les côtés, ont été assez intéressantes ; elles ont démontré que dans le très court espace de temps (15 minutes) nécessaire pour le passage de l'eau à travers le lit, des changements remarquables se produisent. Il est vrai qu'à la vue le filtrage est loin de paraître satisfaisant, mais, en le plaçant à la lumière dans un tube en verre, on reconnaît que le trouble n'est dû qu'à la présence des matières en suspension qui déposent bientôt en laissant un liquide clair et limpide.

On constate que les matières déposées sont imputrescibles et, comme la moitié environ est composée d'oxyde de fer et de silice, elles ne sont plus réductibles par l'action bactérienne ; elle doivent donc engorger le lit.

Le filtrage final a donné à l'analyse 0,079 par gallon d'ammoniaque albuminoïde et 0,59 par gallon d'oxygène absorbé, ce qui correspond à une épuration de 83 0/0 par rapport à l'effluent septique traité dans le lit et à une épuration totale par le réservoir septique et le filtre continu de 92 0/0 par rapport à l'eau d'égout brute.

Résultats d'analyses concernant les lits de bactéries
(Système Whittaker)

GRAINS PAR GALLON	Matières solides totales	Matières en suspension	Ammoniaque libre	Ammoniaque albuminoïde	Oxygène absorbé en 4 heures	Azote des nitrates
Effluent du Septic tank.	78,4	43,4	4,800	0,434	4,020	»
Eau filtrée sur le lit Whittaker.	69,8	3,6	0,688	0,113	0,684	0,548
Purification par rapport au Septic tank.	»	57 0/0	61 0/0	73 0/0	83 0/0	»

L'asperoir Whittaker n'a pas été trouvé très efficace ; les orifices se bouchent facilement et le nettoyage demande une attention soutenue.

On a proposé d'essayer, à titre d'expérience, le filtrage continu sur des lits grossiers à couvert pour conserver la chaleur des eaux d'égout. Mais le chauffage artificiel proposé par M. Whittaker, appliqué sur une large échelle, coûte évidemment trop cher.

Système Ducat.— A Knostrop, on a également expérimenté le système du colonel Ducat.

Le filtre d'épreuve a 1/100 d'acre (40^m²) et une hauteur de 10 pieds (3^m). Il est composé de mâchefer (grosseur 3/8 à 5/8 de pouce — 9m/m à 15^m/m,6). Les parois du filtre sont constituées par des tuyaux de drainage de 12 pouces (0^m,30) de long et de 5 pouces 1/4 (0^m,131) de diamètre extérieur; on assure ainsi l'accès complet de l'air au travers du filtre; un second mur extérieur, à 3 pieds (0^m,91) de distance du premier et construit en briques, supporte un toit de chaume, de sorte que tout le filtre est ainsi à l'abri de l'air extérieur, ce qui permet de maintenir une température convenable.

Le fond du lit est occupé par 6 canaux en briques en communication avec l'air extérieur; dans ces canaux passent des conduites en fonte, à l'intérieur desquelles circule un courant d'eau chaude provenant d'une chaudière extérieure, et qui fournissent de la chaleur pendant la saison froide où la nitrification est moins active.

Les eaux d'égout brutes étaient déversées à la surface supérieure du lit au moyen d'auges basculantes.

Le filtre a été mis en exploitation le 29 mars 1900, fonctionnant 10 heures par jour, se reposant 14 heures et recevant pendant le fonctionnement 200 gallons par yard carré (900 lit.), soit 1080 lit. par mètre carré. Le fonctionnement fut satisfaisant jusqu'au 16 avril, époque à laquelle la surface du filtre donna des signes d'engorgement et de petites flaques d'eau commencèrent à se former. Le 26 avril, toute la surface était obstruée et l'eau effluente, de claire qu'elle était au début, était devenue opaline. Pendant toute cette période, le lit avait été chauffé, la température était de 10° F. (5° 5 c.) plus élevée que celle des eaux d'égout.

Le filtre, au moment où il a donné les meilleurs résultats, produisait une épuration de 90 0/0 en ammoniaque albuminoïde et de 93 0/0 en oxygène absorbé.

L'azote des nitrates dans l'effluent était 0,56 grain par gallon (8^{mm}^{gr} par litre).

Résultats des analyses

GRAINS PAR GALLON	Matières solides totales	Matières en suspension	Ammoniaque libre	Ammoniaque albuminoïde	Oxygène absorbé en 4 heures (80° F.)	Azote des nitrates
Eau d'égout	429,7	53,7	2,88	4,09	7,98	*
Eau filtrée	71,6	0	4,00	0,422	0,744	0,313
Pourcentage de purification	*	*	65 0/0	88 0/0	91 0/0	*

Un nouvel essai a été tenté à partir du 13 juin avec des eaux d'égout préalablement dégrossies sur des grilles afin d'arrêter les fibres de bois ; mais on a rencontré les mêmes inconvénients après un mois de fonctionnement.

En résumé, le système Ducat, malgré son prix élevé, ne paraît pas convenir aux eaux d'égout de Leeds ; les matériaux du filtre sont trop fins et s'encrassent rapidement.

Conclusions générales, tirées par les autorités de Leeds des expériences de Knostrop. — En résumé, toutes les expériences de Knostrop sur les eaux d'égout de Leeds ont témoigné de la remarquable puissance de l'oxydation bactérienne ; l'action, rapide quant au traitement des impuretés en dissolution, est beaucoup plus lente sur les matières solides en suspension.

Les lits de *double contact* ont donné de *bons* résultats avec les eaux d'égout brutes, d'*excellents* avec les eaux préalablement traitées par le *Septic tank*.

Les lits de *simple contact* sont insuffisants pour le traitement des eaux brutes, mais donnent d'assez bons résultats avec les eaux provenant des réservoirs septiques.

La difficulté est de maintenir la capacité des lits de contact ; l'engorgement finit toujours par se produire et la mise au repos des lits a été impuissante à dissoudre les agglomérations de matières.

La filtration continue d'eau brute ou provenant du *Septic tank* sur des lits fins, bonne au début, est impraticable en raison de l'engorgement rapide du lit.

D'un autre côté, la filtration continue, sur de gros matériaux, d'écoulements septiques et même d'eaux d'égout, a donné des résultats remarquables lorsqu'on laisse se déposer après le filtrage les matières en suspension de l'effluent. Ces matières sont imputrescibles, se déposent rapidement et peuvent être séchées sans dégager aucune odeur. Il semble que le passage de ces matières, minérales pour la plus grande partie, assure la permanence des lits continus avec matériaux grossiers.

On a pu, et cela pendant de longues périodes, faire travailler des lits continus à grains grossiers de 10 pieds de hauteur (3m), à raison de 260 gallons par yard carré, soit 1 million de gallons d'écoulement septique par acre et par jour (11000 m³ par hectare). A cette dose, l'épuration obtenue a été de 90 0/0 après décantation du filtrage et, quoiqu'une partie des matières solides soit retenue par le filtre et s'y accumule, le filtre peut être nettoyé par le flot qui survient naturellement lors des pluies d'orage. L'élasticité de ce mode de traitement, par rapport aux eaux d'orages, paraît être un des avantages du système continu.

Mais, pour les lits continus, la difficulté principale réside dans le mode de distribution, l'idéal étant un épandage égal sur toute la surface, difficile à réaliser sur une large échelle.

Les expériences se continueront et l'on se propose d'éviter le chauffage trop onéreux des eaux d'égout en construisant de nouveaux lits de telle manière qu'ils puissent, autant que possible, conserver la chaleur des eaux d'égout toujours de quelques degrés au-dessus de zéro, même en hiver. C'est encore une des difficultés de la filtration continue; dans les lits de contact, il y a, au contraire, très peu de chaleur perdue.

Ni le système de filtration continue, ni le système intermittent, ne donnent lieu à aucune mauvaise odeur.

Les deux systèmes donnent d'excellents résultats à l'analyse chimique et des effluents qui s'améliorent et ne s'altèrent pas si on les conserve; toutefois, au point de vue bactériologique, les eaux filtrées contiennent un plus grand nombre de microbes que la limite admise pour des eaux potables. Cette objection n'est pas grave, car on ne saurait demander à un traitement d'eaux d'égout la transformation en un liquide absolument potable. En réalité, la présence des bactéries dans l'effluent peut être considérée comme un élément actif d'épuration ultérieur. Lorsque les eaux filtrées proviennent des eaux d'égout d'un hôpital de fiévreux, par exemple, ou si elles doivent se déverser dans des rivières qui servent à l'alimentation en eau potable, on pourrait utilement employer un procédé de stérilisation finale en vue de l'extinction des germes pathogènes; mais à Leeds, où l'eau épurée se déverse dans une rivière qui, en raison de sa nature, ne peut fournir à l'alimentation publique, la présence d'un certain nombre de bactéries dans le courant final ne présente aucun inconvénient.

La Corporation de Leeds vient précisément d'acheter un domaine de 1890 acres (765 hect.) pour l'épandage, et il faudra plusieurs années avant qu'on y puisse envoyer toutes les eaux d'égout de la ville.

On pourra donc, d'ici-là, continuer les expériences et déterminer, en connaissance de cause, la meilleure méthode de traitement à adopter définitivement.

4° *Expériences et projets de Manchester* (M. Launay) :

A Manchester, où nous avons été reçu par M. Fowler, chimiste de la ville, nous avons visité à Urmston les installations et expériences de *Davyhulme* si habilement conduites par notre hôte.

Actuellement, l'épuration des eaux d'égout provenant d'une population de 500 000 habitants se fait chimiquement, moyennant une dépense annuelle de 5 000 livres (125 000 francs), rien que pour les produits chimiques; la production annuelle de boues est de 190 000 tonnes qui sont enlevées par bateaux à vapeur, conduites dans le canal de Manchester à Liverpool et jetées en mer au delà de la barre de la Mersey.

Les expériences sur les traitements bactériens furent commencées par Sir H. Roscoe et continuées par M. Fowler. Les résultats furent assez satisfaisants et l'on nomma un comité de trois Experts : MM. Baldwin-Latham, ingénieur, Percy Frankland, biologiste, et Perkin, chimiste, pour donner un avis au Conseil de la ville sur la possibilité de traiter toutes les eaux d'égout de Manchester par les procédés bactériens.

Le débit total des égouts est d'environ 30 millions de gallons par jour (135 000 m³) pouvant être triplés (405 000 m³) par la pluie et même s'élever, pendant quelques heures, en cas d'orage, à six fois le débit du temps sec.

Nous avons retrouvé là, à Davyhulme, le septic tank et les lits de bactéries à simple ou double contact. Mais en dehors des expériences, nous avons pu voir des lits de bactéries en construction pour être mis prochainement en exploitation. On est, en effet, sorti de la période des essais, et, sur le rapport des trois experts, la ville a été autorisée par le Local Government Board à contracter un emprunt pour l'exécution du projet d'épuration par les bactéries.

Les expériences de Manchester ont porté sur la méthode aérobie comme sur la méthode anaérobie, et sur les deux méthodes combinées (fig. 255 et 256).

Les lits filtrants aérobieques étaient au nombre de cinq et avaient 4 pieds de

profondeur (1^m,22) avec une superficie de 0,013 d'acre ; la matière filtrante y était constituée par du mâchefer de différentes grosseurs ; dans le premier, c'était du mâchefer passant dans un crible de 3 pouces (75 mm) et rejeté par un crible de 1 pouce (25 mm) ; dans un second, la grosseur était de 1/8 à 1/2 pouce (3 à 12 mm) ; dans les autres, les grains avaient une grosseur intermédiaire. L'épaisseur du mâchefer était de 3 pieds (0^m,91). L'eau était distribuée à la surface des lits par de simples rigoles ou auges en bois.

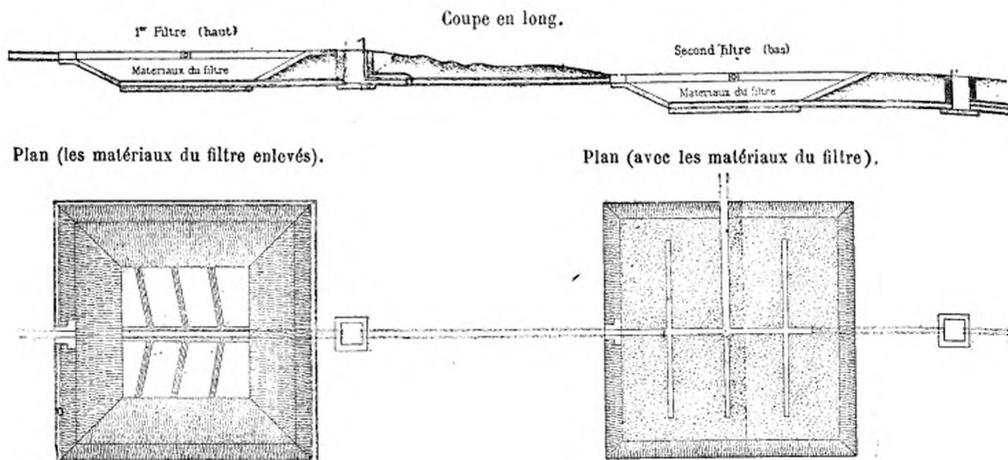


Fig. 255. — Expériences de Manchester : filtres à bactéries (d'après M. Launay).

Les lits pouvaient être alimentés soit par l'eau d'égout brute, soit avec l'eau d'égout traitée chimiquement, soit par l'eau provenant d'un réservoir septique. On avait, en effet, également installé un septic tank du type d'Exeter et de Yeovil, c'est-à-dire fermé, en même temps qu'un septic tank ouvert.

A Manchester, comme à Leeds, on a constaté que, dans le réservoir septique ouvert, les altérations anaérobiques, caractérisées par la liquéfaction des boues avec dégagement de gaz des marais, étaient les mêmes comme quantité et comme qualité que dans le réservoir fermé du type d'Exeter.

Lorsqu'on laisse séjourner de l'eau d'égout brute dans un réservoir quelconque, clos ou ouvert, une mousse se forme rapidement et couvre bientôt complètement la surface de liquide ; il se peut que cette mousse aide puissamment à empêcher l'absorption de l'oxygène de l'air. Mais quelle que soit la cause, les analyses publiées par les Experts de Manchester montrent, non seulement que le réservoir ouvert est aussi efficace, au point de vue des résultats, que le fermé, mais encore que ces résultats sont obtenus plus rapidement. Il y a plus, les expériences portant sur la comparaison des deux systèmes dans leur ensemble, avec des volumes égaux d'eau d'égout traités sur des superficies égales de lits filtrants, ont montré que l'avantage appartient, indiscutablement, au réservoir ouvert et aux deux lits de contact par rapport au réservoir septique avec un seul lit de contact.

En ce qui concerne les lits de contact, les experts de Manchester ont confirmé que, soit par suite des dépôts, soit par suite d'une végétation bactérienne spongieuse, la capacité initiale du filtre diminue rapidement jusqu'à une certaine limite et devient alors constante, pratiquement tout au moins.

Les effets du traitement de l'eau d'égout de Manchester furent très variables suivant que le contact était simple ou multiple ; le système à double contact a donné d'excellents résultats. En chiffres ronds, on peut dire que, pendant le pre-

mier contact, il y a 50 0/0 des impuretés dissoutes qui sont transformées ; dans le second contact, 50 0/0 des impuretés restantes sont réduites et ainsi de suite.

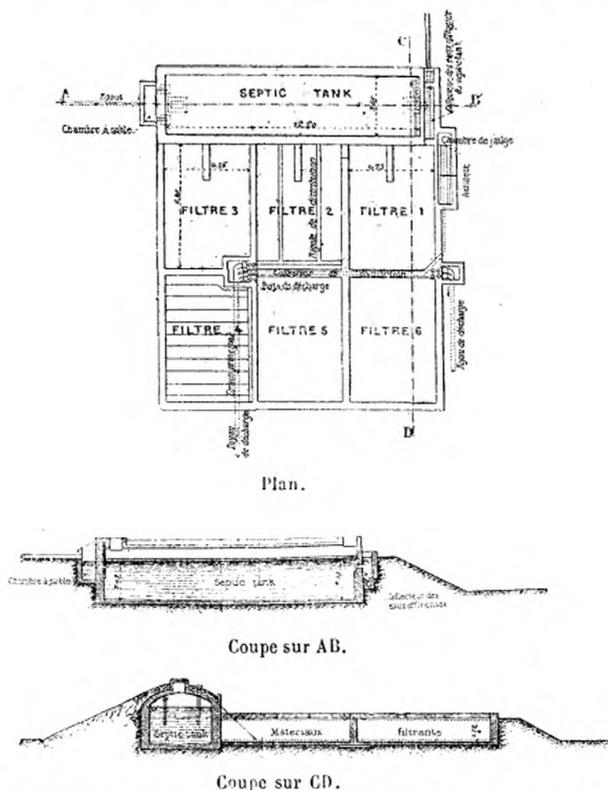


Fig. 256. — Expériences de Manchester : septic tank avec lits filtrants (d'après M. Launay).

Cela signifie que si l'eau d'égout reposée ou dégrossie contient 100 grains par gallon (le grain = 0^{gram},0647) d'impuretés oxydables, le premier lit les réduit à 50 grains, le second à 25 grains par gallon, le troisième à 12,5 grains par gallon, etc.

Les lits filtrants étaient remplis de 2 à 4 fois par jour et ils ont traité des quantités d'eau d'égout variant de 480 000 à plus de 600 000 gallons par acre et par jour (6750 m³ par hectare).

La question des eaux d'orage fut aussi traitée. La première averse après une période de sécheresse, entraîne les dépôts anciens des égouts, nettoie la surface des cours et des rues, et donne, la plupart du temps, une eau d'égout très chargée ; mais, après une heure ou deux d'une forte pluie, la composition change et l'eau d'égout devient tout à fait diluée. Les Experts de Manchester recommandent donc la séparation du traitement, attendu que l'eau diluée qui suit le premier flot paraît pouvoir être soumise à un traitement bactérien accéléré.

En raison de l'importance capitale des résultats obtenus à Manchester, nous croyons devoir reproduire ici les conclusions auxquelles ont abouti les trois experts dans un rapport du 30 octobre 1899, conclusions qui ont d'ailleurs reçu l'adhésion du Local Government Board :

I. *Système à adopter.* — Les procédés bactériens sont ceux qui s'adaptent le mieux à la purification du sewage de Manchester.

II. *Influence des résidus industriels.* — Tous les doutes que l'on avait pu concevoir sur leur efficacité, par suite de la présence dans les eaux usées de Manchester de résidus industriels, ont été dissipés par les résultats convaincants de l'enquête expérimentale.

III. *Un contact multiple est nécessaire.* — Du moment qu'un lit bactériologique ne permet d'atteindre qu'un degré limité de purification avec un seul contact, il est nécessaire, pour porter la purification au delà de cette limite, de distribuer l'effluent sur un second lit qui permet d'obtenir un degré plus avancé de purification. En conséquence, pour obtenir un haut degré d'efficacité dans la purification bactérienne du sewage, il est généralement nécessaire de recourir aux contacts multiples.

IV. *Conditions d'efficacité des lits bactériens.* — Pour qu'un lit de contact exerce sa pleine puissance d'épuration, il est nécessaire qu'on ménage des périodes de repos fréquentes et prolongées ; que le sewage distribué contienne le moins possible de matières en suspension, et qu'il ait une composition aussi uniforme que possible.

V. *Traitement anaérobique préalable.* — Ces conditions sont réalisées si l'on fait passer au préalable l'eau brute à travers un système convenable de grilles, de puisards de décantation et de réservoirs.

Cette disposition présente l'avantage de favoriser le développement de l'action anaérobique ou septique qui transforme la matière organique solide en produits gazeux et solubles. On fait disparaître ainsi une grande partie de la boue qui, autrement, s'accumule et dont l'enlèvement est une source de difficultés et de dépenses.

Le traitement anaérobique ou septique réussit aussi bien dans un réservoir ouvert que dans un réservoir fermé.

VI. *Capacité des lits bactériens.* — La capacité des lits de contact est demeurée pratiquement constante après un fonctionnement de trois mois. Pour évaluer cette capacité, il est préférable de prendre comme terme de comparaison celle des réservoirs vides, en limitant le volume au plan correspondant à la surface de la matière filtrante qui doit ensuite remplir les réservoirs.

Dans ces conditions, on a calculé que le volume d'eau constant, contenu dans les lits, était égal à peu près au tiers de la capacité du réservoir.

VII. *Quantité de sewage pouvant être traitée par les lits bactériens.* — En ce qui concerne la quantité d'eau d'égout qui peut être purifiée par un lit donné sans ce que ce lit soit surchargé, l'enquête expérimentale a démontré que chaque lit peut être rempli sans inconvénient quatre fois par 24 heures, à la condition qu'on ait auparavant laissé déposer le sewage, qu'on lui ait fait subir la préparation septique préliminaire dans des réservoirs, et qu'on laisse le lit au repos un jour par semaine environ.

Dans le cas où un lit est indûment surchargé, son efficacité n'est compromise que temporairement et elle peut lui être restituée par quelques jours de repos.

VIII. *Eaux d'orage.* — L'eau provenant d'un orage peut aussi être soumise de façon satisfaisante à un traitement bactérien accéléré, qui peut fonctionner aussitôt que l'eau d'égout est suffisamment diluée. Toutefois, comme pendant les deux premières heures d'une forte averse, il n'y a pas de diminution dans le degré de concentration des eaux, il sera généralement nécessaire de prendre telles dispositions qu'il conviendra pour l'emmagasinement ou le traitement séparé du premier flot.

IX. *Effets de la température.* — Le traitement bactérien est efficace dans toutes les saisons de l'année ; la température du sewage étant suffisante, soit pour

éviter l'engorgement des lits par la formation de la glace, soit pour maintenir l'action nécessaire des bactéries même pendant les plus grands froids.

Les experts ont fait suivre ces conclusions d'une série de recommandations que nous reproduisons également, parce qu'elles servent à éclairer divers détails des opérations :

Passage du sewage au travers d'une grille. — Dépôt. — Il est à désirer qu'à son arrivée l'eau d'égout soit soumise à un dégrossissage efficace (grille), puis qu'elle soit dirigée dans les réservoirs septiques ouverts actuels. Ces réservoirs devraient être pourvus de cloisons immergées et de planches à écume flottantes disposées de manière à retarder le courant des matières organiques et minérales en suspension.

Surface et constitution des lits bactériens. — L'effluent venant des réservoirs ouverts doit être dirigé dans les lits à double contact.

Les experts estiment que la surface de ces lits à double contact doit être en nombre rond de 60 acres (24 hectares), non compris les murs de soutènement, les chemins, etc.

Cette estimation est basée sur un volume de 30 millions de gallons (135 000 m³) par un temps sec, et en supposant que chaque acre, couvert par des lits de 3 pieds 33 (1^m,01) d'épaisseur avec quatre remplissages par 24 heures, soit capable de traiter 500 000 gallons environ (2 270 m³) et cela avec un jour de repos par semaine.

Les lits bactériens ou biologiques doivent être construits par paires, à deux niveaux différents : l'un élevé, l'autre bas ; ils doivent avoir environ un demi-acre de superficie chacun (20 ares), de telle manière qu'on puisse leur distribuer rapidement le sewage. Les cloisons établies entre les paires de lits seront disposées de façon à pouvoir servir à l'adduction de l'eau à traiter et à l'évacuation du drainage.

— Les dispositions actuellement proposées pour le drainage des lits consistent dans la construction de caniveaux convenables en béton et recouverts de plaques perforées, sans emploi de tuyaux, de telle sorte que les caniveaux destinés à recevoir l'effluent soient toujours pleins de cet effluent, que le sewage brut ne puisse y pénétrer, et qu'ils puissent être à tout moment complètement vidés dans le canal collecteur principal.

— Des dispositions doivent être prises également pour la distribution de l'eau à traiter sur la surface des lits. Elles doivent permettre d'ouvrir ou de fermer simultanément toutes les ouvertures correspondant à un même lit, de manière à éviter la perte de temps qui résulterait de l'obligation pour les ouvriers d'aller d'une ouverture à l'autre.

— L'effluent final venant des divers lits sera réuni et dirigé par le petit aqueduc qui passe à travers le Domaine de Davyhulme et qui le conduira dans le canal maritime de Manchester, au-dessous de l'écluse de Barton.

— Quant au choix de la matière qui convient le mieux pour la constitution des lits de bactéries, les experts recommandent le mâchefer d'une dimension telle que les morceaux passent dans des mailles de un pouce et demi (37^{mm},5), et soient arrêtés par des mailles de 1/8 de pouce (3 mm). Il faut prévoir des moyens efficaces pour remplir et vider rapidement les lits qui doivent être d'ailleurs construits de manière que chacun d'eux puisse être utilisé séparément.

Traitement de l'eau d'orage. — Pendant la durée d'un orage, le flot de sewage doit être traité par le système des réservoirs et des lits à double contact. L'excès du flot, après avoir passé par des bassins de dégrossissage, doit être dirigé dans des lits bactériens spéciaux d'une superficie d'environ 25 acres au moins (10 hect.).

Conclusion. — Finalement, les trois experts sont convaincus que, par le traitement bactérien des eaux d'égout de Manchester, on obtiendra un effluent qui, non seulement sera analogue aux eaux de la Mersey et de l'Irwell, prises comme

termes de comparaison, mais qui, en outre, améliorera la situation du canal maritime.

De plus, comme ce système permet de renoncer complètement à l'emploi des produits chimiques et réduit, dans de très grandes proportions, le volume de boues dont il faut actuellement se débarrasser, une grande partie de la dépense actuelle pourra être évitée et cette économie doit entrer en ligne de comptes dans l'évaluation de la dépense d'établissement des ouvrages proposés.

Nous devons ajouter, en terminant, que le projet des trois experts de Manchester a été approuvé par le « Local Government Board », à la condition que la surface des lits filtrants (double contact) ne soit pas inférieure à 92 acres (37 hect.).

5° Résumé et Conclusions (M. Launay).

En résumé, dans l'état actuel, le procédé bactérien qui nous paraît le mieux satisfaire aux conditions d'une bonne épuration, est celui du *traitement par le réservoir septique suivi du traitement par un double lit de contact* ; il paraît d'ailleurs nécessaire de procéder à un dégrossissage préalable des eaux d'égout afin de les débarrasser des matières minérales en suspension, comme le sable, qui résisteraient aux fermentations bactériennes et encombreraient les filtres et les réservoirs. Il est nécessaire pour que l'épuration bactérienne réussisse que les eaux ne contiennent pas de substances chimiques (les acides notamment) capables de s'opposer au développement des microbes.

Le réservoir septique peut être fermé ou découvert ; la valeur des deux systèmes est égale au point de vue du traitement ; le premier a contre lui la cherté du prix de la couverture que ne compense pas la valeur des gaz que l'on peut alors recueillir ; mais il évite, à coup sûr, les odeurs que dégage probablement la putréfaction anaérobie. Sa capacité doit correspondre généralement au volume journalier (24 heures) des eaux d'égout à traiter ; l'arrivée et le départ des eaux dans le réservoir doivent, autant que possible, se faire à égale distance du fond et de la surface du bassin.

Quant à la meilleure disposition à adopter pour les lits de contact, on trouvera des renseignements très complets à ce sujet dans les instructions toutes récentes du « Local Government Board », que nous reproduisons à la suite de notre rapport, et où presque toutes les combinaisons actuellement connues sont prévues.

L'épaisseur ou la profondeur à donner aux matériaux des filtres à gros grains est d'environ un mètre et pour les filtres à grains fins (deuxièmes lits) d'environ 0^m,75. Les meilleurs matériaux pour la composition des filtres paraissent être le coke et le mâchefer concassés à cause de leur porosité propre.

La périodicité à adopter pour le fonctionnement des lits de contact paraît être la suivante : remplissage en une ou deux heures, le filtre reste plein deux heures ; vidange en une ou deux heures ; le filtre reste vide de trois à quatre heures. Cette opération peut être renouvelée trois fois en 24 heures.

Le fond des lits doit être convenablement drainé et la distribution de l'eau à la surface des lits doit se faire aussi simplement que possible. Il est bon d'adopter des dispositifs de manœuvre automatique pour l'ouverture et la fermeture des vannes d'admission et de vidange, afin de diminuer les frais de main-d'œuvre et de personnel.

Enfin, il est nécessaire de contrôler d'une manière continue le fonctionnement des filtres et la qualité des eaux épurées. Les traitements bactériens exigent une habile surveillance de l'autorité ; il ne faut pas considérer un système bactérien comme fonctionnant, pour ainsi dire, automatiquement. *Les résultats doivent être contrôlés constamment par des analyses chimiques et bactériologiques.*

Pour fixer les idées, nous indiquons ci-dessous comment on peut estimer la surface nécessaire au traitement de 100 000 m³ d'eau d'égout, par exemple, par jour. A supposer une profondeur de trois mètres aux réservoirs septiques, il faudra une surface d'environ 3^{hect},33 puisque la capacité du réservoir doit être égale à peu près à la production journalière des égouts. Quant aux lits de premier

contact, leur profondeur moyenne étant de un mètre, leur capacité liquide étant environ le tiers de la capacité géométrique et le remplissage ayant lieu trois fois par 24 heures, il devront occuper une superficie d'environ 10 hect. Les lits de second contact (profondeur 0^m,75) occuperont à peu près un tiers en plus soit 13 hect. La superficie totale est donc de 26 hect.

Réservoir septique.	3 hect. 33
Premiers lits à gros grains	10 hect.
Deuxièmes lits à grains fins.	13 hect.
	<hr/>
	26 hectares.

Cette surface, extrêmement réduite, doit être comparée, par exemple, à celle qui est nécessaire dans le système parisien de l'épuration par le sol

$$\frac{100.000\text{m}^3 \times 365^j}{40.000\text{m}^3} = 900 \text{ hectares}$$

Cette dernière surface est 35 fois plus grande que celle que nécessitent les traitements bactériens.

Ainsi, de toutes les expériences faites en Angleterre, il résulte que les eaux épurées convenablement par les procédés bactériens ne contiennent plus de matière organique; mais elles contiennent un assez grand nombre de bactéries. Il est vrai que celles-ci ne sont pas plus abondantes dans les eaux effluentes que dans l'eau de Seine, par exemple, prise en amont de Paris. On pourrait donc impunément rejeter ces eaux épurées dans les rivières à moins qu'on ne préfère diminuer le nombre des germes par une irrigation subséquente sur le sol. C'est ainsi qu'actuellement les instructions du « Local Government Board » prévoient l'obligation pour les villes qui ont recours aux procédés bactériens, de faire subir à l'effluent une dernière épuration par le sol; mais en fait, dans la plupart des cas, les villes déversent directement l'effluent dans les rivières sans aucun inconvénient et en attendant que cette faculté soit officiellement accordée par le Gouvernement.

On trouvera en annexe, à la fin du rapport, les instructions rédigées à ce sujet par le « Local Government Board » et qui datent d'octobre dernier; le nota qui les précède montre bien que nous sommes, en cette matière, en pleine période d'évolution, puisqu'il en souligne le caractère provisoire.

Il paraît probable que, les eaux effluentes des lits bactériens étant fortement nitratées, il n'y existe pas de bactéries pathogènes, car plus l'aération et la nitrification sont complètes, plus il y a de probabilité que les bactéries pathogènes soient détruites.

Nous en avons dit assez, nous l'espérons du moins, pour pénétrer le lecteur de l'importance des nouveaux procédés d'épuration mis en pratique en Angleterre et qui révolutionnent complètement l'épuration chimique si en faveur dans ce pays. Nous avons intérêt aussi en France à étudier la question de très près, car les procédés bactériens pourraient trouver leur application dans un grand nombre de cas où, faute de terrains appropriés, il est impossible de recourir à l'épuration par le sol.

Ce n'est pas à dire qu'à Paris, il y ait lieu de modifier ce qui a été fait, l'épuration par le sol conservant son incontestable supériorité, mais les procédés nouveaux nous semblent appelés néanmoins à y jouer un rôle important et, à ce titre, ils méritent de retenir notre attention et de provoquer nos études. Nous entrevoions, en effet, que l'épuration bactérienne pourrait, à divers points de vue, devenir l'auxiliaire indispensable et le régulateur de l'épandage.

Dans la situation actuelle, les besoins de la culture, comme irrigation, variant avec les saisons, il arrive qu'à certains moments la culture est gênée pour absorber le débit des égouts et que, dans une certaine mesure, la culture est subordonnée aux nécessités de l'épuration. La création des lits bactériologiques permettrait,

DIVERS EMPLOIS DU SEWAGE. — Instructions du « Local Government Board » — Octobre 1900.

Quel que soit le système employé, il faut pouvoir disposer des moyens nécessaires pour être en mesure de traiter un volume de sewage égal à six fois la quantité produite en temps sec. Sur ce volume, trois fois la quantité produite en temps sec doit être traitée comme sewage proprement dit. La différence de trois à six fois le volume produit en temps sec doit être traitée dans des filtres spéciaux aux eaux de pluie ou sur des terrains spécialement aménagés.

SYSTÈMES	CAPACITÉS				SURFACES
	SEPTIC TANK recevant le sewage tamisé ou non	LITS DE PREMIER CONTACT recevant l'effluent du réservoir	LITS DE 2 ^e CONTACT recevant l'effluent des premiers lits	FILTRES SPÉCIAUX pour les eaux de pluie	TERRAIN pour le traite- ment final des 3 premiers volumes
N^o 1. — Septic tank avec double contact.	Production d'un jour de temps sec.	Trois fois la production du temps sec, deux remplissages par jour de 16 heures d'une durée de 8 heures, proportion de la capacité au volume du liquide : 3 à 1, avec emmagasinage de la production de la nuit.	Même chose que pour les lits de 1 ^{er} contact.	Trois fois la production d'un temps sec, à raison de 500 gallons par yard superficiel.	1 acre par 1 000 personnes.
Exemple pour 1 000 personnes à raison de 30 gallons par tête et par jour de 16 heures, production en temps sec (la quantité de la nuit devant être emmagasinée) à deux remplissages par jour.	$1\,000 \times 30 \times 1 = 30\,000$ gallons = 4 800 pieds cubés.	Volume total : $1\,000 \times 30 \times 3 \times 3 + 6,25$ 2 remplissages = 21 600 pieds cubés = 8 lits de chacun 2 700 pieds cubés avec emmagasinement de la production de la nuit.	Même chose que pour les lits de 1 ^{er} contact.	$\frac{1\,000 \times 30 \times 3}{500}$ 180 yards superficiels.	1 acre.
Si les lits fonctionnent automatiquement, il y a trois remplissages par jour de 24 heures d'une durée de 8 heures chacun; aucun emmagasinage n'est nécessaire la nuit.	Comme ci-dessus.	Volume total : $1\,000 \times 30 \times 3 \times 3 + 6,25$ 3 remplissages = 44 400 pieds cubés. = 8 lits de chacun 4 800 pieds cubés pour la quantité de la nuit.	Même chose que pour les lits de 1 ^{er} contact.	180 yards superficiels.	1 acre.
N^o 2. — Septic tank avec un seul contact.	Production d'un jour et demi de temps sec.	Comme au n ^o 1.	Néant.	Trois fois la production de temps sec à raison de 500 gallons par yard superficiel.	1 acre pour 1 000 personnes.
Pour les exemples de ce système, voir les exemples ci-dessus en négligeant les lits de second contact et prévoyant un septic tank pour la production de 1 jour et demi : $1\,000 \times 30 \times 1 \frac{1}{2} = 4\,500$ gallons = 7 200 pieds cubés.					
N^o 3. — Double contact sans réservoir septique.	Néant, mais il faut une grille et il est, jusqu'à un certain point, désirable d'avoir un septic tank.	Comme au n ^o 1, mais la proportion de la capacité au volume du liquide est : 4 à 1.	Même chose que pour les lits de 1 ^{er} contact.	Trois fois la production de temps sec à raison de 500 gallons par yard superficiel.	1 acre pour 1 000 personnes.
Exemple pour 1 000 personnes à 30 gallons par tête et par jour de 16 heures, production d'un temps sec (avec emmagasinage du flot pendant la nuit) deux remplissages par jour.	Néant, mais une chambre à grillage est nécessaire.	Volume total : $1\,000 \times 30 \times 3 \times 4 + 6,25$ 2 remplissages = 28 800 pieds cubés. = 8 lits de chacun 2 400 pieds cubés.	Même chose que pour les lits de 1 ^{er} contact.	180 yards superficiels.	1 acre.
Si les lits fonctionnent automatiquement, il faut trois remplissages par jour de 24 heures de 8 heures chacun (il n'y a pas besoin d'emmagasinage).	Idem.	Volume total : $1\,000 \times 30 \times 3 \times 4 + 6,25$ 3 remplissages = 49 200 pieds cubés. = 8 lits de chacun 3 600 pieds cubés.	Même chose que pour les lits de 1 ^{er} contact.	180 yards superficiels.	1 acre.
N^o 4. — Par filtration continue avec réservoir septique ou précipitation.	Production de un jour et demi d'un temps sec.	Trois fois la production d'un temps sec, filtre d'au moins 6 pieds de profondeur et à raison de 200 à 400 gallons par yard superficiel.	Néant.	180 yards superficiels.	1 acre.
N^o 5. — Par filtration continue sans réservoir septique.	Il faut une grille.	Comme au n ^o 4, mais il faut un yard superficiel au minimum par 200 gallons de sewage.	Néant.	180 yards superficiels.	1 acre.
N^o 6. — Si le sewage est traité par une irrigation intensive sur un terrain approprié, après un dégrossissage, il faut compter un acre de terrain pour 150 habitants.					

NOTA. — La profondeur maximum suffisante pour les lits de premier et de deuxième contact est d'environ 4 pieds. Si les lits ne fonctionnent pas automatiquement, on ne peut faire que deux remplissages seulement par jour de 16 heures et il faut prendre les dispositions pour emmagasiner la production de la nuit. Si les lits fonctionnent automatiquement, on peut faire trois remplissages par jour de 24 heures, et il n'est pas nécessaire d'emmagasiner la production de la nuit.

Le liquide sortant des filtres spéciaux aux eaux de pluie peut passer directement au canal de décharge.

L'effluent provenant du sewage peut être finalement traité dans la terre.

Une surface de terre, spécialement réservée et préparée, peut être, si l'on veut, substituée aux filtres d'eau de pluie; la surface nécessaire dépend entièrement de la qualité du terrain.

Le débordement des eaux de pluie ne doit se produire que lorsque leur volume est en excès de six fois la production d'un temps sec.

Dans les cas où les égouts sont construits d'après le système séparé, les conditions, en ce qui concerne les filtres d'eau de pluie et les terrains, peuvent être certainement réduites, mais chaque cas doit être considéré en particulier et aucune règle générale ne peut être établie.

La durée de 8 heures pour chaque opération se décompose comme suit : 1 heure pour le remplissage — 2 heures pendant lesquelles le lit reste plein — 1 heure pour le vider et 4 heures pendant lesquelles il reste vide pour l'aération.

Il est désirable d'avoir un lit supplémentaire afin que chaque lit en fonctionnement puisse être mis au repos pendant une semaine complète pour la récupération. Un lit d'une capacité de 1 000 pieds cubés, comprenant le volume de trois remplissages par jour, pourra traiter 1 000 pieds cubés de sewage reposé ou 750 pieds cubés de sewage n'ayant pas déposé.

Les réservoirs septiques ou de dissolution ont généralement 5 à 6 pieds de profondeur.

Le nombre de lits à employer est facultatif.

Les instructions ci-dessus ont un caractère actuel et provisoire, et sont sujettes à être modifiées de temps à autre.

à certaines époques, d'épurer le trop-plein des champs d'irrigation sans jamais compromettre les récoltes ; ce serait un excellent régulateur pour la culture. D'un autre côté, la consommation d'eau de Paris allant sans cesse en augmentant et le département de la Seine devant également épurer ses eaux d'égout, il faut songer à augmenter la surface des champs d'épandage ; et, sans compter les difficultés que rencontre la Ville chaque fois qu'elle crée de nouveaux champs d'irrigation à l'eau d'égout, il est certain que plus les eaux d'égout s'éloignent de Paris plus elles subissent dans les émissaires la fermentation anaérobie et plus elles sont nauséabondes.

La transformation préalable des eaux par les traitements bactériens faisant disparaître tous les éléments putrescibles remédierait à cet inconvénient grave et permettrait donc de transporter ensuite les eaux claires et épurées au loin, où la culture pourrait encore les utiliser, en supprimant les mauvaises odeurs, cause de la lutte constante et prolongée entre la culture qui veut utiliser les eaux d'égout et la villégiature qui, ne les utilisant pas, en redoute les odeurs. De toutes façons, grâce aux lits de bactéries, on aurait la faculté ou de limiter l'extension des champs d'épandage, ou d'en créer de nouveaux, sans rencontrer les difficultés d'emploi des eaux brutes auxquelles la Ville s'est heurtée jusqu'ici en Seine-et-Oise. En d'autres termes, la création de lits bactériens permettrait de faire, fonctionner l'épuration par le sol dans les meilleures conditions pour la culture qui ne serait plus son humble esclave, et cela serait de nature à supprimer, pour l'avenir, toutes les difficultés que suscitent à la Ville soit l'exploitation des champs d'épandage actuels, soit la création des nouveaux.

En résumé, nous sommes convaincu que les nouveaux procédés que nous avons décrits sont appelés à rendre de réels services dans notre pays, et à Paris notamment ; le Conseil Municipal a bien voulu, sur notre demande, nous accorder un crédit de 25 000 francs pour les études et la création d'un laboratoire ; il importe en effet de savoir comment les procédés nouveaux pourront être adaptés aux eaux d'égout parisiennes, différentes par leur nature du sewage des villes anglaises, plus diluées, moins riches en matière organique soluble, contenant plus de matières inertes, comme les boues de rue et le sable ; et il convient aussi de compléter par des recherches bactériologiques les analyses anglaises qui ont été poursuivies surtout au point de vue chimique. Il y a là, comme on le voit, un vaste champ d'études à explorer tout en continuant à se tenir au courant des résultats obtenus en Angleterre. »

6° Renseignements complémentaires (Congrès de Glasgow, et derniers rapports).

Ce qui précède était déjà imprimé, quand nous avons pu aller en Angleterre, et obtenir au Congrès de Glasgow (3-6 septembre 1901) quelques données nouvelles, dont nous pouvons encore faire profiter le lecteur. Les discussions à la section VII « Municipal » ont porté sur les trois rapports ci-après :

a) *Rapport de M. A. B. M'Donald, ingénieur de la ville de Glasgow*, intitulé : « *Disposal of sewage* ». — Après avoir décrit les trois réseaux d'égout et les établissements de traitement dont nous avons parlé précédemment (voir page 601), l'auteur relate les expériences poursuivies à Dalmarnock depuis septembre 1900 pour l'épuration bactériologique, au moyen d'un septic tank ouvert, de quatre lits primaires et de quatre lits secondaires.

Le septic tank avait 427 square yards de surface et 200 000 gallons de capacité : il était rempli une fois par jour de sewage brut élevé par les pompes. Les lits bactériens avaient été installés dans deux bassins de précipitation chimique : les lits primaires occupaient 400 square yards et étaient formés sur trois pieds trois pouces d'épaisseur de morceaux de mâchefer de 1/4 à 3/4 de pouce de diamètre ; les lits secondaires, de mêmes surface, épaisseur et nature de matériaux, avaient seulement de 1/8 à 1/2 pouce de diamètre. La capacité des quatre lits pri-

maires vides était de 72 996 gallons; après arrangement des matériaux filtrants la capacité utile était de 32 617 gallons, soit 44.6 0/0. Après trois mois de marche (en décembre 1900), elle tombait à 19 790 gallons; en mars 1901, à 17 492 gallons; puis du 2 au 21 mai, un accident de machine ayant laissé le filtre en repos, elle remonta à 21 413 gallons pour retomber le 15 août à 20 322 : elle s'était donc abaissée en six mois à 54 0/0 de sa valeur primitive et on voit très nettement l'effet d'un repos de trois semaines. On avait marché les six premiers mois avec trois remplissages des lits par jour, après on ne fit plus que deux remplissages : on put ainsi assurer le traitement de 239.096 gallons par acre et par jour, soit 2 680 m³ à l'hectare.

Le degré d'épuration obtenu était de 95 0/0, mais le coût était élevé et atteignait dix fois celui du traitement sommaire actuellement en usage à Glasgow.

b) *Rapport de M. K. F. Campbell*, intitulé : « *Recherches sur le traitement du sewage d'Huddersfield par les méthodes bactériennes ou autres* ». — Nous connaissons déjà le sewage d'Huddersfield, chargé d'au moins 30 0/0 d'eaux résiduaires des industries de la laine, teintureries, etc., etc. De 1898 à mai 1901, des expériences très intéressantes ont été poursuivies sur ce sewage : on a essayé trois méthodes, d'abord le double contact seul, puis le traitement préalable par précipitation chimique suivi du double contact, enfin le traitement préalable par le septic tank.

Les lits de double contact étaient constitués en morceaux de clinker provenant soit des fours de l'usine à gaz, soit du destructor (on ne trouva pas de différence bien sensible entre les deux provenances) : le lit primaire, 3' 6" d'épaisseur, était en morceaux de 5/8 à quatre pouces de diamètre et le lit secondaire, de 3' 3" d'épaisseur, en morceaux de 1/4 à 1 1/2 pouce de diamètre. Le sewage était préalablement tamisé dans une auge de zinc ayant des trous de 1/16 de pouce de diamètre. Les lits furent généralement remplis deux fois par jour, avec repos d'un jour par semaine. La diminution de capacité utile fut très rapide : la capacité des lits primaires qui était le 9 août 1898 de 19 000 gallons, n'était déjà plus que de 9 600 gallons le trois mars 1899 et elle diminua progressivement jusqu'à 4 800 le 24 janvier 1900, tombant ainsi à 25 0/0 de sa valeur primitive. On trouva alors que le fond du lit était rempli d'une substance brune sur un pied de hauteur. L'épuration et la décoloration n'avaient pas d'ailleurs été complètes : pendant l'année 1899, la réduction de l'ammoniaque libre a été moyennement de 72 0/0, celle de l'ammoniaque albuminoïde de 80 0/0 et celle de l'oxydabilité (oxygène consommé en quatre heures à 80° F) de 79 0/0.

On essaya une précipitation par la chaux (3grains,5 par gallon) et le vitriol (2grains,9), dans des bassins au nombre de 24 où se faisait une circulation lente et continue à raison de six millions de gallons par jour (soit 4,8 fois la capacité des bassins). L'effluent fut envoyé sur les lits à double contact (un simple contact fut trouvé tout à fait insuffisant), comme ci-dessus. Le résultat fut une épuration de 73 0/0 en ammoniaque albuminoïde et 76 0/0 en oxygène consommé en quatre heures, mais les lits avec trois remplissages par jour se conservèrent mieux que dans le premier cas (réduction de capacité de 40 à 50 0/0 seulement).

L'essai avec un septic tank préalable, de 50 000 gallons de capacité et cinq à six pieds de profondeur, ne réussit pas mieux. L'effluent du septic tank restait très chargé de matières en suspension et souvent coloré, et l'effluent final au sortir du double contact fermenta fréquemment à l'incubator. Le degré de l'épuration, avec deux remplissages par jour, fut de 79 0/0 en ammoniaque albuminoïde, et de 84 0/0 en oxygène consommés en quatre heures.

Les conclusions des trois années d'étude de l'auteur sont les suivantes (elles ne s'appliquent bien entendu qu'au sewage d'Huddersfield).

1. Aucun procédé ne peut éviter entièrement la formation des boues (Sludge).
2. L'application immédiate des lits de double contact les fait encrasser rapidement (en moins de deux ans, ils sont hors de service).

3. L'usage de faibles quantités de chaux et de vitriol, avant le double contact, donne un résultat satisfaisant.

4. Cependant les lits bactériens utilisés après précipitation chimique ne peuvent durer indéfiniment et devront être régénérés après quelques années.

5. L'emploi d'un septic tank préalable détruit 40 0/0 des boues.

6. L'effluent du septic tank n'est pas aussi favorable que celui qui résulte de la précipitation chimique.

7. La capacité des lits recevant l'effluent du septic tank décroît plus vite qu'avec celui des bassins de précipitation.

8. L'effluent final du double contact suivant le septic tank est souvent peu satisfaisant et putrescible.

c) *Rapport du colonel A.-S. Jones*, intitulé : « *Sewage Treatment* » avec le sous-titre « *Science et pratique* ». — Ce rapport fait un historique sommaire de la genèse de la méthode bactérienne, insiste sur l'importance de l'arrêt préalable des matières en suspension, rappelle la variabilité des conditions et par suite des solutions à adopter d'une ville à l'autre, et se termine par les conclusions ci-après, qui sont des règles pratiques.

1. Il faut limiter et régulariser autant que possible le volume du sewage à traiter, et pour cela en exclure les eaux de la surface et du sous-sol.

2. Interposer une chambre à sable étroite et profonde pour retenir les matières lourdes et une grille (de 5/8 de pouce d'espacement entre les barreaux) avant la décharge de l'égout dans la partie la plus profonde d'un bassin capable de recevoir au moins l'apport de deux heures.

3. La sortie de l'eau de ce bassin doit se faire par un déversoir dont le niveau sera arasé à 1 pouce en dessous de celui d'entrée; le fond du bassin sera en pente, remontant de l'entrée (partie la plus profonde) vers la sortie.

4. Le bassin devra être vidé de ses boues chaque quinze ou vingt jours, à moins qu'on ne préfère le transformer pour une durée de six mois ou plus en un septic tank favorisant l'action anaérobie et par suite la diminution des boues et de l'odeur.

5. Pour l'action aérobie ultérieure, il n'y a pas de différence sensible entre les deux modes de procédés indiqués au n° 4.

6. Le point essentiel dans le processus aérobie, soit dans l'épandage, soit dans les lits bactériens, est dans une suffisante aération (l'insufflation artificielle est peut-être excessive et en tout cas revient trop cher), laquelle peut être obtenue par des repos espacés, ou encore par une distribution continue en pluie, calculée de manière à humecter également toute la surface du lit (mais sans la recouvrir d'une couche d'eau) : les intermittences du premier mode sont faciles à organiser, tandis que l'écoulement continu du second présente de sérieuses difficultés.

7. On peut évaluer au moins l'établissement des lits de contact à 5 000 livres sterling par acre de surface. Or cette somme permettrait d'acquérir 131 acres de terrain, qui, comme à Aldershot (ferme traitant le sewage du camp d'Aldershot, dont il a été beaucoup parlé en Angleterre), suffiraient à traiter par épandage environ un million de gallons par jour : au contraire les lits bactériens ne peuvent guère épurer que 500 000 ou même 250 000 gallons par acre, et on est loin de la formule de Dibdin « un million de gallons par acre et par jour » ; encore ne sait-on pas comment ces lits se comporteront dans dix ans. L'épandage agricole garde donc toute sa valeur, et quand il est possible, il est regrettable de voir les municipalités reculer devant le sacrifice à faire pour l'acquisition des terrains et recourir à des expédients.

d) *Rapport provisoire de la « Royal Commission de Lord Iddesleigh »*. Enfin la Commission technique nommée en 1898 sous la présidence de Lord Iddesleigh, pour étudier les meilleures méthodes à adopter en vue de la purifi-

cation du sewage, vient de publier un premier rapport (provisoire) qui porte la date du 12 juillet 1901 et répond aux trois questions suivantes :

1^{re} question. — Tous les sols sont-ils aptes à assurer par l'épandage agricole une bonne épuration des eaux d'égout ?

Il semble démontré que la tourbe et l'argile compacte, quand elles ne sont pas recouvertes d'une épaisseur de sol arable assez grande, ne conviennent pas pour l'épandage, ou du moins il faudrait des surfaces si étendues que la dépense serait exorbitante.

2^e question. — Peut-on obtenir par des procédés artificiels d'épuration un effluent qui ne se putréfie plus et puisse être reçu sans inconvénient dans les cours d'eau ?

Par procédés artificiels, la Commission entend les bassins de sédimentation, le traitement chimique, la filtration continue, les septics tanks ouverts ou couverts, les lits bactériens de contact, ainsi que les combinaisons variées qu'on obtient en associant deux de ces modes opératoires entre eux. Elle estime qu'on n'est pas encore en mesure de se prononcer sur la valeur relative de ces procédés, ni de faire une comparaison définitive comme degré d'épuration et comme dépense entre eux et l'épandage agricole; que la nature du sewage domestique, à plus forte raison du sewage mélangé d'eaux industrielles, varie beaucoup avec les différentes villes et que dès lors tel procédé bon pour l'une peut être insuffisant pour l'autre; qu'ainsi les problèmes soulevés sont si multiples et si complexes que des recherches et des expériences prolongées et variées pourront seules les résoudre. Mais la Commission croit pouvoir déjà conclure que pratiquement les procédés artificiels peuvent donner soit avec le sewage domestique, soit avec un mélange de sewage et d'eaux industrielles, un effluent qui ne se putréfie plus, soit bien purifié chimiquement et puisse dès lors être déversé directement dans les cours d'eau : elle pense dès lors que le Local Government Board peut dans certains cas et sous certaines conditions (à déterminer dans chaque cas particulier) renoncer à son exigence actuelle relativement à l'épandage après traitement.

En ce qui regarde l'épuration bactériologique, la Commission ne se regarde pas comme suffisamment éclairée pour le moment, mais elle pense que cette opération reste incomplète aussi bien après les procédés artificiels qu'après l'épandage, et est généralement plus insuffisante après les premiers qu'après le second; les liquides qui sortent des drains ou des lits bactériens contiennent encore beaucoup de microbes qui peuvent être dangereux pour la santé, au moins dans certaines circonstances, et il conviendrait de trouver le moyen de détruire les pathogènes.

3^e question. — Quels sont les moyens à adopter pour assurer une meilleure protection des rivières ?

La Commission, rappelant l'œuvre des commissions précédentes et l'Act de 1876 que nous connaissons déjà, déclare que l'assainissement des rivières est entravé par le fait des subdivisions administratives et l'absence d'une autorité générale pour un bassin entier. Le Local Government Act de 1888 a bien créé des *Joint Committees* ou commissions générales pour la Mersey et l'Irwell, la Ribble, les West Riding Rivers, et ces autorités ont fait œuvre utile; mais c'est tout, et ailleurs chaque comté a une action individuelle, très variable par suite. Il conviendrait donc de nommer soit une nouvelle Commission centrale, soit une section spéciale du Local Government Board pour unifier ces actions locales et exercer ainsi une autorité suprême sur les cours d'eau (Septembre 1901).

De tout ce qui précède nous retiendrons ceci : c'est qu'à côté de l'épandage agricole une grande et belle méthode, très rationnelle en somme, est née pour le traitement des eaux d'égout, mais que cette

méthode est délicate, parfois imparfaite, et aura besoin pour être bien menée d'un contrôle incessant, tant chimique que bactériologique : la

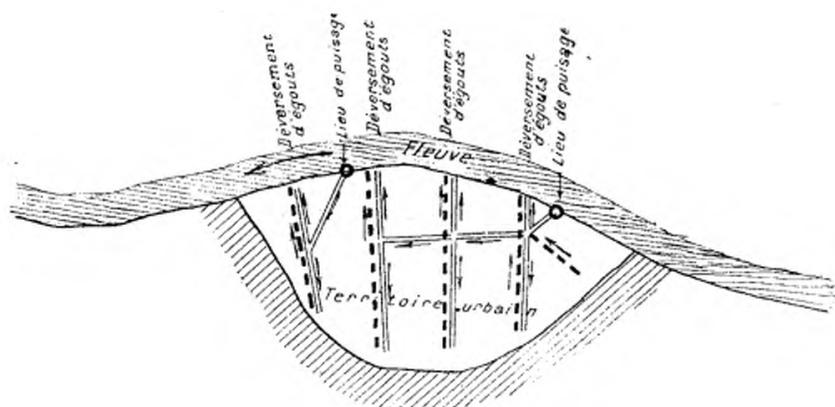


Fig. 257 (a). — Relations de la ville et du fleuve : ce qu'elles étaient.

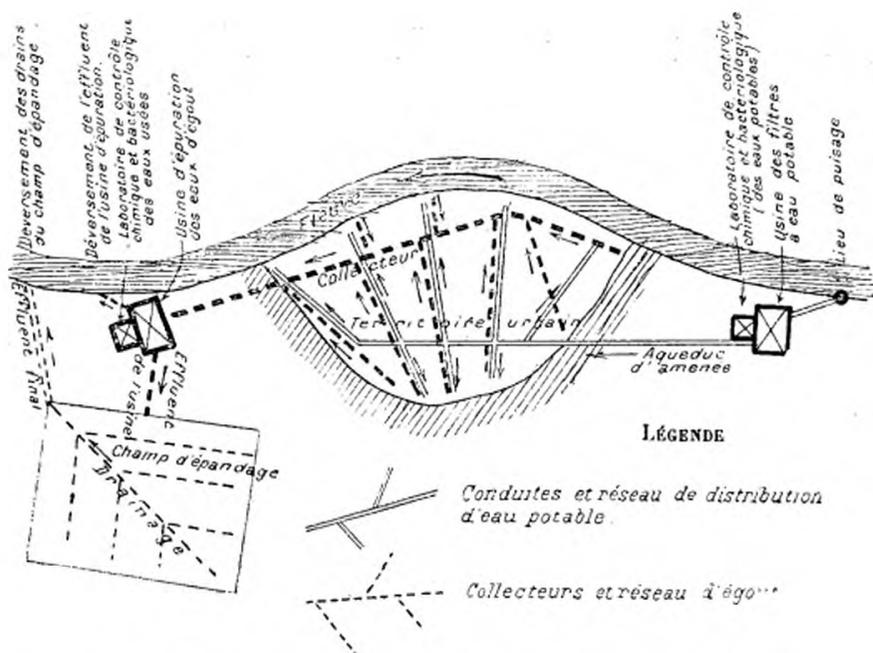


Fig. 257 (b). — Relations de la ville et du fleuve : ce qu'elles doivent être.

période des études est du reste loin d'être terminée. Voici donc qu'un laboratoire doit s'installer sur le collecteur, à la sortie de la ville, de même qu'il devait s'installer à côté des filtres, lents ou rapides, destinés à l'approvisionnement d'eau potable. Dans ces conditions, les relations

d'une ville et de son fleuve, relations qui hier encore pouvaient se représenter par la figure schématique ci-dessus (fig. 257-*a*), doivent être désormais celles que nous montrons comparativement (fig. 257-*b*). Le champ d'épandage est figuré ici pour l'utilisation des nitrates produits par l'épuration bactérienne ; il ferme le cycle, mais il reste entendu qu'il peut suffire à lui seul à l'épuration complète (1).

§ II. — Eloignement et traitement des immondices solides

1° Collecte, éloignement et traitement des ordures ménagères et des boues et des poussières de rues.

Les ordures ménagères ou gadoues (*refuse* ou *garbage* en anglais, *müll* ou mieux *hausmüll* en allemand), sont les déchets dont chaque maison a à se débarrasser journellement : elles comprennent les cendres des foyers, les débris de légumes, les os et autres restes de cuisine, les papiers, chiffons, déchets de bois et paille, morceaux de verre, de fer blanc, etc., ainsi que les poussières et balayures des appartements. Ces matières sont en partie très fermentescibles, et suivant notre principe elles doivent dès lors être non seulement expulsées de la maison, mais encore évacuées hors ville avant leur entrée en fermentation. Dans les villes tant soit peu importantes, leur enlèvement est un service public

(1) Nous remarquons en terminant ce chapitre de *l'hydraulique des eaux usées* que nous avons omis de parler des *urinoirs* et des procédés pour les rendre inodores. Chacun sait que l'écoulement continu d'eau sur les plaques d'ardoises des urinoirs est un excellent procédé pour entraîner l'urine et l'empêcher de se putréfier. Mais il a l'inconvénient de dépenser beaucoup d'eau (à Paris 2^m3,500 par stalle et par jour). Pour y remédier, on a essayé de remplacer l'écoulement continu par un déversement discontinu produit par un appareil de chasse automatique : cela réussit bien dans les maisons, mais les effets de la gelée sur cet appareil qu'il est difficile d'ordinaire de bien abriter sont malheureusement trop à craindre dans les rues. Aussi a-t-on songé à remplacer l'eau par une huile lourde de houille, qui a en même temps des propriétés désinfectantes : c'est le système Beetz, qui figurait à l'Exposition et qui a été décrit par Vallin (*Revue d'hygiène*, janvier 1893 et mars 1896). Il comporte un siphon spécial dont le fonctionnement est très facile à comprendre. Ce système a été expérimenté dans beaucoup de villes et donne de bons résultats notamment à Vienne (Autriche), à l'École de santé de la marine à Bordeaux, etc. La consommation d'huile (*urinol*) serait de 5 à 10 kg. par stalle et par an.

municipal de première nécessité ; il en est de même pour les boues et poussières des rues, lesquelles contiennent également beaucoup de matières organiques putrescibles.

L'attention des hygiénistes s'est portée dans ces derniers temps sur cette question de l'enlèvement et du traitement ultérieur des gadoues. Déjà, au Congrès international d'Hygiène de 1889, elle était à l'ordre du jour et donna lieu à un rapport très documenté du D^r du Mesnil et de l'ingénieur Journet, rapport dans lequel les auteurs passent en revue les procédés employés alors dans la plupart des grandes villes d'Europe. En 1894, au Congrès de Budapest, on nomma un Comité spécial pour poursuivre l'étude du problème, et ce Comité (1), sous la présidence de Weyl, a publié, en 1898, pour le Congrès de Madrid, un rapport très intéressant intitulé (Strassenhygiène in europäischen Städten ». Mais ce rapport ne concluait pas : la question resta à l'ordre du jour, et en 1900, le Congrès de Paris ne se sentant pas encore suffisamment édifié, malgré un rapport de M. Hudelo et un nouveau rapport de Weyl, se borna, après discussion, à renouveler les pouvoirs du Comité et à lui demander un nouveau rapport pour le prochain Congrès. La solution définitive n'est donc pas établie, et cela tient sans doute à ce qu'elle n'est pas simple, et que pour chaque ville il faut s'inspirer des circonstances économiques pour chercher à satisfaire au mieux, d'après ces circonstances, aux exigences de l'hygiène (2).

(1) Le Comité était composé de MM. Hoff (Copenhague), Lauriol (Paris), Putzeys (Liège), Rœchling (Leicester), Schmidt (Berne) et Weyl (Berlin).

(2) Outre les rapports cités ci-dessus, nous recommandons aux lecteurs les documents ci-après :

En Angleterre :

1^o Rapport du D^r Young au London County Council. « On collection and disposal of house refuse in London », 22 octobre 1894 ;

2^o « Refuse destructors, with Results up to present time », par Ch. Jones, 1894 ;

3^o Rapport d'une Commission municipale de Cardiff qui rend compte de la visite et de l'enquête faites auprès de la plupart des villes anglaises in *The Surveyor*, du 5 janvier 1897 ;

4^o Percy-Boulnois — Article de septembre 1895 dans la *Technologie sanitaire*, sur le traitement des immondices dans les villes anglaises ;

5^o Rapport d'une Commission municipale de Scarborough (décembre 1897), rendant compte des installations anglaises ;

6^o G. Darley (de Leeds) ; « Refuse disposal ». Conférence du 22 janvier 1898.

7^o Rapport de Lord Kelvin et du professeur Barr « Les destructeurs Horsfall », 10 août 1898 ;

8^o Commune de Fulham. « Combined electricity supply, refuse destructor and disinfector undertaking » in *Electrical Review*, 15 février 1901.

En Allemagne :

1^o Ouvrage de Weyl, avec la collaboration de Hirschmann (Munich), Gauss (Stuttgart) Blasius (Brunswick), Herzog (Breslau), Almquist (Stockholm) et Holst

Volume et composition des gadoues. — Rappelons rapidement la quantité et la composition des ordures ménagères à enlever. Comme quantité, Pettenkofer estimait que 1 000 personnes produisaient par an :

Balayures de la maison et débris de cuisine. . .	90 tonnes
Cendres et résidus des foyers (à la houille). . .	45 —
Total.	135 tonnes

La pratique montre que ce chiffre, assez exact pour Berlin, est souvent trop faible. Nous relevons en effet les chiffres ci-après (en les arrondissant) :

(Christiania), intitulé : « Untersuchung zur Strassenhygiene », chez Heymann, à Berlin, 1900 ;

2° Vogel « Die Beseitigung und Verwerthung des Hausmülls », Iéna, 1897 ;

3° Bohm und Grohn. « Ueber Die Müllverbrennung in England », 1894 ;

4° — « Die Müllverbrennungsversuche in Berlin », 1897 ;

5° Articles de « Deutsche Vierteljahr. für öffentliche Gesundheitspflege », XXI (p. 225), XXVII (p. 11) et XXX (p. 4) ;

6° Andreas Meyer « Die städtische Verbrennungsanstalt am Bullerdeich in Hamburg (2^e édition, 1901) ;

7° Divers rapports et descriptions du projet d'usine à incinération de Cologne (25 juin 1901) .

En Belgique :

Rapport de la Commission municipale de Bruxelles, in *Technologie sanitaire* du 15 mars 1896.

Eu Suisse :

1° Mettler et Staub « Verbrennungsanlagen für Haus-und Strassenkehricht » (à Zurich 1896) ;

2° « Description du projet d'usine d'incinération de Zurich » (13 avril 1899) ;

3° Ami Wagnon : « Assainissement des villes par l'incinération des immondices » (Genève 1898).

En France :

1° Müntz. « Etude sur les gadoues de Paris au point de vue de leur valeur agricole », 1886 ;

2° Petsche : « La question des gadoues en Angleterre », 1894 ;

— : « Compte rendu du fonctionnement de la cellule d'essai de Javel » ;

3° P. Vincey : « Les gadoues de Paris et l'agriculture du département de la Seine », 1896 ;

P. Vincey : « Les ordures ménagères de Paris : projet de régime nouveau », 1900 ;

4° Livache : « Procédés de traitement des ordures ménagères à Philadelphie et New-York » in *Bulletin de la Société d'Encouragement*, 1897 ;

Livache : Dans le même bulletin 1900 : « Traitement des ordures ménagères » ;

5° Desbrochers des Loges : « Les ordures des villes, leur traitement par la vapeur d'eau sous pression et leur utilisation », in *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, juin 1897 ;

6° Ph. Delahaye : « La question des ordures ménagères », *Revue industrielle*, 1900 (p. 343).

NOMS DES VILLES	NOMBRE d'habitants	POIDS de gadoues enlevées par an	Poids par 1 000 habitants et par an	Poids par tête et par jour
		tonnes	tonnes	kil.
Paris	2 500 000	600 000	240	0,660
Bruxelles	200 000	88 000	440	4,220
		(y compris les boues et poussières des rues)		
Hambourg	"	"	182	0,500
Berlin	1 700 000	239 000	142	0,370
				0,584
				moyenne 0 ^k ,477
Londres et banlieue . .	5 633 000	1 690 000	302	0,830
		Les boues et poussières des rues donnent en outre	250	
Autres villes anglaises, ensemble	15 170 000	5 340 000	350	0,960
		Les boues et poussières des rues donnent en outre	150	
New-York (ville)	2 050 600	1 099 000	536	1,470
		(y compris les boues et poussières des rues)		
Lille	216 000	50 000	232	0,630
Nancy	400 000	23 000	230	0,630
Zurich	142 000	25 400	227	0,630

Ajoutons qu'en général la densité moyenne des gadoues est de 0,6, en sorte qu'il faut multiplier les poids ci-dessus par 1,67 pour avoir le volume en mètres cubes. La densité est du reste plus forte en hiver (cendres) qu'en été ; à Paris, l'hiver elle est de 0,657 et en été de 0,486.

La composition des gadoues est très variable, suivant les villes, les quartiers, les saisons (abondance des cendres en hiver, légumes verts en été). Voici quelques exemples de composition moyenne, ainsi qu'une indication de la valeur comme engrais.

A Paris, la gadoue verte, prise dans les tombereaux, contient, d'après Girard et Müntz, 32,4 0/0 de débris organiques grossiers, 59,3 0/0 de parties fines, passant à la claie, et 8,3 0/0 de pierres, verre, porcelaine, etc. Il y a 60,6 de débris grossiers et d'eau, et 39,4 0/0 de matière sèche se décomposant en 24,66 de matières minérales et 14,74 0/0 de matières organiques. Comme substances fertilisantes, on trouve par tonne : 3^{kg},80 d'azote, 4^{kg},10 d'acide phosphorique, 4^{kg},20 de potasse et 25^{kg},70 de chaux, ce qui donne une valeur de 8^f,90 la tonne avec le prix de 1^f,50 le kilogramme d'azote, 0^f,30 le kilogramme d'acide phos-

phorique, 0^f,50 le kilogramme de potasse et 0^f,01 le kilogramme de chaux. La gadoue verte des Halles analysée par les mêmes auteurs serait moins riche; la gadoue noire, prélevée à Gentilly ou à Bagneux (après six mois de dépôt), est au contraire un peu plus riche (11^f,20 la tonne) et se rapproche du fumier de ferme.

A Lille, des analyses faites par MM. Ladureau et Violette ont donné les résultats ci-dessous :

	Gadoue ancienne	Gadoue fraîche
Proportion d'eau	34,25 o/o	30,50 o/o
Matières organiques azotées et sels ammoniacaux	1,82	2,07
Matières organiques non azotées	16,93	16,43
Phosphate de chaux	1,06	0,88
Sels de potasse et de soude (solubles).	0,64	0,67
Carbonate et sulfate de chaux.	5,35	1,24
Oxyde de fer, silice et silicates solubles	39,03	46,57
Magnésie	0,92	1,64
Totaux.	100 »	100 »
Valeur de la tonne comme engrais.	6 fr.,25	7 fr.,01

A Nancy, en faisant trier soigneusement 1 m³ de gadoues de la partie centrale de la ville, 18 décembre 1897, nous avons trouvé sur un poids de 573 kg., 449 kg. de cendres, escarbilles et poussières diverses, 30 kg. de papier, 21^{kg},6 de débris de bois, laine de bois et paille sèche, 34^{kg},4 de paille humide, fumier et crottin, 26 kg. de légumes et épiluchures, 2^{kg},7 de chiffons, 2^{kg},7 d'os et débris animaux, 6^{kg},7 de fer, verre, poterie et corps divers.

A Bruxelles, Petermann, prélevant soigneusement un échantillon moyen d'un tas de gadoues en train de se putréfier, a trouvé sur 1 000 kg. :

Eau	41,96
Matières organiques	228,78 avec 3,92 kg. d'azote
Chaux	31,70
Magnésie	7,44
Potasse	3,09
Soude	3,34
Oxyde de fer et alumine.	23,28
Acide phosphorique	6,02
Acide sulfurique	8,15
Acide carbonique	4,90
Chlore	0,53
Matières insolubles (sable, silice, argile).	640,81
	1 000 »

Ce qui donne la valeur de 10^f,12 pour la tonne (avec les mêmes bases que Girard et Müntz).

A Londres, un rapport de J. Russell du 10 février 1892, nous apprend que sur 100 en poids, le refuse contient 63,69 de cendres et escarbilles, 0,84 de charbon et coke, 19,51 de poussière, 4,28 de papier, 4,61 de débris de plantes et d'animaux, 0,48 d'os, 3,22 de paille et fibres de bois, 0,39 de chiffons, enfin 2,98 de débris de poterie, verre, fer et fer blanc.

A Paddington (banlieue de Londres), on trouve d'après Tomlinson beaucoup plus de charbon non comburé, savoir : 52,6 0/0 de cendres et escarbilles, 28,8 de charbon et coke, 0,15 de charbon fin, 14,20 de déchets organiques, 0,42 de chiffons, 0,25 d'os, 3,58 de verre, fer et poterie.

A Berlin, le 31 avril 1895, Salkowski, criblant la gadoue avec un tamis de 8^{mm},5 de maille et 1^{mm},5 d'épaisseur de fil, la partage en *feinmüll* (57 0/0) qui passe et en *sperrstoff* ou *siebrückstand* (43 0/0) qui est retenu. L'analyse sommaire des deux tas et de la moyenne donne :

	Feinmüll (57 0/0)	Siebrückstand (43 0/0)	Moyenne proportionnelle
Eau hygroscopique.	40,91 0/0	26,55 0/0	17,62 0/0
Eau et acide carbonique combinés	2,54	9,53	5,54
Matières organiques combustibles.	13,27	40,20	11,94
Matières incombustibles	73,28	53,72	61,90
	100 »	100 »	100 »

Comme moyenne de 30 échantillons, on a 50,16 0/0 (en poids) de cendres et escarbilles, 1,26 de charbon et coke, 0,17 de poussière, 32,54 de déchets organiques, 4,26 de papier, 0,40 de paille et fibres de bois, 1,15 de chiffons, 0,53 d'os, et le reste soit 8,53 de morceaux de verre, fer, poterie, etc. — Höpfner trouve des chiffres assez semblables pour Elberfeld. — Vogel, qui a mélangé des gadoues de Cologne, Hambourg et Kiel, trouve que le mélange se décompose en 60,22 0/0 de fin (passant au tamis) et 39,78 de résidu grossier (retenu sur le tamis) ; comme composition 0/0, il y aurait moyennement 15,64 0/0 d'eau, 22,50 de matières combustibles et 61,80 de matières incombustibles. Enfin, voici, d'après König, des analyses diverses qui sont intéressantes, tant pour les boues des rues que pour les gadoues :

VILLES	COMPOSITION POUR CENT											
	Eau	Matières organiques	Azote	Matières minérales	Oxyde de fer	Chaux	Magnésie	Potasse	Acide phosphorique	Silice et argile		
Berlin	Gadoue (feinmüll) presque verte	5,65	16,99	0,28	77,36	»	9,05	»	1,36	0,81	»	
	id. d'un an	19,88	18,19	0,29	61,93	»	9,49	»	0,27	0,47	»	
	Gadoue de 5 ans	feinmüll	25,27	15,80	0,25	58,93	»	9,30	1,28	0,28	0,44	»
		sperrstoff	23,40	28,45	0,27	48,45	»	8,58	0,98	0,23	0,65	»
	Boues des rues	39,89	22,44	0,48	37,67	»	4,89	0,35	0,37	0,45	»	
Brême : gadoue verte	4,62	17,64	0,46	80,74	»	»	»	0,10	0,02	»		
Dresde	Gadoue ancienne mêlée de boues de rues	30,20	9,51	0,33	60,29	4,61	1,05	0,48	0,33	0,46	51,59	
	Boues de rues	51,88	13,41	0,24	35,01	0,74	0,95	0,43	0,22	0,36	30,71	
	pavées en syénite	32,78	12,52	0,20	54,70	2,75	1,26	0,27	0,21	0,30	46,65	
Münster. i. W. : gadoue verte mêlée de boues de rues	20,86	5,68	0,39	73,43	»	4,17	»	0,12	0,40	61,08		

Les auteurs allemands évaluent la valeur de la tonne entre 2^m,50 et 9^m,20 (1).

Collecte, enlèvement et transport des gadoues. — Les maisons particulières dans les villes sont à peu près impuissantes pour détruire les déchets qu'elles produisent. On a essayé vainement de les faire brûler au fur et à mesure de leur production dans les foyers de cuisine (2), mais ces foyers ne tirent généralement pas assez bien pour cela, et de plus par ces temps de cuisine au gaz et à l'électricité, combien de ménages allument-ils encore du feu pendant l'été? Du reste, si on doit brûler les gadoues, il faut reconnaître qu'il sera plus économique de les brûler en masse. L'enlèvement s'impose donc, et au point de vue hygiénique il doit être régi par les principes suivants, sur lesquels tout le monde est à peu près d'accord.

(1) A titre de renseignement sur la valeur de la gadoue comme engrais, nous citerons les expériences faites en 1899 par Vogel, avec les ordures ménagères criblées (feinmüll) de Berlin pour la fumure d'un champ de pommes de terre. Cet auteur a trouvé que 256 quintaux de ces ordures font le même effet que 80 quintaux de fumier de ferme, mais en ne prenant que la première année. Une fumure ayant un effet utile de plusieurs années, il pense que pour les années subséquentes, l'effet des gadoues resterait plus sensible que celui du fumier en quantité correspondante; c'est donc qu'en réalité la gadoue vaut un peu mieux que ne l'indique la proportion ci-dessus. (*Gesundheits-Ingenieur* du 30 septembre 1900).

(2) Voir un article de Gerhard dans *Gesundheits-Ingenieur* 1898 (p. 259): cet auteur propose de sécher la gadoue dans un panier en métal perforé placé dans la cheminée, puis de brûler la masse desséchée dans chaque foyer.

1° *L'enlèvement dans les maisons doit être très fréquent et autant que possible quotidien.*— C'est le seul moyen d'éviter la fermentation, et il est bien certain que si on n'enlève qu'une fois par semaine, comme dans nombre de villes anglaises, les matières sont déjà en putréfaction et dégagent à l'ouverture des boîtes une odeur nauséabonde ;

2° *Les gadoues doivent être déposées dans les récipients métalliques, étanches et couverts, faciles à vider ou mieux à placer dans les voitures; elles ne doivent en aucune façon être déversées ni dans les cours, ni sur le sol des rues.* — Ceci est la condamnation des fosses (*middens*): comme pour les matières fécales, les fosses fixes doivent disparaître et un bon système d'évacuation des gadoues doit se rapprocher de celui des tonnes mobiles, avec tonnes de rechange et stérilisation des tonnes vides. Le mieux serait donc que le service qui vient prendre la boîte à ordures en ramène une autre appropriée et stérilisée (surtout en temps d'épidémie) et ainsi de suite ;

3° *Les opérations de vidange et de transport doivent se faire sans soulever de poussière (1).* — Pour cela, si on n'emmène pas les boîtes hermétiquement fermées telles qu'on les prend dans les maisons, il faut tout au moins que la vidange se fasse dans des voitures fermées ; durant le transport, ces voitures doivent également être étanches et couvertes, sans quoi les poussières tombent ou sont soulevées par le vent ;

4° *La collecte et le transport doivent être terminés de très bonne heure : avant 9 heures en été et 10 heures en hiver dans les quartiers fréquentés.* — Il y aurait intérêt à faire ce service de nuit, malheureusement cela obligerait les habitants à tenir les maisons ouvertes la nuit, ce qui est impraticable là où il n'y a pas de concierge.

Ces principes soulèvent la question de la forme des boîtes et des voitures.

(1) Le danger des poussières soulevées dans l'atmosphère est trop connu pour que nous insistions ; non seulement, elles vont tapisser le fond des alvéoles pulmonaires en produisant de l'*anthracosis*, mais elles véhiculent souvent le germe de la tuberculose, diphtérie, scarlatine et autres fièvres éruptives. A ce sujet, nous ne saurions trop recommander aux Municipalités de poursuivre avec énergie l'habitude déplorable de secouer les tapis et vêtements par les fenêtres : ce secouage est un moyen de disséminer dans la rue les germes pathogènes de l'habitation et d'en infecter les passants, et nous ne craignons pas de le regarder comme la cause principale de la fréquence de la scarlatine et peut-être de la tuberculose à Nancy. Voir sur le « Rôle pathogénique des poussières », un article de Kelsch dans la *Revue d'Hygiène*, octobre 1897, et spécialement pour la tuberculose l'article de Netter « La souillure de l'atmosphère par les tuberculeux », ainsi que la bibliographie qu'il cite dans la *Revue d'Hygiène* d'avril 1899.

Le meilleur système est sans contredit celui des récipients interchangeables : tel est celui des boîtes métalliques utilisées depuis 1897 par le Verein des propriétaires du Nord-Ouest de Berlin (chaque voiture contient 40 boîtes), et tel est aussi le système dit « Koprophor », brevet Hartwich (de Vienne), qui figurait à l'Exposition. La fig. 258 montre des



Fig. 258. — Récipients couverts interchangeables, du système « Koprophor » (brevet Hartwich). récipients « Koprophor », de diverses tailles, dont deux grands dans un cadre qui sert à les trainer à la voiture, et l'un muni du chapeau protecteur contre les poussières.

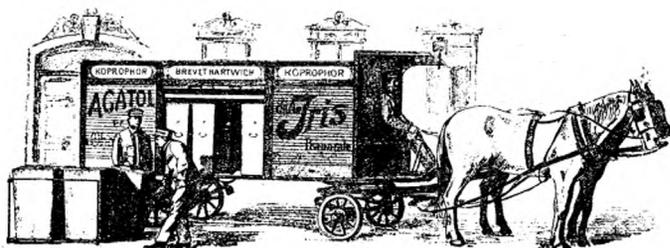


Fig. 259. — Voiture collectrice système « Koprophor » (brevet Hartwich).

La fig. 259 montre la voiture collectrice qui reçoit et emmène les

réipients pleins, ayant amené les réipients vides de rechange. Ces boîtes métalliques se mettent facilement dans des wagons de chemins de fer ou sur des bateaux.

La fig. 260 montre l'application du système au service du nettoyage et même de l'arrosage des chaussées.

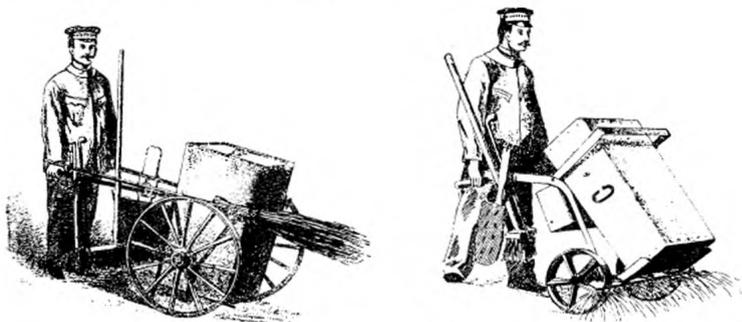


Fig. 260. — Le système « Koprophor » appliqué au nettoyage et arrosage des chaussées.

Les boîtes métalliques ont l'inconvénient de donner un poids mort inutile relativement considérable. Schlossky, à Berlin, avait essayé de remédier à cet inconvénient en employant des sacs en toile d'amiante, mais la toile se crève souvent par suite de la présence de débris de verre, tessons etc., et on y a renoncé.

Quand on vide les réipients dans les voitures, on doit chercher un système qui opère cette vidange en lieu clos ou en quelque sorte sous cloche: tel est le but des voitures très recommandables, système *Kinsbruner* (*Staubschutz Gesellschaft* à Berlin), système *Lehbach* (*Salubrita Gesellschaft* à Cologne), système *Goldstein*, système *Geduld*, système *Eger*. Les deux premières figuraient à l'Exposition.

La voiture « anti-poussière » *Kinsbruner*, dérivée du système *Goldstein*, est adoptée à Berlin depuis 1896 et donne entière satisfaction: il faut un bac spécial. Les fig. 261, 262 et 263 font voir cette voiture, dont voici du reste la description au Catalogue officiel:

« Le système de la voiture se compose du caisson de fer hermétiquement fermé de tous les côtés, et du bac à immondices de fer-zinc qui, fermé par un couvercle-tiroir spécial, bascule sur les côtés longitudinaux du caisson et est vidé par une ouverture du dispositif-chapiteau, qui se trouve sur le toit du caisson. Au moment de basculer, le couvercle-tiroir du bac et le tiroir, fermant l'ouverture du dispositif-chapiteau, s'ouvrent à temps automatiquement, de sorte que les deux caisses ne forment qu'un seul réipient hermétiquement clos, et les immondices se jettent du bac dans le caisson, sans que la poussière puisse s'échapper au dehors.

Après avoir été vidé, le bac à immondices est remis au moyen de cordes

dans sa position primitive devant le dispositif-chapiteau ; simultanément le bac à immondices et le caisson de la voiture sont ainsi refermés. Le tiroir du dis-

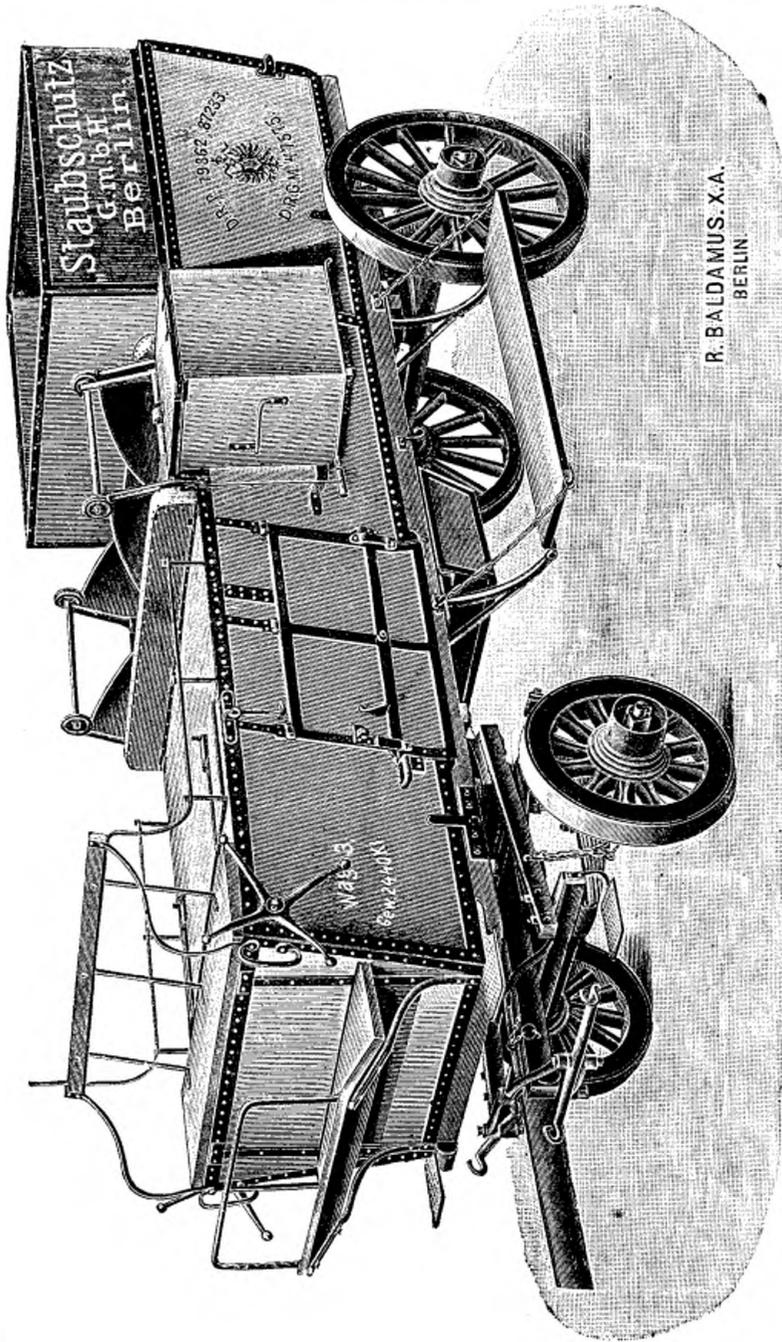


Fig. 261. — Vue générale de la voiture collectrice « anti-poussière », système Kinsbruner.

positif-chapiteau est tenu fermé par un levier et ne devient libre que quand un bac à immondices est accroché à côté du caisson.

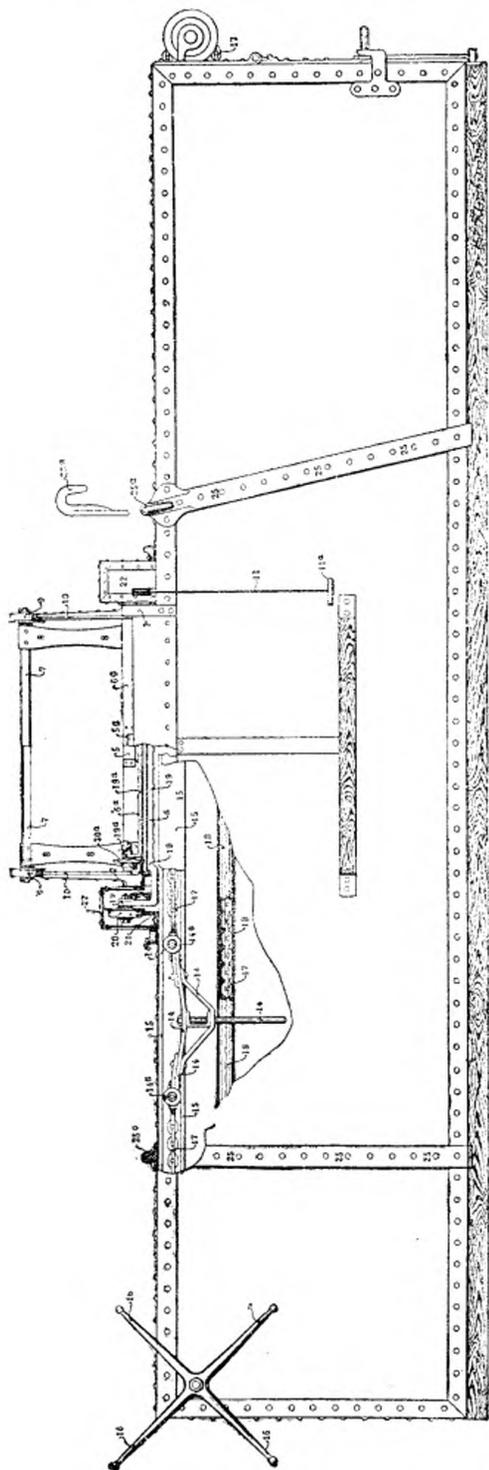


Fig. 262. — Vue et coupe longitudinale du caisson de la voiture Kinsbruner.

Le couvercle-tiroir du bac à immondices ne sert qu'à le vider dans la voiture-collecteur. Pour l'usage dans la maison, le bac est recouvert par un couvercle ordinaire à charnières fixé au mur ou par un couvercle détachable fixé au bac même.

Pour utiliser tout l'espace du caisson de la voiture, les immondices sont distribués d'une façon sûre et égale par un râteau distributeur placé au-dessous du toit du caisson.

De ce qui précède, il ressort que l'installation ne comprend que le dessus du bac et du caisson de la voiture collecteur et par conséquent que le système ne dépend pas d'une forme ou d'une dimension spéciale des voitures ou des bacs.

Le déchargement des voitures collecteurs peut être effectué par des trappes placées sur les côtés longitudinaux, à l'arrière, ou en dessous (en ce dernier cas aussi sans dégagement de poussière) : on en construit aussi dont le caisson peut basculer vers l'arrière de manière à faciliter le glissement des matières ».

Quand on doit décharger la voiture en wagon ou en bateau, on la construit pour que le caisson puisse s'enlever d'un bloc au moyen d'une grue : on le place alors au-dessus d'une ouverture du toit du wagon ou du bateau et on tire les clapets de fond qui laissent tomber la gadoue directement et

sans poussière; d'autres clapets ferment l'orifice supérieur de l'ouverture pour le moment où l'on retire le caisson et où la poussière s'échapperait.

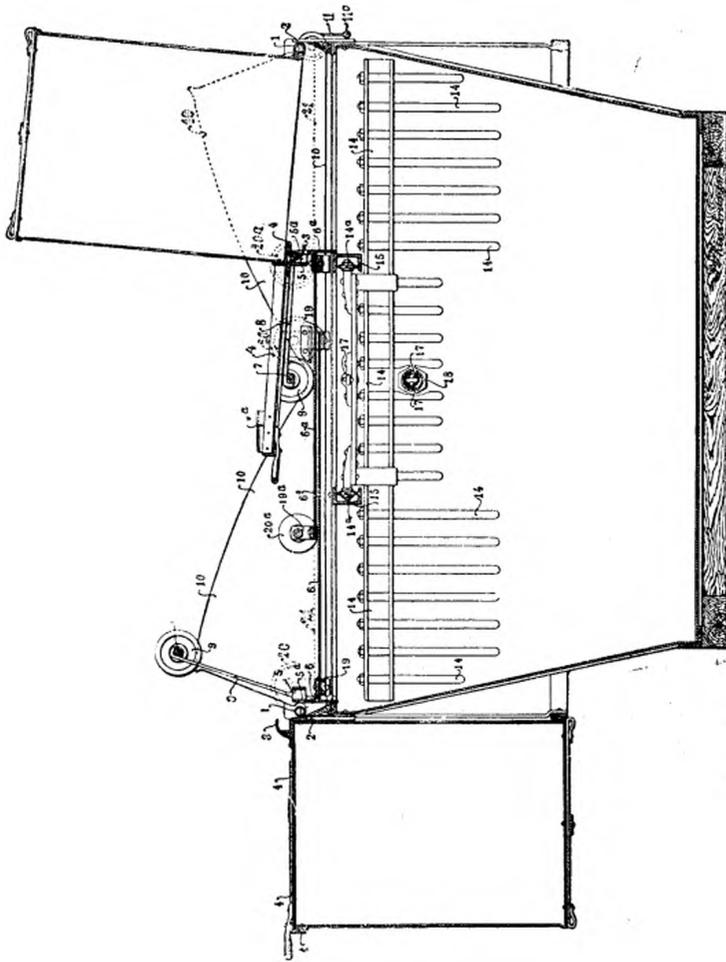


Fig. 263. — Coupe transversale du caisson de la voiture Kinsbruner.

La voiture *Salubrita*, système Lehbach, fonctionne à Cologne (où il y a 70 tombereaux) et est admise à Berlin : ici les bacs peuvent être quelconques. La voiture est fermée de tous côtés et porte à sa partie supérieure deux ouvertures latérales de versement, fermées par des valves suspendues à des galets, qui roulent sur des rails disposés sous le toit de la voiture et s'élevant vers son centre. Sous la pression du bac à ordures, la valve s'échappe à l'intérieur et l'ouverture du versement reste

libre : lors de l'enlèvement du bac la valve roule d'elle-même pour venir clore l'ouverture. C'est ce que montre bien la fig. 264.

La fig. 265 (n° 3) montre une grande voiture de ce système (Berlin) cubant 7 m^3 , et admettant des bacs de grande dimension, la caisse se soulève pour le déchargement par l'arrière. La fig. 266 (n° 5) fait voir la voiture de Cologne, cubant $2 \text{ à } 3 \text{ m}^3$ et se vidant en basculant vers l'arrière.

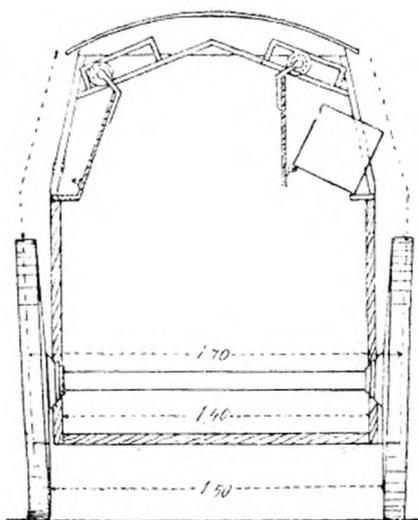


Fig. 264. — Coup transversale (schématique) du tombereau « Salubrita », système Lehbach.

Le système Geduld est du même genre que les deux précédents. La voiture comporte un chapiteau avec une ouverture à double porte automatique, par laquelle entre et se déverse le bac. Celui-ci est de forme spéciale, avec un couvercle maintenu fermé par un contrepoids : sa paroi porte une glissière qui s'adapte à une trappe levante, et avec l'aide de deux paires de crochets, il se trouve soulevé, basculé et vidé pendant que les orifices de la voiture se ferment.

Plusieurs villes (Hambourg, Stuttgart, Lausanne, Anvers, etc.) ont adopté depuis quelques années des tombereaux simplement couverts par plusieurs volets : on lève pour chaque vidange le volet qui recouvre la partie à remplir et on le referme définitivement, quand elle est pleine. On n'évite pas complètement l'envolée de poussière au moment du déversement du bac, mais c'est néanmoins déjà un grand progrès. Les tombereaux bas (à essieu coudé) basculants, du type de celui d'Anvers, fig. 267, sont très commodes. (M. Schippers, Directeur du service de la

propreté publique à Anvers, nous dit que ce type, dont il a bien voulu nous communiquer les dessins, revient à 1 500 francs). Le type entière-



Fig. 265. — Tombereau « Salubrita », n° 3 (Berlin).

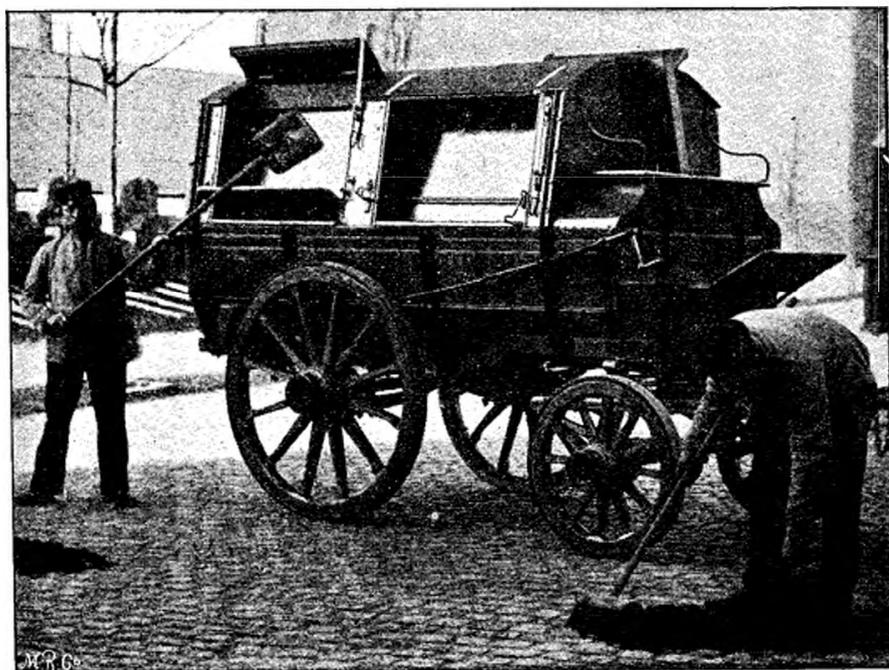


Fig. 266. — Tombereau « Salubrita », n° 5 (Cologne).

ment métallique de Hambourg, se vidant par l'arrière, fig. 268, est aussi très bien : il cube 4 m³. La maison des frères Schmidt (Weimar) en construit d'analogues.

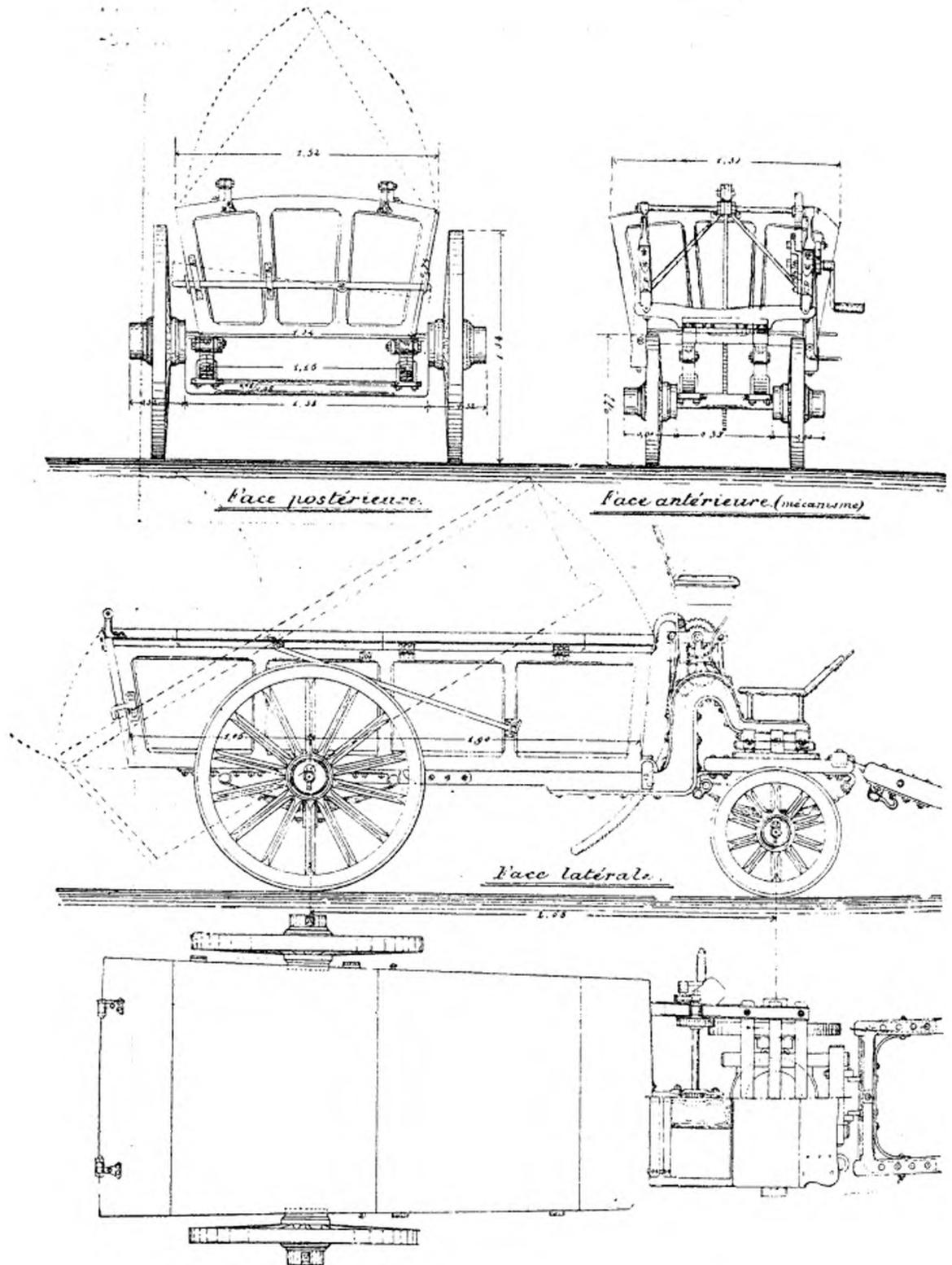


Fig. 267. — Tombereau basculant et couvert de la ville d'Anvers.

Disons encore qu'on a imaginé des bacs fixes, tels que ceux du système *Bechler* et du système *Prompt*, sortes de boîtes métalliques du type des boîtes aux lettres allemandes, fermées par une coulisse et continuées par un sac en grosse toile imperméabilisée : en ouvrant la coulisse, on fait tomber les matières dans le sac qu'on emporte quand il est plein en le remplaçant par un autre. On a même essayé de faire communiquer chaque étage avec la caisse centrale de la maison par un véritable tuyau de conduite. L'inconvénient du système, c'est que ces tuyaux, comme la caisse elle-même, s'encrassent très vite et sont très difficiles à nettoyer et à désinfecter : nous savons en outre que les sacs se crèvent très souvent.

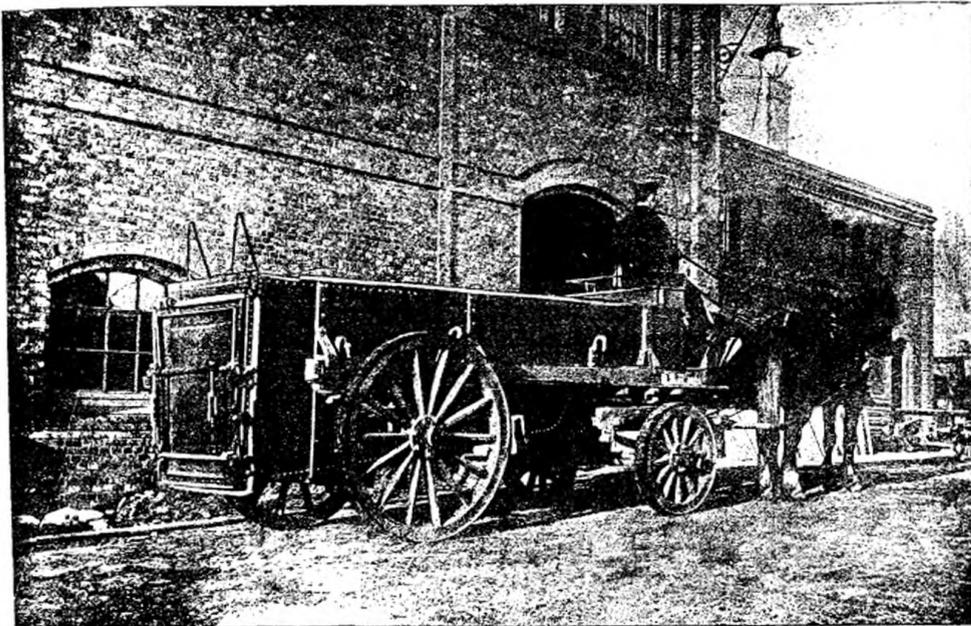


Fig. 268. — Tombereau métallique couvert de Hambourg (4 m³ de capacité).

A New-York, sous l'inspiration du Colonel Waring, on a poussé les choses plus loin, et chaque maison doit faire un triage préliminaire. Tout immeuble doit posséder deux récipients solides et étanches, l'un pour les restes de cuisine et autres corps plus ou moins humides, l'autre pour les balayures, cendres et poussières des appartements : ces récipients, suffisants pour contenir le produit de un jour et demi, sont (en raison de l'absence de cours) placés tout contre la façade près de l'entrée de service. Les papiers doivent encore être réunis en paquets ou en sacs. Les récipients sont généralement des seaux métalliques ronds

de 0^m,65 de hauteur et 0^m,50 de diamètre, sans couvercle. Les voitures ne sont pas non plus couvertes en dessus ; elles sont petites, 1 m³ à 1 1/2 et à deux roues. Bien entendu, il en faut une spéciale pour les restes de cuisine, une pour les cendres et les balayures et une pour les papiers : les produits du nettoyage des rues sont joints aux voitures de la seconde catégorie. New-York a fourni ainsi en 1898, 304 378 voitures de restes de cuisine et 2 513 601 d'autres déchets, soit en moyenne 7 747 voitures par jour : en se limitant à la ville proprement dite (Manhattan et The Bronx, soit 2 050 600 habitants) on a 164 318 voitures (139 000 tonnes) de restes de cuisine et 1 458 723 voitures (960 000 tonnes) de cendres, papiers, balayures, etc., des maisons et des rues (non compris 525 730 voitures de neige et glace enlevées l'hiver) (1)

Malgré les dangers et les désagréments des poussières, nous devons reconnaître qu'aucune ville en France n'a encore adopté les voitures couvertes, c'est une honte pour Paris, alors que depuis le 1^{er} mai 1898, Berlin n'admet plus aucune voiture donnant lieu à la poussière ou aux mauvaises odeurs. En Suisse, une vingtaine de villes ont des voitures couvertes ; elles se répandent très vite également en Allemagne et en Angleterre : à Londres, les voitures sont couvertes, le plus souvent avec des bâches en toile goudronnée, ce qui vaut toujours mieux que rien.

Les gadoues chargées en voiture, où va-t-on les mener ? Cela dépend évidemment de la décision prise au sujet du traitement final. Si c'est à une usine d'incinération ou à un quai d'embarquement, la chose est simple, mais il n'en est pas de même quand il s'agit de distribuer les gadoues d'une grande ville entre les agriculteurs d'une banlieue forcément éloignée et étendue : le chemin de fer doit entrer en scène et ce n'est pas un agrément pour les gares urbaines d'avoir à recevoir et écouler ces denrées d'aspect désagréable ; de plus, une grosse difficulté

(1) Pour en finir de suite avec New-York, nous ajouterons que ces voitures sont conduites à des lieux de triage et de dépôt, nommés *dumps* et situés au nombre de 13 le long du fleuve Hudson. De ces *dumps*, quatre sont réservés aux débris de cuisine exclusivement. Les matières y sont livrées à des entrepreneurs qui font faire le triage par des malheureux enveloppés d'un nuage de poussière. (Le *dump* de la 18^{me} rue à East River, est mieux installé : la gadoue est versée sur une toile mobile de trois pieds de large et passe ainsi entre deux haies de chiffonniers trieurs ; ce qui est inutilisable est incinéré dans un four (coût de 0^{fr}79 cents par tonne incinérée). Quant aux restes de cuisine, à l'exception des os, ils sont traités par la New-York Sanitary Utilisation Company, à Barren-Island, pour en extraire les graisses, la potasse, etc. par le procédé Arnold ; il paraît que l'usine dégage des odeurs désagréables. Le déversement des gadoues en mer n'est plus pratiqué que sur une petite échelle : il avait donné lieu à des plaintes sérieuses.

provient de ce que la faible valeur marchande de la gadoue ne lui permet pas de supporter des tarifs de transport tant soit peu élevés. L'idée de faire servir les tramways de pénétration à l'éloignement des gadoues est séduisante, mais elle oblige à faire la collecte et le transport pendant la nuit, alors que les tramways ne fonctionnent pas pour les voyageurs. C'est cette idée que M. Vincey a développée à titre de projet pour Paris dans un mémoire très intéressant et très complet, inséré aux numéros de mai, juin et juillet 1900 du *Bulletin de la Société des Ingénieurs et Architectes sanitaires de France*, mémoire auquel nous ne pouvons que renvoyer. Bref, il se pose généralement un problème économique de transport qu'on doit résoudre suivant les circonstances.

L'enlèvement et le transport des gadoues se font, soit directement par des agents des villes, *en régie*, soit par l'intermédiaire d'entrepreneurs. En France, l'entreprise est la règle, et les entrepreneurs ont à se débarrasser de la gadoue comme ils l'entendent (cependant actuellement à Paris pour les arrondissements desservis par les usines de broyage, les entrepreneurs ne font plus que conduire les ordures à ces usines). En Angleterre, c'est le contraire : d'après Percy-Boulnois, sur 85 villes, 70 opèrent en régie, 13 à l'entreprise et 2 par un système mixte ; à Londres, 25 districts ont la régie, 14 l'entreprise et 3 le système mixte. En Allemagne, la régie est également fréquente (Cologne, Francfort, etc.). En Belgique, Bruxelles, Anvers et Liège font l'enlèvement en régie : la plupart des faubourgs de Bruxelles le font faire à l'entreprise. Nous avons préféré la régie, ne serait-ce que parce qu'elle permet plus facilement tous les perfectionnements.

Nous terminons par une courte description de l'opération d'enlèvement des gadoues à Paris, telle qu'elle se pratique encore à ce jour, description empruntée à un article de la *Science Française* du 26 août 1898, quelque peu rectifié :

« Le matin, une armée de 4 000 chiffonniers *placiers* aident les concierges à sortir les boîtes réglementaires, dites *poubelles*, et y cueillent tout ce qui a une valeur, chiffons, papiers, métaux, os, etc ; 2 000 chiffonniers *coureurs* y glanent encore ce que les placiers ont négligé. C'est alors que passe le tombereau des *boueux* et ses servants, composés d'un charretier, d'un cantonnier de la ville qui hisse la poubelle sur la voiture où elle est reçue par un chiffonnier qui pêchera encore les résidus utilisables. Une balayeuse dite *retrouseuse* ramasse ce qui tombe à terre.

« C'est ainsi que chaque matin 570 tombereaux de 3 à 5m³ procèdent

« en une heure et demie à la collecte de l'ordure, dont le poids quotidien atteint près de 2 000 tonnes. Cet enlèvement est donné par arrondissement à l'adjudication: l'adjudicataire fournit le tombereau et son charretier, l'équipe (3 personnes) est payée par la ville. La somme actuellement allouée aux adjudicataires est de 2 202 138 francs, ce qui fait ressortir le coût par tonne à environ 3^f 70 (1).

« Le cube à enlever augmente d'année en année : de 757 250 m³ en 1876 il est passé à 1 031 200 m³.

« Environ 220 tombereaux vont se décharger dans les champs et dépotoirs du département de la Seine, 90 sont amenés en Seine-et-Oise et Seine-et-Marne. Des chalands sur la Seine reçoivent la décharge d'une centaine de tombereaux. Le reste est expédié par chemin de fer à 30 ou 40 kilomètres. »

D'après le nouveau régime adopté en principe par le Conseil municipal le 13 avril 1900, les gadoues de dix arrondissements devront être conduites à trois usines de broyage, et les gadoues des dix autres resteront la propriété des adjudicataires. Pour le moment, l'usine de broyage de Saint-Ouen reçoit seulement les ordures des 9^e, 17^e et 18^e arrondissements. Rappelons qu'à Paris la gadoue n'est pas mêlée aux boues des rues lesquelles, généralement très liquides, sont projetées dans les égouts.

TRAITEMENT ET UTILISATION DES ORDURES MÉNAGÈRES

1^o *Déversement en mer.* — Quelques villes, voisines de la mer, y conduisent leurs gadoues : ainsi Dublin, Liverpool. C'est une solution exceptionnelle, et de plus elle soulève souvent des plaintes par suite de la malpropreté qui en résulte pour les côtes voisines : à Liverpool, on n'en est nullement satisfait, et on édifie une usine d'incinération de 24 cellules.

2^o *Utilisation agricole : triage et broyage préalables.* — Nous devrions plutôt dire *traitement par le sol*, car certaines villes comme Rome se contentent de faire déverser la gadoue dans d'immenses fosses en la faisant recouvrir chaque jour d'une couche de terre de 0^m,50; mais d'ordinaire on cherche à utiliser sa puissance fertilisante. Toutefois plusieurs obstacles se rencontrent.

En premier lieu, on trouve dans les ordures des corps durs, verre, fer, poterie, etc., qui ne peuvent être incorporés utilement au sol.

(1) A Londres l'enlèvement d'une tonne revient à quatre schillings six pence.

Il convient donc d'opérer un triage préalable qui écarte ces corps et quelques autres comme les chiffons, tapis, paillassons et permette, s'il est possible, d'en tirer un profit d'une autre manière (refonte des métaux et du verre, transformation des chiffons en papier, etc., etc). Toutefois, au point de vue hygiénique, ce triage a l'inconvénient d'exposer les personnes qui le pratiquent aux poussières et aux dangers d'infection, surtout en temps d'épidémie. (Ainsi à Londres, le triage à Lett's Wharf a donné lieu en 1885 à un procès au cours duquel on a prouvé que les poussières et les germes s'introduisaient dans les salles de l'Hôpital Sainte-Marie, causant des maux de gorge aux habitants et empêchant la guérison des plaies). Si donc ce triage préliminaire est indispensable, il faut tout au moins le faire au plus tôt et dans les 24 heures de l'arrivée de la gadoue, avant qu'elle fermente : il conviendra aussi de le faire mécaniquement en employant le moins d'ouvriers possibles. (A ce sujet nous devons signaler la tentative très intéressante faite récemment à Londres (à Salopian Wharf, Chelsea) par la *Refuse disposal Company*. L'appareil de triage mécanique se composait de trois cylindres tournants, dont la surface formait des réseaux maillés de plus en plus serrés : les mailles du premier (doutes de bois et cercles de fer) étaient de 10 pouces en longueur sur 2 1/2 en largeur, celles du second et du troisième (fils de fer) respectivement 1 1/4 et 3/8 de pouce de côté. La gadoue passait successivement dans les trois cylindres, ce qui sortait du premier entrait dans le second, et ce qui sortait du second entrait dans le troisième : les tas étaient ensuite traités suivant leur nature, les cendres et poussières expédiées comme engrais, et les objets combustibles brûlés dans un four. La poussière de la chambre des machines était aspirée par des ventilateurs et envoyée au fourneau. Ce système a paru recommandable mais ne fonctionne plus.

En second lieu, de même que pour les eaux d'égout, l'agriculture n'emploie pas la gadoue en tout temps : sa production étant continue, il faut donc faire des dépôts, lesquels sont une cause d'infection pour le voisinage, en sorte que la ville se décharge bien souvent sur la banlieue. De plus, la putréfaction est généralement nécessaire afin de rendre solubles et assimilables pour les plantes les principes fertilisants contenus dans les ordures ménagères : les dépôts sont dès lors analogues à des tas de fumier en fermentation, et ils ne sont tolérables que dans des régions exclusivement agricoles, c'est-à-dire déjà très éloignées des grandes villes.

En troisième lieu, certaines parties de la gadoue sont, même après

une longue fermentation en tas, difficilement incorporées au sol. Cela tient soit à leur nature, soit à leur volume, et il y a dès lors grand avantage à leur faire subir un broyage ou une sorte d'effilochage préalable, qui, par suite de l'état de division obtenu, rend l'œuvre de la putréfaction plus facile et plus rapide et permet un emploi immédiat par les agriculteurs. C'est ce qu'ont bien compris il y a quelques années MM. Tenin et Pioger en installant une usine de broyage pour la gadoue parisienne à Saint-Ouen. Nous devons à M. Liégeois, Directeur de la Société des Engrais complets (qui leur a succédé) la description ci-après :

« Les tombereaux faisant la collecte dans Paris le matin basculent, au fur et à mesure de leur arrivée à l'usine, leur contenu le long d'un quai ayant une longueur de 50 mètres bordant deux grandes fosses de réception, rectangulaires et symétriques par rapport à l'axe de l'usine. Chacune de ces fosses, enduite de ciment peut recevoir un volume de gadoue ayant 25 m de long, en moyenne 5 m de large, et environ 2^m,50 de profondeur.

Des ouvriers placés dans ces fosses font ébouler la gadoue ainsi déversée sur deux courroies de coton de 0^m,80 de large placées au milieu de chacune des fosses et convergeant vers l'axe de l'usine.

Ces transporteurs constituant ainsi une sorte de fond mobile, se déplaçant avec une vitesse de 0^m,40 à la seconde et emportant une couche d'ordures d'une épaisseur variant de 0^m,10 à 0^m,15 passent devant deux groupes d'ouvriers trieurs placés à la sortie des fosses de réception. Ceux-ci munis de gants très résistants puisent dans cette marchandise la presque totalité des objets nuisibles et inertes tels que débris de verre, de vaisselle, boîtes de conserve, tapis, chiffons, etc.

Les deux transporteurs déversent alors la gadoue ainsi triée sur un élévateur central, incliné à 60° environ, remontant la gadoue broyée à une hauteur de 3^m,50 la projetant dans une trémie pouvant elle-même au moyen d'une rotation de 180°, alimenter à volonté un des deux appareils broyeurs placés symétriquement par rapport à l'élévateur.

L'appareil broyeur se compose essentiellement de deux disques armés chacun de dents en acier spécial disposées en couronnes concentriques et se faisant opposition.

L'un d'eux, le disque inférieur, mobile, est calé sur un arbre vertical tournant à une vitesse voisine de 1 000 tours par minute.

Le disque supérieur de forme légèrement tronconique laisse pénétrer la gadoue projetée dans la trémie par l'élévateur central par sa petite base d'un diamètre de 0^m,50.

Les deux plateaux sont enfermés dans une enveloppe cylindrique formant autour des deux disques une sorte de couloir circulaire dans lequel est projetée la gadoue broyée. Celle-ci est évacuée de ce couloir automatiquement à l'aide d'une espèce d'équerre en acier formant racloir et boulonné sur le plateau mobile.

La gadoue broyée ayant l'aspect d'un gros terreau projetée hors du broyeur est reçue sur un élévateur semblable à celui servant à la gadoue triée et chargée par cet appareil automatiquement sur wagon.

La puissance *moyenne* nécessaire est d'environ 60 chevaux pour l'ensemble des appareils et des transmissions, le broyeur seul absorbant en moyenne 30 chevaux.

L'usine de la Société des Engrais Complets ne peut d'ailleurs être considérée comme une fabrique d'engrais, car en fait, le procédé qui y est appliqué consiste en un chargement automatique et immédiat après triage et broyage de la gadoue fraîche que viennent d'apporter les tombereaux de la ville de Paris.

Depuis bientôt deux ans 120 voitures environ ont opéré leur déchargement dans l'usine sans que jamais un seul arrêt ait compromis le service et les 5 ou 600 m³ ont toujours été triés, broyés et chargés automatiquement sur wagons avant 5 heures du soir, c'est-à-dire avant la production d'aucune fermentation et le dégagement d'aucune odeur.

Il n'y a donc rien à redouter pour l'hygiène du voisinage de l'usine.

Au point de vue agricole le procédé donne pleinement satisfaction aux cultivateurs en mettant à leur disposition, à très bas prix, de grandes quantités d'un excellent engrais facilement maniable et ne nécessitant plus la mise en dépôt préalable indispensable à la gadoue brute. D'où il résulte une amélioration sensible de l'hygiène pour les lieux d'emploi.

Les Compagnies de chemins de fer recevant des wagons chargés régulièrement à 10 tonnes (et non plus à 6 ou 7 tonnes comme avec les gadoues ordinaires) sont disposées à consentir des réductions sur les tarifs en vigueur, et en particulier, la Compagnie du Nord a déjà offert un rabais de 10 0/0 à la Société.

C'est donc l'emploi des gadoues devenu possible pour la grosse culture et cela dans un très grand rayon.

La ville de Paris comprenant que c'était vraiment le procédé pratique pour assurer l'écoulement de l'énorme volume d'ordures produit quotidiennement (en moyenne 1 500 m³) a encouragé depuis plusieurs années la Société dans ses essais et lui a accordé une concession de 10 ans pour le traitement des ordures des 9^{me} et 17^{me} arrondissements à Saint-Ouen. Incessamment un troisième arrondissement, le 18^{me}, viendra se joindre aux deux précédents. La ville de Paris alloue à la Société une subvention de 9 500 francs par an et par arrondissement traité.

D'accord avec le service des Travaux de la ville la Société prend actuellement, ses dispositions en vue d'installer une autre usine à Romainville où elle traiterait par le broyage les gadoues de 5 arrondissements de la région Est de Paris. L'usine serait reliée à la gare du chemin de fer de l'Est de Noisy-le-Sec. ».

Nous ne connaissons pas encore d'autres installations de broyage. Quant au triage sur des toiles sans fin se mouvant lentement entre les chiffonniers, il est fréquent. A Londres, il se faisait ainsi en 1894 pour les districts de Paddington, Saint-George, Saint-James et Marylebone, tandis que le triage et le criblage se faisaient exclusivement à la main pour les districts de Hackney, Saint-Gilles, Holborn, Clerkenwell, Saint-Luke, Newington, Saint-George-in-the-East, Saint-Olave, Limehouse, Mile-end old-town, et une partie de ceux de Poplar et de Bethnal-green ; pour les vingt autres districts, les gadoues étaient emmenées aussitôt par chemin de fer ou par bateaux. Depuis 1894, le nombre des destructors va en se multipliant rapidement à Londres et dans la banlieue.

C'est encore de la même manière que se fait le triage préalable dans le procédé de Cséry dit procédé de Budapest, et employé dans cette ville (depuis 1896) ainsi qu'à Munich (depuis 1898 par la Hausmüllverwerthung München-Puechheim Gesellschaft). Dans ce système, chaque nature d'objets (os, chiffons, papiers, fers et métaux, verre, etc., etc.) extraits des toiles sans fin doit recevoir sa destination propre ; le reste arrivé au haut de la toile est criblé : les gros matériaux sont brûlés, tan-

dis que les fins et les cendres sont livrés à l'agriculture. Malgré tout, on n'arrive pas à se défaire de cette dernière catégorie qui s'amoncelle en tas énormes. Pour cette raison, et étant donné qu'à Berlin la combustion de briquettes de lignites donne beaucoup de cendres (plus de 50 0/0 de feimüll), une Commission Municipale de Berlin regarde le procédé comme inapplicable dans cette ville (1).

3° *Incinération*. — L'incinération a le défaut de perdre la valeur de la gadoue comme engrais et de donner un volume de résidus encore très considérable (30 à 40 0/0) : mais au point de vue hygiénique, c'est un moyen excellent, très précieux et très sûr en temps d'épidémie. Partout où l'utilisation agricole est difficile, il faut donc songer à l'incinération (ou à la distillation), surtout si la gadoue possède par elle-même le pouvoir comburant (pour cela, il conviendrait de ne pas mêler la gadoue aux boues et poussières des rues qui affaibliraient ce pouvoir).

En Angleterre, où la place est rare pour l'épandage et où les cendres contiennent beaucoup de charbon, le procédé était tout indiqué et s'est beaucoup répandu depuis le premier *destructor*, installé par Mead en 1870 (2) : on compte aujourd'hui 80 villes anglaises (3) qui incinèrent (représentant 8 300 000 habitants) et 850 cellules en feu, chacune détruisant en moyenne 7 tonnes par jour ; toutefois dans bon nombre de ces villes, le procédé n'est pas exclusif. En Allemagne, le procédé ne s'est pas encore beaucoup développé : l'établissement de Hambourg fonctionne depuis cinq ans, mais les expériences faites à Berlin, Magdebourg, Copenhague montrent que la gadoue n'est pas toujours auto-comburante, et il faut alors soit ajouter du charbon, soit cribler les cendres (Bohm et Grohn) ; cependant des usines d'incinération sont en construction ou projetées à Cologne, Essen, Aix-la-Chapelle, etc. Zurich, Genève, Bruxelles, ont décidé l'incinération. En Amérique (Etats-Unis) les villes se décident tantôt pour l'incinération, tantôt pour le traitement par la vapeur ou la distillation. En France, enfin, outre les essais faits à Paris par MM. Petsche et Lauriol (lesquels ont prouvé que la gadoue parisienne est auto-comburante, mais n'ont pas eu d'autre suite), nous ne connaissons que la ville de Monaco (4) qui incinère (4 cellules Horsfall).

(1) Article de *Gesundheit* du 15 mai 1901.

(2) Ou mieux depuis que les essais faits par la ville de Leeds en 1876 firent reconnaître le procédé comme pratique.

(3) Dans l'ouvrage de Jones, *Refuse destructor*, 1884, on trouvera sous forme de questionnaire les renseignements détaillés relatifs à l'installation et au fonctionnement des usines d'incinération de 50 villes anglaises ; nous ne pouvons évidemment qu'y renvoyer.

(4) Voir l'article de Chevillard : « Assainissement de la ville de Monaco » in *Revue Industrielle*, 3 juin 1899.

Dès 1897, nous avons conseillé à la ville de Nancy d'installer douze cellules Horsfall pour brûler ses 23 000 tonnes de gadoues par an, et avec la collaboration de M. Tasson, Directeur de la Compagnie nationale des travaux d'utilité publique et d'assainissement, représentant en France du système Horsfall, nous avons dressé un projet complet; la dépense de premier établissement ne se montait pour l'usine qu'à 200 000 francs, terrains non compris. Malheureusement pour l'hygiène, la ville a pu renouveler son traité avec les cultivateurs qui enlèvent la gadoue (au prix élevé de 3^f,50 la tonne) et en infectent les environs.

Nous allons passer en revue rapidement les types de fours usités, mais en nous contentant de signaler la caractéristique de chacun d'eux et d'en montrer une figure en citant un bon exemple. Rappelons que d'après Macadam (1), un bon destructeur doit répondre aux conditions suivantes :

1° Brûler toute la partie combustible des gadoues, sans émission d'odeurs ou de gaz nuisibles : le résidu ne doit dès lors plus contenir de carbone, et les gaz doivent être complètement brûlés.

2° Laisser sur les grilles une bonne cendre, brillante et claire, sans mauvaise odeur ;

3° Produire finalement une scorie vitrifiée inodore, utilisable pour l'empierrement des routes, la fabrication du ciment, etc., etc.

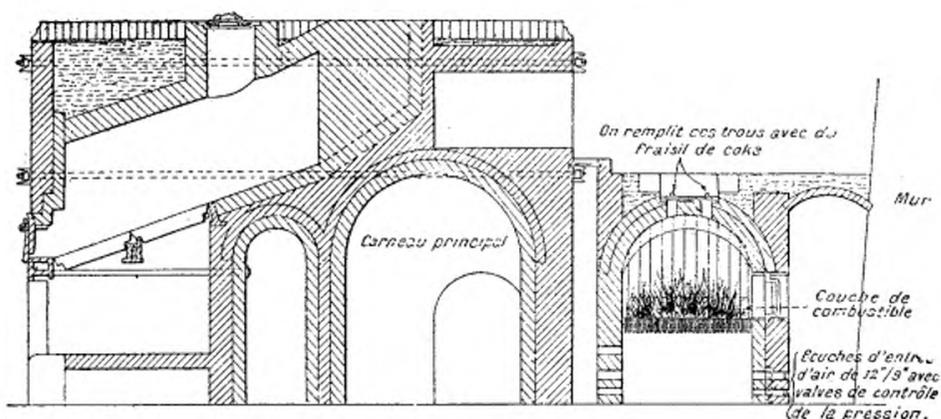
Sauf le type Fryer, tous les fours sont à haute température, avec insufflation d'air, tirage forcé et adjonction de chaudières tubulaires généralement du type Babcock et Wilcox.

Four Fryer (avec brûleur de fumée Jones). — Le premier et à un moment le plus usité en Angleterre, le four Fryer est un fourneau à réverbère avec grille et sole de dessiccation, toutes les deux inclinées. La combustion y est imparfaite, la température n'étant pas suffisamment élevée. Aussi a-t-on dû y ajouter souvent le tirage forcé. Pour brûler plus complètement les gaz, Jones y a adjoint le *fume-cremator*, qui est un second four placé à côté du premier et dans lequel les gaz passent sur du coke en combustion sur une grille.

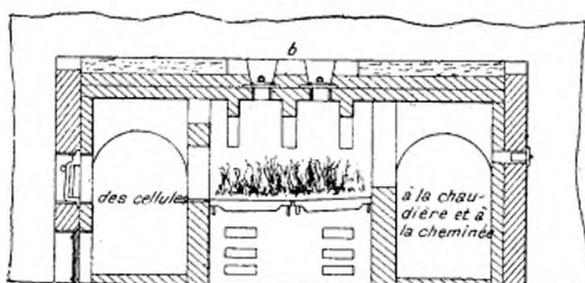
La fig. 269 montre le four Fryer et le *fume-cremator* à Ealing, (34 500 habitants). Il y a neuf cellules, pouvant brûler chacune par jour 4 tonnes 1/2 de gadoues, y compris les boues et fumiers extraits du sewage. La température n'est que de 320° centigrades dans le passage des cellules au *fume-cremator* et de 685° sur ce dernier. La dépense

(1) Macadam : *Journal of the chemical Society*, 51 mars 1896.

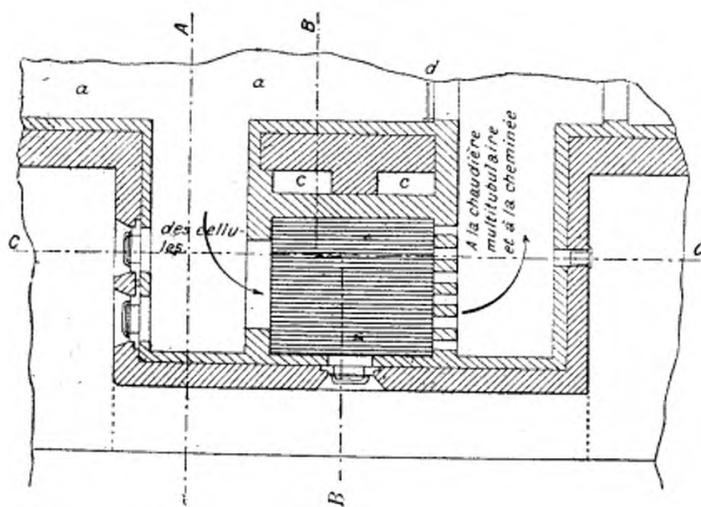
d'établissement a été de 9 à 10 000 francs par cellule, et le coût d'incinération d'une tonne revient tout compris à 1^f,87.



Coupe transversale d'une cellule et du brûleur de fumée. Coupe BB sur le fume-cremator.



Section CC du fume-cremator.



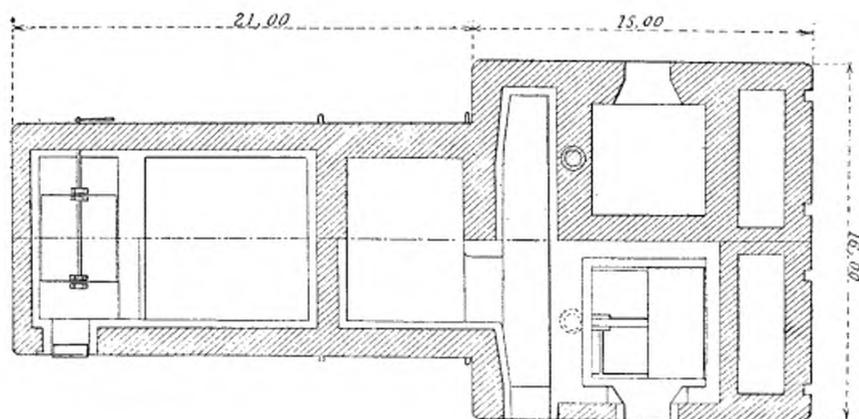
Détail du fume-cremator Jones. — Plan.

LÉGENDE. — a, Chambre de poussière et carneau principal; b, Trous d'alimentation; c, Carneau réglant l'admission d'air; d, Porte en fer.

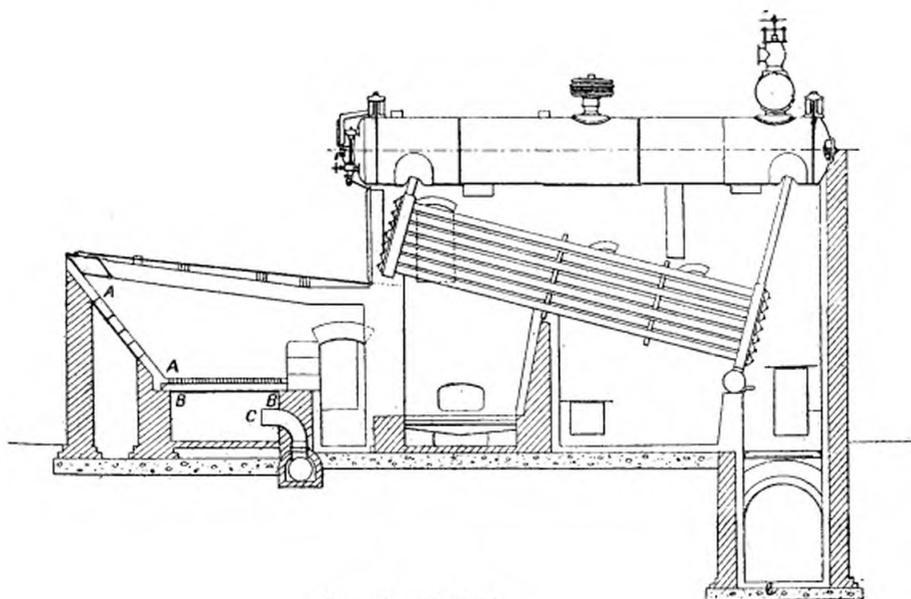
Fig. 269. — Four Fryer, avec brûleur de fumée Jones: Usine d'Ealing.

Dans bon nombre d'autres villes, les fours Fryer primitifs ont été remplacés par l'un des types suivants :

Four Beaman et Deas (fig. 270). — La gadoue descend par le foyer incliné A A sur la grille horizontale B B à barreaux serrés; le cendrier est fermé, mais l'air arrive sous une pression de $0^m,05$ par la tuyère C



Plan.



Coupe longitudinale.

Fig. 270. — Four Beaman et Deas, avec chaudière Babcock et Wilcox (Usine de Leyton).

d'un ventilateur. Une nouvelle arrivée d'air forcé achève de brûler les gaz dans une chambre en briques, dite chambre de combustion, située à l'opposé de l'entrée de la gadoue. La température atteindrait 1100° . La figure montre une chaudière Babcock et Wilcox installée sur le trajet des gaz chauds.

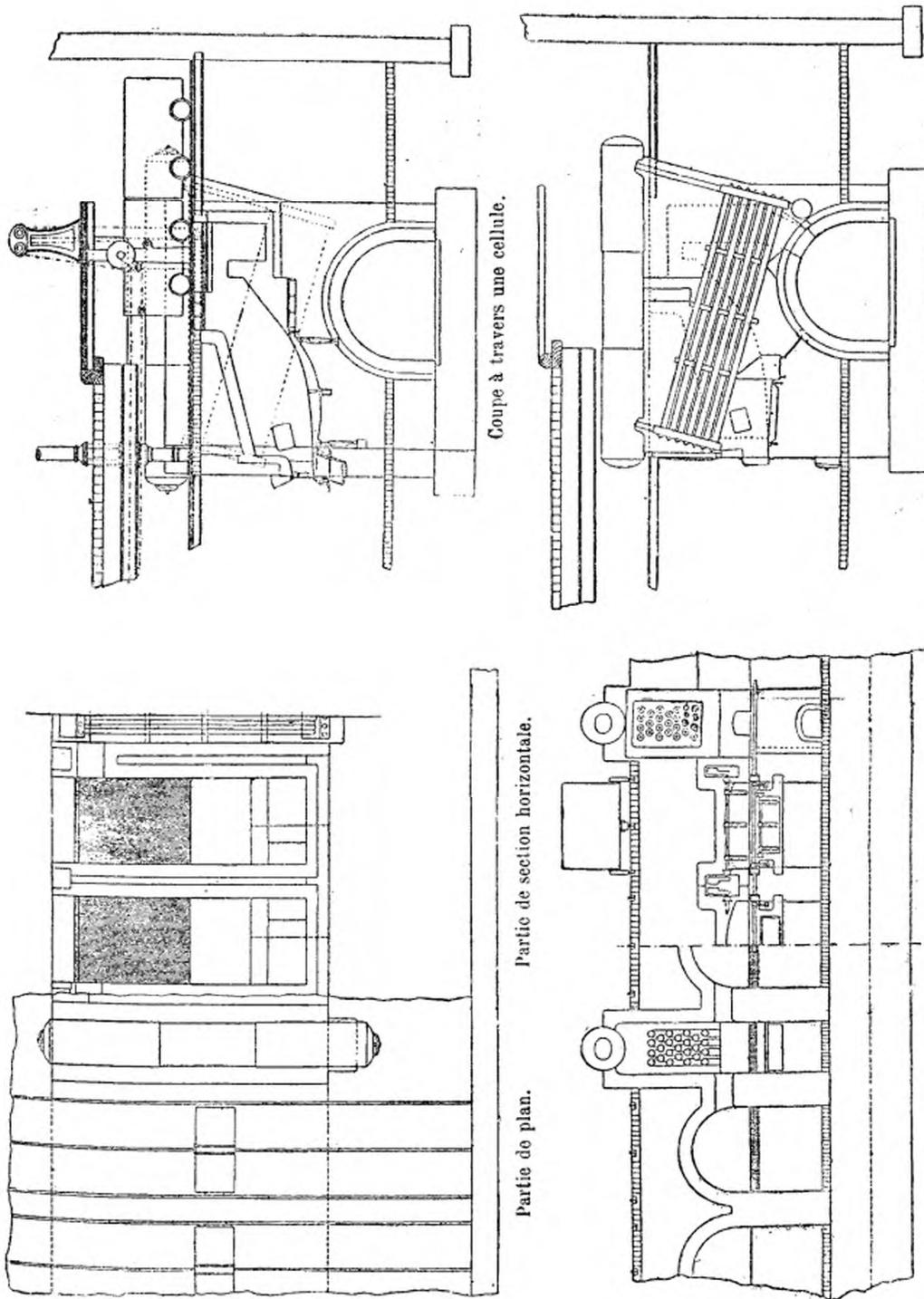
Cette figure est empruntée à l'installation de Leyton, où il y a huit cellules adossées deux à deux, ayant pour les deux une même chambre de combustion. En 1897, l'installation a brûlé 10 932 tonnes de gadoues et 5 795 tonnes de boues et fumiers d'égout à 65 0/0 d'eau. Il y a des appareils du même type à Dewsbury, Wandsworth, Tiverton, Stratford, Colne, Saint-Helens, Canterbury, Wimbledon, Rotherhithe, Fletwood et Bangor. Dans les plus récentes, le foyer incliné A A a été remplacé par un foyer plat avec double porte de chargement, ce qui augmente la capacité du fourneau : outre ces perfectionnements, quelques autres ont été appliqués par Liversedge à Stretford, Hackney, Bermondsey, Ashton Manor et Barry.

Four Manlove, Alliott et C^{ie}. — La grande maison de construction Manlove, Alliott et C^o a installé un grand nombre de *destructors* : Cambridge, Shoreditch (1), Wakefield, Whitechapel, Lambeth, Stafford, York, Rhyl, Brentford, Great Yarmouth, etc., ont des appareils du système représenté par la fig. 271, laquelle est empruntée à l'installation récente de Cobbe Quarry, Liverpool (8 cellules pouvant brûler chacune 12 à 15 tonnes par jour et 4 chaudières tubulaires placées entre deux cellules). La figure fait voir en place l'appareil de chargement Bouluois et Brodie : il consiste pour chaque cellule en deux trucks roulants sur rails, chaque truck étant divisé en six compartiments, qui contiennent 3 à 400 kg. et qui peuvent être amenés successivement de manière que leur orifice inférieur corresponde à l'ouverture d'alimentation de la cellule. La manutention se fait ainsi commodément, sans poussière ni odeur.

Four projeté à Cologne. — La ville de Cologne après avoir étudié soigneusement les fours anglais se décide à adopter un four spécial réu-

(1) A Shoreditch (Londres), on a combiné l'incinération des gadoues avec la production de l'éclairage électrique. Le destructor comprend douze cellules et six chaudières, chaque cellule ayant 25 pieds carrés de surface de grille et chaque chaudière 4300 pieds carrés de surface de chauffe : la combustion étant continue et l'utilisation électrique au contraire limitée à six heures de durée, il faut un réservoir emmagasinant la vapeur. Les dynamos, système Willans, sont de deux groupes ; trois à haute tension (4100 volts) de chacune 160 kilowatts, et trois à basse tension (165 volts) de chacune 70 kilowatts. A Shoreditch, la gadoue donnerait livre pour livre de vapeur : chaque chaudière, entre deux cellules, évapore ainsi 288 lbs. d'eau par heure à une température de 212° Fahrenheit et une pression de 200 lbs. par pouce carré. L'incinération d'une tonne revient à 2^h,5^a. — Voir l'article de Ch. Newton Russel intitulé « Combined Refuse-destructors and powers plants » in *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, mars 1900.

nissant les avantages des deux types précédents : comme le type Manlove et Alliott, il comporte des chaudières entre les cellules voisines, et comme



Coupe à travers une cellule.

Coupe à travers la chaudière.

Partie de section horizontale.

Partie d'élevation.

Partie de coupe longitudinale.

Fig. 271. — Four Manlove, Alliott et C^{ie}; usine de Cobbe Quarry (Liverpool) (avec appareil de chargement Boulois et Brodie).

le type Beaman et Deas il a une chambre de combustion (une pour deux cellules), où le gaz rencontre l'air secondaire préalablement chauffé et

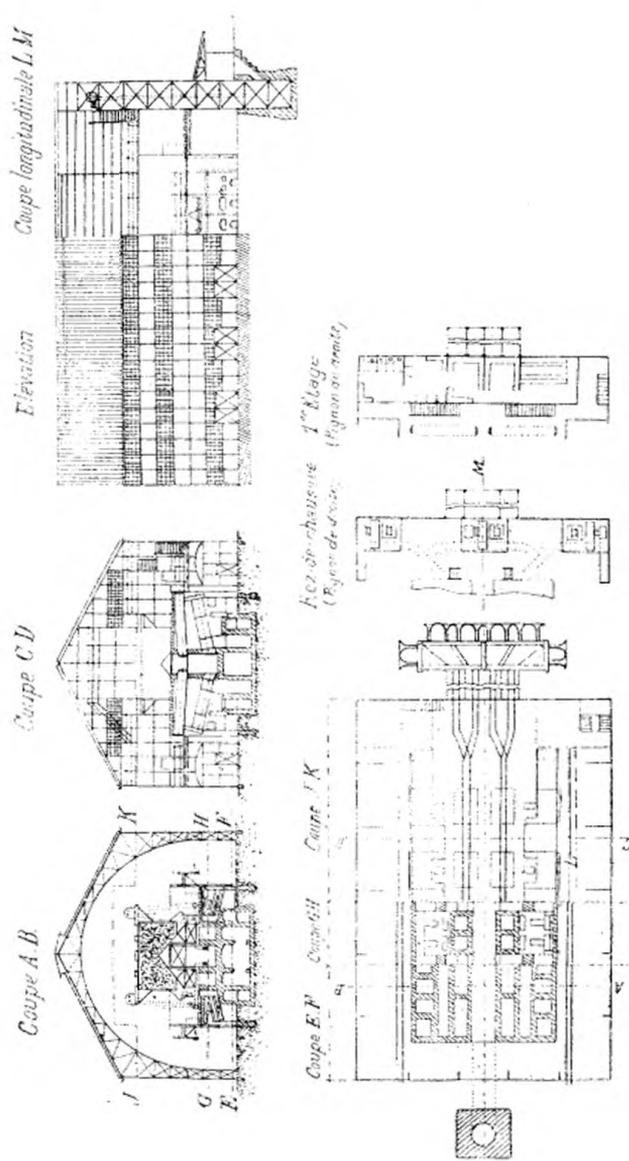


Fig. 272.
Usine d'incinération projetée pour Cologne. (16 cellules d'un type spécial).

achève de se brûler. M. l'Ingénieur Adam ayant bien voulu nous communiquer les dessins de ce beau projet, (en date du 25 juin 1900) nous en donnons la primeur aux lecteurs de la *Revue technique* (fig. 272): aussi bien on se rappelle que l'emplacement de l'usine d'incinération était

réservé à côté de l'usine de clarification du sewage (fig. 193, p. 544).

Le projet comporte 16 cellules accolées et adossées (il y a également une variante où elles sont seulement côte à côte, mais elle paraît moins avantageuse) pouvant brûler chacune 12 à 15 tonnes par jour : la production actuelle de gadoue à Cologne est de 150 tonnes par jour. La gadoue récoltée la nuit, serait montée sur la plate-forme des gueulards dans un wagon élevé par un ascenseur mù par l'électricité. L'air destiné à la combustion est envoyé par des ventilateurs sous les grilles, tandis que l'air secondaire destiné aux chambres de combustion se réchauffe préalablement dans l'espace compris entre les deux voûtes superposées au-dessus du foyer. La chambre de combustion est placée en avant, entre la voûte du foyer et une troisième voûte longitudinale : elle reçoit par côté l'air secondaire et par le bas les gaz des deux cellules voisines, et communique avec l'espace où se trouvent les chaudières. On compte qu'un kilogramme de gadoue donnera 0^{kg},75 de vapeur et qu'on aura ainsi pour 150 tonnes par jour ou 6 250 kg. par heure, une force de 585 chevaux-vapeur.

La dépense est évaluée 650 000 marks, les frais d'exploitation et d'entretien annuels (non compris l'intérêt et l'amortissement) 85 000 marks.

Four Horsfall. — Le type Horsfall est — avec ses derniers perfectionnements — de tous points excellent. C'est aujourd'hui le plus répandu : en Angleterre, Leeds ⁽¹⁾, Bradford, Heckmondwicke, Blackpool, Norwich, Ashton-under-Lyne, Saint-Héliier (Jersey), Dublin, Edimbourg ⁽²⁾, Accrington, Beckenham, West-Hartlepool, Ramsgate, Lowestoft, Paisley, Bury, Chesterfield et à Londres même les usines de Saint-Luke, du Strand Board of Works et de Fulham (ces deux dernières à peine achevées) ; ailleurs Hambourg, Monaco, Para, Pernambouc ; enfin il est adopté en principe à Zurich, Berne, Genève, Berlin, Bruxelles ⁽³⁾ etc.. Un grand avantage du système c'est que l'usine peut se placer sans inconvénient, surtout depuis l'adjonction de la chambre à poussière, au milieu d'un centre habité : de plus il se prête très bien à la combinaison avec les stations d'électricité.

(1) A Leeds, on avait employé d'abord le système Hewson qui réalisait déjà le tirage forcé et la position du carneau principal à l'arrière.

(2) A Edimbourg, où il y a actuellement 10 cellules, les fours Horsfall ont dû à la suite d'un procès célèbre remplacer les fours Fryer primitivement installés à Powderhall et reconnus nuisibles pour le voisinage.

(3) L'installation projetée à Bruxelles comprendrait 4 massifs de 6 cellules chacune, pour brûler 180 tonnes par jour : elle serait située au quai de Willebroeck.

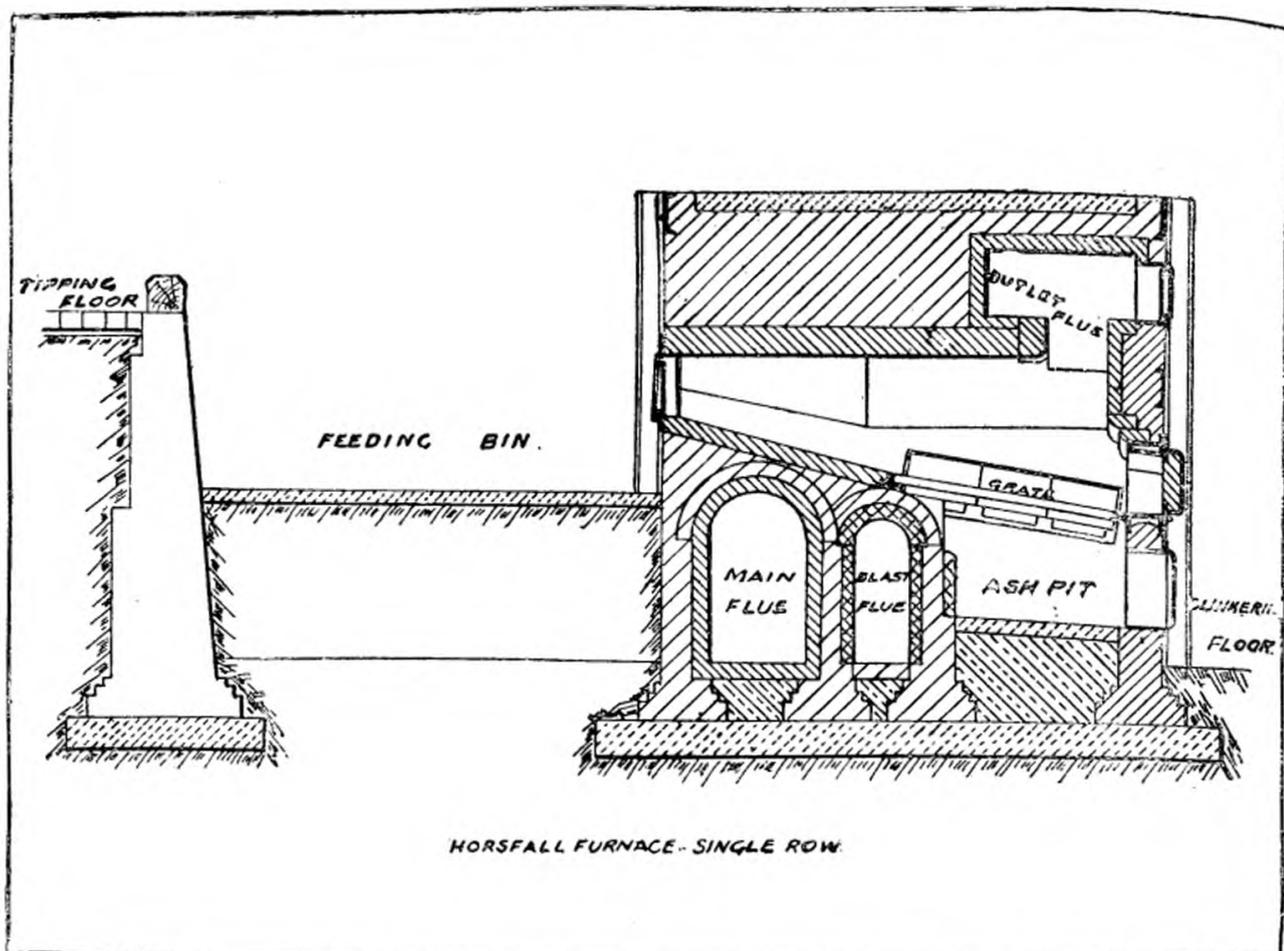


Fig. 273. — Coupe transversale d'une cellule Horsfall indépendante (Usine d'Oldham).

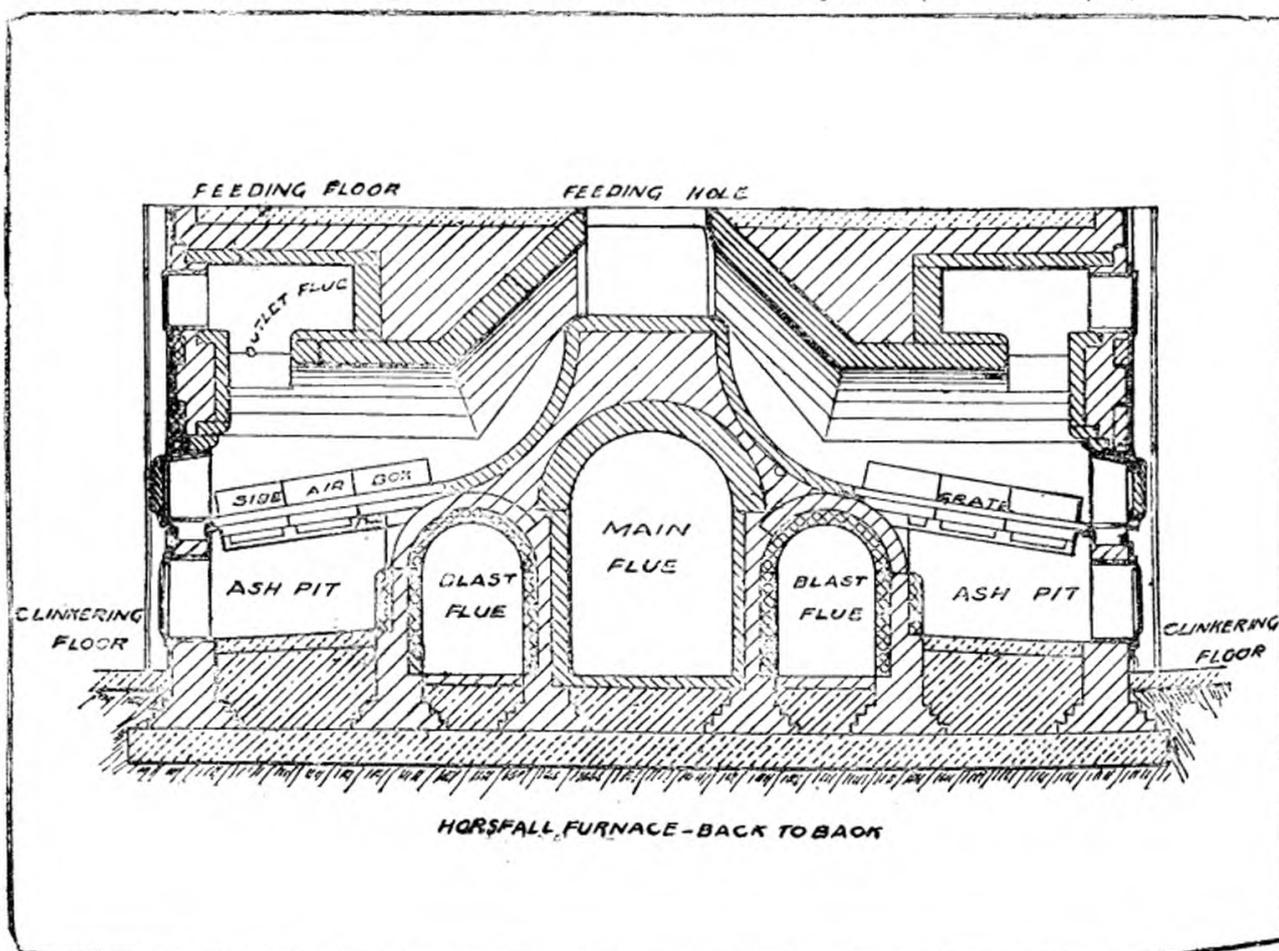


Fig. 274. — Coupe transversale de deux cellules Horsfall, placées dos à dos (Usines d'Edimbourg, de Bradford, etc.).

La cellule Horsfall a généralement une grille, un peu inclinée, de cinq pieds de large sur six de long : elle peut brûler 8 à 10 tonnes par jour. A Oldham la température moyenne était de 895° centigrades, avec un minimum de 632° et un maximum de 1024° ; Lord Kelvin estime que la gadoue d'Oldham peut évaporer jusqu'à 1^k,1/3 par kilogramme (1). Du reste voici la description des fours Horsfall qu'ont donnée Lord Kelvin et le professeur Barr (Glasgow), à la suite de leur visite des installations d'Edimbourg, Bradford et Oldham (1898).

« Les fig. 273 et 274 présentent, d'une manière quelque peu diagrammatique, la disposition générale du four. La fig. 273 montre le type de cellules indépendantes telles qu'elles existent à Oldham. La fig. 274 représente la disposition de deux cellules dos à dos en usage à Edimbourg et à Bradford. Les fig. 275 et 276 font voir les plans (coupes horizontales) et l'élévation frontale des cellules. Les détails de construction sont nécessairement modifiés selon les exigences de l'emplacement et autres conditions spéciales d'installation. On verra que le trou de chargement est situé au dos ou au-dessus du four, tandis que l'ouverture de départ des produits gazeux se trouve au-dessus de la façade. Il résulte de cette disposition que les vapeurs provenant des matières humides doivent, pour se rendre au carneau principal, traverser la partie la plus chaude du four, et sont mises immédiatement en contact avec les gaz surchauffés provenant des matières préalablement séchées et en voie de combustion. Ces matières sont tirées avec une griffe sur la grille où elles sont brûlées par l'action d'un tirage forcé.

Une seconde et importante combinaison est l'emploi de jets de vapeur pour produire le tirage forcé. La vapeur ainsi employée est condensée par le contact de l'air froid injecté et l'eau ainsi produite est évaporée de nouveau quand elle vient en contact avec les grilles du four, dont elle maintient ainsi la température basse. De cette façon, la durée des grilles de four est largement augmentée. Une action plus importante encore est due à la vapeur. En venant en contact avec le combustible incandescent elle est décomposée ; l'hydrogène devient libre, pendant que l'oxygène se combine avec le carbone du combustible pour former le carbone monoxide. Cette décomposition de l'eau est produite par la chaleur venant de la partie inférieure du foyer, où elle a une action comparativement moindre pour l'incinération des matières à détruire. Le gaz d'eau (hydrogène et carbone monoxide) traverse la grille pour être brûlé par l'air en excès qu'il rencontre au-dessus du feu, et sert ainsi à augmenter la température qui existe déjà au point de rencontre des produits de la combustion avec les vapeurs provenant des matières brutes.

Les gaz suivent ensuite les carneaux dont les parois sont constamment maintenues à une très haute température. L'apparence du briquetage incandescent a été bien constatée par les observations que nous avons faites à l'usine de Bradford. Si l'on observe par la porte d'escarbillage d'une cellule, quand le chargeur amène une charge sur la grille, on voit une fumée épaisse, comme on pouvait s'y attendre ; mais si l'on regarde à travers un regard ménagé à l'extrémité du carneau principal, il n'apparaît plus trace de cette fumée provenant du chargement de la cellule, à peine voit-on une faible trace (consistant probablement en grande partie, sinon en totalité, de vapeur) s'échapper du sommet de la cheminée. L'absence de l'hydro-carbone dans les produits de combustion est démontrée par les analyses que nous donnons ci-après des gaz du carneau collectés

(1) Cela fait un pouvoir comburant d'environ un septième de celui du bon charbon anglais.

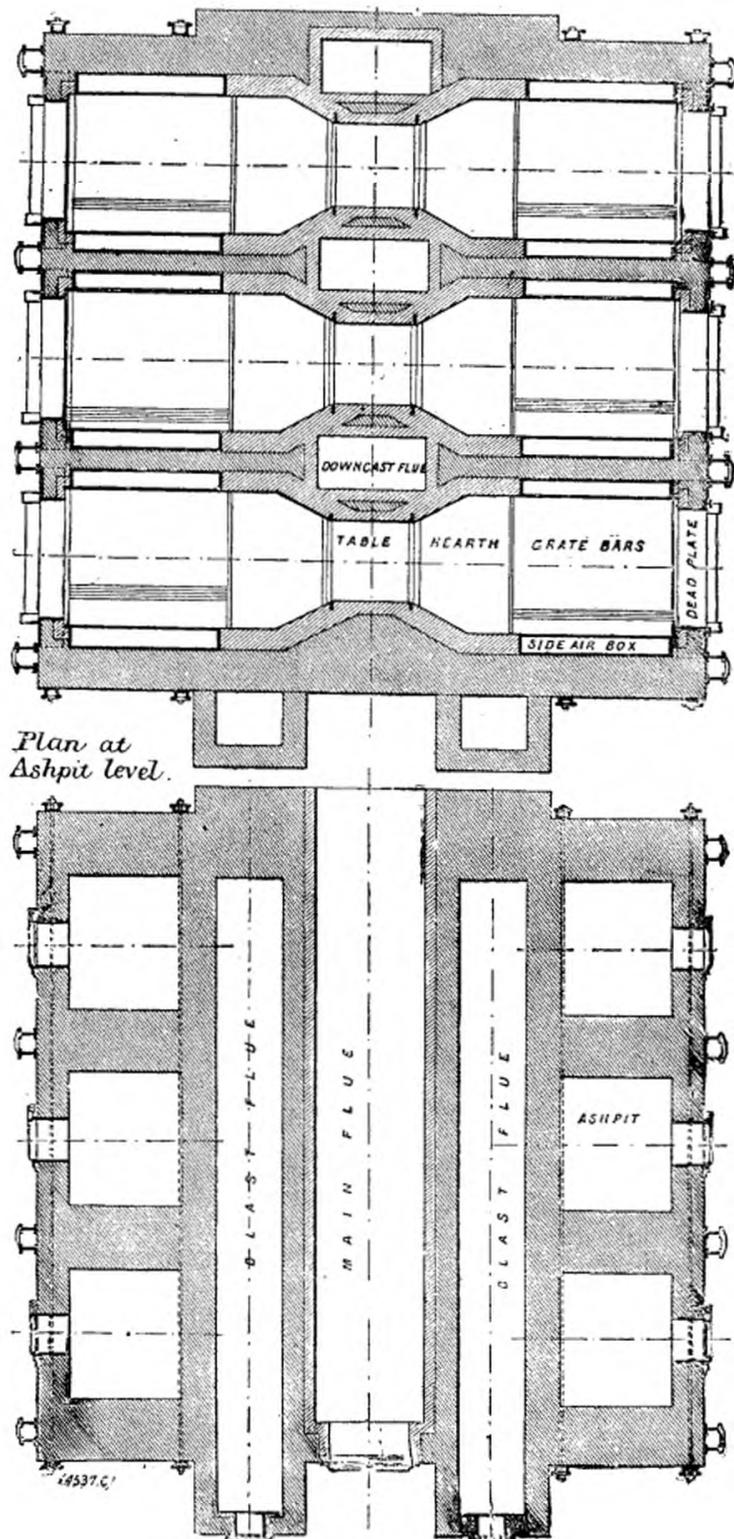


Fig. 275. — Plans d'un four Horsfall double au niveau de la grille et au niveau du cendrier (Usine de Bradford).

à Oldham ; c'est une nouvelle preuve de la destruction efficace de toutes les matières organiques dans l'opération.

Il n'est employé ni coke, ni charbon dans l'incinération des produits gazeux provenant des cellules Horsfall. L'usage de combustible pour cet effet dans

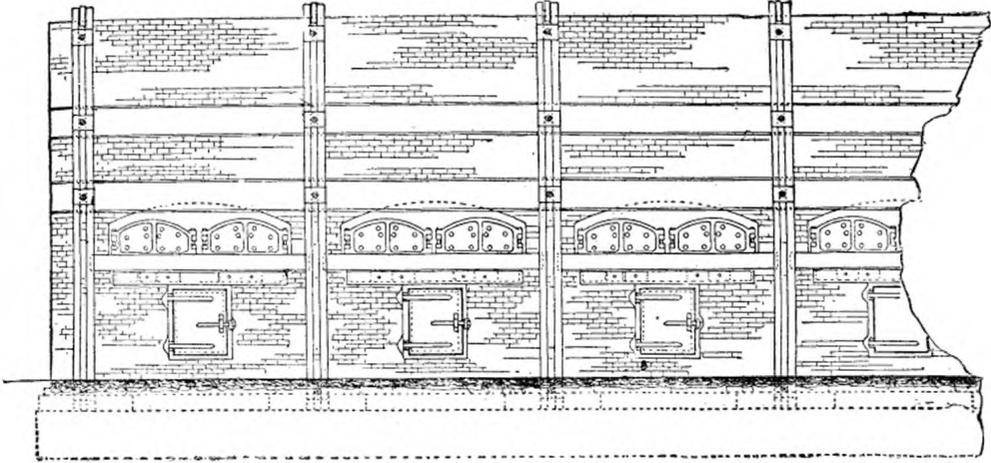


Fig. 276. — Elévation de front d'un four Horsfall.

quelques types de Destructeurs, entraîne une grande augmentation de dépenses dans le coût du traitement des ordures, ce qui est contraire au but poursuivi. C'est ce qui a été démontré dans le cas des Destructeurs primitivement en usage à Edimbourg. Même quand les feux du Destructeur Horsfall sont couverts pendant la journée du dimanche, on peut les entretenir et reprendre le travail dimanche soir sans addition d'aucun combustible.

Une autre disposition importante est celle par laquelle (excepté dans les très petits modèles) un nombre de cellules, chargées et escarbillées successivement, livrent leurs gaz dans le carneau principal. Pendant que le feu dans une cellule est encore *vert*, les autres cellules déchargent les produits les plus chauds, de sorte que la température du carneau principal est suffisamment élevée pour empêcher toute vapeur pernicieuse d'atteindre la cheminée. C'est seulement dans ces conditions que les produits de combustion arrivent aux chaudières. Nous considérons cette combinaison comme très importante ; car si dans quelque usine de destruction, les produits de la combustion d'une cellule étaient conduits directement à la chaudière, les gaz atteindraient probablement les surfaces de la chaudière avant leur complète combustion.

Les précautions ci-dessus énumérées pour la conservation d'une haute température à la sortie des cellules et dans le carneau qui les suit, rendent suffisante une pression d'air très modérée. Nous sommes d'avis qu'on doit éviter l'emploi d'une pression d'air excédant un pouce d'eau environ. L'emploi d'une haute pression d'air dans le four d'un destructeur, où se produisent des mâchefers, amène inévitablement dans le feu, des trous dus au soufflage. Il faut alors que le feu soit très fréquemment râtelé ; et ces râtelages nombreux entraînent naturellement la fréquente ouverture de la porte. Cette manœuvre a pour résultat de

laisser pénétrer un grand excès d'air froid dans le four, et par suite d'abaisser la température dans les carneaux. Cette réduction de la température est mauvaise au point de vue de l'hygiène et, en outre, elle réduit l'économie dans le cas où la chaleur doit être utilisée. De plus, les fréquents râtelages augmentent énormément la main-d'œuvre nécessaire et par conséquent le traitement est plus coûteux.

Comme une grande quantité de poussière fine est contenue dans les ordures de toutes les villes, il est préférable de maintenir une faible pression d'air, afin d'empêcher tout entraînement de ces poussières vers la cheminée, même en cas où, comme dans le Destructeur Horsfall, il y a une hauteur considérable au-dessus des fours, dans le but d'empêcher, autant que possible, le soufflage de la poussière à travers l'ouverture de décharge. Naturellement, le travail d'une cellule ayant une surface de grille donnée, peut être augmenté par l'emploi d'une plus haute pression d'air, et le traitement d'une quantité donnée de matières par jour peut ainsi se faire à un prix un peu inférieur. Une haute pression d'air et un grand débit peuvent être maintenus, si l'on veut, dans les cellules Horsfall, comme dans celles des autres constructeurs. Nous remarquons en effet que dans les expériences d'un Destructeur Horsfall à Leeds, le D^r Cameron, de cette ville, a constaté que l'on pouvait brûler 27,18 t d'ordures par cellule et par jour. Mais nous croyons que la Compagnie Horsfall est dans le vrai, quand elle dit qu'une haute pression d'air n'arrive pas à donner satisfaction au point de vue de l'hygiène, ni à réduire la dépense du traitement, si l'on établit le coût du travail ; elle ne contribue pas non plus à l'économie dans l'utilisation des matières pour la production de la force.

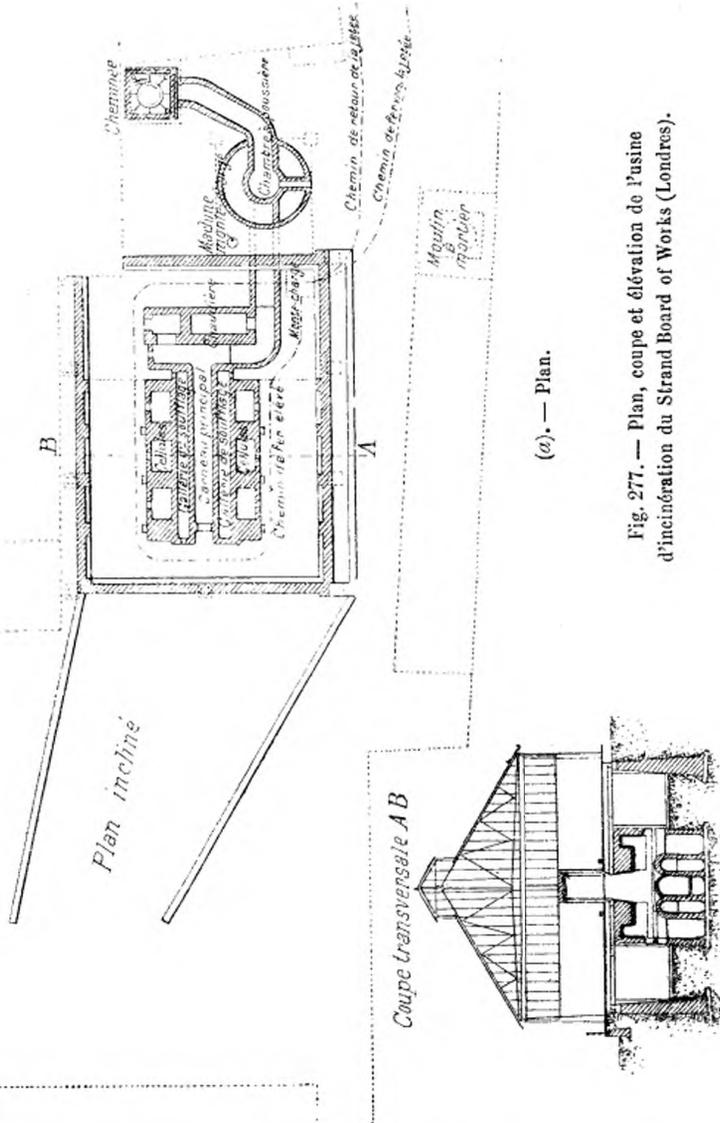
Un autre point important à signaler est la conservation de l'énergie de la combustion (au moyen de la maçonnerie de brique incandescente au sommet du four), tout en n'ayant qu'un léger tirage à la cheminée. En effet, l'idéal serait d'avoir un équilibre exact de pression dans la cellule, pendant les opérations d'escarbillage, pendant que le jet de vapeur est fermé, de telle sorte que l'air froid ne puisse pas pénétrer à travers les carneaux pendant que la porte d'escarbillage est ouverte. Dans les fours Horsfall que nous avons visités, nous avons remarqué que cette condition est très strictement remplie, et ce doit être un important facteur pour conserver la voûte du four au rouge blanc ; c'est ce que nous avons constaté dans chaque inspection pendant nos visites.

Un détail nouveau des cellules Horsfall est la disposition, aux côtés des fours de boîtes en fonte que traverse l'air soufflé avant d'arriver à la grille. Sans doute, ces boîtes ont pour effet de chauffer l'air injecté, mais leur rôle principal est d'empêcher les escarbilles de coller aux parois latérales des cellules. En l'absence d'une telle disposition, les cellules d'un destructeur en raison de la haute température observée, se détériorent rapidement ; peut être en partie à cause d'une action chimique directe, mais principalement à cause de la nécessité de détacher sans cesse les escarbilles adhérentes, ce qui détériore le briquetage et par suite, les parois latérales. Les boîtes en fonte prouvent leur avantage en supprimant cet inconvénient.

Nous considérons la disposition spéciale qui place le trou de chargement en arrière et la porte d'escarbillage en avant du destructeur, comme très importante. Elle sépare complètement la plateforme de chargement du plancher d'escarbillage, ce qui facilite l'emmagasinage des ordures durant les heures de livraison maximum, tandis que la rangée entière des portes reste libre pour le travail de l'escarbillage. De plus, depuis le trou de chargement, l'ouvrier a une vue directe jusqu'à la façade du four, de sorte que le travail entier de la cellule est sous son observation : de même à la façade du four, le chauffeur qui voit également l'ensemble n'a en chargeant la grille qu'à la râtelier en tirant à lui, ce qui réduit la main-d'œuvre au minimum.

Une dernière amélioration importante est le collecteur de poussière breveté et construit par la Compagnie Horsfall (dust chamber ou dust catcher). Il consiste

en une chambre circulaire en maçonnerie de briques, ayant à l'intérieur environ $4^m,87$ de diamètre sur $3^m,66$ de hauteur et revêtue entièrement de briques réfractaires. Au centre existe une chambre cylindrique de $1^m,73$ de diamètre intérieur



(a). — Plan.

Fig. 277. — Plan, coupe et élévation de l'usine d'incinération du Strand Board of Works (Londres).

(b). — Coupe transversale AB.

communiquant avec l'espace annulaire environnant par des ouvertures dans la voûte au sommet de la muraille qui les sépare. Le carneau principal des cellules pénètre par le bas dans la chambre annulaire, de sorte que les gaz doivent passer tout autour et remontent avant d'entrer dans la chambre centrale, du fond de laquelle ils passent à volonté à la chaudière ou au by-pass. La chambre annulaire est en partie occupée par le carneau d'entrée ; le by-pass, le carneau de

la chaudière et un passage de râteau communiquant avec la chambre centrale ; les espaces entre ces obstructions forment des poches dans lesquelles les poussières que pourraient contenir les gaz, par la force centrifuge se déposent. Chacune de ces poches est pourvue d'une porte de nettoyage par laquelle les poussières peuvent être retirées. »

Lord Kelvin ajoute que le prix de la main-d'œuvre ne dépasse pas 0^f,90 à Oldham par tonne d'ordures traitées.

Nous devons à l'obligeance de M. Félix Tasson de pouvoir mettre sous les yeux du lecteur : 1° les plan, coupe et élévation de l'usine d'incinération du Strand Board of Works (Londres), tout récemment achevée,

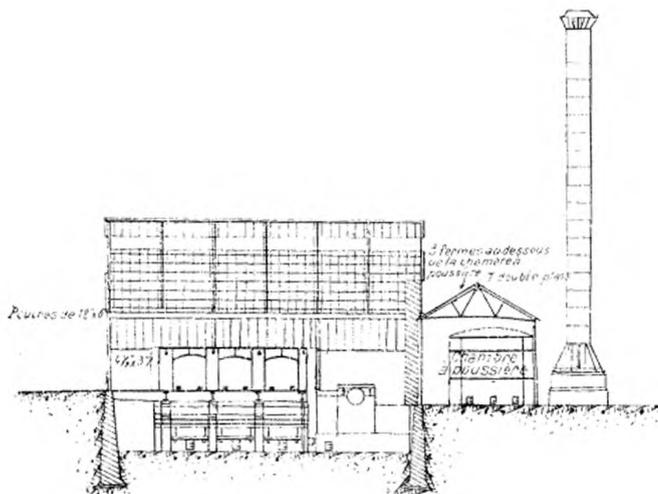


Fig. 277 (c). — Élévation et coupe en long de l'usine à incinération du Strand Board of Works (Londres).

fig. 277. 2° Le plan d'ensemble de l'usine de Fulham (Londres), également toute récente, fig. 278. Elle comprend, outre les douze cellules Horsfall réparties en deux groupes et pouvant brûler 120 tonnes de gadoues par jour, les six chaudières Babcock et Wilcox, placées entre les deux groupes, les machines d'une station d'éclairage électrique, combinée aux destructeurs et les installations pour l'épuration de l'eau d'un puits artésien (par le procédé Clarke et Atkins) : les trois générateurs biphasés ont une puissance de chacun 300 kilowatts, sous 2 800 à 3 000 volts.

Revenons à l'Exposition. On y voyait le modèle de l'usine projetée à Zurich, et nous pouvons, grâce à l'obligeance de M. Peters, en repro-

duire le plan d'ensemble (fig. 279) : par suite de difficultés récemment survenues, la construction n'est pas encore commencée, et la ville semble vouloir construire au préalable un four d'essai pour être bien sûre que ses gadoues brûleront convenablement. L'usine est projetée pour 24 cellules Horsfall, mais on l'exécuterait en deux périodes : la dépense pour la première, comprenant seulement 12 cellules ainsi que les ins-

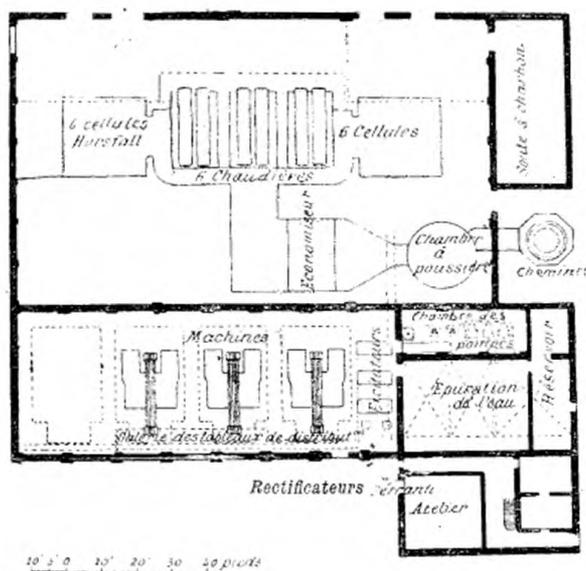


Fig. 278. — Plan général de l'usine d'incinération et d'électricité de Fulham (Londres).

tallations indispensables, est évaluée 983 555 francs (dont déjà 313 012 francs d'acquisition de terrain); la dépense complémentaire à faire pour les douze autres cellules et accessoires serait encore de 428 380 francs. Pour l'usine complète, les frais annuels d'entretien et d'exploitation sont évalués à 199 867^f,40 non compris 96 090^f,50 pour intérêt à 4 0/0 et amortissement du capital), dont il faudrait déduire les recettes évaluées à 151 470 francs (loyers des maisons, vente du clinker et valeur de la force motrice transformée en électricité).

On remarquait surtout les modèles et dessins de l'usine d'incinération de Hambourg, la plus grande du monde. On en trouvera la description complète dans la brochure du regretté Andreas Meyer : die Städtische Verbrennungsanstalt für Abfallstoffe am Bullerdeich, in Hamburg », 2^e édition, 1901; nous en extrayons les fig. 280, 281 et 282, qui, avec la connaissance que nous avons déjà du système Horsfall, per-

mettront de se remettre devant les yeux l'usine entière, le détail des fours, chaudières et machines, enfin l'installation de broyage et criblage des scories.

L'usine est en fonctionnement ininterrompu depuis 1895 et brûlait

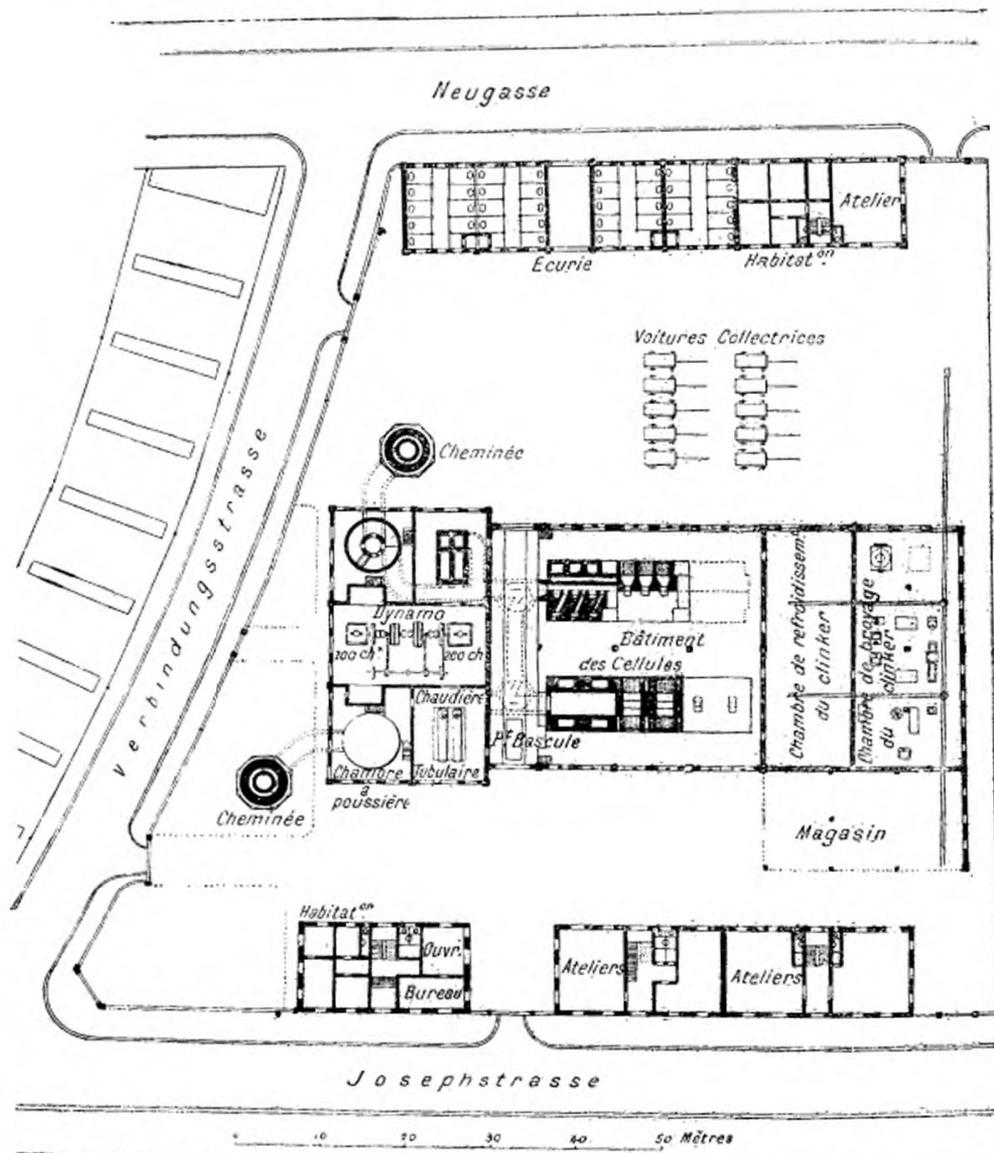


Fig. 279. — Plan général de l'usine d'incinération projetée à Zurich (au Hard).

les gadoues de 312 000 habitants : elle brûle depuis peu de temps celles de 433 000 habitants (sur 698 000 que représente l'agglomération hambourgeoise). Elle contient 36 cellules (par groupes de six) adossées deux

à deux : jusqu'en 1900, 18 cellules seulement étaient en feu. Chaque cellule peut brûler aujourd'hui en moyenne 7 500 kg. d'ordures par

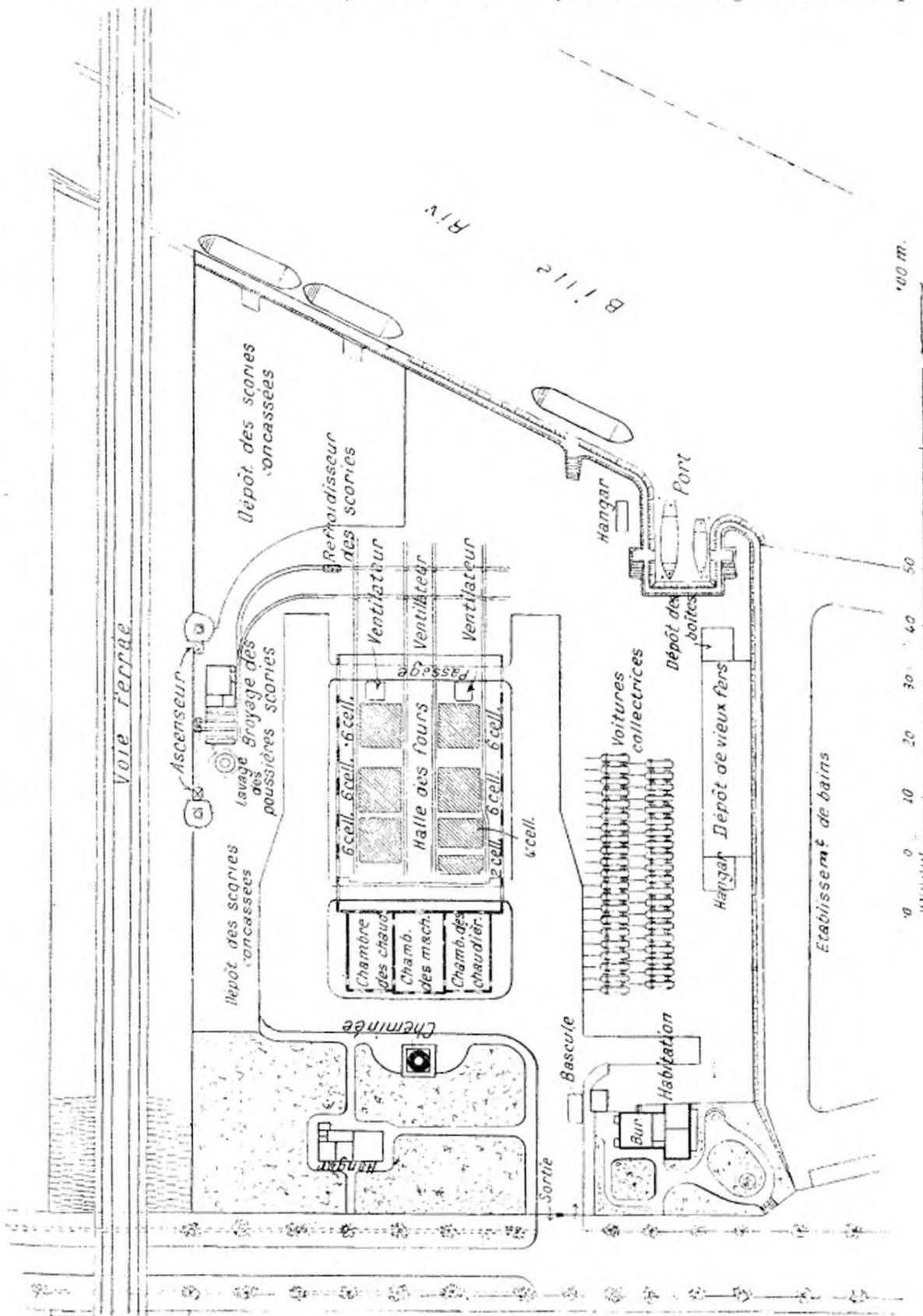


Fig. 280. — Usine d'incinération de Hambourg: plan d'ensemble de l'installation de Bullerdeich.

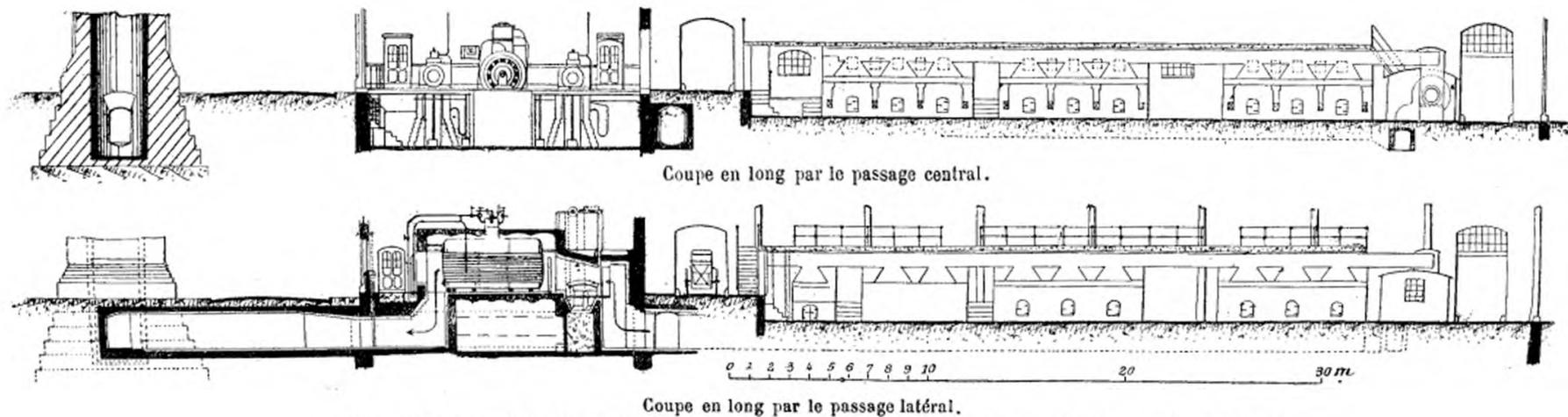
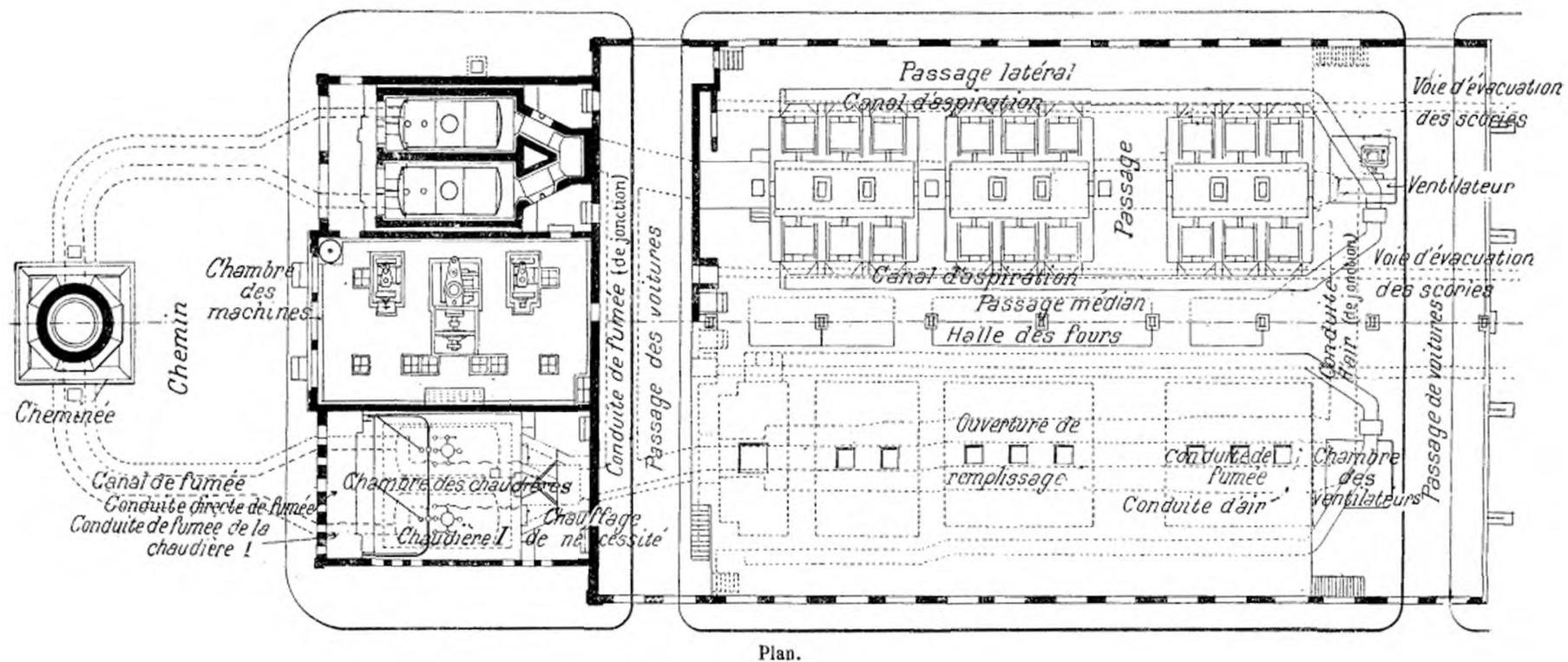
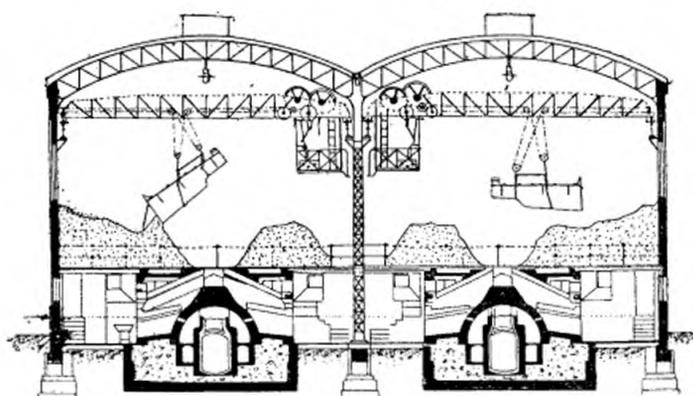
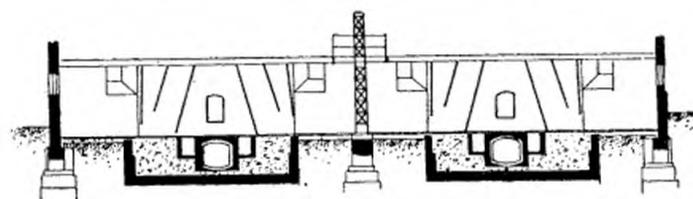


Fig. 281 (a). — Usine d'incinération de Hambourg : plan de détail et coupes des cellules, chaudières et machines.

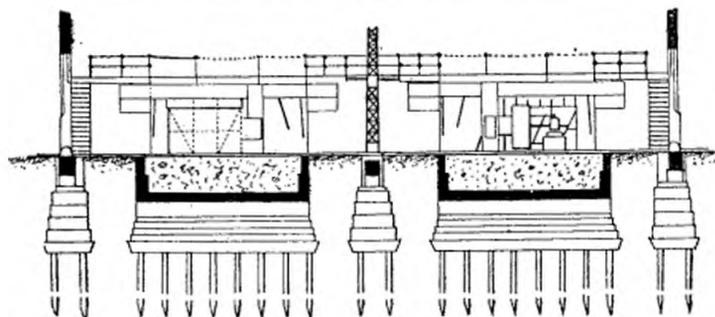
jour, son rendement ayant augmenté progressivement depuis le début.



Coupe en travers par le milieu des cellules.



Coupe en travers par le passage de jonction.



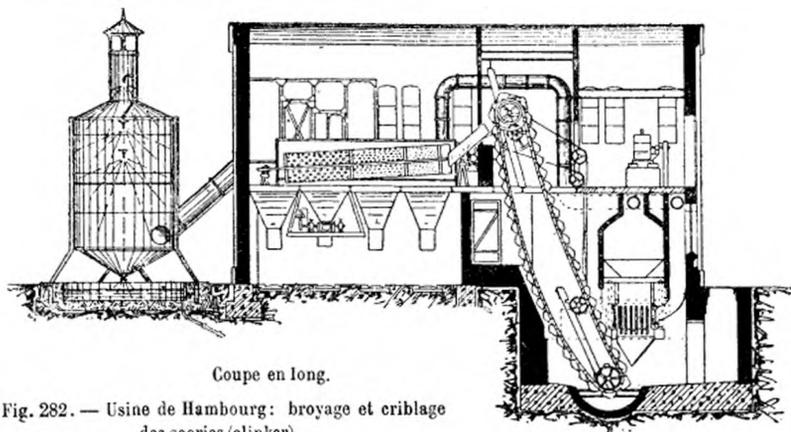
Coupe en travers par le passage d'arrière.

Fig. 281 (b). — Usine d'incinération de Hambourg. — Coupes en travers.

On brûle en général sur une épaisseur de 0^m,70, de manière à bien utiliser l'air insufflé. La température (1) a été prise régulièrement dans le carneau principal, immédiatement en avant des chaudières, au moyen d'un pyromètre en graphite, et trouvée en moyenne de 607°, avec minimum de 450° et maximum de 780°. L'analyse du gaz faite avec l'appareil Orsat, a donné 5 0/0 d'acide carbonique, 15 0/0 d'oxygène et 80 0/0 d'azote.

(1) Les températures mesurées en Angleterre donnent des résultats très discordants, ce qui tient à ce qu'elles n'ont pas été prises aux mêmes points. A l'endroit où on les mesurait à Hambourg le mélange des gaz des cellules est bien réalisé, mais il a déjà pu se produire un certain refroidissement.

Les trois ventilateurs envoient l'air sous une pression de 35 mm d'eau ; ils ont remplacé l'injection de vapeur essayée au début sans grand succès. Le tirage de la cheminée est de 10 à 15 mm. Quant à la force motrice produite, chaque cellule donne environ 162^k,5 de vapeur à six atmosphères par heure, soit 1^{kz},9 de gadoue pour produire 1 kg. de vapeur ; l'usine elle-même absorbe 80 chevaux.

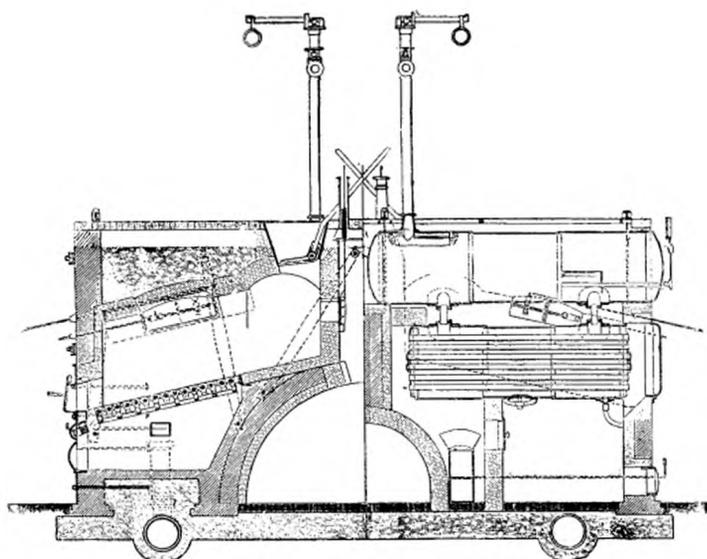


Les résidus solides atteignent 59,5 0/0 du poids de la gadoue dont 11,3 0/0 de cendres et 48,2 0/0 de clinker (schlacken) ; comme le poids des résidus est de 830 kg. par mètre cube, alors que celui de la gadoue n'est que de 550 kg., le volume des résidus n'est que de 40 0/0 du volume de la gadoue. Le clinker est broyé et criblé dans un tambour dont les mailles ont successivement 60 mm, 25 mm et 5 mm d'ouverture : on a environ 16 0/0 de fin, 50 0/0 de moyen et 34 0/0 de gros. On peut employer ces matériaux sur les routes et promenades, ou à faire du mortier etc., etc. ; ils ne contiennent à peu près plus d'azote, mais seulement de 1,3 à 1,4 0/0 d'acide phosphorique et environ 0,7 0/0 de potasse, en sorte que leur valeur comme engrais (4 marks la tonne) ne dépasse guère les frais de transport.

La dépense de premier établissement de cette magnifique usine a été seulement de 310 000 marks, non compris l'acquisition du terrain. Les dépenses d'exploitation ont été en 1900 pour la combustion de 52 820 tonnes de 118 820 marks, dont il faut déduire des recettes se montant à 49 929 marks : il reste une dépense de 0^m,945 par tonne brûlée, ou de 1^m,331 si on y ajoute l'intérêt et l'amortissement du capital. Ajoutons que la collecte et l'amenée d'une tonne de gadoues à l'usine coûte

2^m,031, ce qui fait revenir le débarras d'une tonne par ce procédé au total de 3^m,362 : l'enlèvement par les cultivateurs revient à 3^m,250.

Dans sa brochure, A. Meyer fait connaître également en détail les résultats des essais faits à Hambourg avec la gadoue de différentes villes allemandes. Les ordures ménagères de Berlin, Posen, Magdebourg brûlent très mal : il faut donc être très réservé, pensons-nous, sur la question de savoir si les gadoues d'une ville, non encore mises à l'essai, seront auto-combustibles ou non, et rien ne vaut à ce sujet une épreuve directe soit dans les fours d'une autre ville, soit dans un four d'expérience.



Coupe au travers d'une des quatre cellules. Coupe au travers d'une des deux chaudières.
Fig. 283. — Four Warner, avec ses derniers perfectionnements. (Usine de Torquay.)

Four Warner (Destructor « Perfectus ») Le four Warner a été essayé à Berlin sans plus de succès que le Horsfall (ce qui prouve bien que l'incombustibilité tient à la nature de la gadoue et non au genre de four). Ce four est employé en Angleterre à Hornsey, Bournemouth, Winchester, Royton, Hyde, Govan, Kensington, Newcastle-on-Tyne, Saint-George's, Glasgow, Sheffield, Hartlepool, Birkenhead, Torquay, ainsi qu'à Madras.

La fig. 283 montre des coupes des fours de Torquay (4 cellules dos-à-dos de chacune 29 pieds carrés de surface de grille avec deux chaudières

tubulaires entre elles). Le four est plus long que le Fryer : la sortie des gaz peut se faire à l'arrière ou à l'avant, suivant qu'on veut obtenir une combustion plus rapide ou plus complète avec température moins ou plus élevée, et pour cela les ventilateurs insufflent l'air au sommet de l'entonnoir de chargement, de manière que les gaz se brûlent bien sur la grille. Le carneau principal présente des chicanes pour assurer le dépôt des cendres entraînées. L'installation de Torquay n'a coûté que 6 500 livres sterling : d'après un rapport municipal du 12 janvier 1899, elle brûlerait 32 à 33 tonnes par jour.

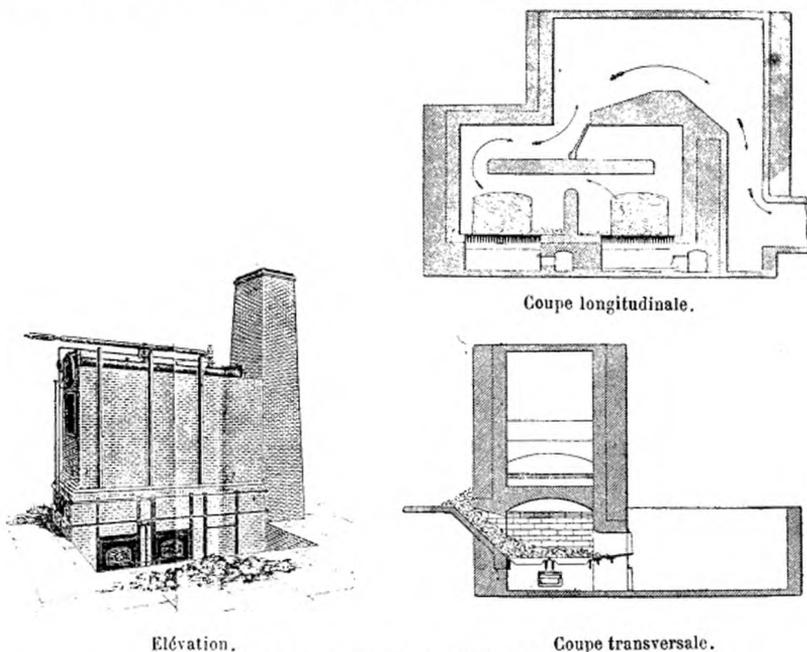
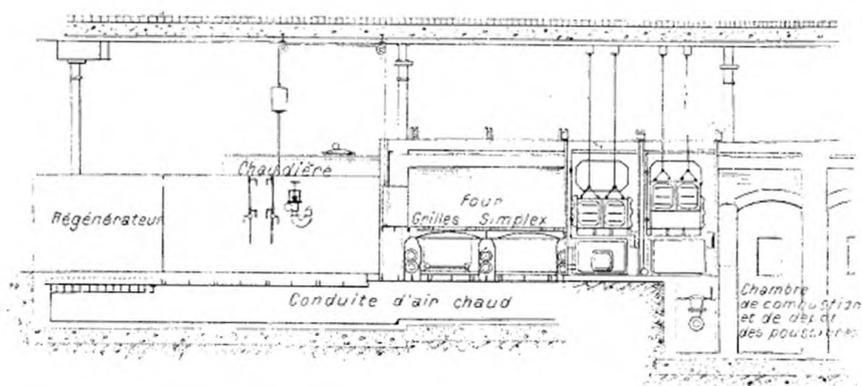


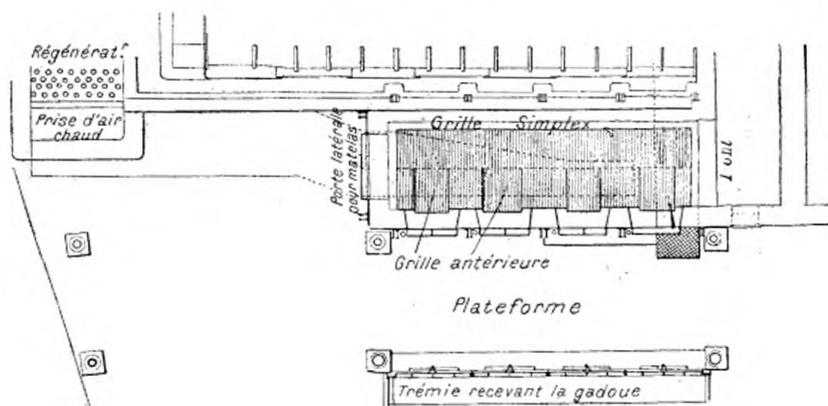
Fig. 284. — Four Heenan : Installation de Farnworth.

Four Heenan. — Installé par son inventeur à Farnworth (deux cellules jumelles accolées), fig. 284, puis adopté par Gloucester. On a évité dans ce four les longs carneaux, et la chaudière est immédiatement à cheval sur les cellules. Celles-ci communiquent entre elles en sorte que, n'étant pas au même point de combustion, les gaz de l'une viennent achever de se brûler dans l'autre et inversement : le clinker est sorti de chaque cellule par une porte spéciale, du côté opposé à la trémie de chargement. On insuffle de l'air à 2 ou 3 pouces de pression sous le cendrier. Le rendement serait élevé, une cellule avec grille de 20 pieds carrés brûlant 7 tonnes $1/2$ par jour.

Four Meldrum. — Après des essais à Salford avec des chaudières des types ordinaires Lancashire, Cornish et Galloway, les frères Meldrum installèrent des fours à brûler les gadoues, en en tirant toute la puissance calorifique possible, à Rochdale, Hereford et tout récemment à Darwen, Blackburn, Nelson, Shipley, Burton-on-Trent, Walker-on-Tyne,



Elévation de front.



Plan.

Fig. 285. — Plan et élévation du four Meldrum.

Grays et Hunstanton; dans plusieurs de ces localités, la station électrique est combinée à l'usine d'incinération. Les inventeurs prétendent pouvoir obtenir 1 livre 1/2 de vapeur par livre d'ordures comburées; il nous semble que cela doit surtout dépendre de la nature des gadoues. Comme toujours, le tirage est activé par insufflation d'air et jet de vapeur; la température atteindrait de 1 000 à 1 100° C.

Ce qui distingue spécialement le système Meldrum (voir fig. 285), c'est

en premier lieu que les grilles sont en quelque sorte continues, les séparations étant formées par des soles peu élevées : on a ainsi un grand foyer, dont les différentes parties sont à des états différents de combustion et se complètent l'une l'autre, le mélange des gaz produits restant à peu près uniforme. En second lieu, on remarque l'adjonction d'un *régénérateur* ou récupérateur de chaleur ; les gaz, après avoir quitté les bouilleurs des chaudières, traversent une série de tubes verticaux avant de se rendre à la cheminée, tandis que les espaces entre ces tubes sont parcourus par de l'air qui s'y chauffe et est ensuite envoyé sous les grilles. Cet air chaud facilite beaucoup la combustion des gadoues humides ou à faible pouvoir comburant. Le chargement des foyers se fait à la main.

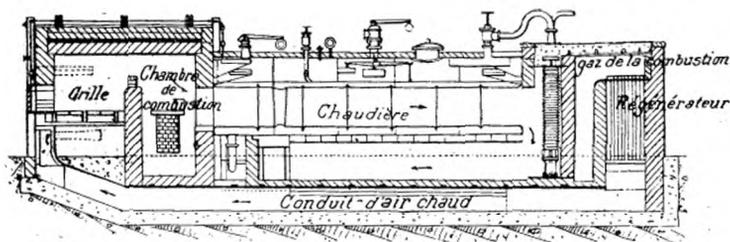


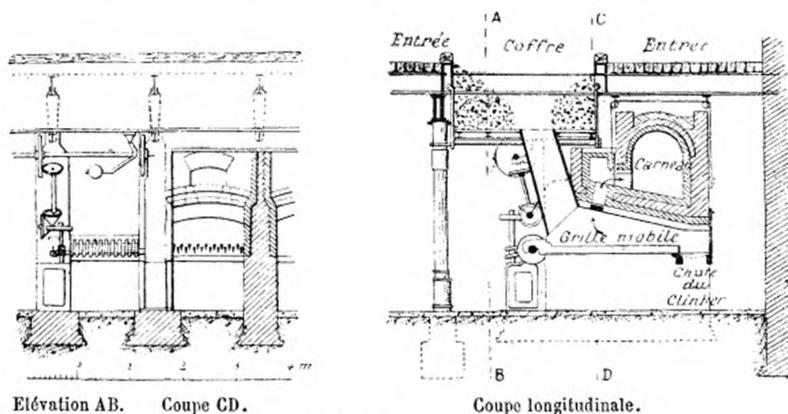
Fig. 286. — Coupe en long du four Meldrum perfectionné, à Hunstanton.

Dans les dernières applications, les frères Meldrum ont encore ajouté un surchauffeur Schwörer; la fig. 286 montre une coupe longitudinale d'une des plus récentes, celle de Hunstanton.

Système Macadam. — Appliquant le principe déjà suivi dans les deux types de fours précédents, c'est-à-dire faisant achever la combustion des gaz d'une cellule en les faisant passer dans le foyer de la cellule voisine incandescente, Macadam propose de conjuguer deux à deux les foyers en conséquence. Les deux foyers conjugués communiquent entre eux par une ouverture toujours libre, tandis qu'ils communiquent chacun avec le carneau évacuateur par une ouverture munie d'un registre; veut-on faire passer les gaz du premier foyer qu'on vient de charger dans le second qui est au rouge vif, on n'a qu'à fermer le registre de communication du premier avec le carneau; plus tard, on fera l'inverse.

Système Whiley (fig. 287). — Avec le système Whiley, nous arrivons aux appareils à grille mobile. C'est un four assez semblable au Horsfall ;

les gaz s'échappent comme dans ce dernier par les orifices de la voûte et viennent se comburer dans une chambre secondaire avant de gagner le carneau. La gadoue tombe par un entonnoir presque vertical sur la



Elévation AB. Coupe CD. Coupe longitudinale.
Fig. 287. — Four Whiley (Manchester).

grille, qui est animée d'un mouvement automatique faisant avancer lentement les matières vers l'avant où est la fosse à clinker. Le système est appliqué à Manchester (Water Street) et on en est content, bien que la machinerie qui donne le mouvement à la grille ait besoin de réparations fréquentes.

Système Willoughby. — Ce système très ingénieux est appliqué depuis 1897 à Lewisham ⁽¹⁾ et y détruit 72 tonnes par jour ; mais on brûle du coke ou du charbon (pour 12 L. st., 14 sh de coke pour brûler 330 tonnes). La fig. 288 le fait comprendre facilement.

La gadoue, déversée sur une plateforme tournante qui peut en contenir 50 tonnes, descend au moment voulu dans l'entonnoir qui la conduit à l'origine du grand tube tournant métallique (revêtu intérieurement de briques réfractaires). A la même extrémité du tube entrent les gaz très chauds (1 000 °C) d'un foyer où on brûle du charbon ou du coke: le tube est légèrement incliné et le mouvement de rotation fait progresser les matières jusqu'à ce que les résidus tombent dans une fosse placée à son extrémité inférieure. Les gaz passent ensuite sur un deuxième foyer qui achève de les comburer, puis autour des chaudières et enfin au travers d'une pluie fine (water curtain, rideau de pluie) qui a

(1) Voir le n° du 17 septembre 1897 de l'Engineer.

pour but de les laver et de retenir les fines poussières : c'est ainsi un appareil fumivore. Quant au clinker, il est repris dans la fosse par un élévateur et tamisé.

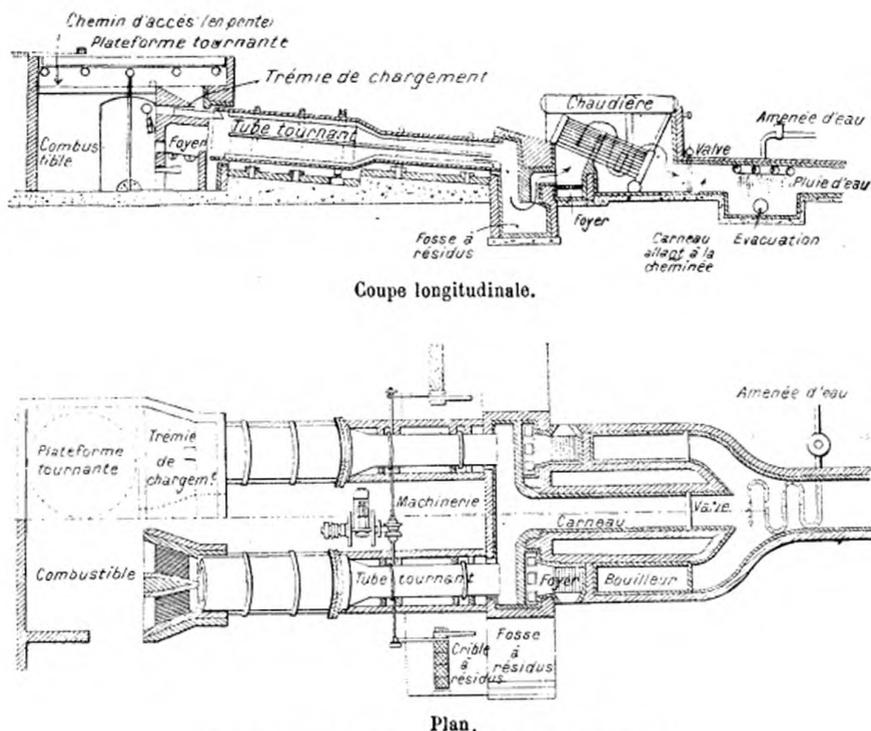


Fig. 288. — Destructeur Willoughby (à Lewisham).

Four Thackeray.— Le four Thackeray, employé d'abord à Montréal vient de l'être aussi à San-Francisco : c'est un four à cellules conoïdes (fig. 289), inclinées, avec grilles à barreaux mobiles, et à insufflation d'air. Voici la description que les *Annales des Travaux publics de Belgique* (année 1900) donnent de l'installation de San-Francisco :

« La Société à laquelle la ville a concédé la destruction de son garbage à installé une usine comportant trente-deux fours, du système *Thackeray*, employé à Montréal. Chacun de ces fours mesure une surface de grille de 2^m,45 sur 3^m,65 et peut brûler, en moyenne, trois charges de 11 tonnes par vingt-quatre heures.

La manutention des ordures à l'intérieur de l'usine a été rendue aussi simple que possible : les voitures ont accès, par rampes, à l'étage situé au-dessus des fours et où se trouvent les ouvertures des trémies

servant à l'alimentation de ceux-ci. Les ordures sont poussées à bras d'homme dans la trémie à charger; pendant cette opération, un ouvrier posté à l'étage inférieur à l'entrée du four surveille et dirige l'arrivée des matières; on poursuit l'opération jusqu'à ce que le four et la trémie soient remplis; ils contiennent alors 11 tonnes. La combustion se poursuit jusqu'à incinération complète de cette charge, ce qui nécessite de quatre à huit heures; quand elle est terminée, on enlève les résidus, en ayant soin de laisser quelques scories pour l'allumage de la charge suivante, et l'on recommence l'opération. A noter que les ordures brûlent d'elles-mêmes, sans qu'il soit nécessaire de les sécher, ni d'y ajouter aucune espèce de combustible; elles sont enfournées telles qu'elles arrivent à l'usine.

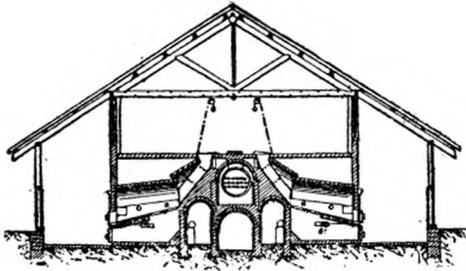


Fig. 289. — Section des fours Thackeray (San-Francisco).

Le tirage naturel, assuré par une cheminée unique de 80 mètres de hauteur, suffit à assurer le bon fonctionnement des fours. La quantité moyenne d'ordures livrées à l'usine et brûlées quotidiennement est d'environ 500 m³ ou 265 tonnes; on ne charge les fours que le jour; la charge du soir, qui brûle toute la nuit est enlevée le matin à la reprise du travail. Le rendement de l'usine pourrait donc être considérablement augmenté.

Au point de vue financier, l'opération se présente dans des conditions satisfaisantes: la société perçoit, à charge des habitants, une taxe de fr. 1,33 par mètre cube d'ordures enlevées; elle a, par contre, payé à la ville une somme de 12 550 francs; elle doit lui verser, en outre 2 0/0 de recettes brutes pendant les quinze premières années du contrat et 5 0/0 pendant les trente-cinq années suivantes. L'entreprise rapporte donc à la ville, au lieu d'être une charge pour elle.

L'usine a coûté 375 000 francs; les dépenses de personnel et d'exploitation se chiffrent journellement par 200 francs environ; il semble

donc que la société doit faire largement ses frais. Elle cherche d'ailleurs à améliorer encore la situation, en utilisant les produits de la combustion : des essais sont en cours en vue d'employer les scories dans la fabrication des briques et les cendres en qualité d'engrais.

On avait aussi songé à utiliser la chaleur dégagée pour chauffer des chaudières et produire de la vapeur. Mais le fait que l'installation réalisée à cet effet n'est pas utilisée, donne à penser que l'essai n'a pas réussi.

En ne tablant que sur les dépenses d'exploitation, l'incinération d'un mètre cube d'ordure revient à fr. 0,40. »

Four de Philadelphie.— A Philadelphie on emploie à la fois l'incinération et le procédé Arnold (voir plus loin). Nous emprunterons les descriptions et les figures à l'article de M. Livache (*Bulletin de la Société d'Encouragement*) :

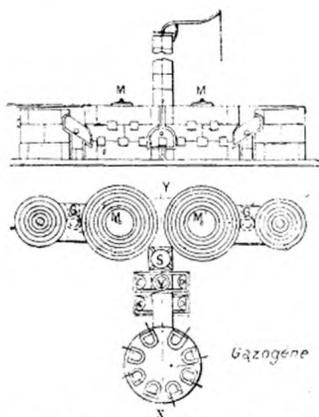


Fig. 290 (a). — Elévation et plan du four de Philadelphie.

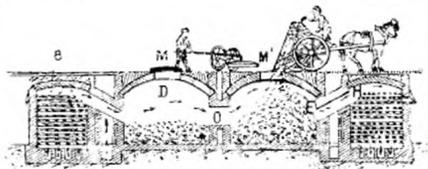


Fig. 290 (b). — Four de Philadelphie : Coupe verticale par les crémateurs.

« Les deux usines de la Philadelphia Incinerating C^o, traitent en moyenne 400 tonnes de garbage par jour. Chaque usine comprend quatre crémateurs à récupérateurs de chaleur, et, au centre, un gazogène destiné à envoyer dans les crémateurs des gaz combustibles permettant

d'arriver à une incinération complète ; ces gaz combustibles sont obtenus en injectant de la vapeur d'eau sur du charbon incandescent : c'est ce qu'on appelle du gaz à l'eau.

Chaque crémateur se compose (fig. 290) de deux chambres de combustion D et E accolées, communiquant avec les récupérateurs de chaleur A B et H K, et fonctionnant alternativement suivant la température des récupérateurs.

Le tout est construit en briques réfractaires d'excellente qualité et entouré d'une épaisse armature en tôle ; des regards, faciles à ouvrir,

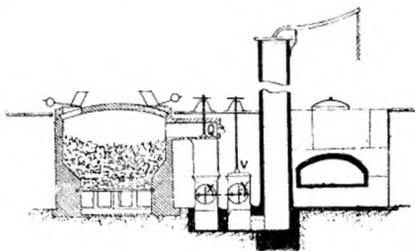


Fig. 290 (c). — Four de Philadelphie: Coupe verticale XY, par le gazogène.

permettent de toujours surveiller l'opération en marche, et des portes donnent issue aux cendres du garbage. En outre, les orifices de chargement M étant au niveau du sol, on peut circuler autour des appareils placés dans un vaste sous-sol et surveiller constamment leur état ; de plus, cette disposition rend les réparations très faciles. Les gaz de l'un des récupérateurs B, par exemple, traversent le four D, encore rempli des cendres du garbage qui a été antérieurement traité, et débouchent par O dans le second four E où l'on déverse le garbage frais. Grâce à la haute température qui existe, ce garbage brûle complètement, et les gaz résultant de la combustion, après avoir traversé le second récupérateur F H de chaleur, et lui avoir cédé la majeure partie de leur calorique, sont envoyés en K dans une cheminée en tôle de 26 m. de hauteur.

Lorsque l'on juge que la température du premier récupérateur de chaleur devient insuffisante, on renverse, par un simple jeu de valve *v x y q* (fig. 290, c) le sens du courant gazeux, et l'on utilise la chaleur emmagasinée par le second récupérateur, en même temps que le chargement du garbage frais s'effectue dans l'autre chambre de combustion.

Dans la plupart des essais d'incinération qui avaient été faits antérieurement, on cherchait à utiliser la chaleur produite par la combustion

du garbage seul, et, en général, on n'obtenait qu'une combustion superficielle. Ici, au contraire, grâce à l'adjonction de ce gaz à l'eau qui, par suite de sa richesse en hydrogène, produit en brûlant une température très élevée, on fournit la quantité de chaleur indispensable pour l'incinération complète du garbage.

La partie inférieure des chambres de combustion étant étanche et constituée par une épaisse plaque de fer, on peut, au besoin, évaporer et détruire des substances très humides. On a même été jusqu'à traiter dans certains cas des matières de vidange.

Chaque crémateur reçoit 50 tonnes environ de garbage par jour. Les voitures qui l'ont collecté dans la ville viennent se placer devant l'ouverture d'une des chambres de combustion ; à ce moment, on arrête l'arrivée du mélange de gaz combustible et d'air, on ouvre le tampon M, et la voiture, en basculant, laisse tomber dans la chambre toute sa charge, qui ne subit aucun triage ; on remet rapidement le tampon, on donne accès au mélange gazeux, et la combustion commence aussitôt.

Lorsque les proportions du mélange de gaz et d'air sont bien réglées, on constate que, même au moment du chargement, on ne perçoit aucune mauvaise odeur et qu'il ne se dégage pas de fumée par la cheminée.

C'est, du reste, l'adjonction d'un gazogène produisant du gaz à l'eau susceptible de donner, en brûlant, une très haute température et de pouvoir être envoyé en quantité proportionnelle à celle des éléments odorants devant être dénaturés, qui constitue l'originalité et l'avantage de ce mode d'incinération ; elle n'entraîne, d'ailleurs, qu'une augmentation assez faible de dépenses.

La dépense de combustible s'élève, pour le gazogène, à neuf tonnes par jour. Les frais d'incinération d'une tonne de garbage qui, par les méthodes ordinaires, sont généralement comptées à 1^f 23, s'élèveraient donc à 1^f 55 environ.

Le garbage fournit 5 0/0 d'une cendre assez friable, qui, par suite de sa teneur en phosphate, a pu se vendre pour l'agriculture jusqu'à 12^f 75 la tonne. Cependant le placement en est assez limité, et on n'a pas encore trouvé une utilisation continue.»

Autres systèmes.— Il faudrait encore citer les fours Young (de Glasgow), Haeley, Mackay (celui-ci emploie de la houille), Toisoul et Fradet (de Paris), Defosse et Hélouis (Defosse lave les fumées provenant du brûlage de la gadoue, et Hélouis utilise en outre la chaleur produite pour sécher les matières amenées automatiquement au foyer).— Au

Congrès International de Médecine de Paris (1900), le D^r Lavagna (de Monaco) a proposé un four qu'il dénomme *torréfacteur brûleur d'ordures* et auquel il attribue tous les avantages des autres systèmes : il y a une dessiccation des matières avant leur arrivée sur la grille, des insufflations d'air surchauffé par des récupérateurs, enfin des chaudières d'une construction spéciale (outre le corps de la chaudière, il y a des lames creuses plongeant perpendiculairement au-dessus de la flamme, reliées à la chaudière par des soudures étanches et réunies entre elles par des tubes en fer servant à l'alimentation).— Enfin, il faut encore citer les essais faits à Chicago, où on a brûlé la gadoue en masse dans

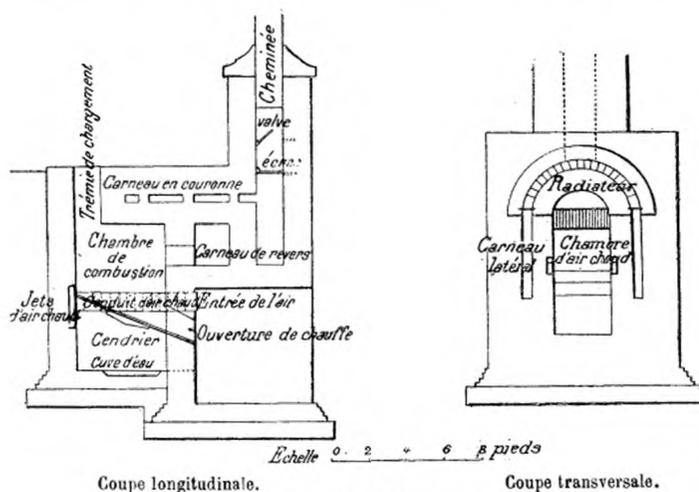


Fig. 291. — Petit four incinérateur de Ball.

des wagons métalliques qu'on faisait entrer sous une galerie voûtée de briques réfractaires, portée à une très haute température par un mélange de pétrole brut et d'air comprimé (la Société Anderson a traité ainsi 300 tonnes de gadoues en un jour).

Petits appareils incinérateurs ou crémateurs. — Pour les petites villes, les établissements isolés tels que casernes, hôpitaux, abattoirs, etc, on construit des fours incinérateurs, qui doivent en même temps (surtout dans les hôpitaux et abattoirs) jouer le rôle de crémateurs, pour les débris animaux, déchets de viande, etc. Il est clair qu'il ne s'agit plus ici d'auto-combustion. Nous citerons comme modèles de ce genre d'appareils 1° le four de Ball (Southwold) dont la fig. 291 fait voir

les coupes en long et en travers et qui ne coûte que 150 livres tout compris; 2° les fours de la maison Kori, de Berlin. Un article du *Gesundheits Ingenieur* (31 décembre 1900) a décrit ces appareils qui ont

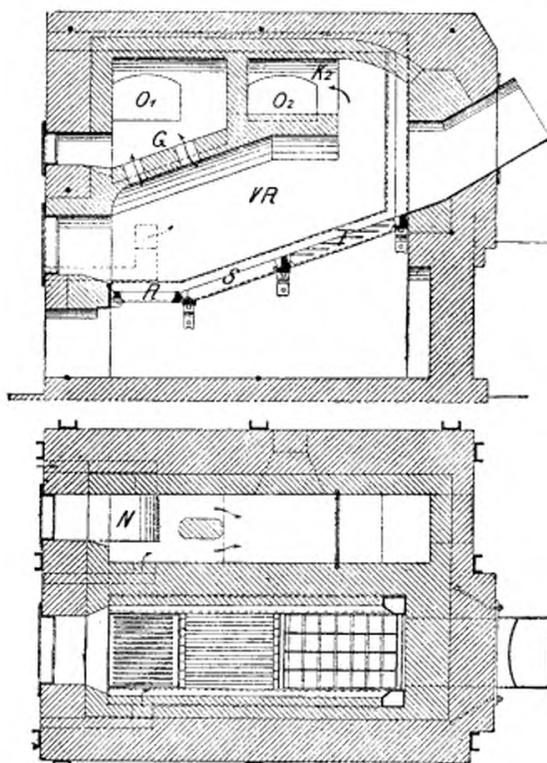


Fig. 292. — Petit four Kori pour gadoues, balayures, etc. (Asile d'aliénés de Nietleben).

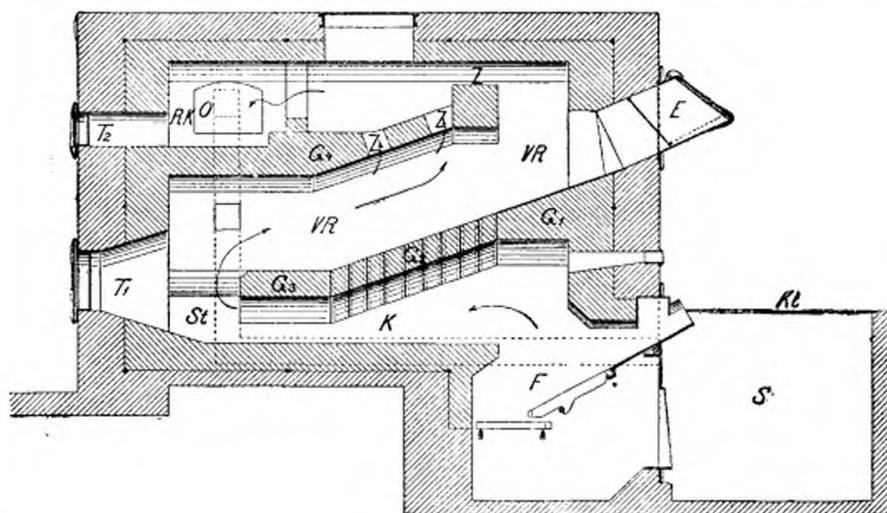


Fig. 293. — Four crématoire Kori pour hopitaux (Hopitaux de Vienne, Berlin, etc.).
F, Grille. — S, Chambre de tisonnage. — E, Ouverture de chargement des matières. — G₁, G₂, G₃, Voûte perforée sur laquelle se dessèchent les matières. — VR, Chambre de dessiccation et de combustion. — G₄ Seconde voûte au-dessus de cette chambre. — Z, Z, Z, Echappement de gaz vers le carneau O. — T₁, T₂ Ouverture de contrôle et de manœuvre.

reçu de nombreuses applications : à titre d'exemple, nous en montrons trois : fig. 292, petit four pour ordures ménagères, balayures, etc; fig. 293, four pour hôpitaux (effets contaminés, pansements, débris d'opérations etc.); fig 293 bis, four pour grand abattoir. 3° les fours que la maison Jules Le Blanc vient d'installer dans les hôpitaux Bretonneau et Trousseau à Paris : comme le montre la fig. 294, ils sont à trois dalles rétractaires superposées, ce qui assure une combustion complète.

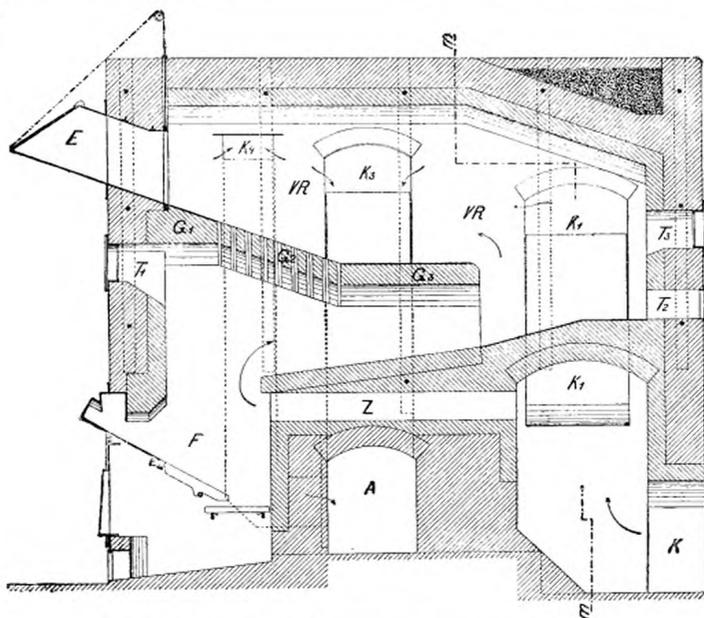


Fig. 293 bis. — Four crémateur Kori pour grand abattoir.
(Abattoirs de Stralsund et de Saint-Pétersbourg).

A, Carneau. — F, Grille. — E, Ouverture de chargement des matières. — K, Entrée de l'air comburant. — K₁, K₂, K₃, Trajet de l'air comburant. — G₁, G₂, G₃, Voûte perforée. — VR, Chambre de dessiccation et de combustion.

Coût et produit de l'incinération. — Pour en finir avec l'incinération, nous demandons encore la permission de citer une page du rapport de M. Hudelo :

« *Utilisation des produits de l'incinération.* — Le résidu solide peut, lorsqu'il est vitrifié, servir à constituer des dalles pour pavage ou des matériaux de construction ; s'il est broyé, on peut, en y ajoutant de la chaux, constituer un ciment dont la qualité peut paraître douteuse.

Les produits gazeux de combustion sont employés pour produire de la vapeur qui peut servir à différents usages.

D'après Dougias Fox, une usine ayant brûlé plus de 6 000 tonnes de gadoue aurait produit plus de 4 000 000 de kilowatts-heure, soit 166 kilowatts-heure par tonne.

M. Lauriol indique, d'après les renseignements particuliers qu'il a reçus, 60 kilowatts-heure par tonne de gadoue brûlée en Angleterre; ce chiffre paraît le plus probable (1).

De ses expériences il a déduit que pour la gadoue parisienne, la production d'énergie est de 30 kilowatts-heure par tonne et peut se réduire à 15 kilowatts-heure pour les gadoues très humides comme celles des Halles. Il estime d'autre part que l'ensemble des services intérieurs de l'usine d'incinération emprunte 10 kilowatts-heure par tonne de gadoue brûlée, ce qui réduit la partie utilisable à 50 kilowatts-heure pour le *refuse* anglais, 20 kilowatts-heure pour la gadoue parisienne et, dans le cas le plus défavorable, 5 kilowatts-heure seulement.

A Paris, le poids de gadoue par an et par habitant est sensiblement 0,25 soit par 2 600 000 habitants 650 000 tonnes pouvant fournir par jour 35 600 kilowatts-heure ou 1 483 kilowatts-heure en une heure, ce qui correspond à 2017 chevaux de force.

Prix de revient de l'incinération.— Il est variable suivant la nature de la gadoue et celle du fourneau; c'est ainsi que pour les fours Thackeray (Montréal), la dépense s'élève à 1^f 60 par tonne de gadoue brûlée; pour les fours Mackay (Yonkers, États-Unis), employant un excès de combustible, la dépense s'élève à deux ou trois francs par tonne.

A Philadelphie, dans les fours à régénérateur de vapeur et gazogène, dans lequel on consomme 9 tonnes de charbon pour 100 tonnes de *garbage* brûlé, le coût serait de 1^f 35 par tonne.

Avec le four Georges Law (type Warner à Newcastle-on-Tyne, Angleterre), on dépenserait 1^f 25 par tonne.

Dans les expériences de M. Petsche, celui-ci estime la dépense à Paris à 6^f 70 pour la gadoue non criblée et 3^f 60 pour la gadoue criblée.

D'après les expériences plus récentes de M. Lauriol, une usine traitant 200 tonnes coûterait 700 000 francs.

(1) Cependant les résultats de l'usine de Saint-Hélens, donnés dans un rapport du Congrès de Glasgow (septembre 1901) n'indiquent que 365058 kilowatts-heure pour 9780 t de gadoues brûlées, soit 37^{kwh},3 par t, chiffre un peu inférieur à celui d'Oldham. Les frais d'incinération ont été de 2^f,90 par t, dont 0^f,30 pour l'entretien de l'usine et 0^f,55 pour l'enlèvement du clinker.

Dans les conditions les plus défavorables, répondant à un maximum de dépense, sans utilisation des sous-produits, la matière étant directement incinérée, le coût, intérêts et amortissement compris, serait de 3^f 15 la tonne ; dans le cas le plus favorable, celui d'une dépense minimum, avec utilisation des sous-produits et criblage préalable de la substance, le coût serait réduit à rien et pourrait même donner un bénéfice de 1^f 15 par tonne.

Quoi qu'il en soit, il est raisonnable de penser que le coût de l'incinération restera plus cher à Paris qu'en Angleterre ou en Amérique, à cause de la moindre qualité combustible des ordures. »

4° *Fusion*. — Schneider (Dresde) et Wegener (Berlin) ont proposé, non plus une simple incinération des gadoues, mais une fusion complète. Des expériences, dont on fit grand bruit, mais qui ont donné un bien piteux résultat, eurent lieu à Berlin du 4 mai au 6 juin 1899 (avec la gadoue de Berlin et celle de Dortmund) dans le *Müllschmelzofen* de Wegener. On obtint des températures de 1 200 à 1 400°, et des coulées de *laitier de gadoue*, mais au prix d'une addition de beaucoup de charbon : pour traiter 597 754 kg. de gadoues, on ajouta 301 283 kg. de houille, soit 50 0/0 et on obtint 282 193 kg. de résidu peu utilisable. Le fourneau, sous ces hautes températures, subit des avaries. Le prix de revient atteignit 17 marks par tonne. Ce prix est assez éloquent pour condamner le système.

5° *Distillation, traitement par la vapeur, etc.*

Distillation. — Weil et Posno proposèrent de distiller la gadoue en vases clos. Des essais furent faits par la ville de Paris et montrèrent qu'à 800 ou 900°, on obtient un résidu solide (40 0/0 du poids primitif), d'une teneur faible en carbone et en azote, formant un mauvais engrais et un détestable combustible. On obtient d'autre part des eaux ammoniacales (le traitement en serait coûteux) et des gaz combustibles, mais dont le pouvoir calorifique n'est pas suffisant pour alimenter l'appareil distillateur : l'addition de houille rend dès lors le procédé bien onéreux, et il ne s'est pas répandu.

Tout récemment, Bujard a essayé de distiller les ordures de Stuttgart dans des cornues. En quatre heures, la tonne de gadoue donnait un peu plus de 100 m³ d'un gaz éclairant (de 2 800 calories comme pouvoir calorifique au mètre cube) composé de 43 0/0 d'oxyde de carbone, 19 0/0 d'hydrogène, 6,5 0/0 de méthane et d'éthylène, 20 0/0 d'acide car-

bonique et 10 0/0 d'azote. On trouve dans la cornue un résidu de 630 kg. par tonne. Ce résultat est peu encourageant.

En Angleterre, *Mason* a imaginé un appareil distillateur (gasifier) dont la fig. 295 montre une application à une cellule pour le Moss Side Urban District Council : on peut facilement accoler plusieurs cellules. Comme on le voit, la cellule installée au-dessus d'une cuve pleine d'eau que l'on ferme hermétiquement par le bas, renferme une double grille inclinée, qui en fait une combinaison mixte intermédiaire entre un fourneau et une cornue. Il faut que l'air soit réglé de manière à ce que la température nes'élève pas trop dans la cellule (400° C.) et ce n'est que

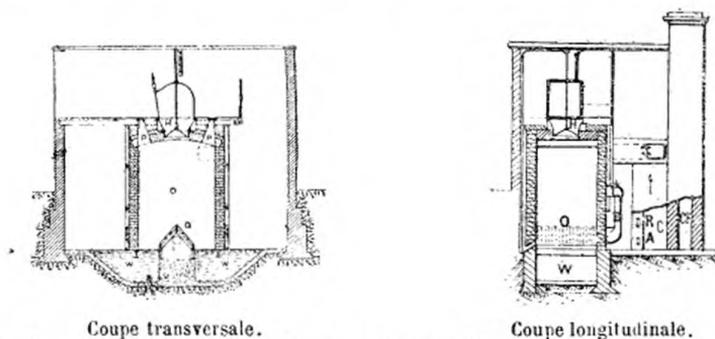


Fig. 295. — Appareil distillateur Mason : Installation d'une cellule du Moss Side Urban District Council.

dans la chambre de combustion que les gaz dégagés doivent brûler grâce à une nouvelle injection d'air (900° C.). Avec une cellule de sept pieds de côté, on brûle 8 t par jour. Les gaz analysés au sortir de la cellule donnaient 10 0/0 de CO, 13 0/0 de CO², 2,4 0/0 d'oxygène, 4,6 0/0 de C²H⁴, 13,6 0/0 d'hydrogène et 59,2 0/0 d'azote : à la base de la cheminée, c'est-à-dire après le passage dans la chambre de combustion, il n'y avait plus que 1,9 0/0 de CO, 1,3 0/0 de C²H⁴ et 20/0 de H. On peut, naturellement, utiliser la chaleur produite à obtenir de la vapeur.

Procédé de Bonardi. — Dans ce système, la gadoue subit d'abord un triage soigné à la main, puis un criblage mécanique : les poussières sont desséchées et stérilisées, puis vendues comme engrais. Le résidu est de son côté introduit dans un long carneau et distillé par des gaz chauds privés d'oxygène, qui favorisent la transformation de l'azote en ammoniacque ; enfin, les matières ainsi desséchées et carbonisées tombent dans un foyer à haute température où s'achève leur combustion. On stérilise ainsi toutes les parties de la gadoue et on en extrait l'azote sous forme de sulfate d'ammoniacque, en sorte qu'on ne perdrait rien de son

pouvoir fertilisant. Malgré ces avantages, nous ne connaissons pas d'application en grand.

Procédé Simonin. — Aux Etats-Unis, les gadoues contiennent beaucoup de graisse qu'on a intérêt à extraire. *Simonin* proposa le premier de traiter le garbage trié et criblé (pour en séparer les cendres et objets grossiers) par la benzine ou le naphte afin de retirer les graisses : on sèche ensuite la masse qu'on broie et vend comme engrais. Le procédé *Simonin* fut employé à Cincinnati et à la Nouvelle-Orléans.

Procédé Merz. — Il dérive du précédent et est assez répandu : Buffalo, Saint-Louis, Détroit, Milwaukee, etc. Après un triage, les matières passent dans les *dessiccateurs*, cylindres horizontaux (fig. 296) à double fond de vapeur dans lesquels elle sont chauffées et brassées mécaniquement par des arbres rotatifs munis de bras en fonte. Les gaz qui

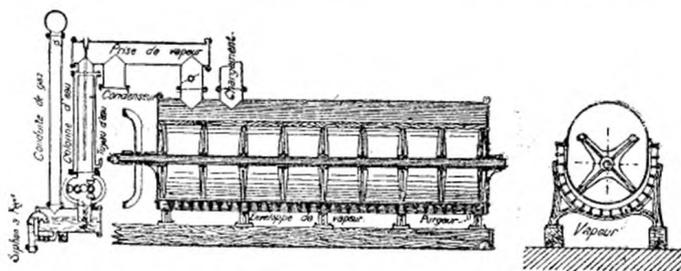


Fig. 296. — Dessiccateur mécanique, système Merz.

s'échappent des cylindres sont lavés dans un condenseur à eau pulvérisée (l'eau ne contient guère que des produits nitrés), puis vont au foyer des chaudières. Au sortir des dessiccateurs, les matières sont mises dans les *extracteurs*, cylindres verticaux chauffés par une enveloppe de vapeur dans lesquels on fait circuler un courant de naphte : le liquide gras qui en résulte est envoyé dans un vaporisateur qui restitue le naphte et donne la graisse. Le contenu des extracteurs est ensuite criblé, le résidu du crible broyé, puis criblé à nouveau, et le tout vendu comme engrais.

Procédé Sincholle et Echenoz. — C'est un dérivé du procédé Merz, qu'on cherche à rendre moins coûteux. Pour faire une économie de vapeur, les auteurs proposaient de pressurer d'abord la gadoue (après triage) aux presses hydrauliques pour en extraire l'eau : les gâteaux se-

raient ensuite séchés, puis broyés et utilisés comme engrais, pendant que les gaz de la torréfaction seraient lavés, puis brûlés — Pas d'application pratique connue.

Traitement par la vapeur sous pression. — Procédé Arnold. — Le procédé Arnold, dont on a beaucoup parlé, diffère du procédé Merz par la suppression de l'emploi du naphte et par l'interversion des opérations, la dessiccation ne se faisant qu'après l'extraction de la graisse. En voici une description empruntée à l'article de M. Livache, déjà cité :

« *Traitement par la vapeur d'eau sous pression. —* Le principe est le suivant : soumettre, dans des digesteurs clos, le garbage vert à l'action de la vapeur d'eau sous pression ; écouler, après condensation de la vapeur, l'eau qui entraîne, sous forme d'une véritable émulsion, toute la matière grasse contenue dans le garbage ; soumettre le garbage ayant subi cette action, à l'action de la presse ; enfin, dessécher le résidu, qui est très friable, et qui a conservé la plus grande partie des matières fertilisantes contenues dans le garbage vert.

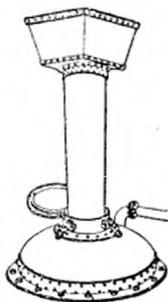


Fig. 297. — Procédé Arnold. Trémie.

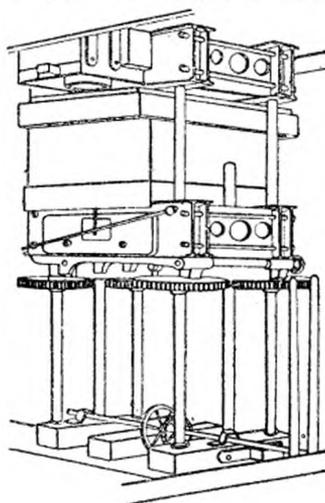


Fig. 298. — Presse du procédé Arnold.

C'est à cause de la récupération de la matière grasse et de la transformation du garbage vert en une matière sèche, susceptible de se conserver aussi longtemps qu'on voudra, réduite à un faible volume et contenant la majeure partie des matières utiles, que ce procédé doit attirer toute l'attention.

L'usine comprend 20 digesteurs de grande capacité ayant un diamètre de 1^m,60 et une hauteur de 5 m, recevant 9^t,5 de garbage

vert par opération, construits en tôle d'acier mesurant 1^m,6 d'épaisseur ; ils sont formés au moyen de couvercles avec joints en plomb, serrés par un fort collier à vis. Une porte, placée à la partie inférieure du cylindre, permet, au besoin, de décharger le garbage cuit.

Le garbage collecté dans la ville est versé à un endroit spécial, d'où les ouvriers le poussent dans un couloir ; une série de plateaux ou de godets, mus au moyen d'une chaîne sans fin, le portent à la partie supérieure du bâtiment renfermant les digesteurs, d'où il est distribué automatiquement au moyen d'une trémie à manche (fig. 297) venant se placer successivement au-dessus de l'orifice de chaque digesteur. Des ouvriers, placés à l'entrée du couloir où s'engage le garbage, se bornent à faire un triage grossier des objets susceptibles d'être vendus avantageusement ou de dimensions trop grandes pour entrer directement dans les digesteurs.

Lorsque le couvercle des digesteurs a été solidement assujéti, on y envoie de la vapeur à 4^{atm},5, correspondant à une température de 155° C., et on maintient cette température pendant cinq à sept heures. Dans ces conditions, les matières animales et végétales subissent une modification profonde ; certaines substances animales sont en partie solubilisées ; les matières albuminoïdes sont coagulées ; les matières sucrées subissent un commencement de caramélisation ; enfin, les matières grasses qui, à cette pression, ne subissent pas encore de décomposition, sont entraînées par l'eau provenant de la condensation de la vapeur. L'opération se fait sans donner lieu à aucun dégagement gazeux.

Lorsque l'on juge l'opération terminée, on laisse la vapeur se condenser, en envoyant au besoin les buées odorantes dans un cylindre où elles se condensent, grâce à l'injection d'eau froide ; et, au moyen d'une manette, on ouvre la partie inférieure du digesteur qui débouche dans un vaste récipient, sorte de caisse pouvant contenir jusqu'à 250 t. de garbage cuit.

L'eau de condensation qui, par un faux-fond, s'écoule en grande partie et avant toute pression du garbage cuit, entraîne la matière grasse et est dirigée dans des cuves de dépôt placées au-dessous du sol. Lorsque l'égouttage est complet, le garbage cuit est pris à la pelle, soumis à l'action de fortes presses (fig. 298) et le liquide en provenant, qui contient encore de la matière grasse, est également dirigé dans les cuves de dépôt. L'atelier comprend huit presses. Le produit solide, au sortir des presses, est envoyé dans des séchoirs constitués par de vastes

cylindres à enveloppe de vapeur ne mesurant pas moins de 15 m de longueur sur 0^m,50 de diamètre. Un agitateur à palettes force la matière à parcourir le cylindre d'une extrémité à l'autre ; il fait 200 révolutions à la minute ; un aspirateur envoie les vapeurs dans un appareil de condensation.

La masse, ainsi constamment agitée, sort en ayant perdu toute trace d'humidité ; elle est alors envoyée dans des broyeurs, puis sur des tamis, qui séparent d'abord les chiffons, les rognures d'étoffe et ensuite une partie grossière que l'on mélange au charbon servant à chauffer les générateurs ; finalement, on obtient le garbage sec, amené à l'état de poudre fine, présentant l'apparence ordinaire des matières organiques soumises à la torréfaction et ne dégageant aucune odeur.

Cette partie fine est désignée sous le nom de tankage et constitue environ 12,5 à 18 0/0 du garbage vert. »

Procédé Le Blanc (de Paris). — M. Jules Le Blanc a proposé, dès 1896, de transformer les digesteurs Arnold en les plaçant horizontalement et les faisant tourner autour de leur axe, ce qui brasse mieux la

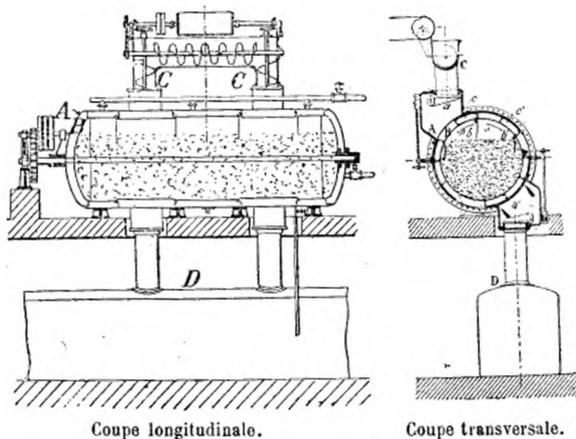


Fig. 299. — Digesteur mobile J. Le Blanc.

gadoue avec la vapeur. Nous laisserons la parole pour la description du système à M. Desbrochers des Loges :

« Les appareils se composent essentiellement (fig. 299) :

1° D'un grand cylindre horizontal A, en forte tôle, munie à ses parties supérieure et inférieure d'ouvertures fermées au moyen de clapets *a a'*, s'ouvrant du dehors au dedans de l'autoclave, qui est le réservoir de

vapeur. Les ouvertures a servent au chargement de l'appareil et communiquent avec une boîte de distribution C de la gadoue. Quant aux ouvertures a' , elles sont destinées au déchargement de la masse, et elles font communiquer le récipient avec le caisson en tôle D , où vient se déverser la matière cuite.

2° D'un cylindre intérieur et mobile, B , le panier, destiné à recevoir les ordures à traiter, et qui peut être actionné dans les deux sens de rotation.

Ce cylindre, sur les couronnes qui correspondent aux ouvertures a, a' de l'autoclave, est muni de portes battantes $b, b' b''$... destinées tant au remplissage du panier qu'à son déchargement automatiques.

Si le cylindre intérieur tourne dans le sens de la flèche α , voyons ce qui se passe dans l'intervalle d'une révolution de l'appareil.

Les portes, en passant au-dessous des clapets a , s'ouvrent entièrement par leur propre poids et, par suite, les baies correspondantes recevront une partie du chargement destiné au panier ; avant d'atteindre le plan horizontal médian, les battants commenceront à obstruer les baies correspondantes du récipient et finiront bientôt par les fermer avant d'arriver aux descentes des clapets a' . Après un petit nombre de tours de rotation, le panier finira ainsi par être chargé convenablement et automatiquement, grâce au mouvement imprimé à la gadoue. Les clapets a seront alors fermés puis fortement appliqués sur leur siège par la vapeur introduite dans l'autoclave. La cuisson s'opérera ainsi très facilement, le cylindre intérieur tournant constamment, la masse étant vivement brassée, et la vapeur mise en relation avec l'intérieur du panier par les ouvertures $b, b' b''$... et par des perforations spéciales ménagées sur sa périphérie.

La coction étant terminée, et l'arrivée de vapeur dans l'autoclave interrompue, les clapets a' seront à leur tour ouverts, et le panier mis en mouvement dans le sens de flèche β . Alors, dans cette nouvelle rotation, les battants des portes seront ouverts, cette fois, en passant devant les ouvertures a' . Le déchargement de la masse cuite s'opérera ainsi automatiquement et facilement, sans qu'il y ait communication de l'autoclave avec l'atmosphère.

Les caissons métalliques c, c', c'' ... placés sur le panier ont pour but d'éviter, tant dans le chargement que dans la décharge, le jet des matières entre les deux cylindres.

Le panier, qui est muni de perforations destinées à laisser écouler

les liquides dans l'enveloppe extérieure, n'exige ainsi que peu de force, tournant à très faible vitesse, et ne contenant que les solides.

Les liquides peuvent être évacués de l'autoclave, en cours d'opérations, au moyen d'une tuyauterie spéciale.

En résumé, avec une très faible dépense de force motrice on obtient, par ce système ingénieux, un brassage continu des immondices, ce qui active beaucoup la coction, la matière étant réduite en parcelles, et la vapeur fluente agissant profondément sur la gadoue très divisée.

Par la méthode française, on doit pouvoir effectuer sept à huit opérations dans le même appareil et par vingt-quatre heures. Il en résulte non seulement une notable économie de vapeur, mais encore une dépense moindre d'installation, au moins en ce qui concerne les chaudières de l'usine.

Aussi, dans ces conditions qui nous paraissent avantageuses, nous ne doutons pas qu'on puisse entreprendre le traitement de la gadoue, par la vapeur, à un prix sensiblement moindre que celui obtenu par le procédé Arnold. Le chiffre de 4 fr, 16 que nous avons indiqué comme indemnité approximative à payer par la Ville de Paris, par tonne de gadoue enlevée et traitée par le procédé américain pourra donc vraisemblablement être sensiblement diminué en employant la méthode française. »

Nous ne connaissons pas encore d'application en grand du procédé Le Blanc, mais l'hygiène ne peut que s'en déclarer satisfaite, ainsi d'ailleurs que du procédé Arnold.

Boues et poussières des rues

Il est généralement plus facile de se débarrasser des boues et poussières des rues que des gadoues, avec lesquelles du reste elles sont souvent mêlées. Au point de vue hygiénique, il y a peu de chose à dire de l'enlèvement des boues : c'est plutôt une question de propreté et de voirie. Il n'en est pas de même des poussières et pour les raisons que nous connaissons déjà, on ne saurait trop recommander d'éviter, dans les soins donnés aux rues, de soulever la poussière ou d'en laisser subsister que le vent puisse soulever dans l'atmosphère.

Il faudrait donc pouvoir époudrer sans mettre la poussière en suspension dans l'air. Pour cela, chacun sait que le mieux est de commencer par *arroser* les rues (si toutefois on ne peut les laver à grande eau pour entraîner les poussières) : ce n'est pas que l'eau répandue diminue le nombre des germes du sol (nous avons vu tout le contraire, p. 383),

mais en agglomérant les poussières, elle les colle en quelque sorte sur terre et empêche leur soulèvement. On a songé à profiter de la déli-

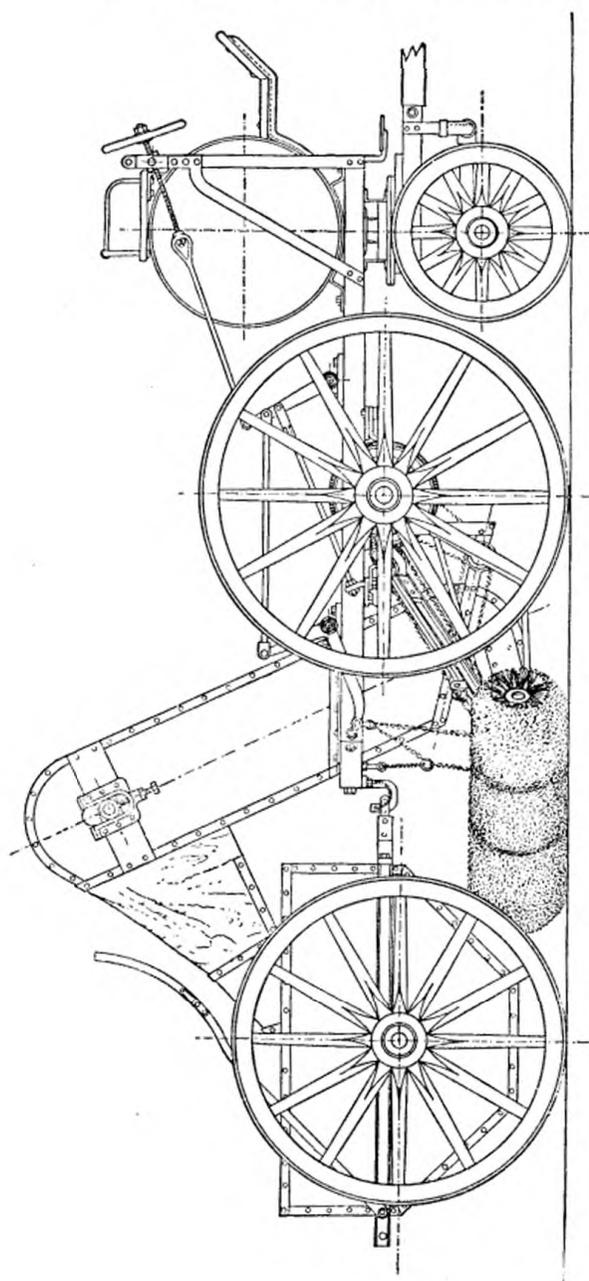


Fig. 300. — Balayeuse-arroseuse-ramasseuse "Salus". (Vue schématique)

quescence de certains sels pour mieux fixer encore qu'avec l'eau la poussière des chaussées : l'idée, due à Jobart, a été appliquée sur les conseils de Ballard vers 1860 ⁽¹⁾ à Montpellier, puis en 1868 l'anglais Cooper prit un brevet sur ce sujet, et son système se répandit en Angleterre. Les sels d'arrosage brevetés de Cooper, qu'il baptisait du nom de chlorides, ne sont que des résidus des eaux-mères des salines. Les villes qui sont voisines des salines ou de la mer pourraient facilement se procurer des liquides de valeur analogue et réussiraient ainsi à éviter la poussière en grande partie : nous nous proposons d'essayer à Nancy avec les produits des salines voisines.

Il convient également d'avoir des machines qui ne soulèvent pas

(1) Vers la même époque, on arrosa à Lyon avec de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique, lequel avec le calcaire du sol donnait du chlorure de calcium déliquescent; mais le liquide était trop corrosif et attaquait les chaussures.

trop la poussière, comme le font malheureusement les balayeuses ordinaires. Nous signalerons comme ayant fait un pas dans la voie du progrès :

1° La *Balayeuse Charlton*, employée aux Etats-Unis, et comprenant, outre le cylindre tournant habituel, un dispositif pour ramasser et enlever les produits de l'opération; ce ramasseur de poussières se compose d'un tambour à axe horizontal, servant de roue à la machine et muni d'ailettes; la boue ou la poussière est conduite par un auvent vertical bordé d'une bande de caoutchouc jusqu'auprès du tambour, dans



Fig. 300 bis. — Balayeuse-arroseuse-ramasseuse "Salus". (Vue perspective)

lequel elle est entraînée par les ailettes fixées sur sa face intérieure; une porte latérale sert au déchargement du tambour.

2° La *Balayeuse-ramasseuse-arroseuse* dite « Salus » (*Salus Strassenskehrmaschine Gesellschaft, Dusseldorf*), nouvellement inventée par Schopp, et employée à Cologne et à Elberfeld. Cette machine vient d'être très remarquée à l'Exposition d'appareils contre le feu, Berlin 1901, et à la suite d'expériences faites devant le professeur Weyl a été approuvée par lui comme travaillant tout à fait sans poussière: on l'essaie également à Paris, où on pense qu'elle gagnerait encore à être munie d'un moteur mécanique, c'est-à-dire rendue automobile. Nous devons à l'obligeance de M. Flechtheim de pouvoir en montrer deux vues, l'une

schématique et l'autre perspective (fig. 300 et 300 bis). La machine se compose d'un chariot à 4 roues, dont le devant monté sur boggie porte un tonneau d'arrosage à débit réglable à volonté, et dont l'essieu d'arrière actionne le mécanisme du cylindre-balayeur et de l'élevateur à godets. L'axe et le noyau du cylindre sont flexibles, de manière que le balai épouse toutes les inégalités de la chaussée, et de plus garde une forme concave, ramenant les balayures vers le milieu sur une sorte de plateau en avant du balai : l'élevateur les prend sur ce plateau grâce à une ramonette caoutchoutée, les monte et les déverse dans un tombereau attelé à l'arrière et recouvert d'une bâche. On économise ainsi de la main-d'œuvre et surtout on évite les poussières.

2° Éloignement et traitement des cadavres humains et animaux.

a) *Cadavres animaux.* — Dans les campagnes, les cadavres des animaux morts et les débris d'animaux tués sont d'ordinaire simplement enfouis. Dans les villes, s'il s'agit de petits animaux leurs cadavres suivent souvent le sort des ordures ménagères, et s'il s'agit des grands ils doivent être envoyés à l'équarrissage : les déchets des abattoirs peuvent être traités immédiatement dans les abattoirs même.

L'enfouissement demande certaines précautions, notamment quand il s'agit d'animaux morts de maladies infectieuses : on a vu des épidémies de charbon résulter du manque de profondeur des cadavres de moutons morts de cette maladie, et de nombreux auteurs (Petri, Kühn, Kitasato, Esmarch⁽¹⁾) soutiennent que les bacilles du charbon et de la tuberculose peuvent rester virulents plusieurs années, 5 ans au moins dans les cadavres des animaux). Cependant Lösener⁽²⁾ après de nombreuses expériences estime qu'il n'en est pas ainsi et que la survivance des germes ne dépasse pas quelques mois et en tout cas jamais 2 ans : tout récemment Klein⁽³⁾ dit avoir trouvé en faisant aussi des expériences suivies que *bb. prodigiosus* et *staphylococcus aureus*, enfouis dans les cadavres, ne donnaient plus de cultures après six semaines ; le spirille du choléra, le bacille typhique et le bacille de la peste se reproduisirent après 19 jours, mais plus après 28 ; le bacille de la tuberculose était retrouvé dans les organes, mais ne reproduisait plus la maladie. Quoiqu'il en soit, il est

(1) Voir *Arbeiten aus den K. Gesundheitsamte*, 1891 et *Zeitschrift für Hygiène*, 1889.

(2) Voir l'article important de Lösener in *Arbeiten aus den K. Gesundheitsamte*, 1895, XII, 448.

(3) *Centralblatt für Bakteriologie*, 1900.

certain qu'il faut exiger une certaine profondeur, 2 ou 3 m au moins, et de plus, en cas de maladies virulentes, il sera bon de faire jeter sur le cadavre de la chaux vive, du sulfate de cuivre ou autres antiseptiques.

Dans les abattoirs et les équarrissages, on peut incinérer les corps et débris de viande dans des fours tels que ceux de Ball, de Kori et de

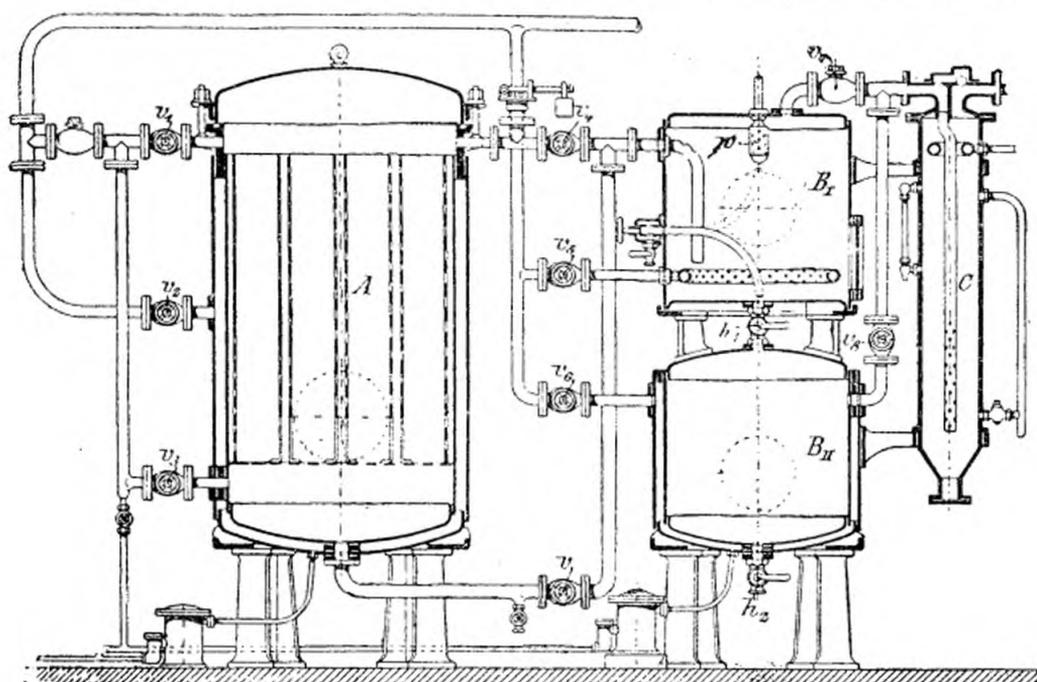


Fig. 301. — Extracteur-stérilisateur d'abattoir et d'équarrissage de Rietschell et Henneberg.

Légende : A, Stérilisateur, à double paroi, avec lames doubles perforées divisant l'espace intérieur.

B_I, Récipient pour la graisse et la gélatine.

B_{II}, Récipient pour faire écouler les bouillons gélatineux et les y concentrer (double paroi, avec amenée de vapeur par V₆).

C, Condensateur pour les vapeurs et gaz sortant des récipients (eaux qui subsistent sont envoyées aux forges des chaudières).

v₁, v₂, v₃, v₇, Robinets de vapeur permettant toutes les combinaisons.

h₁ et h₂, Robinets d'évacuation de B_I et B_{II}.

Le Blanc déjà cités, ceux de Keidel et de Ruppel (Berlin), ou encore ceux du vétérinaire Feist (de Strasbourg)⁽¹⁾, des maisons Gorini, Venini de Milan)⁽²⁾, etc., etc. Nous n'insisterons pas davantage sur ces appa-

(1) Le four Feist ressemble à un four à chaux : il a été installé il y a une quinzaine d'années à Rohrbach (Alsace) pour brûler les animaux morts de maladies contagieuses et paraît avoir contribué notablement à la diminution des épizooties dans la région. En cas de guerre, on pourrait installer des fours semblables, pour brûler les cadavres en masse.

(2) En 1889, un russe, M. Kosticoff-Almosoff exposait déjà un four à brûler les cadavres animaux.

reils, intermédiaires entre les fours à incinérer les gadoues et les fours crématoires proprement dits énumérés plus loin.

L'incinération a le défaut de faire perdre les graisses, la gélatine et autres substances utiles : aussi a-t-on imaginé d'autres méthodes qui permettent de les extraire, tout en assurant la stérilisation. C'est, en premier lieu, le traitement par la *méthode chimique*. Le meilleur procédé consiste à chauffer les corps à détruire avec de l'acide sulfurique à 66° Baumé, jusqu'à ce que le tout soit devenu une masse homogène plus ou moins

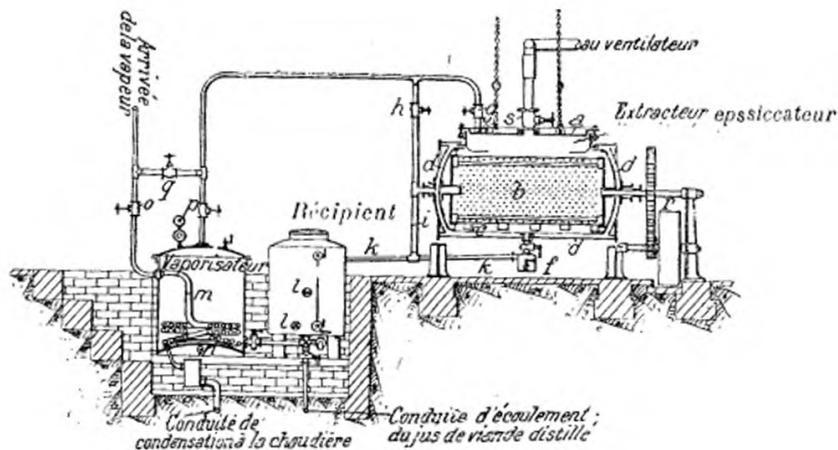


Fig. 302. — Extracteur-stérilisateur pour abattoir et équarrissage de Hartmann.

Légende :

- | | |
|---|---|
| <p>a, Couvercle pour l'entrée des cadavres entiers.</p> <p>b, Tambour tournant à double paroi (l'intérieur perforé) pour l'extraction et la dessiccation.</p> <p>c, Agitateur pour remuer les matières.</p> <p>d, Enveloppe de vapeur pour la dessiccation.</p> <p>e, Robinet pour l'écoulement de la graisse et de la gélatine.</p> <p>f, Récipient pour les dépôts, avec robinet d'évacuation.</p> <p>g, Conduite de vapeur pour l'extracteur.</p> <p>h, Conduite de vapeur pour l'enveloppe chauffante.</p> <p>i, Conduite de condensation de l'enveloppe aux récipients.</p> <p>k, Évacuation des liquides de l'extracteur dans les récipients.</p> | <p>l, Robinets pour évacuer les graisses.</p> <p>m, Serpentin de vapeur pour évaporer les bouillons gélatineux.</p> <p>n, Robinet pour évacuer la gélatine.</p> <p>o, Valve pour régler le serpentin.</p> <p>p, Conduite évacuant la vapeur provenant des bouillons gélatineux et la conduisant à l'extracteur.</p> <p>q, Aménée de la vapeur des chaudières dans l'extracteur.</p> <p>r, Partie commandant la rotation du tambour (cette rotation se fait de temps en temps pendant l'extraction, puis d'une manière continue pendant la dessiccation).</p> <p>s, Évacuation de la vapeur pendant la dessiccation.</p> |
|---|---|

fluide : la graisse vient surnager et est enlevée, tandis que la masse qui reste au fond est mêlée à de la poudre d'os, desséchée et transformée en une sorte de poudrette pour engrais. On opère en France un peu diffé-

remment suivant le procédé Aimé-Girard, qui est décrit en détail par un article de M. Lindet dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, novembre 1898 (Voir également un article de MM. Boinet et Huon dans le numéro de janvier 1898 des *Annales d'Hygiène*). Dans les laboratoires pour les petits animaux, on ajoute un poids égal de bichromate de potasse à l'acide sulfurique, et on obtient un liquide qui dissout les corps très rapidement (méthode décrite par Abba, Simonetta et autres).

En second lieu, le *traitement par la vapeur d'eau sous pression*, assez semblable en somme au digesteur Arnold. Les digesteurs de ce genre sont assez nombreux; les fig. 301 et 302 montrent ceux que nous regardons comme les plus perfectionnés. Le premier est l'appareil du Directeur de l'abattoir d'Anvers, de la Croix, perfectionné par la maison Rietschell et Henneberg (de Berlin); la légende permet d'en comprendre facilement le fonctionnement. (Les corps découpés sont mis dans A et digérés par la vapeur pendant 6 heures en moyenne; les liquides gras-seux et gélatineux passent dans B₁, où après 2 heures de repos la graisse surnage, tandis qu'on fait écouler la gélatine dans B₁₁; la masse restée dans A est desséchée par la vapeur circulant dans l'enveloppe entre les deux parois, puis pulvérisée et vendue comme engrais). Le second est l'appareil Hartmann (de Berlin), qui d'après les perfectionnements indiqués par Podewils et par Otte permet encore une meilleure dessiccation et une plus facile pulvérisation.

b) *Cadavres humains : inhumation et érémation*. — Une loi inexorable nous force à nous séparer des restes mortels de nos proches, quand la mort les a frappés. Leurs cadavres, malgré tout le respect qu'on puisse leur porter, deviennent des objets de déchet (ce sont bien, hélas, les déchets de la vie), qu'il faut évacuer avant que la putréfaction les ait rendus inapprochables et dangereux pour la santé des vivants; l'évacuation doit être l'objet de plus de soins encore quand la mort est due à une maladie contagieuse et que le cadavre renferme des microbes redoutables.

En principe, l'éloignement du cadavre doit être rapide; la putréfaction commence 2 ou 3 jours après la mort, et de plus il est dans les villes bien des familles si étroitement logées qu'elles ne peuvent véritablement conserver le mort tant soit peu après le décès. D'un autre côté, l'ensevelissement trop prompt risque de ne pas reconnaître des cas de *mort apparente* ou si l'on veut de *vie latente*, lesquels sont encore assez fréquents. Il y a donc une durée minima d'attente, fixée dans chaque

pays par la loi (en France, elle n'est que de 24 heures et paraît trop courte) ⁽¹⁾, et comme cette attente ne peut se faire toujours dans la maison du mort, on a institué dans la plupart des pays des *chambres mortuaires d'attente* ou *dépositaires* (qui manquent encore en France). Ces chambres mortuaires, installées dans les différents quartiers d'une ville rendent de grands services et leur usage est à recommander ; la famille n'est pas encombrée par le cadavre et de plus celui-ci, soumis à une surveillance constante et prolongée, n'est mis en bière qu'après un commencement de putréfaction, signe certain de la mort réelle. Londres possède ainsi 25 dépositaires, Berlin 26, Munich 6 ; espérons que Paris en aura bientôt à son tour. (On trouvera des renseignements détaillés sur ce sujet dans l'ouvrage de Gaubert « Les Chambres mortuaires d'attente » 1895, et tout récemment le n° 3 de 1901 de *L'Architect* fait connaître le projet de la *Leichenhalle* pour le cimetière central à Vienne).

Le délai d'attente écoulé, que fera-t-on définitivement du cadavre ? Deux grandes méthodes se partagent le soin de ramener le corps humain à des éléments simples, gazeux et minéraux ; l'*inhumation*, qui laisse la putréfaction suivre lentement dans le sol son processus normal (aidée qu'elle est par la série des races parasitaires qui envahissent successivement le cadavre) ⁽²⁾, et la *crémation* qui demande au feu une destruction rapide. L'hygiène admet les deux méthodes, mais à notre avis elle doit préférer la seconde, qui a l'avantage de détruire radicalement et immédiatement toute cause d'infection.

L'inhumation demande donc quelques précautions, notamment pour éviter la diffusion de mauvaises odeurs dans l'atmosphère et la diffusion de germes morbides dans la nappe souterraine et de là dans les eaux alimentaires. De là un grand nombre de questions : choix de l'emplacement des cimetières, éloignement des habitations ⁽³⁾, profondeur des fosses, durée de la période d'exhumation et de relèvement des corps, etc. ;

(1) Elle est de 36 heures en Belgique, de 2 jours en Suisse et en Italie, de 3 jours en Allemagne et Autriche, de 4 jours en Russie, Danemark et Angleterre. Les Grecs et les Romains gardaient jusqu'à 9 et 10 jours les cadavres.

(2) Les lecteurs qui voudraient approfondir ce triste sujet pourraient lire entre autres les ouvrages suivants :

Mégnin : « Faune des cadavres » (1894).

Bordas : « Etude sur la putréfaction ».

Malvoz : Etude bactériologique de la putréfaction des cadavres au point de vue médico-légal, in *Annales d'Hygiène publique*, octobre et novembre 1899.

(3) Cette distance, fixée généralement par les lois, est en France de 400 m seulement (décrets des 12 juin 1804 et 7 mars 1808), en Angleterre de 180 m, en Allemagne généralement de 200 m, en Russie d'une verste entière (1 067 m).

mais ces questions ne sont pas nouvelles et nous ne pouvons nous y arrêter. Nous devons, toutefois, signaler les études faites dans ces dernières années pour arriver à assurer aux corps une décomposition rapide, même dans les plus mauvais terrains, et notamment le système préconisé dans ce but par M. Coupry, sous le nom de « Cimetière de l'Avenir », et appliqué par lui à Nantes et à Saint-Nazaire. (Voir : 1^o l'article de Brouardel et du Mesnil « Des conditions d'inhumation dans les cimetières, réforme du décret de prairial sur les sépultures » in *Annales d'Hygiène*, 1892 ; 2^o l'article du D^r Le Goïc intitulé « Installation à Saint-Nazaire du Cimetière de l'Avenir, système Coupry » in *Annales d'Hygiène*, décembre 1900).

Le système Coupry part de ce principe qu'on doit faciliter et hâter autant que possible la marche et l'achèvement du processus de décomposition, lequel est retardé par tout obstacle empêchant l'air de circuler librement dans le sol autour du cadavre et par toute substance antiseptique gênant la vie parasitaire. Ainsi les bières imperméabilisées, les substances pulvérulentes (imbibées ou non de liquide antiseptique), la compacité et l'imperméabilité du sol, enfin et surtout le niveau trop élevé de la nappe souterraine (dans laquelle les cadavres sont parfois plongés) sont autant de causes qui prolongent la durée de la désintégration cadavérique et peuvent même l'arrêter complètement (en maintenant les corps à l'état de *gras de cadavre*) : il en résulte que certains sols sont tout à fait impropres aux inhumations. Pour y remédier, M. Coupry draine et aère le terrain. Le compartiment à aménager est tout d'abord entouré d'un mur périphérique maçonné, descendu à 0^m,30 en contre-bas du fond des fosses, de manière à écarter les eaux venant de l'extérieur (on les écoule par un drain en dehors du mur) ; il est ensuite divisé pour former les fosses. Au fond de chacune de celles-ci on dispose quatre murettes en pierres sèches de 0^m,10 de hauteur, laissant entre elles un vide en forme de croix ; ce vide est prolongé suivant les branches de la croix par un tuyau en poterie traversant le massif de terre qui sépare deux fosses contiguës, et établissant ainsi une communication souterraine en réseau continu. Les tuyaux débouchent dans un aqueduc collecteur, qui évacue leurs eaux ; mais Coupry propose d'une part de ne les déverser dans les égouts de la ville qu'après filtration, et d'autre part de mettre, en outre, le collecteur en communication avec un foyer qui brûlerait les gaz du réseau souterrain (cette partie de ses propositions n'a pas été exécutée). Enfin, le vide en croix au fond des fosses étant recouvert par des ardoises ou des dalles, on remplit toute la

surface inférieure des tombes d'une couche de 0^m,10 d'escarbilles, et c'est sur cette couche qu'on pose le cercueil. On a ainsi un sol asséché et aéré en permanence et les résultats constatés à Nantes et à Saint-Nazaire sont de tous points excellents ; grâce à ce système, on peut utiliser tous les terrains pour les sépultures.

En Espagne, suivant une communication de M. Orduna au Congrès d'hygiène de 1900, on cherche à assurer l'assainissement des cimetières par l'emploi de cercueils en bois créosoté ou injecté au sulfate de cuivre, c'est-à-dire rendu imputrescible : la fermeture et les joints du cercueil doivent être hermétiques, mais le bois doit garder sa porosité à l'air (ordres royaux des 4 novembre 1898 et 18 janvier 1899). On peut se demander si l'imputrescibilité du bois est bien de longue durée, et si l'antiseptique ne retarde pas la décomposition du corps.

Au lieu de l'inhumation proprement dite, on enferme également les cercueils dans des caveaux ou cases en maçonnerie, qu'on mure hermétiquement. Ce procédé, acceptable pour les familles riches qui peuvent consacrer une place définitive à chaque mort, a l'inconvénient d'empêcher l'aération et par suite de retarder beaucoup la consommation des corps, en sorte qu'il ne se prête pas à des concessions temporaires. Aussi le Docteur Lavagna, au Congrès de Médecine de 1900, a-t-il proposé d'assurer la ventilation et la dessiccation de ses *cryptes monolithes*. Ces cryptes seraient entièrement bâties dans le sol, construites en béton de ciment, sans joints ni soudures, et recouvertes par des voûtes en béton surmontées d'une chape en asphalte : les cases réservées aux concessions perpétuelles pourraient être murées immédiatement sur le cadavre et laissées telles, mais les cases des concessions temporaires devant être utilisées après un certain temps à de nouvelles sépultures seraient spécialement ventilées et chauffées pour réaliser la *dessiccation thermique* (1). Cette dessiccation serait obtenue par un envoi d'air chaud, amené d'un appareil de chauffage central par des tuyaux débouchant dans chaque case à l'entrée, tandis que l'air vicié s'écoulant par un orifice dans le haut et au fond de la case irait se brûler dans le foyer même. La température à maintenir serait de 60° (il est clair qu'on empêche la putréfaction) et l'on pourrait ainsi exhumer le cadavre complètement desséché au bout de deux ans, ce qui — ajoute l'auteur — permettrait de traiter beaucoup de cadavres dans un très petit espace.

(1) L'idée est sans doute imitée de l'habitude qu'on avait anciennement à Palerme de garder ainsi les cadavres desséchés des notables : on y montre encore de ces momies comme un objet de curiosité.

Reste à se débarrasser de ces momies desséchées : Lavagna les jetterait dans une fosse commune ou les brûlerait dans un four crématoire voisin. Pourquoi vraiment ne pas s'adresser tout de suite à ce foyer ?

La *crémation* est d'origine ancienne : les Grecs, les Romains, les Mexicains, les Hindous ⁽¹⁾ l'employaient, mais le christianisme la fit supprimer, et elle ne reparut qu'en l'an VII sous la Révolution (rapport de Cambry). Nous ne pouvons faire ici l'historique de cette résurrection du procédé ; on le trouvera ainsi que la bibliographie complète dans les ouvrages ci-après ⁽²⁾.

G. Salomon : *La Crémation en France*, Paris (chez Dentu) 1890 ; M. de Cristoforis : *Etude pratique sur la crémation moderne*, Milan 1890 ; D. Donghi : « Cimiteri e crematoi » (Extrait du *Manuale de l'Architetto*), Turin 1896.

La lutte pour obtenir la liberté de la crémation fut vive et la plupart des Congrès d'Hygiène émirent des vœux, fortement motivés, en sa faveur : le Congrès de 1900 n'a pas fait exception (rapport de M. Salomon), certains pays comme la Hollande et l'Autriche-Hongrie n'ayant pas encore conquis cette liberté. En France, c'est la loi du 15 novembre 1887, suivie du décret du 27 avril 1889 réglementant les divers modes de sépulture, qui a permis l'incinération, et il y a aujourd'hui des fours crématoires à Paris, Rouen, Reims et Lyon. L'Italie qui est la terre classique de la crémation a vingt-sept fours, l'Angleterre, cinq ; l'Allemagne six ; la Suisse et la Suède, chacune deux ; les Etats-Unis, vingt ; enfin, le *British medical journal* 1899 nous apprend que la crémation est fort répandue au Japon et s'y pratique suivant les procédés modernes (rien qu'à Tokio, il y a sept fours et 42 0/0 des morts sont incinérés). Toutefois, nous devons reconnaître qu'en Europe et même en Italie les progrès se ralentissent et que la situation paraît rester stationnaire.

Nous signalerons rapidement — sans parler du côté architectural qui n'est pas de notre compétence — les types des principaux fours crématoires : les modèles de four Muller et Fichet et du four Toisoul et Fradet installés tous deux au cimetière du Père-Lachaise à Paris figuraient d'ailleurs à l'Exposition. Il ne faut pas oublier que l'incinération rapide et complète des cadavres humains constitue un problème des plus diffi-

(1) Les Hindous riches, seuls, étaient brûlés, tandis que les cadavres des pauvres étaient jetés dans les fleuves : c'était compter un peu trop sur la puissance auto-épuratrice des cours d'eau !

(2) Voir aussi un article tout récent de Sander dans *Vierteljahrsschrift für ger. Medizin* 3 T, XX.

ciles, et que si on est arrivé à le réaliser en une heure, c'est grâce aux efforts persévérants et acharnés des Gorini, Polli, Betti, Siemens et autres expérimentateurs : la longue narration des expériences, des succès et des déceptions de Gorini est très suggestive et montre bien la difficulté à vaincre (voir son beau livre : *La purificazione dei morti mediante il fuoco*, Milan 1876).

Les appareils crématoires se divisent en trois groupes : les appareils à distillation (en quelque sorte en vases clos, avec utilisation dans le foyer des gaz produits), les appareils à combustion avec flamme entourant le cadavre (la flamme est produite soit directement par le combustible, soit par les gaz d'un gazogène), enfin les appareils agissant seulement sur le cadavre par la haute température à laquelle l'air environnant est porté. (Il faudrait y ajouter le fameux *liquide platonique* de Gorini, qui dissolvait les cadavres).

1° Appareils à distillation.

Les appareils de cette classe sont peu employés : la durée de la crémation est longue et le coût élevé. Citons cependant :

Le projet de *Du Jardin* (de Genève, 1867), qui a été appliqué dans l'appareil *Betti et Terruzi*, installé à Milan en 1877, mais pour fort peu de temps : le cadavre est mis dans un cylindre en fonte placé au milieu d'une fournaise à coke, et des tubes partant du cylindre ramenaient les gaz de la distillation dans le foyer ; après trois heures, on laissait rentrer l'air dans le cylindre pour achever la combustion, en sorte que l'opération durait cinq heures et coûtait 25 francs.

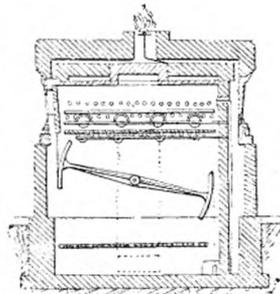
Les appareils proposés par *Cadet*, par *de Lagénardière* (Paris), basés sur le même principe ne sont pas sortis du laboratoire : il en est de même de celui de *Melsens* (Bruxelles).

Dans l'appareil *Kopp*, expérimenté à Breslau, la cornue est plate au lieu d'être cylindrique, et elle est en terre réfractaire au lieu d'être en fonte.

A Washington et à Philadelphie, il existe deux fours, l'un du *D^r Lemoyne*, l'autre du *D^r Opdytse*, avec cornue en fonte qu'on porte au rouge blanc, mais les gaz sont directement évacués dans la cheminée : il faut six heures pour l'incinération, et de plus les cendres ne sont retirées qu'après un refroidissement de 24 heures.

2° *Appareils à combustion avec flamme.*

Appareil Polli-Clericetti. — L'un des premiers appareils est celui de *Polli-Clericetti*, qui servit à Milan en 1876 pour Albert Keller. Il est à gaz (il fallut construire une usine à gaz spéciale) et a la forme architecturale très simple (fig. 303), d'un sarcophage antique (urne crématoire). Les parois devant rester froides, le revêtement est entièrement isolé du four intérieur par un espace vide où l'air circule : la chambre de combustion est recouverte ainsi par trois voûtes superposées. Cette chambre contient l'appareil à feu, la plaque qui reçoit les cendres et la grille. Ces deux dernières pièces sont toutes deux placées sur poulies et peuvent se tirer facilement au dehors par la porte du four; la grille est un châssis de 1^m,80 sur 0^m,53. L'appareil à feu comprend 217 flammes ou becs à air et à gaz, le mélange de ceux-ci ne se faisant qu'à leur arrivée dans le four, ce qui forme de véritables dards de chalumeau : de ces flammes, 180 sont disposées sur un plan horizontal au-dessous du cadavre, en dix rangées longitudinales; les 37 autres sont disposées le long des parois de la voûte réfractaire, au-dessus de la grille, en deux files de 18 chacune. On obtient une température de 1100° C.

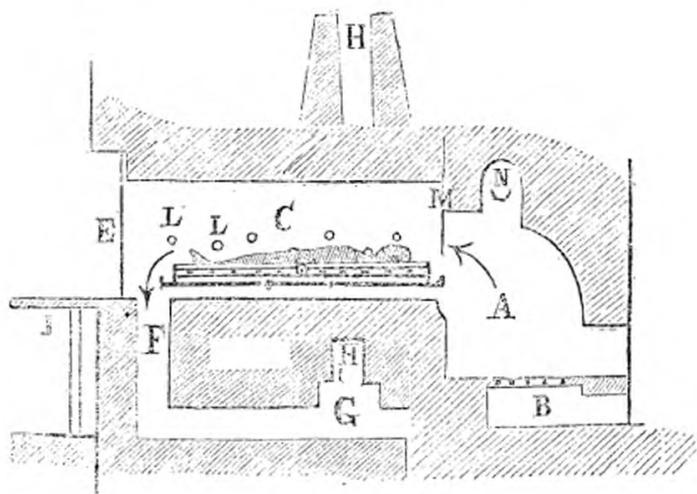


Coupe longitudinale.
Fig. 303. — Appareil crématoire de Polli-Clericetti.

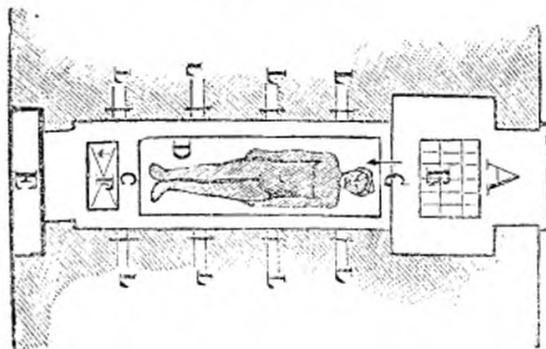
La crémation dans ce four comprend deux périodes : dans la première les parties molles se consomment, et il suffit de la quantité d'air nécessaire pour l'allumage et pour la combustion des gaz qui se dégagent; dans la seconde qui comprend la calcination des résidus carbonisés, il faut injecter un volume d'air considérable. Avec l'obligation de fabriquer le gaz pour chaque opération, le prix était élevé.

Appareil Gorini (crematoio lodigiano). — Cet appareil est le premier qui résolut bien le problème (1879); il fonctionne encore à Milan, Turin, Rome, Lodi, Crémone, Varèse, Tokio, et il fut essayé à Paris. C'est en somme un fourneau à bois et à reverbère, dont la flamme vient lécher le cadavre placé sur une grille et le comburer. La fig. 304 le fait comprendre : la flamme du foyer A enveloppe le cadavre dans la chambre C, passe par F et les gaz après s'être épurés sur le foyer auxiliaire

à coke G sont évacués par la cheminée H ; celle-ci est munie d'un obturateur qui permet de modérer ou d'activer le tirage. Les trous LL permettent d'observer le phénomène. La température atteint 6 à 700° et l'incinération dure de 1 h. 1/2 à 2 heures : elle exige 100 à 130 kg. de fagots et quelques kilogrammes de coke, soit une dépense de 5 à 8 francs, qui est encore réduite si le fonctionnement est continu.



Coupe longitudinale.



Plan.

Fig. 304. — Appareil crématoire Gorini.

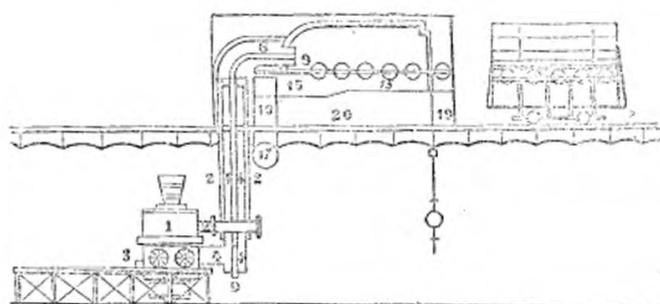
Légende :

- | | |
|--|---|
| <p>A, Four à reverbère.
B, Grille du foyer.
C, Chambre crématoire.
E, Porte en fonte pour l'introduction du cadavre.</p> | <p>F, Passage des gaz de combustion.
G, Foyer secondaire (à coke) pour achever la combustion des gaz.
H, Cheminée.
LL, Trous d'observation.</p> |
|--|---|

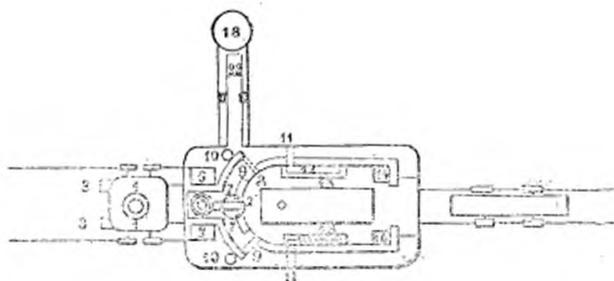
Guzzi et Ravizza ont perfectionné le procédé en installant la *plaque cinéraire*, la grille et le cadavre sur un chariot métallique, qu'on fait entrer et qu'on retire facilement après l'opération de la chambre de crémation (Turin). Au lazaret du Varignano (la Spezia), ils ont égale-

ment ajouté sous la chambre un récupérateur de chaleur en briques réfractaires, dans lequel se réchauffe l'air destiné au foyer.

Appareil Venini. — Très répandu : Milan, Brescia, Padoue, Udine, Come, Vérone, Bologne, Novare, Mantoue, Florence, Pise, Copenhague,



Coupe verticale.



Coupe horizontale.

Fig. 305. — Appareil crématoire Venini.

- Légende :* 1, Appareil gazogène, à double enveloppe.
 2, 2, Tuyau amenant les gaz dans la chambre crématoire.
 3, 3, Tuyaux d'entrée de l'air, qui se réchauffe autour de la caisse intérieure du gazogène.
 4, 4, Tuyau d'ascension de l'air (tuyau concentrique à 2, 2).
 5, 5, Deux petits fourneaux d'allumage.
 6, Canal central d'amenée du mélange d'air et de gaz.
 7, 7, Canaux demi-circulaires de bifurcation du précédent.
 8, 8, Entrée médiane et 9, 9 entrées latérales du mélange d'air et de gaz.
 9, 9, Entrée d'air frais amené par les orifices 10, 10.
 11, 11, Autres orifices d'amenée d'air frais, passant par les chambres réfractaires 12, 12 et entrant dans la chambre par 13, 13.
 14, 14, Ouverture faisant passer les gaz en combustion sous le cadavre.
 15, 15, Trajet de ces gaz.
 16 et 17, Tuyau d'évacuation de ces gaz vers la cheminée 18.
 19, Appareil de seconde combustion, recevant du gaz des gazogènes par le tuyau 20 et de l'air libre par des orifices.
 22, Appareil de troisième combustion (semblable au précédent) placé au bas de la cheminée.

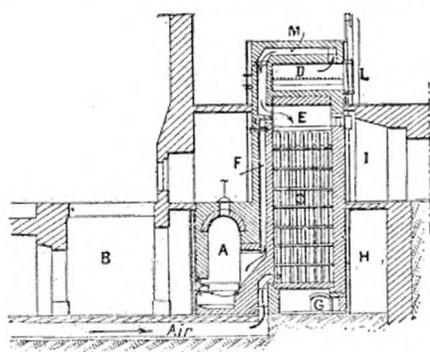
Buffalo, Saint-Louis, Albany, Montevideo etc. C'est un appareil à gazogène. Le gazogène est formé de deux caisses concentriques en tôle, dont l'intérieure, revêtue de briques réfractaires et pourvue d'une grille

au bas, reçoit le combustible chargé dans une trémie à fond mobile placée sur la caisse extérieure : le combustible qui arrive sur la grille détermine la distillation de celui qui vient le couvrir au fur et à mesure, et on obtient ainsi un courant continu d'oxyde de carbone appelé par la cheminée vers le four. La fig. 305 et sa légende font suffisamment comprendre le fonctionnement : on y voit déjà un essai de récupération, ainsi que la réalisation de la fumivortité par la double et triple combustion.

Ce four peut se placer au milieu même de la salle des cérémonies. La température est de 600° quand on fait entrer le cadavre ; elle monte à 800° .

L'opération dure de 1 à 2 heures, et exige (si elle est isolée) de 275 à 300 kg. de bois léger, coûtant environ 12 francs.

Appareil Muller et Fichet (Paris).— Dans les appareils suivants, le récupérateur est très développé. La fig. 306 fait voir une coupe verticale de l'appareil Muller et Fichet, du père Lachaise, où le récupérateur



Légende :

- A, Gazogène.
- B, Fosse d'accès.
- C, Récupérateur.
- D, Chambre de crémentation.
- E, Chambre de distribution des produits de la combustion venant de D par le conduit M.
- F, Conduit de l'oxyde de carbone.
- G, Carneau allant à la cheminée.
- H, Espace pour circuler autour de l'appareil.
- I, Souterrain.
- L, Porte d'entrée de la chambre de crémentation (avec contrepoids).

Fig. 306. — Appareil crématore Muller et Fichet.

est formé de longs tuyaux verticaux. La chambre de crémentation à $2^m,50$ de long, $0^m,90$ de large et $0,70$ de haut : les orifices par lesquels entre le mélange d'air chauffé et de gaz combustible sont à $0^m,10$ au-dessus de la plaque cinéraire. Le combustible employé est le coke : l'opération dure 1 heure à $1\text{ h. }1/4$ et demande environ 100 kg. de coke (non compris la mise en feu).

Appareil Toisoul et Fradet (à coke).— Cet appareil qui fait le pendant du précédent au père Lachaise lui est assez semblable (fig. 307). Le récupérateur est composé d'un système de poteries en terre réfrac-

taire constituant des conduits séparés pour l'air et les gaz venant du laboratoire (chambre de crémation). Ces gaz suivent les circuits horizontaux du récupérateur, tandis que l'air froid s'élève en s'échauffant dans

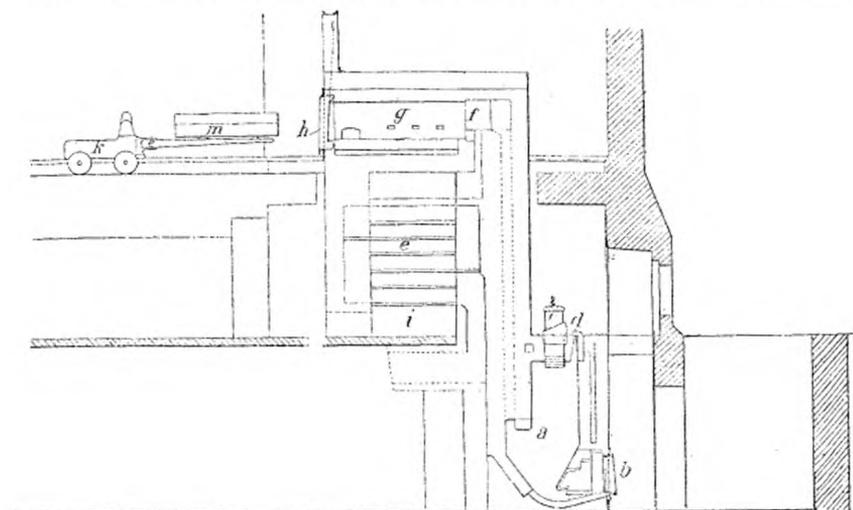


Fig. 307. — Four crématoire Toisoul et Fradet (Paris).

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| a, Gazogène. | g, Laboratoire. |
| b, Portes. | h, Portes. |
| c, Frémie de chargement. | i, Conduit de fumée. |
| d, Trou de piquage. | k, Chariot. |
| e, Récupérateur. | l, Bras articulés du chariot. |
| f, Brûleurs. | m, Cercueil. |

les conduits verticaux. Le chariot qui véhicule le cercueil a été construit par MM. André et Piat. — Résultats peu différents de ceux de son voisin : on brûle 12 à 13 hectolitres de coke par 24 heures et le fonctionnement est continu.

Appareils Toisoul et Fradet (au gaz d'éclairage).— Pour des villes où la crémation se fait rarement, il y a avantage à prendre un combustible soit liquide, soit gazeux. MM. Toisoul et Fradet ont étudié pour Rouen, Reims et Lyon deux systèmes, l'un avec les huiles lourdes des usines à gaz, l'autre avec le gaz d'éclairage lui-même, et c'est ce dernier qui a été préféré. Les fours des trois villes ne diffèrent guère que par la disposition du récupérateur : la fig. 308 montre le four de Lyon (type de 1900), d'après un dessin qu'ont bien voulu nous envoyer les constructeurs. Toutefois, comme à Reims la pression du gaz d'éclairage n'est que de 20 mm, il a fallu ajouter des surpresseurs qui portent la

pression à 100 mm : les machines à gaz qui les mettent en mouvement compriment en même temps à 80 mm l'air envoyé au récupérateur ; à la suite des surpresseurs se trouvent deux régulateurs de pression.

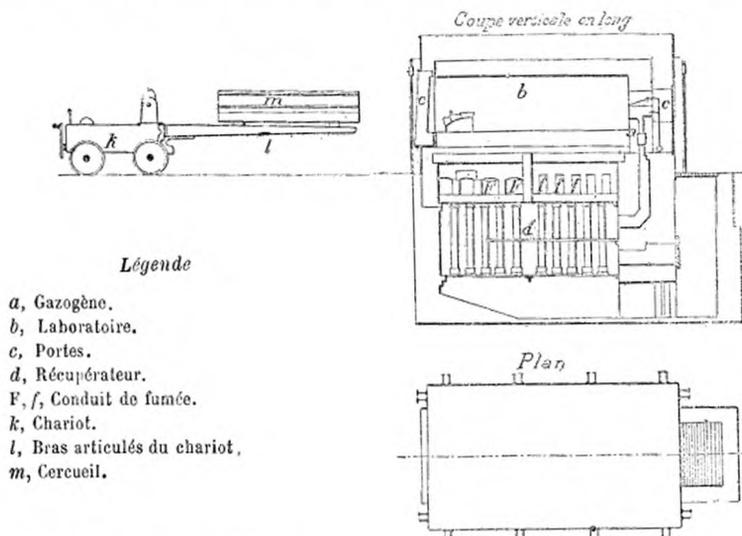


Fig. 308. — Four crématoire Toisoul et Fradet, chauffé au gaz d'éclairage (Lyon).

Le laboratoire est comme d'ordinaire une chambre voûtée, au fond de laquelle se trouve le dispositif des brûleurs : sur les côtés, se trouvent six regards. Les chalumeaux amenant l'air chaud du récupérateur sont au fond du laboratoire sous les chalumeaux de gaz (sauf à Rouen où ceux d'air sont sur les côtés) : le réglage de l'air se fait (sauf à Rouen) à l'entrée du récupérateur par un vannage à guillotine et crémaillère. L'arrière du laboratoire est muni de deux portes à deux vantaux chacune, permettant de rendre indépendantes l'entrée de l'air libre et celle de l'air chaud.

Les brûleurs sont composés d'une série de chandelles en cuivre avec becs Bunsen dans le bas montées sur un collecteur de gaz. La partie supérieure de ces chandelles est terminée par un ajutage courbe en fer débouchant à l'arrière du laboratoire. Chaque bec est muni d'un robinet barrette permettant de faire varier le nombre d'éléments en service : un robinet du collecteur permet d'arrêter instantanément la combustion. Le collecteur porte une rangée inférieure de 20 chandelles de 30 mm de diamètre intérieur et une rangée supérieure de 3 chandelles de 25 mm.

A Rouen, le récupérateur est constitué par une série de conduits, partie en briques réfractaires, partie en plaques d'acier fondu. — A Reims, il est formé par des serpents en fer disposés dans les chambres où circulent les gaz allant du laboratoire à la cheminée, et ces serpents reçoivent l'air comprimé par les surpresseurs. — A Lyon, le récupérateur a été amélioré : il se compose (fig. 308) d'un faisceau de tubes en fonte disposés verticalement, dans l'intérieur desquels circulent les gaz venant du laboratoire, tandis que l'air provenant de l'extérieur passe dans les intervalles entre les tubes. On peut faire passer directement les gaz du laboratoire dans la cheminée, ce qui évite pendant la période d'échauffement de chauffer inutilement le récupérateur.

Pour le fonctionnement, on commence par une première période dite d'échauffement, laquelle dure 2 h. 1/2 et dépense 290 m³ de gaz : le laboratoire se trouve porté à 800 ou 900° (les chalumeaux ne s'allument que successivement). Le cercueil introduit, on a une période d'évaporation et de carbonisation pour laquelle il ne faut pas beaucoup d'air ; au contraire il faut envoyer une grande quantité d'air pour la période de combustion qui suit. Pour bien achever l'incinération, on répète plusieurs fois cette alternance ; l'opération demande 1 h. 1/2 et 85 m³ de gaz.

Légende (fig. 309) :

- a, Chariot porteur du cadavre.
- b, Entrée du mélange d'air et de gaz combustible dans la chambre d'incinération *t*.
- c, Sortie des produits de la combustion.
- d, Entrée des produits dans le récupérateur *h*.
- i, Tubes verticaux pour le passage de l'air frais venant des orifices *mm*.
- g, Passage (muni d'un registre) de l'air réchauffé.
- e, Entrée d'air frais (à envoyer sur le chariot).
- f, Foyer et gazogène, avec registre *k*.
- l, Ouverture pour régler les gaz du gazogène et les renvoyer dans la cheminée (quand on ferme *k*).
- g, Foyer secondaire.
- o, Chambre d'aération du foyer principal.
- p, id. id. secondaire.
- n, Porte de la chambre d'incinération, munie de regards.
- u, Regard.

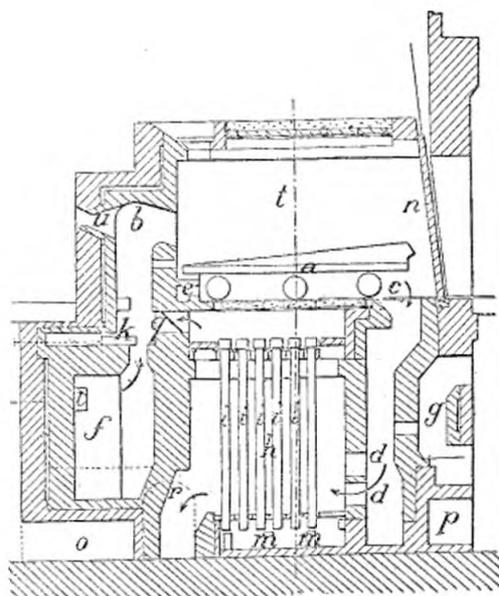


Fig. 309. — Four crématoire, système Klingenstierna.

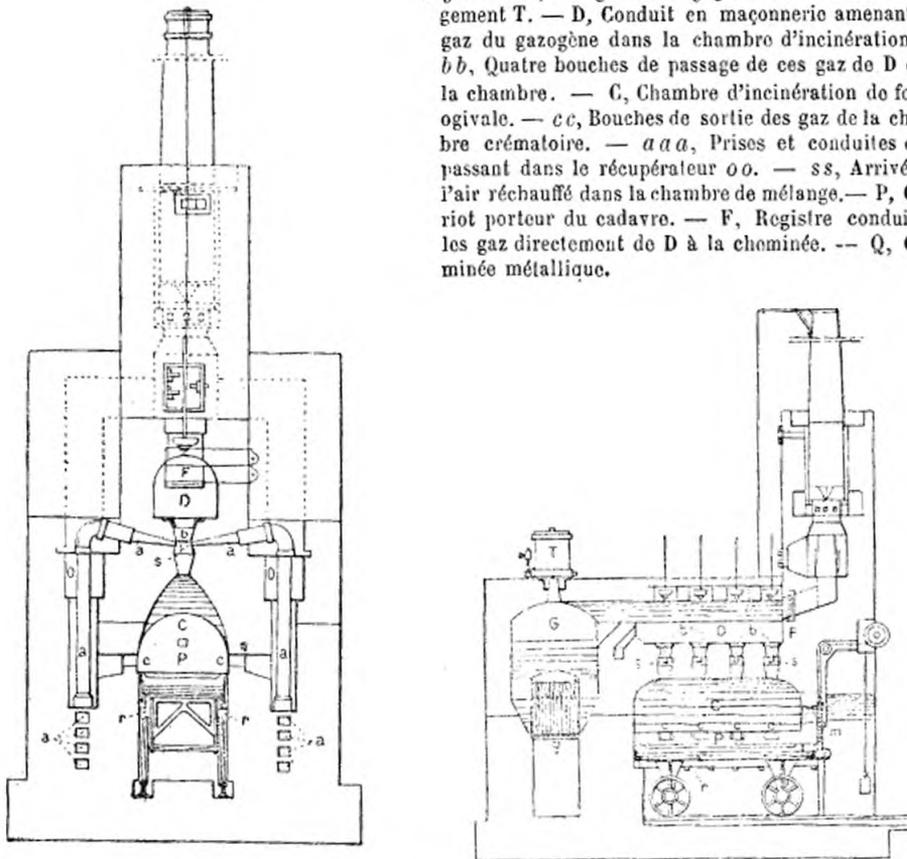
Appareil Klingenstierna (fig. 309). — Il fonctionne à Stockholm,

Gothembourg, Heidelberg et Offenbach. Il est à gazogène et à coke, avec deux foyers, le second destiné à parfaire la combustion; le récupérateur est en tubes de fonte au travers desquels passe l'air frais pour se réchauffer. La légende suffit à faire comprendre le fonctionnement: le chariot métallique reste dans la chambre de crémation comme dans l'appareil Guzzi.

Le four d'Offenbach a coûté 8750 francs; celui de Heidelberg 22000 francs: une incinération coûte 10 à 12 francs et dure 2 heures.

Appareil Spasciani-Mesmer. — En fonction à Venise, Livourne et au nouveau temple crématoire de Milan (inauguré le 8 novembre 1896).

Légende: G, Gazogène avec *g* grille et trémie de chargement T. — D, Conduit en maçonnerie amenant les gaz du gazogène dans la chambre d'incinération. — *bb*, Quatre bouches de passage de ces gaz de D dans la chambre. — C, Chambre d'incinération de forme ogivale. — *cc*, Bouches de sortie des gaz de la chambre crématoire. — *aaa*, Prises et conduites d'air passant dans le récupérateur *oo*. — *ss*, Arrivée de l'air réchauffé dans la chambre de mélange. — P, Chariot porteur du cadavre. — F, Registre conduisant les gaz directement de D à la cheminée. — Q, Cheminée métallique.



Coupe transversale.

Coupe longitudinale (Echelle réduite de 1/3).

Fig. 310. — Appareil crématoire Spasciani-Mesmer.

Il a plusieurs avantages; il occupe peu de place (2^m,28 sur 3^m,80); il n'exige pas de haute cheminée; il est simple et rapide (45 à 60 minutes), continu ou intermittent à volonté. Il ne coûte que 3000 francs.

Comme on le voit par les deux coupes (fig. 310), les gaz provenant du gazogène arrivent par un canal distributeur et quatre orifices dans le haut de la chambre de crémation, laquelle est de forme ogivale. Les quatre orifices d'entrée du mélange d'air et de gaz correspondent à la tête, la poitrine, le ventre et les jambes, c'est-à-dire aux parties les plus difficiles à comburer : les produits sortent par des orifices au niveau des flancs du cadavre qui se trouve bien enveloppé par la flamme. L'air est réchauffé en traversant des tubes verticaux placés dans les carneaux d'évacuation des produits de la combustion vers la cheminée. La chambre est de dimensions aussi réduites que possible : elle est complètement fermée en bas par le chariot quand il est en place. Celui-ci est mobile sur rails, et recouvert à sa partie supérieure supportant le cadavre, de terre réfractaire vernissée formant une surface polie, légèrement concave. Une seconde combustion est installée à la base de la cheminée et assure la fumivorté : on peut même établir un second foyer dans un carneau en retour. Enfin, le chariot pouvant sortir par l'extrémité opposée à celle d'entrée, on peut avec deux ou plusieurs chariots faire une succession ininterrompue d'opérations.

3° Appareils à air chaud

Appareils Siemens. — Dès 1878, Siemens aidé du Docteur Reclam adapta ses appareils de chauffe si puissants à la crémation et construisit le crématoire de Gotha (fig. 311). Il est entièrement souterrain, et se compose d'un gazogène ordinaire (qu'on ne voit pas sur la figure), d'un régénérateur Siemens et de la chambre de crémation. Le régénérateur est formé de briques réfractaires empilées à claire-voie, de façon à permettre à la flamme de circuler entre elles et de leur communiquer une chaleur que reprend ensuite l'air pendant l'opération même de la crémation. La chambre d'incinération est voûtée, en briques réfractaires, et munie d'une grille également réfractaire sur laquelle on pose le corps : le compartiment se rétrécit en tous sens au-dessous de cette grille pour former une sorte d'entonnoir dans lequel tombent les cendres.

On commence par chauffer l'appareil pendant quelques heures : le gaz du gazogène et l'air atmosphérique convenablement réglés brûlent à la base du régénérateur et le portent au rouge-clair 1200 à 1500° C (la chambre de crémation au rouge-pâle). On introduit alors le corps, puis après un certain temps on ferme l'arrivée du gaz et on ouvre en entier celle de l'air qui se chauffe fortement dans le régénérateur et combure

rapidement (1 heure à 1 h. 1/4) le cadavre. Il n'y a à reprocher à l'appareil que la grande quantité de combustible qu'il exige (2000 à 2500 kg. de houille pour une opération isolée) et le coût élevé qui atteint 90 à 100 francs par crémation (il serait réduit en marche continue).

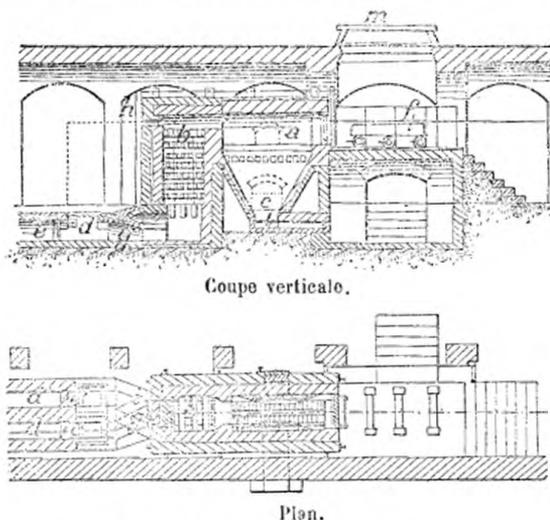


Fig. 311. — Four crématoire Siemens.

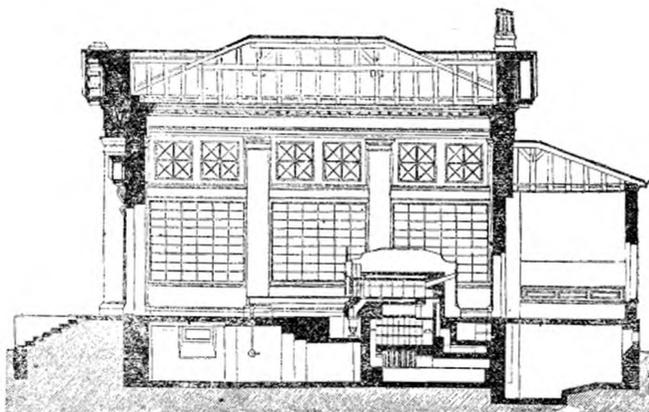
Légende : *a*, Chambre de crémation. — *b*, Régénérateur. — *c*, Carneau conduisant à la cheminée. — *d*, Canal du gaz venant du gazogène (un conduit parallèle *d'* amène l'air). — *e*, Registre de ce canal. — *g* et *i*, Entrées du gaz et de l'air dans le générateur. — *h*, Regard. — *f*, Cercueil. — *l*, Plaque sur laquelle tombent les cendres. — *m*, Trappe dans le parvis du temple pour la descente du cercueil.

Depuis, Siemens a construit des crématoires où le régénérateur comporte quatre chambres, les deux de droite fonctionnant alternativement avec les deux de gauche : ainsi si on opère avec les deux premiers, l'air qui a produit la crémation traverse le groupe des deux autres en allant à la cheminée et le réchauffe pour l'opération suivante.

Appareil Guichard.— Cet appareil, qui fonctionna devant le Congrès d'hygiène de 1889, n'est autre qu'un four Siemens chauffé par le gaz d'éclairage et l'air comprimé (mélange dans la proportion de 2 à 5). Le régénérateur une fois chauffé au rouge est également traversé par l'air comprimé. Nous ne connaissons pas d'application en grand.

Appareil Bourry (Zurich, fig. 312).— Cet appareil diffère du Siemens en ce que la chambre de crémation continue pendant l'opération à être enveloppée par l'oxyde de carbone en ignition, le gaz circulant dans un espace libre entourant entièrement la chambre : de plus, les produits de la combustion allant à la cheminée réchauffent l'air froid dans un récupéra-

teur tubulaire. La cheminée n'a que dix mètres de hauteur. La mise en feu de l'appareil Bourry demande 8 à 10 heures avec une tonne de coke : ensuite chaque crémation se succédant n'exige plus que 100 à 150 kg. de coke et dure environ deux heures.



Coupe verticale en long.

Fig. 312. — Appareil crématoire Bourry, à Zurich.

Comme le montre la figure, le four est dans le sous-sol de la salle principale (de 12 m sur 6 m) du temple crématoire, et la chambre de crémation est un peu au-dessus du niveau du parvis. On n'a qu'à déposer le cercueil sur la table oblongue placée en avant du monument du four (forme de sarcophage antique) ; les manœuvres se font du sous-sol, et après l'opération, on n'a qu'à râcler les cendres qui tombent dans l'urne placée en avant.

Appareil Schneider. — Installé à Hambourg (fig. 313), cet appareil se trouve également logé dans le sous-sol de la salle et tient très peu de place. Le gazogène et le régénérateur sont en quelque sorte condensés en un seul organe, qui a la forme d'un fourneau à manche se chargeant de coke par le haut : au-dessous de la grille du gazogène, on place une cuve d'eau, qui produit de la vapeur montant dans le foyer et empêchant une trop rapide détérioration. L'air qui doit servir à l'incinération proprement dite entre par des conduits dont les ouvertures sont sur la face du four opposée au gazogène, en dessous de l'ouverture du cinéraire : cet air se réchauffe fortement en traversant toute une série de conduits (figurés en pointillé sur la figure) se contournant dans la partie supérieure du gazogène générateur et aboutissant finalement à la chambre de crémation. Pendant toute la période d'allumage qui dure 3 à 4 heures, ces

prises d'air sont fermées, et l'air nécessaire à la combustion du coke et à la production des gaz combustibles est pris sous la grille du gazogène d'abord, puis par des ouvertures percées dans sa paroi d'avant, tandis que les produits de la combustion s'échappent par la chambre, le cinéraire et les carneaux. On arrive ainsi à une température d'environ 1000° C.; la maçonnerie du gazogène et de la chambre de crémation sont au rouge clair. On introduit alors le chariot qui dépose le cercueil et se retire, puis on manœuvre les registres d'admission de l'air spécial à l'incinération (tout en fermant le passage des gaz combustibles dans la chambre) : cet air seul enveloppe le cadavre et le brûle en 1 h. 1/4 à 1 h. 1/2.

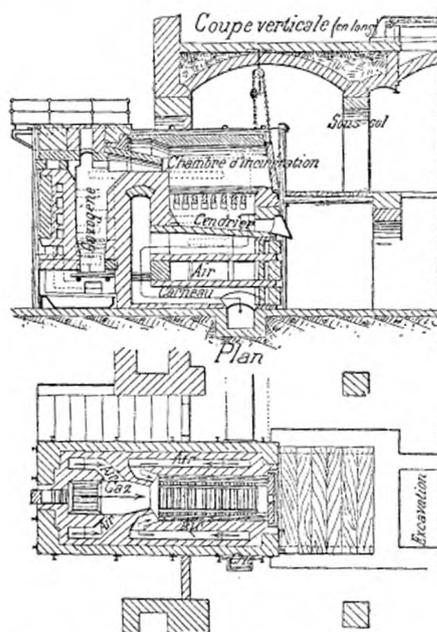


Fig. 313. — Four crématoire Schneider, à Hambourg.

Le prix du four (sans l'appareil pour la descente du cercueil) est de 7500 francs, et la dépense pour une incinération isolée de 20 à 25 francs (12 francs seulement à Hambourg).

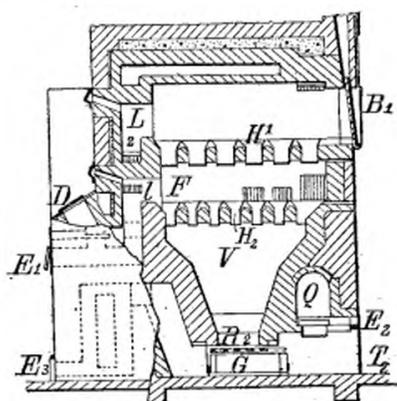
Appareil Freigang (fig. 314). — Cet appareil peut servir facilement à brûler plusieurs cadavres à la fois ou très rapidement l'un après l'autre, ce qui est précieux en temps de guerre ou d'épidémie (1). — Comme

(1) La plupart des fours précédemment décrits pourraient facilement, en augmentant les dimensions, être organisés pour incinérer plusieurs cadavres simultanément.

dans l'appareil précédent, l'air destiné à l'incinération proprement dite entre par le côté opposé au gazogène et n'est introduit qu'après la période de mise en feu ou de réchauffement. Pour ce réchauffement les gaz combustibles et l'air de combustion (qui entre par E_1) pénètrent, non pas directement dans la chambre de crémation, mais dans un espace ménagé sous elle et dit chambre de réchauffement: cet espace est compris entre deux grilles superposées H_1 et H_2 , la combustion des débris tombés sur H_2 devant s'y achever. A la base du cinéraire, une troisième grille R_2 permet encore de brûler ce qui est tombé de H_2 : on peut ainsi, grâce à ces combustions successives, hâter l'introduction de nouveaux cadavres sans attendre une combustion complète des premiers.

Légende :

- B_1 , Porte de la chambre d'incinération.
 D , Bouche de chargement du gazogène.
 E_1 , Bouche d'introduction de l'air pour le réchauffement.
 E_2 , Bouche d'introduction de l'air pour la crémation.
 2 , Conduit d'échauffement de l'air pour la crémation.
 L , Passage de cet air dans la chambre de crémation.
 F , Chambre de réchauffement.
 l , Conduit pour l'air pour le réchauffement.
 Oo , Conduits des produits de la combustion.
 H_1 , Grille sous le cadavre.
 H_2 , Grille de seconde combustion.
 V , Chambre cinéraire
 R_2 , Grille recevant les cendres.
 E_3 , Entrée de l'air pour la troisième oxydation des cendres.
 G , Urne.
 T_2 , Porte pour la sortie de l'urne.
 Q , Cheminée.



Coupe longitudinale verticale.

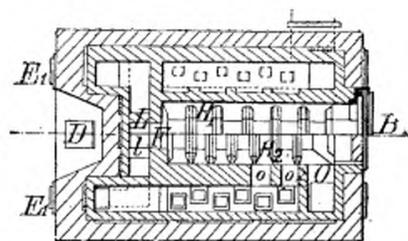
Section horizontale
à travers la chambre de crémation.Section horizontale
à travers la chambre de réchauffement.

Fig. 314. — Appareil crématoire Freignang.

Il resterait encore un mot à dire des fours crématoires mobiles, se transportant, soit dans les petites localités, soit sur les champs de bataille. Tel est le *four mobile Rey*, qui n'est autre chose qu'un four Gorini à parois métalliques monté sur un chariot à quatre roues: le foyer est entouré d'une double paroi et l'espace intermédiaire est rempli d'eau

pendant le feu. Tel est aussi le wagon crématoire *Kuborn et Jacques* (fig. 315), qui mérite une courte description.

L'espace clos de parois métalliques A est destiné à recevoir les corps qu'on entre par le couvercle E: le fond en est formé par deux soles inclinées SS réfractaires, dont le bord inférieur vient plonger dans un bassin d'eau B qui fait fermeture. Sous les soles sont deux foyers conjugués F et F' pouvant être alimentés par toutes sortes de combustibles.

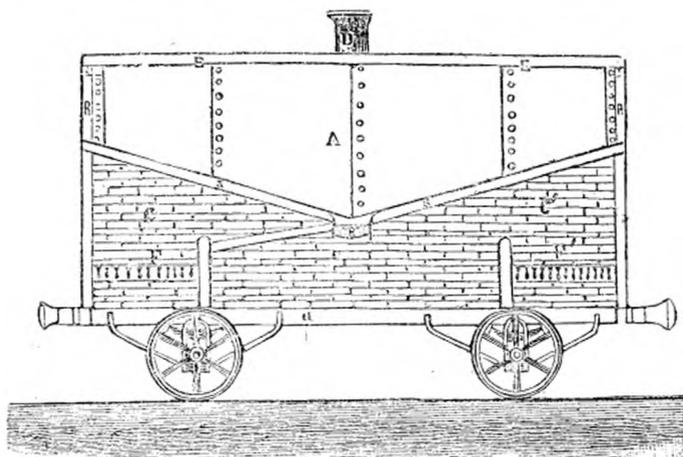


Fig. 315. — Wagon crématoire de Kuborn et Jacques.

Les flammes du premier foyer F après avoir enflammé les gaz et les graisses sortent par B, vont achever de se comburer sur le second foyer F' et s'échappent ensuite par les carnaux C'. L'opération ne durerait qu'une heure et demie. — Les mêmes inventeurs ont aussi proposé un *incinérateur mobile par eau* qui pourrait être remorqué sur les rivières. Des appareils de ce genre rendraient de grands services en temps de guerre et éviteraient les horreurs qui ont suivi les batailles de 1870-71.

La question des urnes et des columbariums n'a rien de scientifique.

§ 3. — Suppression des causes d'impureté de l'atmosphère urbaine.

Comme d'eau pure, l'homme a besoin d'air pur, et il a besoin aussi de soleil et de lumière. Cela soulève les questions d'aération des villes,

d'ensevelissement des maisons ⁽¹⁾, de largeur des rues et places, de hauteur des habitations ⁽²⁾, de surface à réserver aux terrains non bâtis, ⁽³⁾, d'utilité des plantations etc., dans lesquelles nous ne pouvons entrer et pour lesquelles la science n'a d'ailleurs fait que peu de progrès, le principe qu'il faut faire circuler l'air et la lumière aussi largement que possible étant posé depuis longtemps. On n'a pas réussi encore pratiquement à amener, comme on le fait pour l'eau, l'air pur des montagnes et des forêts dans les villes : en attendant, devons-nous tout au moins chercher à protéger l'atmosphère urbaine contre les causes d'impureté qui sont le fait de l'homme lui-même. Ces causes, que nous avons appelées *immondices aériennes*, sont les poussières, les fumées, les gaz ou vapeurs toxiques et mal odorants : outre leurs inconvénients propres, ces corps étrangers de l'atmosphère ont le grave défaut d'obliger les habitants qui les respirent à fermer leurs fenêtres pour les éviter, et

(1) Voir à ce sujet le bel article de M. Spataro : « Orientation et largeur des rues pour l'insolation des maisons » in *Revue d'Hygiène*, janvier et février 1898. — Vogt s'était posé le problème de savoir sous la latitude de Vienne ou de Paris quelle largeur devait avoir une rue pour que les rayons solaires viennent toucher le rez-de-chaussée pendant au moins une heure au jour le plus court de l'année, et il a trouvé que la largeur des rues *méridiennes* doit être de deux fois un tiers la hauteur des maisons et que celle des rues *équatoriales* doit être quatre fois cette hauteur.

Voir également le rapport de M. E. Trélat : « Principes et conditions commandées par l'hygiène aux règlements de voirie dans les agglomérations urbaines », au Congrès d'Hygiène de 1900, et le vœu subséquent du Congrès en faveur de l'élargissement des rues et des cours et de la dimension de hauteur des maisons.

(2) Le *Bulletin de la Société des Ingénieurs et Architectes sanitaires de France*, dans son numéro d'août à Novembre 1900, a publié les « Règlements de voirie des principales villes de l'Europe ». Le lecteur y trouvera des renseignements fort nombreux et fort intéressants sur ce sujet.

(3) On peut citer comme modèle sous ce rapport — comme du reste sous beaucoup d'autres — le nouveau règlement (13 août 1896) sur les bâtisses à Berlin. Il exige en principe qu'un tiers au moins de la surface du terrain reste sans être bâti et que les cours aient au moins 80 m² : sur une profondeur de 32 m, les six premiers mètres touchant à la rue peuvent être bâtis, le reste ne peut l'être que dans une proportion de 7/10 et au delà de 32 m seulement dans une proportion de 5/10 ou 6/10. Il est bien regrettable qu'en France aucune disposition légale ne permette de réfréner les bâtisses souvent inconsidérées des propriétaires de terrains.

Berlin n'est du reste pas la seule ville allemande qui soit réglementée sous ce rapport. Entr'autres, nous trouvons une ordonnance sur les zones de constructions dans les localités industrielles de Sarrebrück, Saint-Jean et Malslatt : voir *Centralblatt für allgemeine Gesundheitspflege*, 1899, page 49. Le même volume, page 85, contient un article intéressant de Stubben, sur la question des bâtisses (et spécialement des logements à bon marché). Enfin, on sait que le Congrès d'Hygiène de Würzburg en 1893 s'est occupé beaucoup de la question : le rapport d'Adicke et Baumeister est inséré dans *Deutsche Vierteljahrsschrift für off. Gesundheitspflege*, 1893.

par suite ils diminuent l'aération des habitations et la capacité respiratoire des individus; on peut craindre qu'il n'en résulte à la longue un *étiolement* de la race.

Nous avons assez parlé des poussières pour n'y plus revenir : reste donc à parler des fumées et des odeurs urbaines.

A). — SUPPRESSION DES FUMÉES ET DES GAZ DE LA COMBUSTION
DANS L'AIR DES VILLES

Chaque foyer domestique ou industriel mal conduit déverse dans l'atmosphère des gaz toxiques, notamment de l'oxyde de carbone et de l'acide sulfureux, et des fumées, c'est-à-dire des particules de charbon et des cendres entraînées avec de la vapeur d'eau par le tirage de la cheminée; ces parcelles flottant dans l'air attirent et condensent l'humidité et contribuent puissamment à former et à maintenir ces nuages et brouillards qui enveloppent les villes modernes et dont le *London's fog* (1) est le type. Les inconvénients des fumées sont bien montrés par M. Ramsay dans sa conférence de 1896 au Congrès de Glasgow; il écrit (2) :

« C'est là un des problèmes les plus pressants de notre époque, en
« ce siècle où les êtres humains, en raison des conditions économiques
« de nos manufactures, affluent dans les villes et nécessitent l'exten-
« sion stupéfiante de celles-ci. Depuis nombre d'années, nous nous
« efforçons de vaincre les inconvénients et les dangers d'une telle cen-
« tralisation, et le régime des matières usées, l'alimentation en eau,
« les mesures de propreté sont autant de progrès très réels; mais nous
« n'avons pas encore atteint les franges de ces manteaux sombres sus-
« pendus sur nos cités, qui nous cachent la lumière du soleil et qui
« sont à la fois un ennemi de la propreté et un véhicule des maladies.

« L'on peut ranger sous les trois chefs suivants le préjudice que nous
« cause la fumée :

« 1° Elle dépose dans nos maisons, sur nos vêtements, sur nos per-
« sonnes, des résidus noirs qui nécessitent une grande dépense de tra-
« vail et de savon.

« 2° Elle condense les vapeurs atmosphériques, les brouillards et la
« pluie; elle rend notre climat plus froid, nos vies plus ou moins mal-
« heureuses et inconfortables.

(1) Voir : « Les brouillards de Londres et la fumosité » in *Revue d'Hygiène*, 1879, page 413, et 1882, page 201.

(2) *Journal of State Medicine*, septembre 1896.

« 3^o Elle obscurcit la lumière du soleil et augmente le développement
« et la pullulation des bactéries, dont beaucoup sont pathogènes, et
« elle accumule dans l'atmosphère, sous forme de brouillards, l'élément
« qui est précisément capable d'absorber les rayons bleus, violets et
« ultra-violetts que l'on a démontrés être destructeurs de bactéries. »
Et M. Ramsay rappelle les expériences qui ont mis en évidence ce pouvoir bactéricide des rayons violets du spectre et des rayons voisins : il est certain en outre que la lumière solaire active les fonctions de la peau et des cellules et organes en général.

La question hygiénique se double du reste d'une question économique, car les particules de charbon qui s'en vont par la cheminée sont une perte sèche qui atteint par moment jusqu'à 15 à 20 0/0 du combustible. Aussi se préoccupe-t-on depuis longtemps de la *fumivorté* : en 1864, M. de Freycinet compte 150 procédés brevetés en usage en Angleterre et depuis le nombre a dû augmenter, les concours d'appareils fumivores s'étant multipliés sans toutefois faire surgir encore l'appareil parfait (1). Cependant beaucoup des appareils existants (il ne nous appartient pas de les décrire, ces appareils étant des accessoires des machines à vapeur et devant être étudiés avec elles (2) rendent d'excellents services et l'usage doit en être recommandé, sinon prescrit aux industriels.

D'ailleurs, il vaut beaucoup mieux chercher à éviter la production de la fumée que d'être obligé de chercher à la brûler après qu'elle s'est produite. Or, l'absence de fumée dans un foyer dépend de trois choses :

1^o La qualité du combustible : chacun sait que le coke et l'antracite donnent beaucoup moins de fumée et de suie que la houille grasse ; il faut donc en recommander l'emploi partout où on le peut.

2^o La bonne construction et les dimensions convenables du foyer et de la cheminée ; souvent les foyers comme les cheminées sont trop petits et pour avoir la pression voulue il faut forcer la quantité de combustible qui dès lors brûle mal et fume.

(1) Le dernier concours ouvert par la ville de Paris en 1894 a été jugé fin 1897, par une Commission spéciale nommée à cet effet, et celle-ci n'a pas cru devoir allouer de premier prix (rapport Hirsch).

(2) Comme nouveauté, nous ne pouvons nous empêcher de citer le procédé de M. Tobianski-d'Altoff exposé le 4 mai 1901 à l'Association belge des Inventeurs. Il consiste à faire passer toutes les émanations du foyer dans un récipient rempli de substances poreuses imbibées d'hydrocarbure volatil, et de là dans un gazomètre : on obtient ainsi, avec la fumée carburée, un nouveau gaz (le *pyro-gaz*), qu'on brûle à volonté pour l'éclairage, le chauffage, et la force motrice.

3° L'habileté professionnelle du chauffeur. La fumée résulte en effet très souvent de fausses manœuvres dans la direction du feu, et on a tout intérêt à instruire les chauffeurs à ce sujet: c'est ce qui se fait en Allemagne, où il existe des associations de propriétaires de machines à vapeur qui paient des maîtres chauffeurs rien que pour aller montrer aux industriels la bonne tenue et la bonne marche des foyers. (D'après un article du 31 juillet 1900 du *Gesundheits-Ingenieur*, l'Association silésienne qui fonctionne depuis 1883 aurait obtenu de cette manière d'excellents résultats) (1).

La législation dans les différents pays s'est occupé de la question des fumées, mais avec un succès plutôt douteux, les prescriptions restant souvent lettre morte quand les industriels n'y mettent pas de bonne volonté. La question reste à l'ordre du jour et le Congrès d'Hygiène de 1900 a émis l'avis que : « les fumées étant malsaines, surtout quand « elles sont noires, épaisses ou prolongées, une réglementation sévère « de la fumivoricité s'impose dans l'intérêt supérieur de la salubrité pu- « blique : une surveillance administrative est particulièrement néces- « saire dans les quartiers où se produisent des fumées industrielles. »

En Angleterre, où les besoins étaient pressants, le *Smoke nuisance abatement Act* oblige depuis le 1^{er} août 1854 les industriels de Londres à brûler leur fumée. Pour le pays entier, le public Health act de 1873 regarde comme *nuisance* tout foyer industriel « qui ne consomme pas assez complètement sa propre fumée, ou qui laisse échapper une quantité désagréable d'épaisse fumée *noire*. » Ces termes sont vagues, et il en résulte de grandes difficultés d'application pour les magistrats qui ont à faire respecter la loi. C'est ce dont se sont plaints vivement au dernier Congrès de Southampton MM. Brayley Hodgetts et J. Priestley (voir leurs communications dans le *Journal of the Sanitary Institute*, avril 1900). Ils nous apprennent cependant qu'une nouvelle loi est intervenue en 1891 pour Londres, paragraphes 23 et 24, mais que le terme *noire* (2) sur lequel il est si facile d'ergoter, subsiste encore; dans la loi sanitaire écossaise de 1897, par. 16, on a supprimé ce mot et déclaré nuisible toute cheminée industrielle produisant de la fumée en quantité suffisante pour être gênante ou désagréable. En fait, beau-

(1) C'est aussi ce qu'a recommandé Haier dans son rapport sur la question au Congrès d'Hygiène allemande de 1899, à Nuremberg (Voir *Deutsche Vierteljahrsschrift für öff Gesundheitspflege*, XXXII, 1900).

(2) En pratique, M. Brayley dit qu'on peut regarder comme *noire* une fumée quand il devient impossible de distinguer à l'œil où cesse le bord supérieur de la cheminée et où commence le courant de fumée qui en sort.

coup de villes ont des inspecteurs qui surveillent les cheminées industrielles, et il est accordé une tolérance pour la production de fumée noire (allumages, attisages, rechargements du feu etc.) qui varie de 4 minutes par heure à Liverpool à 15 minutes à Nottingham et est en moyenne de 5 à 7 minutes.

Aux Etats-Unis, plusieurs villes (Saint-Louis dès 1893) ont frappé d'une amende de 5 à 50 dollars l'émission de fumée noire et épaisse. Un acte législatif du 16 avril 1900 a permis aux villes de première et de deuxième importance de créer un emploi d'ingénieur surveillant les cheminées : plusieurs villes (Cleveland, Cincinnati etc.), en ont profité aussitôt pour édicter des règlements et des pénalités.

En Allemagne, il n'y a que des règlements municipaux locaux. Citons le statut de Dresde du 7 mars 1887 qui décide que les hauts fourneaux, les grands foyers et ceux de chauffage central doivent être construits « de sorte que la fumée ne puisse s'en dégager à l'avenir sous forme de particules visibles à l'œil. » Une prescription analogue a été édictée dans sept autres villes allemandes : à Berlin, une Commission nommée par le Ministre du Commerce a préparé une ordonnance, mais nous ne sachions pas qu'elle ait déjà été rendue.

En Autriche, le règlement des bâtisses à Vienne, § 66 à 69, le règlement du 10 avril 1886 à Prague, § 91 à 94, prescrivent l'emploi des appareils fumivores, la surélévation des cheminées et autres mesures « de sorte que le voisinage ne soit pas incommodé par la fumée. » Un règlement spécial a été édicté en 1891 pour les villes de bains de la Bohême (Karlsbad, Marienbad, Franzensbad) ; enfin un projet de loi pour l'atténuation des inconvénients des fumées en Bohême a été présenté à la Diète de ces pays en 1899.

En Belgique, la loi du 8 décembre 1879 sur les bâtiments a institué une inspection pour surveiller les hauts fourneaux et les foyers importants.

En France, un décret du 23 janvier 1863 a prescrit la fumivoricité aux appareils à vapeur fixes, mais il est bien peu respecté. Le 22 juin 1898, Paris a édicté une ordonnance pour se défendre contre les fumées : elle est ainsi conçue :

Article premier.— Dans le délai de six mois, à partir de la publication de la présente ordonnance, il sera interdit de produire une fumée noire, épaisse et prolongée, pouvant atteindre les habitations voisines ou infecter l'atmosphère des rues de Paris.

Art. 2. — Les contraventions à la présente ordonnance seront constatées par des procès-verbaux ou des rapports, qui seront déférés aux tribunaux compétents.

Cette ordonnance a été également rendue applicable aux communes d'Asnières, Boulogne et Gennevilliers par des arrêtés des maires de ces communes.

Voici comment le rapport de M. Adam, Inspecteur des Établissements classés, apprécie les effets de cette ordonnance pour 1899.

« Un délai de six mois avait été fixé pour l'application de l'ordonnance du 22 juin 1898, concernant les fumées. C'est donc seulement en 1899 qu'elle a pu être invoquée contre les établissements non classés. Ceux-ci ont provoqué 197 plaintes dont 125 ont été reconnues fondées. Sans l'ordonnance, ces plaintes n'auraient pas eu de suite. Il faut ajouter, par contre, qu'un grand nombre d'entre elles ne se seraient pas produites. L'ordonnance a appris au public qu'il pouvait se départir de la tolérance qu'il avait montrée relativement à un état de choses considéré comme sans remède, l'a rendu plus exigeant et a suscité ainsi une foule de plaintes. Les établissements classés ont provoqué moins de plaintes, 173 dont 115 étaient fondées.

En somme, sur 818 plaintes, l'année 1899 en a vu se produire 370 contre les fumées dont 240 fondées.

L'application de cette ordonnance nouvelle a dû être faite avec beaucoup de ménagements et de fermeté à la fois. Le Service s'est inspiré des sages conseils contenus dans le rapport de la commission technique, dû à M. Hirsch (p. 106):

« Le mal est profondément invétéré, on ne peut espérer le réduire qu'avec beaucoup de temps et de persévérance. Cette continuité d'action ne saurait être obtenue que d'un personnel technique permanent... Il n'est pas douteux que, dans les premiers temps surtout, ces prescriptions ne rencontrent des difficultés et ne soulèvent des oppositions. Il appartiendra au personnel spécial de faire respecter l'ordonnance, il sera soutenu dans sa tâche par les autorités administratives et municipales... »

Pendant l'année 1899, et en plus des inspections motivées par des plaintes, il a été fait 1625 visites ayant pour principal objet de constater l'exécution de l'ordonnance du 22 juin 1898. Cette ordonnance a été rappelée 160 fois; 98 décisions spéciales à la fumivorité ont été prises à l'égard d'établissements classés, 12 procès-verbaux ont été dressés.

Total des mesures administratives, 270, qui ont provoqué 18 réclamations.

L'émission des fumées est consignée sur des tableaux quadrillés où les abscisses représentent les temps, et les ordonnées les intensités cotées de 0 à 4. Pour les établissements classés, des prescriptions fermes sont souvent faites, spécifiant les moyens à employer pour assurer la fumivorité. Dans les établissements non classés, il a été jugé plus convenable de rappeler simplement l'ordonnance *en conseillant* tel ou tel remède.

Depuis un an que l'ordonnance est exécutoire, le Service a pu faire assez d'observations pour qu'on puisse en dégager quelques conclusions. Ces conclusions sont d'ailleurs conformes à celles de la commission technique, mais l'expérience permet de les rendre plus affirmatives.

Et d'abord, il faut reconnaître que la bonne volonté des industriels est, en général, manifeste. De là le nombre relativement restreint des procès-verbaux. Il faut rendre ici justice à l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, qui a concouru par ses encouragements et ses conseils auprès des industriels à l'amélioration que tout le monde désire, et son distingué président, M. Compère, a été un précieux auxiliaire du Service d'inspection.

Il est seulement à regretter qu'un grand nombre d'édifices nationaux et municipaux continuent à donner un déplorable exemple. Nous citerons dans ce cas, parmi les hôpitaux, Laënnec, plusieurs établissements d'enseignement, la Sor-

bonne en tête, le Ministère des Finances, l'Administration des Postes (Boulevard Brune), l'Odéon, la prison de la Santé, l'usine électrique des Halles, etc.»

Dans ce qui précède, il y a en somme peu de données scientifiques. Quelles sont les quantités de particules solides, d'oxyde de carbone et d'autres gaz contenues dans les fumées et par suite dans l'air des villes? C'est là une question qui paraissait insoluble. Il appartenait à M. Armand Gautier de la résoudre scientifiquement : dans un rapport, en collaboration avec M. Gréchant, au Congrès d'Hygiène de 1900, il faisait déjà connaître les premiers résultats de ses longues recherches, mais il vient de les publier en entier dans son rapport du 1^{er} février 1901 au conseil d'Hygiène de la Seine. Il faudrait citer en entier ce rapport magistral qui est une nouveauté (il a été reproduit in extenso dans la *Revue d'Hygiène*, février et mars 1901) : ne pouvant le faire, nous mettrons du moins sous les yeux des lecteurs de la *Revue technique*, le résumé assez court, mais très substantiel qu'en a donné le *Génie Civil* (n° du 1^{er} juin 1901) :

« Au nombre des importants problèmes que soulève l'hygiène des grandes cités, prend place la question des fumées ; il n'est que trop évident, en effet, qu'en se déversant continuellement dans l'atmosphère urbaine par les milliers de cheminées qui émergent d'une grande ville, ces fumées, en obscurcissant le ciel, diminuent l'éclaircissement et entravent l'action bienfaisante et antiseptique de la lumière.

La production des fumées constitue un danger plus direct encore par le dégagement dans l'air de gaz éminemment nocifs, tels que l'oxyde de carbone, l'acide sulfureux, etc., nuisibles aux hommes et aux végétaux, sans parler des objets inanimés.

La mesure de cette pollution de l'air respirable a préoccupé, à différentes reprises, les chimistes et les hygiénistes. Les premières analyses des gaz qui s'échappent des foyers d'appartement sont dues à Pécelet (1827). Ebelmen, en 1844, appliqua à l'analyse des fumées une méthode assez précise, qu'il employait pour l'étude des gaz sortant des hauts fourneaux et des fours industriels. Des expériences en ce sens, longues et délicates furent menées à bien, en 1870, par MM. Scheurer-Kestner et Meunier ; enfin, en Angleterre, de nombreuses et intéressantes analyses furent exécutées, en 1882, par une Commission chargée d'examiner les divers appareils, dits fumivores, exposés à South-Kensington, sous la direction de M. le professeur W. Chandler Roberts. Mais, de même que les méthodes expérimentées en Allemagne (méthode de Schwackhoeffler), toutes ces recherches portèrent sur le lieu même de production des fumées ou immédiatement à leur passage dans l'atmosphère. Elles ne sont donc plus utilisables pour le dosage ni pour la recherche qualitative des mêmes gaz, répandus, en proportion minime, dans l'air ; elles renferment, cependant, de précieux renseignements pour ce nouveau champ d'expériences, donnant un aperçu exact, quoique incomplet, de la combustion et permettant de se faire une idée des meilleurs modes de chauffage au point de vue de la fumivorité.

Le Conseil d'hygiène et de salubrité de la Seine, reprenant la question, nomma, en 1890, une Commission composée de MM. L. Colin, Armand Gautier, Faucher, Michel Lévy, et présidée par M. Linder, à laquelle fut confié le soin de rechercher les moyens de diminuer les inconvénients du déversement des fumées dans l'atmosphère urbaine. Le problème était ardu, car les méthodes permettant de

poser les produits gazeux de combustion mélangés à l'eau étaient entièrement à créer. C'est cependant cette tâche que M. A. Gautier, membre de l'institut, entreprit en 1893; il vient d'en publier les résultats après sept années de recherches.

Il est facile de se faire une idée de l'importance des fumées, si l'on songe que sur une surface de 8 000 hect., Paris brûle annuellement 3 millions de tonnes de combustibles, soit 375 tonnes par hectare, c'est-à-dire environ 1 tonne par jour et par hectare, ou 100 grammes de bois et charbons divers, en 24 heures, par mètre superficiel.

La combustion de 74 grammes de carbone réel, contenus dans ces 100 grammes de combustible, donne lieu à une production d'acide carbonique et d'oxyde de carbone. Outre ces deux gaz, il se dégage encore de nos foyers, de la vapeur d'eau de l'hydrogène, de l'hydrogène sulfuré, des hydrocarbures divers tels que des phénols, de la benzine, du gaz des marais, de l'acétylène et enfin, quoiqu'en faible proportion, des composés nitreux et même de l'acide cyanhydrique et des bases volatiles.

M. Gautier estime que si quelques-uns de ses produits sont indifférents ou en trop faible quantité pour nous inquiéter, il n'en est pas de même des acides sulfhydrique et sulfureux, nuisibles à la respiration de l'homme et des plantes, lesquels se transformant dans l'air en acide sulfurique, forment un véritable corrosif pour les pièces métalliques, les étoffes et les tentures des habitations.

En dehors de tous ces gaz, les fumées contiennent encore des parties goudroneuses, solides ou pâteuses, substances dans un état de division extrême, auxquelles elles doivent leur odeur, leur opacité et leur adhésivité. Parmi les principes constituant cette partie visible des fumées, les uns sont d'origine organique (hydrocarbures solides, goudrons, charbons très divisés, etc.), les autres d'origine minérale (sulfates, phosphates, carbonates, silicates terreux et alcalins, silice libre, etc.).

Malgré leur très minime masse, ces produits n'en représentent pas moins, pour Paris, le poids énorme de 160 000 kg. de matières solides qui se déposent, chaque année, sous forme d'enduits plus ou moins sales et adhérents aux maisons, tachant le linge et les objets de toute sorte: La nuée que forment ces fumées et qui enveloppe Paris, s'étend à un ou deux kilomètres de ses dernières maisons.

M. Gautier se préoccupant surtout, avec juste raison, du degré de nocuité de certains gaz contenus dans les fumées, s'est appuyé, tout d'abord, pour évaluer approximativement la pollution de l'air par ces gaz, sur les utiles renseignements fournis par les analyses des gaz issus des foyers industriels ou domestiques pris à la sortie des tuyaux de fumée, que nous avons rappelées plus haut. Mettant de côté comme fort dangereux, le poêle mobile américain, chargé de coke ou d'anthracite, il conclut que, dans nos foyers, 100 volumes d'acide carbonique produits sont généralement accompagnés de 6,5 volumes d'oxyde de carbone; cette proportion s'élève à 7,6 volumes dans les cheminées domestiques.

Les 100 grammes de combustible brûlés journalièrement à Paris, par mètre carré, donnent donc, en litres :

Acide carbonique	litres	117,37
Oxyde de carbone		7,62

Après ces premiers calculs approximatifs de la pollution de l'air à Paris, l'auteur a recherché dans quelle mesure la réalité des faits et le dosage direct viennent les confirmer. Constatant la nécessité de distinguer entre les produits gazeux mélangés à l'atmosphère de la cité, ceux qui proviennent des combustions, ceux qui introduisent les exhalaisons et fermentations du sol et ceux qui peuvent préexister dans l'air lui-même, il s'est livré à de minutieuses recherches, à la campagne, à la montagne et à la mer, pour connaître en quelle proportion sont

contenus dans l'air les gaz autres que ceux dont la présence y est normalement connue. Ces recherches lui ont permis de déterminer les quantités moyennes d'eau et d'acide carbonique contenues dans 100 lit. d'air, ramené à 0 degré et à 760 mm ; le tableau suivant les résume :

	Eau — milligr.	Acide carbon. — milligr.	Hydrogène — milligr.	Carbone — milligr.
Air des bois	30,51	22,43	répondant à 3,39	6,12
Air de la haute montagne à 2 400 m	21,60	4,37	—	2,40
Air de la mer à 40 km. des côtes .	15,57	0,04	—	1,73
				0,00

Ainsi, à mesure qu'on se met à l'abri des fermentations et exhalaisons du sol ; le carbone combustible de l'air disparaît peu à peu, tandis qu'une certaine quantité d'hydrogène, sensiblement constante, persiste, aussi bien dans l'air des hautes régions de l'atmosphère que dans celui qui est aspiré en pleine mer.

Ces nombres montrent que l'air des hauts sommets est presque dénué d'hydrocarbures, et que celui de la mer en est totalement dépourvu, mais que l'hydrogène s'y maintient.

M. Gautier estime que la majeure partie du carbone combustible trouvé dans l'air ordinaire, peut être considérée comme provenant du gaz méthane dû aux fermentations vaseuses du sol, aux phénomènes ignés du noyau terrestre et même de la vie végétale ; dans cette hypothèse, il calcule la quantité moyenne de cet hydrocarbure CH_4 , existant dans les différents airs, d'après le poids du carbone qu'il y a obtenu, et trouve ainsi, par 100 lit. d'air ramené à 0 degré et à 760 mm.

Air de la campagne ; air des bois . . .	cm^3	11,34	de méthane
Air des montagnes		3,94	—
Oxyde de carbone			traces.

En prenant comme type d'air sain et respirable celui de la campagne et des bois, on peut admettre que cet air contient les gaz accessoires suivant par 100 litres :

	cm^3	Carbone — milligr.	Hydrogène — milligr.
Gaz des marais	11,34	répondant en poids à 6,12	2,04
Hydrogène libre	19,45	—	0,00
Oxyde de carbone	nul	—	0,0

Il faut ajouter pour l'air des champs :

Acide carbonique	cm^3	29,9
----------------------------	---------------	------

Ayant ainsi défini la composition moyenne des parties accessoires de l'air réputé sensiblement pur, M. Gautier procéda à l'examen de l'air de Paris. Ses expériences lui montrèrent que 100 lit. d'air de la capitale, calculés sec à 0 degré et à 760 mm, donnent en moyenne :

Carbone combustible total	milligr.	12,29
Hydrogène		4,32

C'est-à-dire que l'air de Paris contient, à l'état d'hydrocarbures provenant des combustions de toute sorte et des fermentations du sol de la ville, deux fois plus de carbone que celui de la campagne et un excès de plus d'un tiers d'hydrogène.

En rapprochant ces chiffres du premier tableau que nous avons donné, on voit que les impuretés organiques, proportionnelles au carbone, sont à peu près entièrement absentes de l'air de la mer, qu'elles apparaissent dans l'air des hautes montagnes, s'accroissent dans celui des bois et des champs et arrivent à leur maximum dans l'air des villes.

Afin de pouvoir tirer des conclusions plus précises, M. Gautier rechercha directement, d'une façon toute spéciale, la présence de l'oxyde de carbone dans l'air de Paris.

Les intéressantes expériences de MM. Gréchant (1), de Saint-Martin, Desgrèz et Nieloux ont prouvé que les plus faibles doses de ce gaz (2 à 300 millièmes par exemple), constitue un poison subtil, que le sang a la propriété de collecter quelle que soit sa dilution dans l'air et qu'il réagit défavorablement sur la santé, même après élimination lente. La recherche et le dosage des moindres traces de ce gaz, étaient donc de toute utilité dans une semblable étude.

La méthode employée par M. Gautier, à cet effet, est basée sur la réduction de l'acide iodique par l'oxyde de carbone et le dosage de l'iode mis en liberté. Elle permet de doser l'oxyde de carbone à des dilutions excessives.

Des nombres obtenus en faisant passer jour et nuit, pendant plusieurs semaines, de 500 à 800 lit, d'air, privé très exactement d'acide carbonique et d'eau, sur de l'anhydride iodique chauffé à 80 degrés, il ressort que la quantité d'oxyde de carbone contenue dans l'atmosphère des rues de Paris oscille entre 0 et 9 volumes pour 1 million de volumes d'air. Cette importante variabilité tient à la nature des dégagements et des courants locaux. L'auteur a, cependant, été heureux de constater qu'au moment des plus mauvaises conditions, c'est-à-dire au moment du chauffage maximum et par un temps calme, le volume d'oxyde de carbone contenu dans l'air de Paris n'a pas dépassé la moyenne du demi-millionième. Devant les constatations des expérimentateurs précédemment cités, il n'ose pas cependant affirmer que cette minime proportion d'oxyde de carbone soit absolument inoffensive.

Laissant de côté l'azote, l'acide carbonique, les acides sulfureux et sulfurique, M. Gautier détermine alors la nature des gaz et des vapeurs combustibles introduits par les fumées dans l'air des rues de Paris il trouve que par 100 lit. ramenés à 0 degré et 760 mm, cet air contient :

Hydrogène libre	cm ³	19,4
Gaz formène	—	12,1
Hydrocarbures aromatiques (benzine et analogues)	—	1,7
Oxyde de carbone, avec traces possibles d'hydrocarbures en C ⁿ H ²ⁿ et C ⁿ H ²ⁿ⁻²	—	0,2

Ces proportions sont soumises bien entendu aux variations imposées par les courants, les jours et les lieux.

M. Gautier s'est occupé enfin des matériaux, condensables ou acides, des fumées. Considérant la répartition des fumées d'après l'enrichissement de l'air en acide carbonique, il évalue à 2 grammes environ par mètre carré la suite solide qui s'y répand annuellement, soit par jour 5^mgr,48. Cette quantité qui, soumise aux actions mécaniques des courants d'air et des vents, est répartie sur plus de 6250 m², représente à peine un millième de milligramme par mètre cube d'air. Bien que ces infimes proportions échappent au dosage direct dans l'air, leurs effets ne sont pas négligeables : les particules solides des fumées condensent, en effet, la vapeur d'eau autour d'elles et forment des brouillards qui diminuent la lumière, le plus puissant moyen d'assainissement des villes ; au dire de certains médecins anglais, les parties solides des fumées seraient des agents sensibles de propagation des maladies des organes respiratoires, de la tuberculose pulmonaire en particulier ; de plus, au point de vue esthétique elles souillent les maisons et les monuments publics.

(1) Voir le *Génie Civil*, t. XXXII, n° 10, p. 165. — Voir aussi *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. — 14 février 1898 et 7 mars 1898.

Voici la composition des suies produites par la houille :

Carbone impur	0,390
Hydrocarbures	0,123
Bases organiques diverses	0,020
Acide sulfurique	0,043
Acide chlorhydrique	0,014
Ammoniaque	0,014
Fer métallique et $Fe^3 O^4$	0,026
Autres matières minérales	0,312
Eau et pertes	0,168
	<u>1,000</u>

Dues à la combustion du bois, elles possèdent une réaction fortement alcaline et contiennent, après dessiccation :

Matières charbonneuses	0,283
Matières solubles dans l'eau chlorhydrique	0,654
Cendres solubles dans l'eau acidulée	0,051
Eau	0,012
	<u>1,000</u>

M. Gautier évalue à 4 ou 5 grammes l'acide sulfurique contenu dans 100 grammes de suies solides et à 1^{er},5 ou 2 grammes l'acide chlorhydrique. Ces quantités augmentent beaucoup avec des combustibles pyriteux : leur soufre passe à l'état d'acide sulfureux qui, répandu dans l'air, se transforme en vapeurs sulfuriques bientôt condensées à la surface des objets, ou qui, restant en suspension dans l'atmosphère, sont absorbées par notre appareil respiratoire.

Les effets nuisibles des fumées, résultant du dégagement dans l'air de gaz éminemment nocifs et de gaz acides, montrent la nécessité de remédier à cet état de choses. Un progrès en ce sens a déjà été réalisé : le concours d'appareils fumivores institué par le Conseil municipal, en juin 1894, concours dont les résultats ont été donnés dans le *Génie civil* (*) a mis en évidence quelques appareils présentant au point de vue de la fumivoricité un progrès marqué. L'ordonnance de police de 1898 qui a interdit, comme sanction à ce concours, de produire à Paris une fumée noire épaisse et longtemps prolongée s'appuya sur des données plus précises ; d'ailleurs les conclusions de la Commission parisienne qui suivit ce concours furent analogues à celle d'une Commission d'études des procédés de fumivoricité qui fonctionna, à Berlin, en 1894.

Enfin le Conseil municipal s'est de nouveau ému des inconvénients des fumées à Paris et, à la suite de sa délibération de novembre 1900, un arrêté préfectoral, du 12 février 1901, a institué une nouvelle Commission chargée de continuer à étudier la question des fumées (2).

Mais, il ne faut pas perdre de vue, ainsi que le fait remarquer M. Gautier, que sur trois millions de tonnes de combustibles divers, brûlés annuellement à Paris, 2 300 000 au moins sont utilisés dans les foyers domestiques ; c'est-à-dire que plus de 80 0/0 des fumées qui nous incommodent, sortent de nos appartements et de nos cuisines.

(1) Voir le *Génie Civil*, t. XXXIII, n° 44, p. 474, et n° 42, p. 489.

(2) Cette Commission est ainsi composée : M. Hirsch, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, *Président* ; MM. Ballière, Baranton, Caron, Chérot, Dubuc, conseillers municipaux ; MM. Brüll, Ingénieur ; A. Gautier, membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine ; Liébaut, Ingénieur-constructeur, et Walckenaër, Ingénieur en chef des Mines, *Membres*. — MM. de Pontich, Directeur administratif de la Voie publique et des Eaux et Egouts ; Bechmann, Ingénieur en chef, Chef du Service technique des Eaux et de l'Assainissement ; Launay, Ingénieur en chef de l'Assainissement ; Lauriol, Ingénieur du Service de l'Eclairage ; P. Adam, Inspecteur principal des Etablissements classés ; Méker, Inspecteur du Service des machines, assisteront aux séances de la Commission avec voix consultative.

La fumivorité parfaite réalisée dans les foyers industriels ne serait donc qu'une solution incomplète du problème.

Néanmoins les travaux de la Commission sont limités aux fumées des usines, mais s'il parviennent à mettre en évidence des moyens résolvant la question pour les cheminées d'usine, ils auront réalisé un grand pas dans la voie du progrès. »

B). — SUPPRESSION DES ODEURS URBAINES ET INDUSTRIELLES.

Si nous étions peu compétent pour la question des fumées, nous ne l'étions pas du tout pour celle des odeurs urbaines. Nous avons bien en main le volumineux rapport de M. Le Roy des Barres, émané de la *Commission des odeurs de Paris de 1896* ⁽¹⁾, ainsi que le rapport déjà cité de M. Adam, Inspecteur des établissements classés pour 1899, où, suivant la découverte faite par M. Verneuil, il est dit que l'odeur de Paris provient des usines de fabrication des superphosphates ⁽²⁾, et où on indique les mesures imposées à ces usines ⁽³⁾; mais c'était tout. Or, qu'est-ce qu'une odeur, comment la mesurer, comment la traiter? Autant de questions que nous aurions laissé sans réponse, si la communication faite par M. A. Gérardin les 23 janvier et 27 février 1901 à la Société de Médecine publique étant tombée sous nos yeux, nous n'avions eu l'idée de demander à ce savant de vouloir bien suppléer à notre ignorance et donner aux lecteurs de la *Revue Technique*, la primeur de ses procédés de mesure et de traitement des odeurs. M. Gérardin y ayant consenti avec la plus grande amabilité, nous nous empressons de lui laisser la parole.

(1) Outre les causes extérieures des odeurs, provenant des usines, cette Commission reconnaît des causes intérieures provenant du mauvais état des chaussées et des caniveaux (stagnation des eaux), des égouts, des fosses d'aisances, etc.) Dans une ville bien tenue, où les égouts sont ventilés convenablement, où suivant le principe longuement développé ci-dessus toutes les matières nuisibles sont évacuées à l'état frais, c'est-à-dire avant d'entrer en putréfaction, ces causes de mauvaises odeurs doivent avoir disparu.

(2) Il y a autour de Paris 19 usines à superphosphates, une à Paris même, 11 à Aubervilliers, 2 à Saint-Denis, 3 à Ivry et 2 à Vitry.

(3) Voici en résumé les dispositifs exigés dans toutes ces usines :

1° La condensation des vapeurs doit se faire entièrement, aussi bien pendant le malaxage (fabrication proprement dite) que pendant l'abatage des masses de superphosphates fabriqués ;

2° Si le malaxe et l'abatage se font en même temps dans les différents appareils de l'usine, on aura deux séries distinctes d'appareils de condensation et d'aspiration, fonctionnant l'un sur les malaxeurs en marche, l'autre sur les fosses en abatage, pour que le tirage de l'un ne nuise pas au tirage de l'autre.

3° Ces mesures s'appliquent à toute fabrication de superphosphates ; le traitement des os à l'air libre se trouve ainsi interdit partout.

De plus un dispositif a été installé partout, permettant à l'usinier et à l'inspecteur de se rendre compte de la désodorisation des gaz : il ne peut plus y avoir de contestation, puisqu'il s'agit d'un simple fait facilement vérifiable.

Dangers et suppression des odeurs urbaines et industrielles.

(Mémoire inédit de M. A. GÉRARDIN, Docteur ès sciences,
Ancien inspecteur des établissements classés de la Seine).

§ I. — *Généralités sur les odeurs urbaines et industrielles.*

Etudes préliminaires. — Quand j'ai dû, suivant l'invitation de M. le Préfet de Police, étudier les *odeurs de Paris*, j'ai constaté combien les impressions de l'odorat sont influencées par l'habitude et par le contraste. Il n'est pas extraordinaire que les mots nous manquent pour exprimer des sensations aussi imparfaites.

Premiers rapports sur les odeurs de Paris : 1786-1787. — Ce n'est qu'à la fin du dix-huitième siècle que ces odeurs ont été étudiées scientifiquement dans les rapports sur les exhumations du Cimetière des Saints-Innocents, 1786, sur la voirie de Montfaucon, 1786, sur l'état actuel de la Bièvre, 1787, et sur le projet d'éloigner les tueries de l'intérieur de Paris, 1787, etc...

Décret du 15 octobre 1810. — Chaptal, en présentant à la signature impériale, le projet du décret du 15 octobre 1810, exposa que s'il est juste que chacun soit libre d'exploiter son industrie, le Gouvernement ne peut, d'un autre côté, tolérer que pour l'avantage d'un individu, tout un quartier respire un air infect, et il proposa de classer les industries incommodes, insalubres ou dangereuses.

En 1900, la nomenclature des établissements classés comprenait 400 noms, et l'odeur a été motif de classement pour 218 d'entre eux.

Travaux de M. de Freycinet, 1870. — En 1870, M. Ch. de Freycinet, ingénieur au Corps des Mines, a publié, par ordre du Ministre de l'Agriculture et du Commerce, le *Traité d'assainissement industriel*, comprenant la description des principaux procédés employés dans les centres manufacturiers de l'Europe occidentale pour protéger la santé publique et l'agriculture contre les effets des travaux industriels.

Cet ouvrage est le résultat des études que M. de Freycinet a entreprises de 1862 à 1869, en France et à l'étranger, par ordre du Ministre, et à la demande du Comité consultatif des Arts et Manufactures.

C'est un recueil de méthodes dont la valeur n'est tirée que de l'usage qu'on en fait. S'il dit que tel procédé a atteint le but, ce n'est pas une opinion qu'il exprime, mais un fait qu'il énonce. Peu à peu, on a eu le tort de chercher à tirer de cet ouvrage pour la pratique, une sorte de répertoire aussi étendu que celui de nos besoins, au lieu de ne s'en servir que comme d'une base solide pour édifier de nouveaux progrès, étayés eux-mêmes sur les progrès de l'hygiène.

Les odeurs des villes sont des dégagements qui compromettent la salubrité extérieure. M. de Freycinet indique comme procédés généraux contre ce genre d'odeurs : l'isolement des usines, l'emploi des hautes cheminées, la condensation dans l'eau et la combustion dans les foyers.

Les odeurs de Paris depuis 1870. — En 1870, M. de Freycinet admettait que, pour les fabrications les plus nuisibles, les inconvénients des odeurs, déjà très réduits à 1 kilomètre, n'atteignent jamais 2 kilomètres. Depuis cette époque, ils ont largement dépassé ces limites. Tout Paris a constaté que les odeurs de Souffice ou de Cornillet atteignaient 6 kilomètres de leur point d'origine. Le record des odeurs semble avoir appartenu à l'usine des vidanges de Nanterre, qui infectait un cercle de 14 km de diamètre, de Saint-Germain à Paris selon le vent.

Les odeurs se propagent surtout par les brises du soir qui soufflent toujours du coteau au thalweg.

Le soir, à Paris, les odeurs d'Aubervilliers, en suivant le canal Saint-Denis, et celles de Bondy, en suivant le canal de l'Ourocq, se réunissent à la Villette, et descendent au Pont de l'Alma, en passant par la rue Lafayette, l'Opéra, le boulevard et le Palais de l'Élysée.

Dans ces longs parcours, combien les odeurs s'atténuent-elles ? Avec les hautes cheminées, combien perdent-elles par *diffusion*, combien par *déperdition* ? Se condensent-elles complètement dans l'eau ? se brûlent-elles complètement dans un foyer ?

Il est impossible de répondre à ces questions.

§ 2. — Dosage des odeurs.

Expériences de Jurine et de Gattoni avec l'Eudiomètre. — Pour atténuer le flicau de l'odeur des villes, il faut pouvoir mesurer les odeurs par un *procédé ozométrique* qui substitue une action chimique à l'impression fugace de l'odorat, et qui remplace par des poids les mots qui nous manquent pour spécifier les odeurs.

L'idée de doser les odeurs est déjà ancienne. Il y a plus d'un siècle, la Société de Médecine mit au concours la question suivante :

« Quels avantages la Médecine peut-elle retirer des découvertes sur l'art de connaître la pureté de l'air au moyen des Eudiomètres ? » (28 août 1787).

Les lauréats de ce concours furent Jurine et Gattoni.

La conclusion de Jurine est que « le principe même des odeurs, quoique beaucoup plus grossier que celui des miasmes varioliques, puisqu'il affecte nos organes d'une manière sensible, n'est guère susceptible d'être reconnu par les Eudiomètres. »

Gattoni, condisciple et ami de Volta, essaya avec l'Eudiomètre que Volta lui-même lui avait offert, l'air de la chambre, du lit, et de la bouche de plusieurs centaines de malades et il déclara que l'« Eudiomètre ne peut faire connaître que le plus ou moins d'air vital mélangé avec la moffette de l'atmosphère ; il ne fait pas voir comment l'air est vicié par mille principes connus ou inconnus, qui sont funestes et mortels à l'économie animale. (*Mémoires de la Société de Médecine*. T. X).

Recherches nouvelles avec le Grisoumètre. Extension d'une loi de Gay-Lussac. — Depuis le concours de 1787, l'Eudiomètre s'est perfectionné, et il est devenu l'instrument de grande précision, auquel on a donné le nom assez barbare de *Grisoumètre*. Avec M. Nicloux, j'ai essayé le dosage des vapeurs odorantes au moyen du Grisoumètre. Cet instrument n'est pas assez sensible pour mesurer les faibles quantités de vapeurs odorantes de l'air.

Avant de renoncer au Grisoumètre, j'ai voulu l'employer au dosage de plusieurs vapeurs seules ou mélangées. Gay-Lussac, en effet, a signalé l'analogie de la dissolution et de la vaporisation. Or, le D^r Mulder (1864-Rotterdam) a fait voir que la solubilité de deux ou plusieurs sels solubles mélangés, est toujours plus petite que la somme des solubilités respectives de ces sels isolés. Il y a donc lieu de présumer que la tension d'un mélange de plusieurs vapeurs, doit, par suite de condensations partielles, être plus petite que la somme des tensions des vapeurs mélangées.

Le Grisoumètre a vérifié en tous points cette proposition déduite de la théorie de Gay-Lussac : *En se mélangeant, les vapeurs se condensent partiellement*. Il en résulte que si on ajoute de la vapeur d'eau aux vapeurs odorantes de l'air, celles-ci seront précipitées, comme si la vapeur d'eau augmentait le poids des molécules odorantes, et en déterminait la chute. Ce principe est d'un grand secours pour précipiter et doser les vapeurs odorantes de l'air. Il explique com-

ment, par la rosée du soir, les fleurs et les foins remplissent l'air de leurs parfums.

J'en ferai un fréquent usage.

Dosage des odeurs par l'acide iodique ; action de la vapeur d'eau. — Abandonnant le Grisoumètre, j'ai essayé le dosage des matières organiques de l'air par la réduction de l'acide iodique anhydre.

Cette réduction n'est pas toujours possible. Car, par exemple, l'odeur des fleurs cueillies de grand matin, ne réduit l'acide iodique que dans l'après-midi ; l'odeur des animaux morts réduit l'acide iodique dans les premiers jours qui suivent la mort, puis elle ne le réduit plus ; l'air odorant d'une fourmière réduit toujours l'acide iodique, le jour comme la nuit, le matin, comme le soir.

Ces particularités sont dues à la présence ou à l'absence de la vapeur d'eau. J'ai reconnu cette règle en essayant à l'acide iodique, les vapeurs odorantes qui accompagnent les différentes phases de la fabrication de la gélatine, dans l'usine Coignet, à Saint-Denis, que M. de Bonnard, administrateur des usines Coignet et C^{ie}, a eu l'obligeance de mettre à ma disposition pour ces délicates recherches.

Ces expériences nous indiquent que, pour l'essai des vapeurs organiques de l'air, il doit falloir interposer des tubes desséchants. J'en ai fait l'expérience : En quatre heures, par exemple, j'ai fait passer 8 grammes d'air sur de la viande putréfiée, puis sur des matières desséchantes, et enfin sur l'acide iodique. Il n'y a pas eu trace d'iode mis en liberté et j'ai dû conclure *qu'en arrêtant la vapeur d'eau de l'air, on arrête complètement ses vapeurs organiques.*

Déjà pourtant, j'entrevois un travail sur les exhalaisons des champignons, d'une fleur-heure, d'une fleur simple ou double (giroflée, marguerite, aubépine, rose, etc.), mâle ou femelle (melon, ricin), des légumineuses (genêt, glycine, acacia, haricot, pois de senteur, fève, cytise, etc.), mais ce beau rêve s'est évaporé devant l'impossibilité de faire ces dosages à l'acide iodique en pleine campagne.

Dosage des odeurs par le permanganate de potasse. — Mes essais avec le grisoumètre et avec l'acide iodique n'ont pas été inutiles, car ils éclairent d'une grande lumière l'action réciproque des vapeurs et l'union des vapeurs organiques avec la vapeur d'eau. Ils indiquent qu'il faut ajouter à l'air odorant, la vapeur molle de l'eau en ébullition, condenser le mélange et doser au permanganate les matières organiques de l'air, entraînées dans l'eau de condensation.

Dans la pratique, au moyen d'un aspirateur coulant lentement, je remplis un flacon de 773 cm³ avec 1 gramme de l'air à essayer, puis je fais agir la vapeur molle de l'eau bouillante, et enfin je dose au permanganate la matière organique dans l'eau de condensation.

Muni de ce procédé de dosage, j'ai pu aborder le captage des matières organiques.

Le nombre des corps qui condensent à leur surface les matières organiques de l'air, me paraît être très considérable. Au début en 1894, je filtrais l'air à essayer sur un tampon de coton. Mais j'ai vu qu'il vaut mieux ne pas le filtrer, parce que le coton arrête la plus grande partie des matières organiques de l'air.

« En opérant de cette manière, dit Laveran (*Traité d'hygiène militaire*, p. 647), on dose, non pas les odeurs, mais les matières volatiles odorantes ou non qui se trouvent dans l'air. Comme en ce qui concerne les mauvaises odeurs des habitations collectives, il doit y avoir en général un rapport direct entre l'odeur de l'air et la quantité de matières organiques volatiles qui s'y trouvent ; il est possible que le procédé imaginé par Gérardin puisse rendre des services pour l'expertise de l'air. »

Mon ambition est plus modeste ; elle se borne à chercher, comme le faisait Chaptal en 1810, le moyen d'empêcher que, pour un avantage particulier, toute une ville, toute une région ne respire un air infect.

Puisqu'il est impossible de dessécher l'air ou de le filtrer sans altérer sa teneur en matières organiques, je l'analyse tel qu'il est, quand, conformément à l'aphorisme, il circule partout, sans séjourner nulle part.

J'appelle *degré ozométrique*, le poids en milligrammes d'acide oxalique cristallisé qui produit sur le permanganate sulfurique, le même effet que les matières organiques contenues dans un gramme d'air, c'est-à-dire ses odeurs, ses microbes et ses grains de pollen ou d'amidon.

Le degré ozométrique n'est pas une unité, mais une échelle. Dire que le degré ozométrique est 3, par exemple, c'est dire que le poids de la matière organique, en acide oxalique cristallisé, est au poids de l'air dans lequel elle se trouve, comme 3 est à 1 000.

§ III. — Captage et destruction des odeurs.

Captage des odeurs. — Dans la prise d'échantillons, les matières organiques de l'air se condensent facilement sur les parois du flacon, et leur présence élève le titre ozométrique. Il convient de ne jamais faire passer un excès de l'air à essayer. Dans chaque expérience, je fais passer exactement 773 cm³ d'air en 4 ou 5 minutes et j'obtiens au dosage des nombres concordants pour tous les échantillons prélevés dans les mêmes conditions.

Les corps qui ont capté des matières odorantes, les remettent en liberté sous l'influence de la chaleur, ou d'une action chimique.

Le chlorure de calcium fondu, par exemple, arrête parfaitement les vapeurs qui se dégagent dans la dessiccation du sang, et quand on le revivifie en le faisant fondre, il dégage tout ce qu'il a absorbé.

De même, l'acide sulfurique qui a servi à l'épuration des huiles ou des pétroles rend tout ce qu'il a absorbé quand on l'utilise à la préparation des superphosphates.

Le chlorure de calcium dans le premier cas, l'acide sulfurique dans le second, agissent comme de véritables accumulateurs de mauvaises odeurs.

Destruction des odeurs. — Il ne suffit donc pas de capter les odeurs, il faut encore les détruire et la désodorisation doit suivre le captage.

J'ai sous les yeux l'article *Désinfectants* rédigé par M. le Dr Vallin et par feu le Dr A. Gérardin, mon fils, dans le *Dictionnaire de Dechambre*. Ils classent les Désinfectants en quatre groupes :

1° *Moyens mécaniques*, enlèvement des sources ou des produits de l'infection ;

2° *Absorbants désodorants*, agents fixateurs du produit de la décomposition ;

3° *Antiseptiques* (1), agents qui retardent, suspendent ou empêchent la décomposition ;

4° *Antivirulents* (1), agents qui détruisent ou neutralisent les virus, les contagions, les germes morbides, soit à l'extérieur, soit à l'intérieur de l'organisme.

Les *antivirulents* et les *antiseptiques* sont évidemment en dehors de la question qui nous occupe.

Les *moyens mécaniques* sont ceux que Ch. de Freycinet a signalés. Ils sont tellement coûteux qu'il est rare de trouver des industriels qui les appliquent d'une manière consciencieuse.

Désinfectants-désodorants. — Cherchons donc parmi les *désodorants* les agents physiques ou chimiques qui conviendront pour faire disparaître les odeurs.

Les *désodorants chimiques* sont les sels métalliques, parmi lesquels le chlorure

(1) Ce sont des désinfectants proprement dits, d'après le sens qui doit être laissé au mot désinfection=destruction des germes, et ces deux groupes n'en forment qu'un seul.

de zinc est un des plus actifs. Ils conviennent surtout à la désodorisation des solides et des liquides.

Les *désodorants physiques* conviennent surtout à la désodorisation des gaz; ce sont le charbon, les poussières sèches et la terre.

Le *charbon* est antiseptique en même temps que désodorant; nous ne pouvons pas l'employer, puisqu'il retarde les décompositions organiques.

Les *poussières sèches* seraient convenables, mais leur prix un peu élevé nous force à les éliminer.

Il ne reste donc que la *Terre*.

Action de la terre sur les odeurs. — C'est la terre que nous devons choisir, à l'exclusion de tout autre agent, pour capter et détruire les émanations odorantes, puisqu'elle réunit les deux conditions de l'économie et de l'efficacité.

L'enterrement des corps dans les cimetières, l'enfouissement des engrais organiques dans les terres cultivées, l'épuration des eaux d'égout et des eaux industrielles par le sol, tout nous montre la puissance des ferments telluriques d'une terre argileuse, pour minéraliser les matières organiques mortes, en formant avec leurs éléments de l'eau, de l'acide carbonique et de l'acide nitrique.

La terre sera donc la solution du problème de la destruction des odeurs captées, si toutefois elle se prête à l'insufflation de l'air. Or, il n'a encore été fait aucun essai d'insufflation d'air dans la terre. On sait seulement par les expériences de Schloësing, en 1889, que l'air atmosphérique pénètre spontanément dans le sol et y atteint une grande profondeur.

§ IV. — *Insufflation de l'air dans la terre.*

Mode d'opération. — J'ai fait les expériences de la résistance que la terre oppose à l'insufflation de l'air dans le Laboratoire de Physiologie générale du Museum (M. Gréhan, professeur) où se trouvent un gazomètre de 200 litres, et de grandes éprouvettes, chefs-d'œuvre des verriers du XVIII^e siècle; le Jardin des Plantes nous présente les principales espèces de terres de culture.

L'éprouvette tubulée dont je me suis servi a 0^m,660 de hauteur, 0^m,330 de diamètre. Elle pèse 10 kg. et, garnie de terre, son poids s'élève à 58 kg.

La terre doit être travaillée à la truelle dans une auge pour briser les mottes et enlever les platras, les tessons et les racines.

Puisque, dans la pratique industrielle, on devra employer, non pas un gazomètre, mais un ventilateur de grand débit et de faible pression, il convient dans ces expériences de ne pas dépasser la dénivellation de trois centimètres d'eau entre les branches du manomètre à air libre adapté au gazomètre.

J'ai dû opérer très lentement parce que l'œil du robinet du gazomètre était trop petit pour le diamètre du tuyau, et troublait notamment l'écoulement de l'air.

J'ai déterminé la résistance de la terre en mesurant avec un chronomètre le temps nécessaire pour faire passer 150 lit. d'air à travers la terre, dont on fait varier soit la composition, soit l'épaisseur, soit le degré d'humidité.

Résultats des expériences. — En prenant la précaution d'opérer lentement, on reconnaît les faits suivants :

1^o *Toutes les terres sont perméables à l'air, et leur perméabilité est indépendante de leur composition chimique;*

2^o *La résistance de la terre au passage de l'air est proportionnelle à l'épaisseur de la couche filtrante;*

3^o *La résistance de la terre au passage de l'air est proportionnelle à la quantité d'eau qui l'humecte.*

Dans la vérification de cette dernière règle, on obtient le même résultat en ajoutant la même quantité d'eau à la même quantité de terre, soit qu'on la travaille, soit qu'on ne la travaille pas à la truelle.

Si on ajoute, par exemple, 2 kg. d'eau aux 48 kg. de terre dans la grande éprouvette dont j'ai parlé, et qu'on la travaille à la truëlle, sa hauteur dans l'éprouvette, qui était égale à 0^m,600, monte à 0^m,640 ; si au contraire on ne la travaille pas à la truëlle, sa hauteur reste égale à 0^m,600 et sa compacité est augmentée. Dans les deux cas, les résistances sont égales, et ces deux dispositions sont absolument équivalentes au point de vue de la résistance de la terre à l'insufflation de l'air.

Il résulte de cette longue série d'expériences que l'insufflation de l'air dans la terre est une opération toujours possible, toujours pratique, toujours économique, puisqu'elle n'exige qu'un ventilateur de grand débit et de très faible pression.

§ V — *Aperçu des variations du titre ozométrique de l'air.*

Le titre ozométrique de l'air dans des conditions presque semblables, ne varie qu'entre des limites restreintes. Je n'ai pas à étudier ici ces variations, et pour ce premier aperçu, il me paraît suffisant d'indiquer le titre ozométrique avec un seul chiffre exact.

Titre ozométrique de l'air libre des rues de Paris. — Le titre ozométrique de l'air libre des rues de Paris, quand cet air n'a pas d'odeur sensible pour ceux qui y vivent, et quand il n'est pas filtré, est égal à quatre degrés, si on ne tient pas compte des petites variations qui se produisent autour de ce titre.

Titre ozométrique de l'air odorant des Etablissements classés. — Le titre ozométrique de l'air odorant des Etablissements classés est supérieur à 4° et en général compris entre 4° et 5°. Il n'y a pas lieu de chercher sa limite supérieure, qui dans certains cas pourrait atteindre la tension maximum des vapeurs odorantes.

Titre ozométrique de l'air tellurique. — J'ai déterminé le titre ozométrique de l'air pris en terre dans un grand nombre de conditions différentes.

La terre sans engrais d'un massif de troënes, le terreau d'une couche sous châssis, la terre meuble d'un plan d'asperge, la terre compacte d'une pelouse de gazon, le mélange non cultivé de terre de bruyères, de sablon et de mâchefer qui garnit les baches des serres du Muséum, le même mélange cultivé en pelouses de lycopodes, etc. Pour toutes ces terres, le titre ozométrique est compris entre 3° au maximum, et 2°,5 au minimum.

Limites des efforts nécessaires pour désodoriser l'air des Etablissements classés. — Les nombres qui précèdent nous permettent d'apprécier ce que l'air doit perdre par son insufflation dans la terre. D'une part, il n'est guère probable qu'on puisse rencontrer dans la pratique un air odorant dont le titre ozométrique dépasse 5° ; d'une autre part, l'insufflation dans la terre abaissera ce titre à 2°,5. L'air ne perdra dans la terre que la différence 5°—2°,5, c'est-à-dire 2°,5 au plus ; en d'autres termes, 1 gramme d'air odorant n'abandonne à la terre dans laquelle on le fait filtrer, qu'une quantité de matière organique équivalente à 2 milligrammes 5 dixièmes d'acide oxalique cristallisé.

§ VI. — *Application pratique à l'air d'une Mégisserie.*

Avant-Projet. — M. Petitpont, administrateur de la maroquinerie de Choisy-le-Roi, officier de la Légion d'honneur, vice-Président du Syndicat général des Cuirs et des Peaux de la France, a bien voulu essayer le premier les méthodes nouvelles de désodorisation que je viens d'indiquer :

Dans sa maroquinerie, l'égout de toutes les eaux usées de l'usine, chaudes et froides, répand une odeur désagréable que les ouvriers disent insalubre, et à laquelle ils attribuent certains maux incontestables.

Pour corriger cet inconvénient, M. Petitpont avait établi un ventilateur capable d'envoyer dans une cheminée de hauteur suffisante, 920 m³ d'air à l'heure, sous la charge de 0^m,030 d'eau. Quand le travail cesse, pendant le déjeuner, pendant

la nuit et le dimanche, le ventilateur s'arrête, l'odeur reparait aussitôt et elle envahit une grande partie de l'établissement.

M. Roëmhild, ingénieur de l'usine, dessina le schéma ci-joint de l'installation que je proposais (fig. 316) :

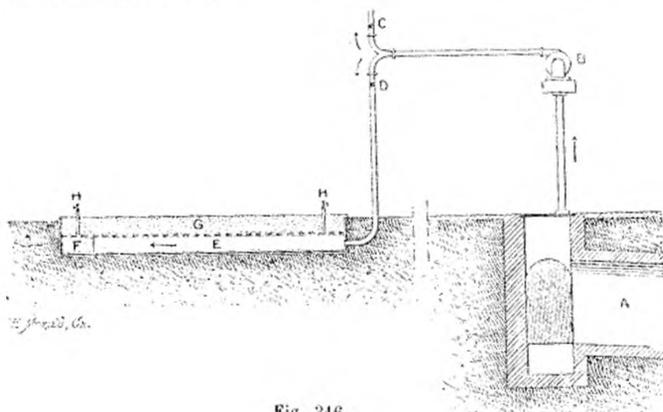


Fig. 316.

A, est l'égoût où se réunissent les eaux usées, chaudes ou froides de toute l'usine.

Le ventilateur B aspire l'air de l'égoût A ; à la sortie du bâtiment, le tuyau se partage en deux branches verticales. La branche C s'ouvre dans l'air à une hauteur suffisante. Elle existe déjà.

La branche D, à construire, descendra vers le drain E projeté. Deux tuyaux à robinets H permettront de prendre, pour l'analyse, des échantillons de l'air aux deux extrémités du drain.

Projet. — Le passage de l'avant-projet au projet définitif a amené entre M. Petitpont, M. Roëmhild et moi des discussions intéressantes :

1° Quelle sera la quantité d'air qui descendra par la branche D ? Nous ne pouvons pas la prévoir et nous convenons de la mesurer au moyen d'une pendule à construire, suivant la formule :

$$V = g \operatorname{tg} \alpha$$

dans laquelle V est la vitesse en mètres et par seconde, $g = 9^m,808$ et $\operatorname{tg} \alpha$ est la tangente naturelle de l'angle de déviation du pendule.

2° Quelle sera la disposition du drain ? Nous consultons MM. Gilardoni et Brault, administrateurs de la Tuilerie voisine. Ils nous signalent le prix minime des entrevous que quelques défauts ne permettent pas d'employer dans les constructions. — Le drain se fera avec ces entrevous.

3° Quelle sera l'étendue de la surface drainée ? Ne nous laissons pas éblouir par le volume énorme de l'air à désinfecter. Tenons compte surtout du poids probable de la matière organique qu'il faut lui enlever. Observons de plus qu'il n'y a que 60 heures de travail par semaine de 168 heures et que, par suite, le drainage sera intermittent. Une tranchée ayant une longueur de $4^m,15$ et une largeur de $1^m,30$ nous paraît suffisante.

4° Quelle sera l'épaisseur de la terre drainée ? Nous décidons de lui donner une épaisseur égale à $0^m,600$, la plus grande épaisseur de terre que j'aie pu étudier avec la grande éprouvette tubulée du Muséum.

5° Quelle sera la composition de cette terre ? A Choisy-le-Roi, le sol est formé de la terre argilo-siliceuse qu'on appelle *terre à four*. Devant l'usine, il est imprégné de la chaux qui a servi au travail des peaux. Nous emploierons parties

égales de terre à four, de sablon et de mâchefer passé au crible ; ce mélange ne fait pas prise avec l'eau, et l'argile entraînée par les eaux pluviales recouvrira d'une pellicule mince la surface des grains de sable et de mâchefer. Le calcul indique que la surface absorbante pour les vapeurs odorantes sera ainsi :

$$S = \frac{\pi V}{d}$$

dans laquelle S est la surface absorbante et désodorante de l'argile en m².

$\pi = 3,14 159\dots$

V = Volume total de la terre drainée en mètres cubes = 4^m,15 × 1^m,30 × 0^m,60 dans notre projet.

d = le diamètre des grains de sablon et de mâchefer compris entre 0^m,004 et 0^m,002.

Nous négligeons la superficie des entrevous.

6° Quel sera l'intervalle pour le passage de l'air entre deux entrevous ? Nous estimons qu'il faut laisser 0^m,010 d'intervalle entre les entrevous, pour le libre passage de l'air.

Pour empêcher le mélange de terres de passer par ces intervalles et pour faciliter la distribution de l'air insufflé dans la terre, nous mettrons d'abord sur les entrevous une couche de 0^m,100 du mâchefer qui a passé sur le crible sans le traverser.

Nous croyons devoir rappeler que nous avons opéré à vue d'œil pour ce travail entièrement nouveau. Ce sont des données que nous apportons pour des problèmes semblables, et non pas des nombres rigoureux que l'expérience ait déjà corrigés.

Action de la terre sur l'air odorant de l'égout de l'usine. — Notre projet, définitivement arrêté, a été exécuté suivant les calculs et sous la direction de M. Roëmhild.

L'air du ventilateur s'est partagé entre la branche ascendante du schéma et la branche descendante D.

Le débit de cette branche, mesuré avec le pendule, est égal à 180 m³ à l'heure, 1 800 m³ par jour de travail. Mais bientôt, les vapeurs de l'égout ont corrodé le pendule et l'ont mis hors de service. L'appareil mesureur de la vitesse ne doit pas être continu : il faut qu'il puisse être retiré et nettoyé après chaque détermination.

Le dosage au permanganate a fait voir des irrégularités inattendues. Pendant six mois, le titre ozométrique n'a pas cessé de varier d'une semaine à l'autre et sans cause connue. L'air du drain a ainsi accusé 2°,8 au minimum et 5°,1 au maximum, et l'air épuré par la terre 3°,3 et 4°,7. Ces irrégularités sont le signe certain de troubles graves dans l'égout. M. Petitpont supposa qu'il s'y était formé un dépôt de débris de peaux, depuis que, par ordre de l'Administration, on l'avait barré avec une tôle perforée. M. Roëmhild y descendit pour procéder lui-même au démontage de cette tôle. Sa bougie détermina une explosion, et une longue flamme qui exigea quatre heures de travail avant d'être éteinte par occlusion des deux extrémités de l'égout.

La preuve était faite, qu'ainsi que l'ozométrie l'avait pressenti, il y avait une cause de danger certain, tant au point de vue salubrité qu'au point de vue accident.

Après avoir cherché vainement à emprunter et à utiliser des appareils respiratoires, M. Petitpont eut recours à une lampe, genre Davy, alimentée sous pression avec de l'air pur. M. Roëmhild put alors pénétrer dans l'égout. Il n'y trouva sur le sol qu'une couche mince de déchets exempts de fermentation. Au fond, il atteignit une conduite inconnue de gaz de la ville. Elle passait à même dans l'égout, sans être munie du fourreau protecteur réglementaire. Elle présentait une fuite de 28 cm², d'où s'échappaient 100 m³ de gaz d'éclairage à

l'heure. On fit d'urgence les réparations nécessaires, et l'odeur qu'on attribuait à tort au travail de l'usine disparut aussitôt. L'odorat chez l'homme est si imparfait, que personne n'avait pu diagnostiquer avec certitude la présence du gaz d'éclairage.

A partir de ce moment, les dosages ozométriques donnèrent des résultats réguliers. Un grand nombre d'expériences établit que la vapeur des eaux chaudes, en se condensant dans l'égout, y abaisse le degré ozométrique entre 3°,8 et 3°,5. Ensuite, le passage à travers la terre l'amène entre 2°,8 et 2°,4, l'odeur ayant complètement disparu.

« Ces expériences ont bien prouvé, dit M. Vallin (*Revue d'Hygiène*, mars 1901), que l'air chargé de mauvaises odeurs se purifie à travers le sol, de la même manière que l'eau d'égout dans l'épandage et par un processus biologique identique. Les gaz odorants ne se fixent pas seulement entre les molécules de la terre par une simple attraction physique, comme dans les pores du charbon ; la matière organique odorante et volatile qui les constitue, se décompose en ses éléments minéraux par l'action des ferments vivants du sol tout comme la matière organique des eaux d'égout dans les champs d'épandage où le bacille de la nitrification est en pleine activité. Cette fois encore, comme pour l'épandage proprement dit, on voit le rôle considérable de l'intermittence dont la durée est ici sensiblement la triple de celle de l'insufflation. »

Action de l'air odorant sur la terre drainée. — Dans une étude nouvelle, comme celle qui nous occupe, il ne suffit pas d'examiner l'action de la terre sur l'air insufflé et de reconnaître que la terre capte et minéralise les matières organiques de l'air, il faut aussi examiner l'action de l'air insufflé sur la terre qui le reçoit.

Au début, on aurait pu croire que l'insufflation était nuisible aux plantes, puisque, pendant dix mois, pas la moindre trace de végétation n'a paru au-dessus du drain à air, tandis que la terre voisine était couverte d'une riche végétation de bardanes.

C'est le gaz d'éclairage qui, seul, a empêché la végétation de se développer. Nous avons remplacé par une terre nouvelle celle qui avait été infectée par le gaz ; la neige fondit immédiatement au-dessus du drain à air, tandis qu'elle persista sur tout le terrain voisin, le 27 et le 28 mars 1901. Cette fusion de la neige est due à la vapeur d'eau de l'égout qui se condense dans notre terre drainée et y produit une notable élévation de température. Le 18 mai 1901, par exemple, la température de l'air et celle de la terre du jardin étant 11°, celle du drain était 14°,5 et celle de la terre drainée 14°, à 3 heures de l'après-midi.

Puisque la terre qui recouvre notre drain à air, a plus de chaleur, plus d'humidité, et plus d'engrais qu'une surface égale de terre voisine de même composition et de même épaisseur où l'air odorant n'est pas insufflé, il n'y a pas lieu d'être surpris de ce que la végétation y est notablement plus active, du moins au printemps, car pendant l'été elle paraît ralentie. L'air du drain a en effet une température presque invariable, tantôt plus élevée, tantôt plus basse que celle de l'air extérieur, et ce n'est pas en quelques mois qu'on peut apprécier tout son effet au point de vue botanique.

Quelles que soient les récoltes que pourra donner la terre employée à condenser et à minéraliser les vapeurs odorantes émises par une industrie classée, il n'y a pas lieu de poser la question d'utilisation, mais seulement la question d'assainissement. Ces odeurs ne sont pas une jouissance, mais une servitude ; on doit les porter au passif et non pas à l'actif du Grand Livre ; elles doivent payer et non pas être payées. Le seul profit véritable que l'on pourra tirer du long travail que je viens d'exposer, ce sera d'affranchir de l'ὄζη des Grecs, sans difficulté, sans peine, et à très peu de frais un grand nombre d'établissements classés et les agglomérations urbaines. »

§ 4. — Suppression des causes de contagion proprement dites. Défense contre les maladies transmissibles.

Le feu éclate dans une ville, que va-t-on faire ? Avertir tout d'abord les pompiers et le public, puis isoler et circonscrire le foyer de l'incendie en protégeant les immeubles voisins, enfin éteindre un à un dans ce foyer même tous les tisons enflammés qui pourraient renouveler le mal. Eh bien, c'est tout simplement ce qu'il faut faire aussi lorsqu'un ou plusieurs cas de maladies infectieuses se sont glissés dans la ville et menacent les voisins, la ville entière de l'écllosion d'une épidémie. De même qu'il serait absurde et criminel de ne pas donner l'alarme en cas d'incendie, ainsi on ne peut comprendre vraiment que le malade, son entourage, son médecin traitant omettent de déclarer un cas dangereux pour la santé publique, dès qu'il est reconnu. L'autorité avertie doit alors prendre des mesures : elle isolera le malade, soit en le transportant dans des hôpitaux spéciaux, soit en veillant, s'il reste dans sa famille, à ce que toutes les précautions voulues soient prises; puis elle poursuivra, pour les détruire, les germes pathogènes partout où ils pourraient se trouver, ou tout au moins elle s'assurera que les familles poursuivent efficacement cette destruction. Tout ce qui a touché le malade doit donc être aseptisé, et sa chambre ou son appartement ne peuvent être rendus à la vie ordinaire, après décès ou guérison, qu'après avoir subi également l'opération de la *désinfection*. Or nous estimons que les opérations à faire sont assez délicates pour qu'il soit difficile de s'en rapporter à l'industrie privée, et nous pensons dès lors, pour qu'elles présentent toute sécurité et toute efficacité, que c'est à l'autorité municipale à s'en charger : bref, la pratique de la désinfection est un service municipal, un grand service d'assainissement public.

Nous commencerons par décrire les procédés et engins de désinfection, puis nous terminerons en disant quelques mots des mesures administratives (déclaration, isolement et désinfection obligatoires) et de l'état de la législation sur la matière.

I. — PROCÉDÉS ET ENGINS DE DÉSINFECTION (1).

Les appareils de désinfection étaient nombreux à l'Exposition : pres-

(1) Nous exprimons ici tous nos remerciements à M. le Dr A. J. Martin, Inspecteur de l'assainissement de Paris, qui a bien voulu mettre à notre disposition les nombreux documents et la longue expérience qu'il possède sur cette question, ainsi qu'à son collaborateur M. le Dr H. Thierry, qui nous a accompagné dans la visite des stations de désinfection de Paris et nous a donné toutes explications utiles sur leur fonctionnement.

que toutes les maisons françaises avaient eu à cœur de montrer l'outillage qu'elles pouvaient mettre à la disposition de l'Hygiène, et on avait déjà là vraiment un bel ensemble, faisant bien voir quel chemin a été parcouru — et en peu de temps, puisque cette partie de la science est née avec Pasteur. Toutefois il n'y avait presque pas d'appareils de maisons étrangères : fidèle à notre principe d'impartialité, nous signalerons ceux qui sont venus à notre connaissance et présentent quelque point nouveau ou intéressant. Nous distinguerons la désinfection des effets, (linges, habits, objets de literie, etc.) qui se fait soit dans des appareils isolés, soit mieux dans des stations municipales, et la désinfection des locaux habités : nous ne parlerons bien entendu que des procédés actuellement pratiques, ne pouvant signaler tous les essais et tentatives sans applications.

a). — **Désinfection des effets.**

1° *Désinfection par la chaleur.*

I. Appareils à air chaud (chaleur sèche).— Les premières étuves (Oppert, Esse, Ridéal, etc.) étaient à chaleur sèche; mais les microbes et surtout les spores résistent beaucoup mieux à l'air chaud et sec qu'à la vapeur, la pénétration se fait aussi beaucoup plus difficilement, enfin beaucoup d'objets sont détériorés par la chaleur sèche au-dessus de 100°. Aussi ces appareils sont-ils abandonnés : toutefois, le *four de boulanger* peut être regardé comme une bonne solution de fortune, à la campagne.

II. Incinération.— Nous en avons suffisamment parlé : c'est un procédé excellent, mais il n'est applicable qu'aux objets sans valeur qu'on peut détruire. Nous avons signalé les petits fours pour hôpitaux, abattoirs, etc.

III. Eau bouillante.— L'eau bouillante dans laquelle l'objet à désinfecter reste trempé pendant un certain temps est un bon moyen, surtout si on dépasse la température de 100° en ajoutant à l'eau du chlorure de sodium ou de calcium, ou des carbonates de soude et de potasse : c'est en somme le lessivage ordinaire. Le lavage et le lessivage doivent du reste précéder la désinfection à la vapeur ou par les antiseptiques, quand il s'agit de linges souillés par du sang, du pus et autres matières albuminoïdes, sans quoi les taches fixées (comme dans l'impression des tissus par l'albumine) resteraient indélébiles. On construit dans ce but des *caves de trempage*, qui peuvent parfois servir ensuite

à la désinfection dans le même appareil : nous en citerons quelques-unes.

Cuve à désinfection par trempage de Geneste-Herschel (fig. 317). — L'appareil se compose d'une cuve à deux compartiments : A est la chaudière, B le bac servant à la désinfection. Deux tubes *m* et *n* réunis-

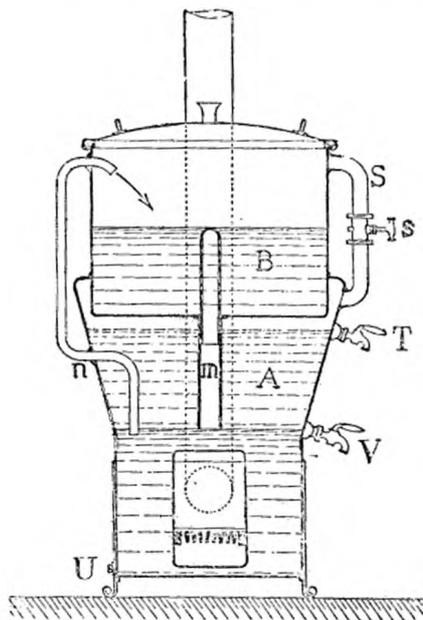


Fig. 317. — Cuve à désinfection par trempage, de Geneste-Herschel.

sent les deux compartiments et plongent dans la chaudière à des niveaux différents. Un troisième tuyau S muni d'une valve *s* sert à faire échapper la vapeur produite dans la chaudière par l'ébullition, ou, au contraire, quand la valve est fermée, à empêcher l'échappement de cette vapeur.

L'appareil comporte un robinet de jauge T, un robinet de vidange V, un couvercle et un foyer en fonte qui sert de support à l'ensemble.

Lorsque l'eau mise dans la chaudière jusqu'au robinet T est en ébullition, si l'on vient à fermer la valve *s*, cette eau poussée par sa propre vapeur s'élève dans le bac supérieur jusqu'à ce que le niveau dans la chaudière ait atteint le bas du tube *m*. A ce moment comme l'autre tube *n* plonge encore dans le liquide inférieur, il se produit par l'effet de l'ébullition une circulation continue ; l'eau de la chaudière s'élève dans le tube *n* et se déverse dans le bac B pendant que l'eau du bac redescend

dans la chaudière par le tube central *m*. On a ainsi la même température dans le bac supérieur et dans le fond de la chaudière.

Pour le fonctionnement : remplir d'eau la chaudière jusqu'au niveau du robinet de jauge (cette eau se verse dans le bac B en tenant la valve *s* ouverte.)

Chauffer jusqu'à ébullition, la valve *s* toujours ouverte;

Mettre dans le bac B la quantité de carbonate de soude nécessaire;

Lorsque l'eau est en ébullition, la faire monter en fermant la valve *s* pour dissoudre le carbonate;

Cette dissolution faite, rouvrir la valve pour faire redescendre le liquide;

L'appareil est alors prêt à fonctionner;

Placer les objets à désinfecter dans le bac supérieur B, autour du tube central perforé;

Fermer la valve pour faire monter le liquide et laisser bouillir franchement pendant 15 minutes;

Ouvrir la valve pour faire redescendre le liquide;

Ajouter alors la quantité d'eau nécessaire pour que le niveau atteigne toujours bien le robinet de jauge et recommencer une nouvelle désinfection et ainsi de suite.

Lorsque les opérations de la journée sont finies, il faut avoir soin de vider l'appareil par le robinet de vidange V. Lorsque l'appareil doit rester longtemps sans fonctionner, on achève de le vider par l'orifice U.

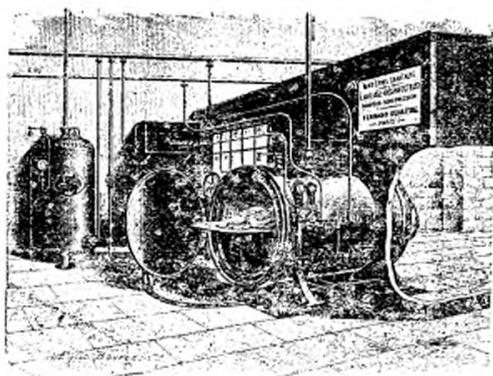
Pour bien faire redescendre le liquide après chaque opération, il est bon, après avoir ouvert la valve *s*, d'ouvrir aussi la porte du foyer et de fermer un peu la clef de la cheminée, afin de calmer l'activité de l'ébullition. Au contraire pendant la durée des opérations, il faut activer le feu en fermant la porte et ouvrant la clef en grand. Il convient alors de maintenir en place la couvercle de la cuve pour éviter les projections de l'eau en dehors. N'enlever le couvercle qu'après l'ouverture de la valve *s* quand le liquide est redescendu.

Laveuse-désinfecteuse Dehàtre (fig. 318 (a et b) et 318 bis). —

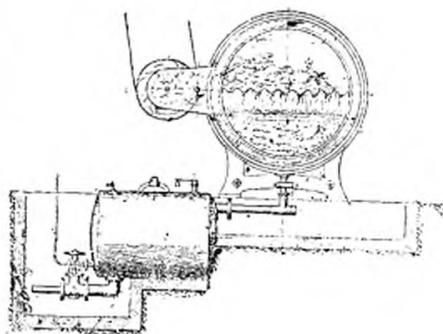
Cet appareil très intéressant réunit en une seule et même machine un matériel de buanderie et une étuve à désinfection : c'est une machine à laver le linge fonctionnant à l'intérieur d'une étuve. L'étuve ou enveloppe extérieure est constituée par un corps cylindrique en tôle à double paroi fermé à chacune de ses extrémités par une porte à char-

nières avec fermeture à verrous rayonnants manœuvrés simultanément par un seul volant central.

Ce corps cylindrique est revêtu extérieurement d'une enveloppe en tôle vernie laissant une couche d'air isolante entre elle et le corps de



(a) Vue perspective.



(b) Coupe transversale.

Fig. 318. — Laveuse-désinfecteuse Dehaitre.

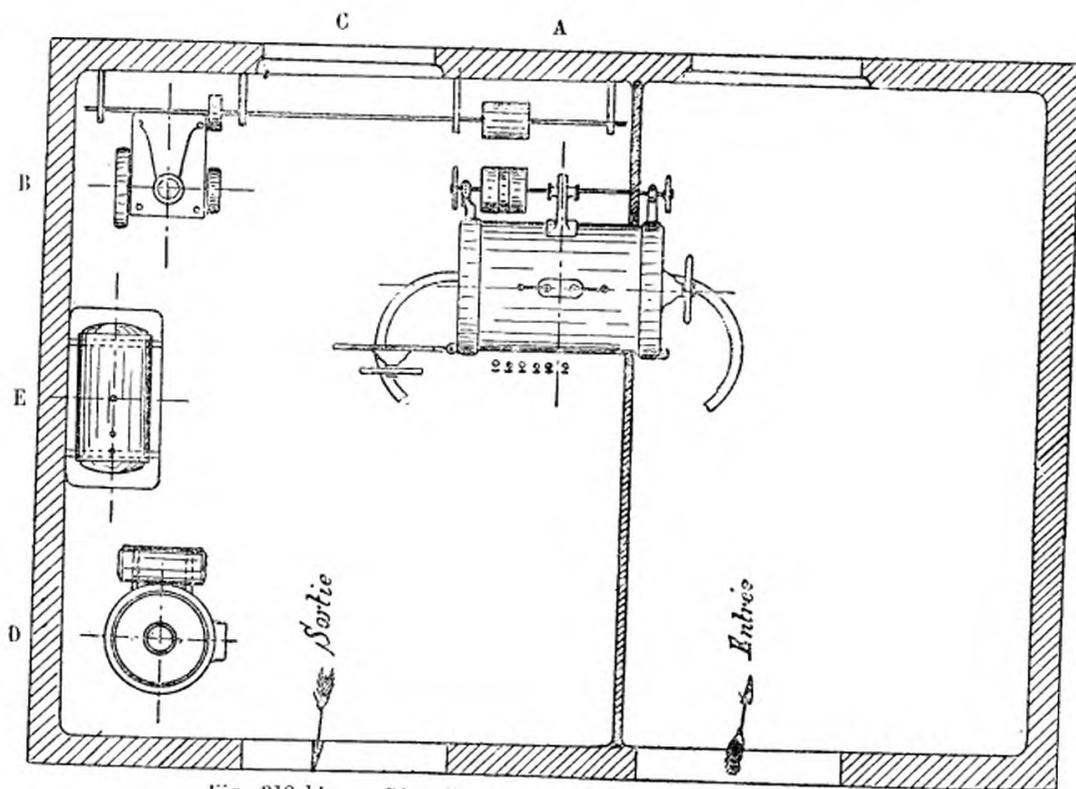


Fig. 318 bis. — Plan d'installation de la laveuse-désinfecteuse Dehaitre.
(Actionnée par transmission avec mouvement de changement de marche automatique.)

A, Laveuse-désinfecteuse à vapeur sous pression fonctionnant par transmission avec changement de marche automatique. — B, Moteur actionnant la transmission. — C, Transmission pour la commande de la laveuse-désinfecteuse. — D, Chaudière fournissant la vapeur au moteur et à la laveuse-désinfecteuse. — E, Autoclave pour la stérilisation des eaux d'essangeage.

l'étuve et évitant ainsi les déperditions de calorique. Cette enveloppe en tôle vernissée, absolument lisse, facilement désinfectable par un lavage antiseptique, n'est pas comme les enveloppes en bois un réceptacle à microbes ou à saletés.

La double paroi reçoit une circulation de vapeur assurant le chauffage dans toute la périphérie du corps cylindrique et laissant l'intérieur de l'étuve absolument net et libre.

L'appareil est pourvu des robinets d'introduction de vapeur, de purge d'air, appareils de sûreté, soupape, manomètre, souffleur, etc., comme une étuve ordinaire.

La laveuse est constituée par un tambour cylindrique en tôle perforée divisé en deux compartiments par un diaphragme ondulé, fig. 318 (b). Chacun des compartiments possède une porte à chaque extrémité de façon à assurer le chargement et le déchargement dans des locaux distincts.

Ce tambour laveur est actionné à l'intérieur de l'étuve au moyen d'une disposition d'engrenages et de poulies *jj*, par un petit moteur direct placé sur le côté de l'étuve, ou par une transmission ordinaire et pourvu, dans ce dernier cas, d'un mouvement automatique de rotation dans les deux sens (fig. 318 bis, plan d'installation).

Des robinets permettent l'introduction d'eau et de lessive et un niveau d'eau indique la hauteur du bain à l'intérieur.

Des thermomètres spéciaux donnent la température intérieure de l'appareil.

L'installation se complète par une bouteille en tôle *g* de capacité suffisante pour recevoir tout le liquide contenu dans l'appareil. Le liquide y est refoulé et porté à l'ébullition par un barboteur de vapeur.

Voici le fonctionnement de cet engin :

Le linge contaminé ramassé dans les salles de l'hôpital est mis dans une toile ou un drap pour être apporté à la laveuse-désinfecteuse où il est immédiatement introduit dans l'intérieur du tambour laveur dont on referme les portes. On ferme également la porte du corps extérieur ou étuve.

On introduit alors de l'eau froide de façon à submerger entièrement le linge qui est aussi laissé à tremper plusieurs heures (le mieux est de mettre le linge le soir et de le laisser tremper toute la nuit). Par ce trempage ou essangeage on dissout toutes les matières solubles à froid : matières sucrées, gommeuses et albumineuses. Avant de retirer le bain de

trempege on donne quelques tours de rotation au tambour laveur pour achever la dissolution des matières.

Le bain d'essangeage est alors évacué et stérilisé dans le bouilleur avant d'être envoyé à l'égout.

On introduit ensuite dans l'appareil une dissolution de lessive que l'on chauffe progressivement, jusqu'à ce que, l'ébullition s'étant produite, la pression monte dans l'appareil à 0 kg. 750. On obtient ainsi un lessivage sous pression qui dissout toutes les taches du linge et lui donne une parfaite blancheur.

On évacue directement à l'égout par le robinet *n*, fig. 318 (*b*) le bain de lavage qui est stérilisé, puisqu'il a été chauffé sous pression, et l'on rince dans la machine en y faisant passer un courant continu d'eau froide, le tambour intérieur étant mis en mouvement.

Le rinçage effectué on opère la désinfection du linge par la vapeur sous pression comme s'il était dans une étuve ordinaire à désinfection, et toutes taches étant disparues par le lavage il n'y a plus aucun danger de fixation de matière colorante.

La désinfection terminée, on fait circuler à travers l'appareil un fort courant d'air au moyen du souffleur, puis on ouvre les portes (côté désinfecté), et on retire le linge qui après quelques instants d'étendage à l'air se trouve entièrement sec et prêt à être plié.

Ainsi, dans une opération continue durant environ 3 heures, on opère le blanchissage complet et la stérilisation parfaite des linges les plus sales et les plus infectés, sans que le personnel ait eu à faire la moindre manutention, sans que le linge ait subi la moindre avarie.

L'intérieur de la laveuse-désinfecteuse étant absolument lisse, on peut après chaque opération le laver à grande eau bouillante et le stériliser ensuite. On opère donc avec toutes les garanties désirables.

Cuve de trempage et de désinfection Rietschel et Henneberg (fig. 319). — La fig. 319 montre une cuve par laquelle les constructeurs Rietschel et Henneberg (Berlin et Dresde) poursuivent le même but. Voici la description qu'ils en donnent :

« Dans le traitement du linge offrant des taches de sang, de pus, etc. il arrive souvent que, par la coagulation de l'albumine des sécrétions, il se forme des taches dans le linge que l'on ne peut faire disparaître que très difficilement. Il est recommandable pour ce motif de dissoudre d'abord ces matières dans l'eau chaude et de les faire disparaître du linge, ensuite de faire écouler l'eau et de procéder à une désinfection au moyen de la vapeur en mouvement.

L'appareil à emmagasinement de linge et à désinfection, dont les grandes lignes de structure ont été suggérées par M. Merke, Directeur de l'Hôpital urbain de Moabit (Berlin), consiste en un réservoir *a* en tôle de fer étamée, dans lequel se trouve disposé, au-dessous d'un fond en toile métallique, un serpentin à vapeur *b*; *c* est la soupape à vapeur

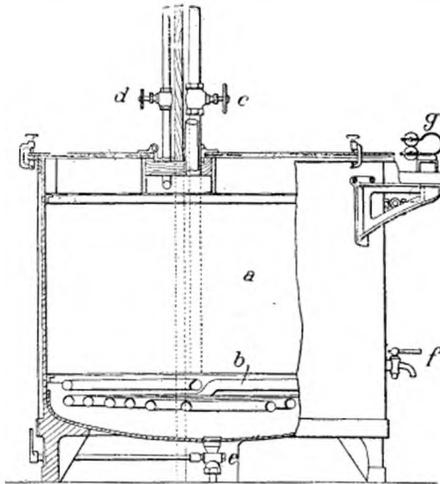


Fig. 319. — Cuve de trempage et de désinfection Rietschel et Henneberg (Berlin).

au moyen de laquelle le serpentin à vapeur est mis en activité. La soupape *d* sert à l'admission de l'eau froide, tandis que, par le tube de décharge *e*, on opère la vidange complète de l'eau après la désinfection, et que par le robinet *f* on fait écouler l'eau qui se trouve au-dessus du fond en toile métallique. Au moyen d'une machine à tordre *g*, le linge bouilli et désinfecté peut être débarrassé de la plus grande partie de l'eau qu'il contient. »

Cuve de trempage et de désinfection Oscar Schimmel (Chemnitz).
— Cette cuve est très semblable à la précédente, sauf qu'elle est de forme allongée au lieu d'être cylindrique : une cloison intermédiaire sépare également le côté d'où le linge sort désinfecté de celui où il entre. Le chauffage se fait comme ci-dessus, grâce à un serpentin de vapeur placé à la partie inférieure et relié à un purgeur automatique.

IV. **Etuves à vapeur.** — Ces appareils, qui sont devenus si pratiques et si répandus, dérivent soit de *stérilisateur de Koch* à vapeur libre, soit de *l'autoclave de Chamberland*, employés dans les labora-

toires de bactériologie ; de là deux sortes d'étuves, celles à vapeur libre à 100° ou très peu au-dessus ⁽¹⁾, dites généralement à *vapeur fluente* et celles à *vapeur sous pression*, dans lesquelles la pression peut être élevée à deux atmosphères, soit 120 à 121° ⁽²⁾. Les avantages de la vapeur fluente sont évidemment le coût bien moindre des appareils, l'absence de sujétion et de contrôle, la facilité de marche, etc. ; en revanche, la stérilisation serait peut-être plus sûre et en tout cas plus rapide avec la vapeur sous pression, mais il est facile de prolonger un peu plus longtemps l'action de la vapeur fluente. Chaque maison de construction fabrique généralement les deux types à volonté, soit fixes, soit mobiles, placés horizontalement ou verticalement et cela dans toutes les tailles. Nous montrerons quelques bons exemples.

APPAREILS FRANÇAIS

Étuves de Geneste-Herschel. — *Étuve fixe à vapeur fluente et très basse pression* (fig. 320), — avec séchoir et appareil à douche, pour asiles de nuit, dépôts de mendicité, petits établissements hospitaliers, etc.

L'étuve consiste en un cylindre de 0^m,80 de diamètre et de 1^m,20 de profondeur faisant corps avec la chaudière, également cylindrique, placée au-dessous et avec le foyer. Elle est garnie intérieurement d'un écran circulaire en cuivre étamé qui constitue avec le corps cylindrique de l'étuve une double paroi empêchant toute condensation à l'intérieur sur les objets traités ; ces derniers subissent ainsi l'opération sans être mouillés. Trois claies mobiles à l'intérieur servent à supporter les effets à désinfecter ; retirées, elles laissent la place pour un matelas entier.

La fermeture de l'étuve est faite par une porte à charnière assujettie par quatre boulons articulés.

La vapeur produite dans la chaudière pénètre dans l'étuve par une valve placée à l'avant ; elle circule dans la double paroi formée par l'écran et pénètre dans la capacité centrale par des ouvertures ménagées à

(1) On obtient souvent dans les étuves à vapeur libre quelques degrés au-dessus de 100°, ce qui tient sans doute à ce que la vapeur se condensant sur les objets leur abandonne la chaleur résultant de cette condensation (chaleur de vaporisation).

(2) On a renoncé à la vapeur *surchauffée*, c'est-à-dire portée à une température supérieure à celle qui correspond à la pression ; elle constitue dans ces conditions un gaz sec, auquel les germes résistent mieux qu'à la vapeur humide. C'est sans doute pour la même raison qu'il ne faut pas laisser d'air mêlé à la vapeur ; du moins ne peut-on en admettre qu'une faible proportion.

la partie supérieure de cet écran ; de là, elle s'échappe par un tuyau situé en bas et en arrière, ce tuyau porte un thermomètre qui indique constamment l'état de la vapeur d'échappement et il plonge à une profondeur de 0^m,60 dans un récipient plein d'eau. La vapeur ne peut donc

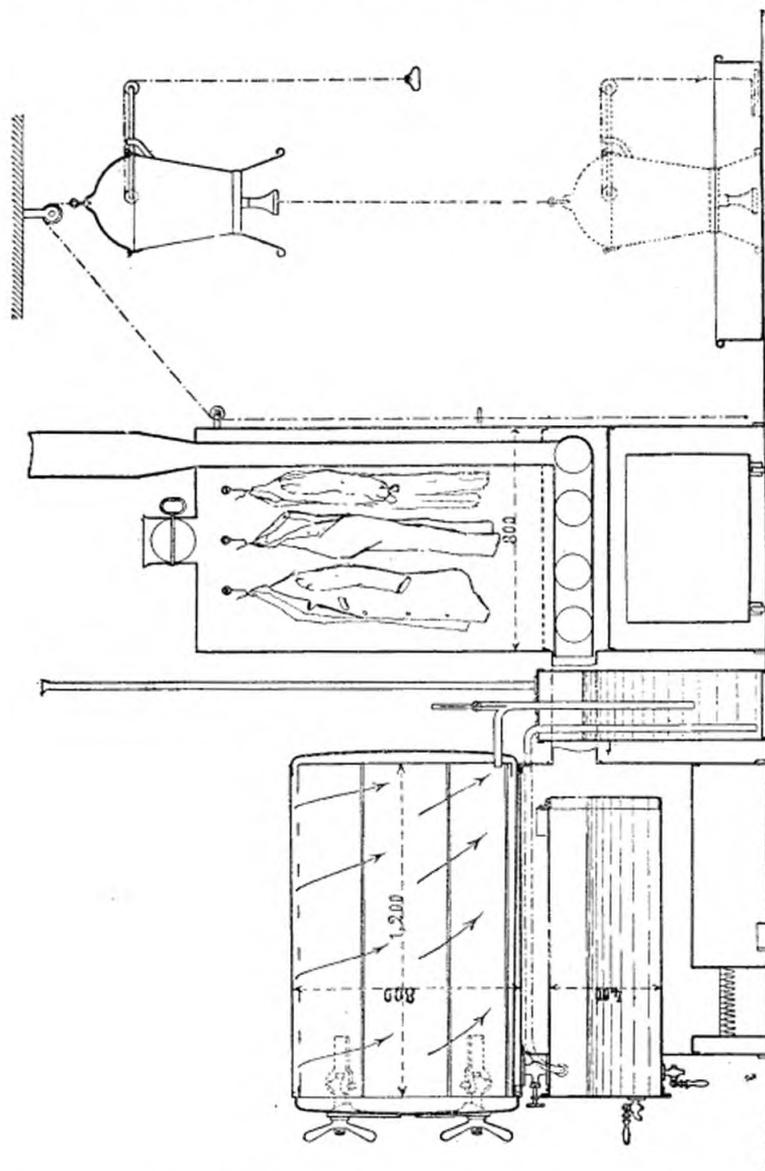


Fig. 320. — Étuve fixe à désinfection Geneste-Herschler, par la vapeur fluente à très basse pression.
(Avec séchoir et appareil à douches). — Coupe de l'installation.

s'échapper que lorsqu'elle a atteint une légère pression (0^m,60 en colonne d'eau) et sa température est ainsi, après complète purge d'air, d'un peu plus de 100°.

Un autre tuyau, de sécurité, part de la chaudière et plonge de 0^m,80 dans le même récipient plein d'eau. Cette retenue est plus forte que celle

de l'échappement de l'étuve ; aussi la vapeur ne peut prendre le chemin de ce tuyau que si la vanne d'introduction dans l'étuve est fermée ou encore si l'ébullition est par trop active.

L'introduction de l'eau dans la chaudière, au fur et à mesure des besoins, se fait à l'aide d'un entonnoir surélevé sans aucun robinet.

On voit donc que la simplicité de la manœuvre est très grande, puisque tout se fait à l'aide de la seule vanne placée sur l'avant de la chaudière.

La mise en train de l'appareil demande environ une heure ; chaque opération de désinfection dure une demi-heure. Le fonctionnement de l'appareil est facile à suivre. Dès que la vapeur est produite en quantité suffisante pour chasser l'air de l'étuve et porter le thermomètre à 100°, ce qui s'apprécie aisément tout en surveillant le foyer, on charge alors l'étuve après avoir fermé la valve ; dans cette opération, le thermomètre baisse et tombe à 60° environ ; l'étuve chargée est refermée, on rouvre la valve, la vapeur pénètre dans l'étuve, et au bout d'un quart d'heure le thermomètre remonte à 100° ; dix à quinze minutes après la désinfection est achevée. L'étuve est ouverte et les effets sont secoués, étalés comme au sortir de l'étuve sous pression et parfaitement secs.

Le séchoir qui est annexé à l'étuve n'est pas le complément nécessaire de l'appareil, comme la plupart des appareils à vapeur fluente construits jusqu'ici ; il a sa raison d'être pour enlever l'humidité préalable à toute opération de désinfection, pour les linges lavés, les effets et vêtements mouillés, humidité que ne ferait pas disparaître l'étuvage. Le séchoir ainsi annexé est un coffre en tôle de 0^m,80 de largeur, de 0^m,65 de profondeur, de 1^m,20 de hauteur ; il est chauffé par les gaz perdus de la combustion ; la température y atteint aisément de 60° à 70°.

Étuve locomobile à vapeur fluente. — L'étuve et le générateur sont montés sur un train de voiture à deux roues portant siège, caisse à outils et coffre à combustible.

Étuve fixe à vapeur sous pression (fig. 321). — C'est le type courant des stations de désinfection, et il peut atteindre les dimensions colossales de la grande étuve de la rue Stendhal (Paris), qui a 1^m,75 de diamètre. C'est un corps cylindrique, muni de deux portes opposées, fermant comme les couvercles d'autoclave, avec voie de roulement correspondant à l'extérieur ; une cloison achevée sur l'étuve sépare les salles d'entrée et de sortie (côté infecté et côté désinfecté). Il est bon d'adapter un manomètre-enregistreur. Au début de l'opération, la purge

d'air mérite quelques précautions élémentaires indispensables qui sont :
1^o au début de l'opération, tenir ouvert le robinet de purge d'air, pen-

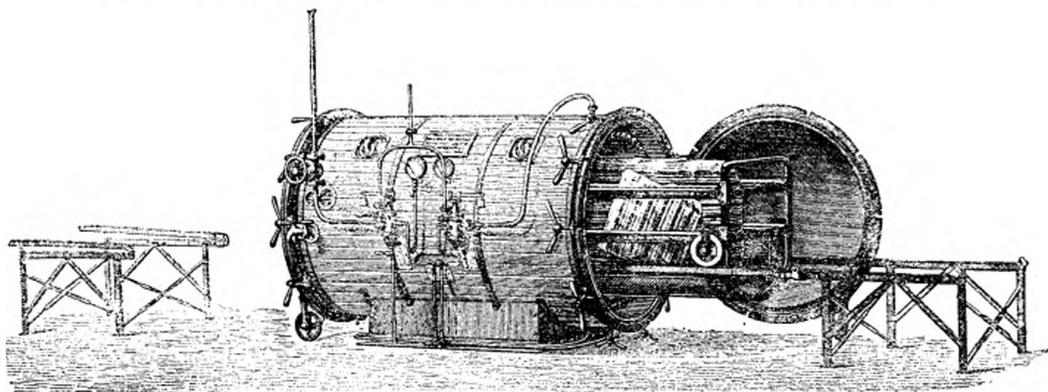


Fig. 321. — Étuve fixe Geneste-Herschel à vapeur sous pression.

dant que la vapeur afflue dans l'étuve, et ne fermer ce robinet que lorsqu'il livre passage à un jet de vapeur bien chaude. — 2^o après cinq minutes de marche sous pression, produire une détente brusque faisant tomber celle-ci jusque vers 0 (résultat qu'on obtient simplement en fermant l'arrivée de la vapeur et ouvrant l'échappement); puis rétablir la pression. — Tout cela ne réclame pas une minute. — Procéder encore au bout de cinq autres minutes à une nouvelle détente à la suite de laquelle la pression rétablie doit être maintenue.

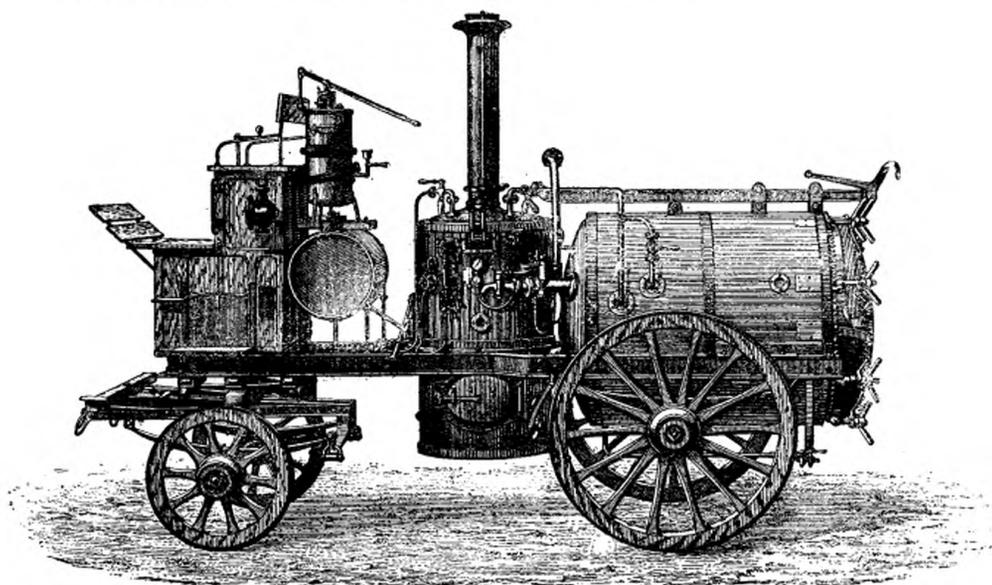


Fig. 322. — Étuve locomobile Geneste-Herschel à vapeur sous pression.

Étuve locomobile à vapeur sous pression (fig. 322). — Pour services départementaux et régionaux, corps d'armée, expéditions, etc.

Le corps de l'étuve mesure 1^m,10 de diamètre intérieur et 1^m,30 de longueur (dimensions intérieures). Le chariot destiné à recevoir les objets à désinfecter se déplace à l'aide d'une voie placée au-dessus de l'étuve à laquelle ledit chariot est suspendu. L'appareil comporte une chaudière de 3 m² de surface de chauffe, un réservoir d'eau, caisse à combustible et caisse à outils, le tout monté sur un train de voiture à 4 roues.

Il y a aussi un type à 2 roues.

Étuves Dehaître. — *Étuve à vapeur circulant sous très faible pression dite stérilisovaporigène* (avec producteur automatique de vapeur, à foyer et alimentation continus) (fig. 323). — Cette étuve se re-

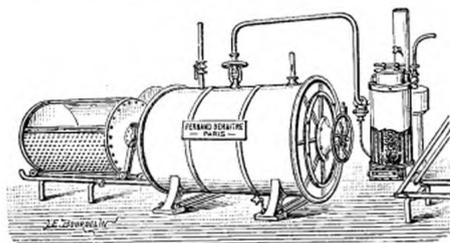


Fig. 323. — Stérilisovaporigène de Dehaître.
(Étuve à vapeur circulant à basse pression.)

commande aux établissements qui ne disposent pas d'un personnel expérimenté. Le chariot a ici la forme d'un cylindre en tôle monté sur tourillons : il est muni d'une porte à coulisse en tôle perforée et, à la partie opposée, d'un ajutage pour arrivée de la vapeur.

Le chariot une fois chargé, on en ferme la porte à coulisse et on lui fait faire demi-tour sur lui-même, de façon que la porte se trouve à la partie inférieure ; il est ensuite poussé dans l'étuve. L'arrivée de vapeur est mise en communication avec le cylindre intérieur au moyen d'un ajutage spécial. La vapeur traverse les objets à stériliser et entraîne méthodiquement l'air, opérant un déplacement horizontal à la manière d'un liquide. Le mélange d'air et de vapeur sort par la porte perforée inférieure et s'échappe en circulant entre le cylindre et l'enveloppe extérieure (dont il maintient les parois à haute température, évitant ainsi les condensations). On a donc un courant de vapeur continu, qu'on fait durer trois quarts d'heure.

Étuve fixe à vapeur sous pression (fig. 324 et 324 bis). — Les

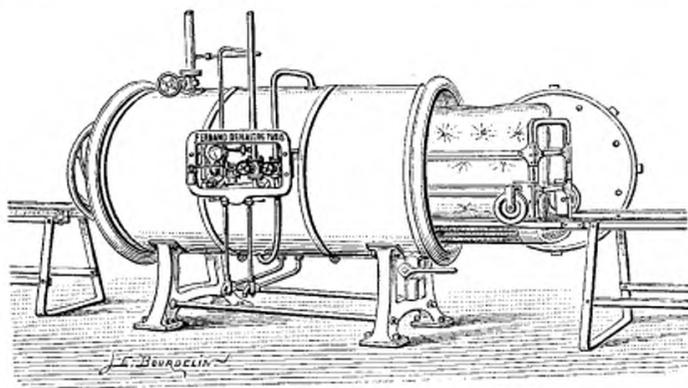


Fig. 324. — Étuve fixe de Dehaitre, à vapeur sous pression.

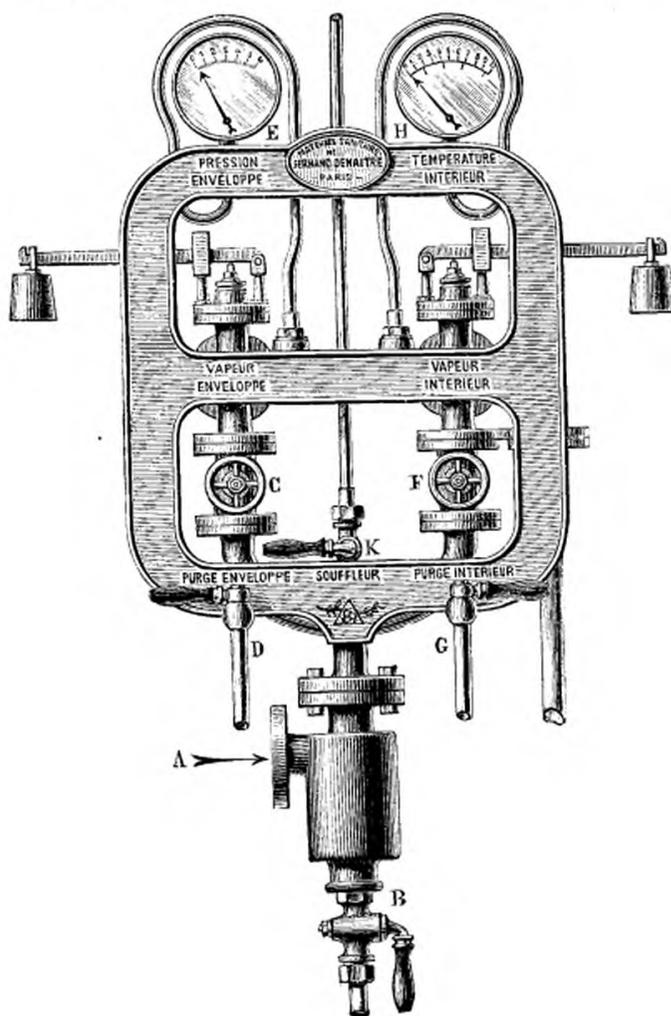


Fig. 324 bis. — Cadre de manœuvre de l'étuve fixe sous pression, de Dehaitre.
principaux perfectionnements qu'elle présente sont les suivants :

1° La double enveloppe de vapeur annulaire, dont le chauffage constant évite tout refroidissement des parois et par suite toute condensation de la vapeur dans le corps de l'étuve. Cette disposition permet d'avoir des parois unies, d'un entretien très facile, et supprime à l'intérieur de l'appareil l'établissement de batteries de chauffe additionnelles dont le nettoyage est à peu près impossible ;

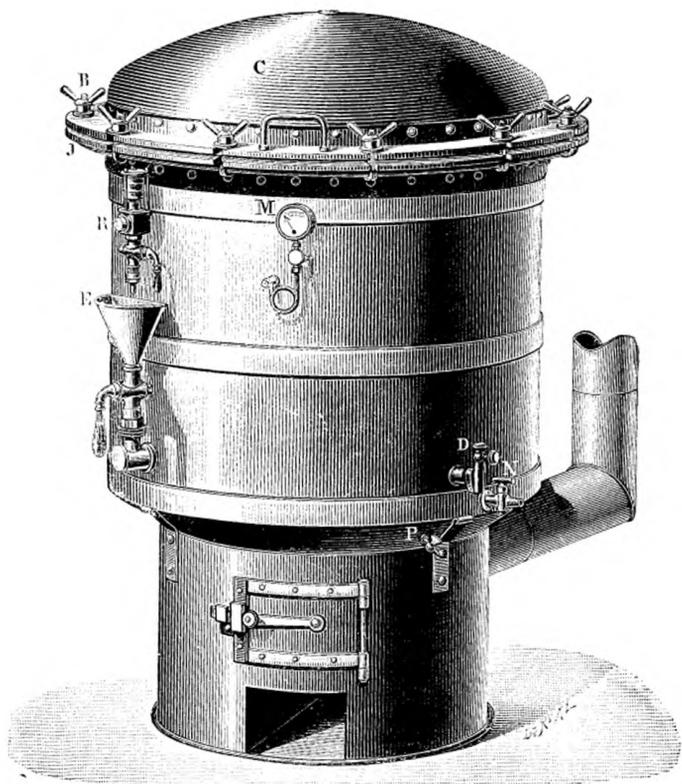


Fig. 325 (a). — Étuve verticale de Vaillard et Besson (maison Flicoteaux), par circulation de vapeur sous pression. (Vue perspective).

2° La fermeture des portes par verrous rayonnants mus simultanément par un seul volant central assure un joint uniforme, à serrage rapide, régulier et progressif, ce que les fermetures par boulons ne permettent pas d'obtenir ;

3° Les manœuvres sont rendues faciles, commodes et rapides, grâce au groupement de la robinetterie et des appareils de sûreté sur un même cadre (fig. 324 bis).

L'étuve locomobile présente les mêmes avantages.

Étuves Vaillard et Besson (maison Flicoteaux). — *Étuve verticale.* — (fig. 325 a et b). — Le fourneau F est placé directement sous

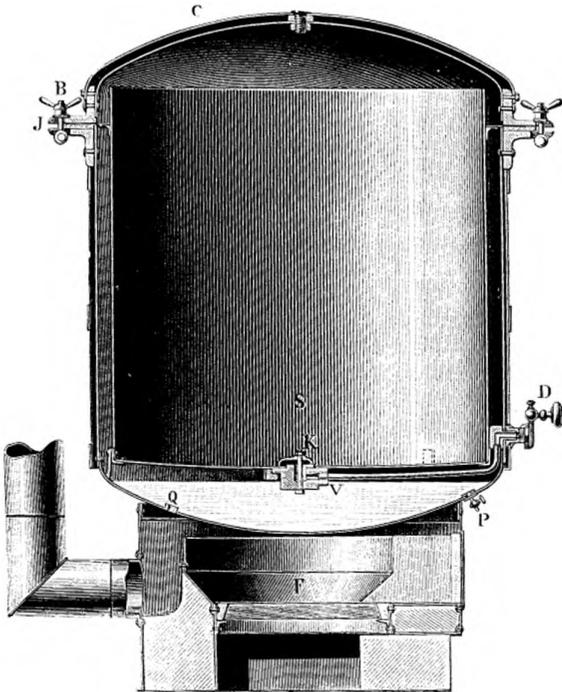


Fig. 325 (b). — Étuve verticale de Vaillard et Besson (maison Flicoteaux), par circulation de vapeur sous pression. (Coupe verticale).

l'étuve. Celle-ci est constituée par deux cylindres concentriques écartés de 2 à 3 cm et fermés à leur partie inférieure par un fond embouti ; le cylindre intérieur S limite la chambre de désinfection qui a 0^m,75 de diamètre sur 0^m,82 de haut. L'espace contenu entre les deux fonds constitue la chaudière et cube 40 à 45 lit. ; l'eau y est introduite par l'entonnoir E. La vapeur monte entre les deux cylindres, pénètre dans la

chambre par le haut et redescend en la traversant pour s'échapper par la partie inférieure ; cet échappement se fait par le tube VD qui est muni à son extrémité D d'un clapet oscillant à contrepoids réglable de construction spéciale, en sorte qu'on peut obtenir la pression désirée. On ne dépasse pas 1 atmosphère $1/2$, soit 110 à 112° ; si la pression tend à monter au-dessus, le clapet se soulève et la vapeur s'échappe ; quand on tient le clapet ouvert, l'étuve fonctionne à 100° , à vapeur fluente ordinaire.

La chambre peut servir au séchage, lorsque le robinet R est ouvert et le couvercle C enlevé.

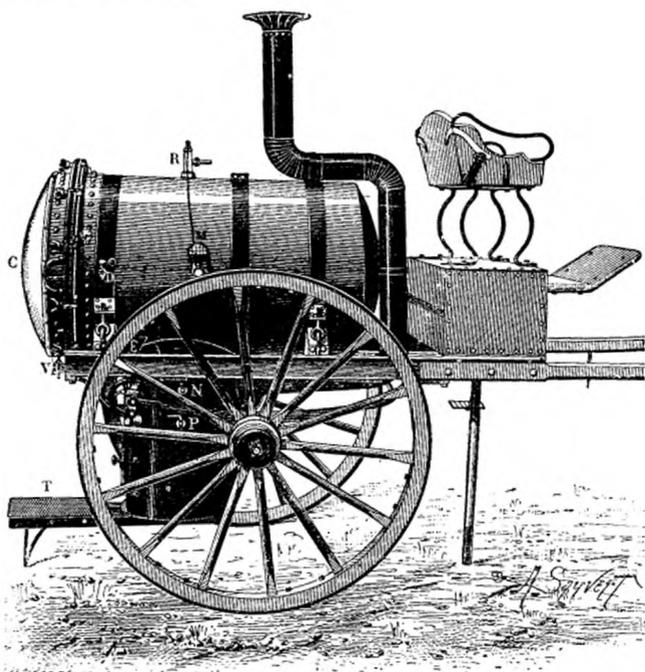


Fig. 326. — Étuve horizontale locomobile de Vaillard et Besson (maison Flicoteaux).

Étuve horizontale, fixe ou locomobile (fig. 326). — Dans les étuves horizontales basées sur le même mode de construction, le cylindre est couché suivant ses génératrices sur le fourneau ; l'un des fonds est fixe, le second forme porte.

Étuves Le Blanc. — C'est dès 1881 que la maison J. Le Blanc a commencé à fabriquer des étuves à vapeur. Aujourd'hui son système

habituel de désinfection repose sur l'action de la vapeur circulant sous une pression constante correspondant à la température de 115° , soit

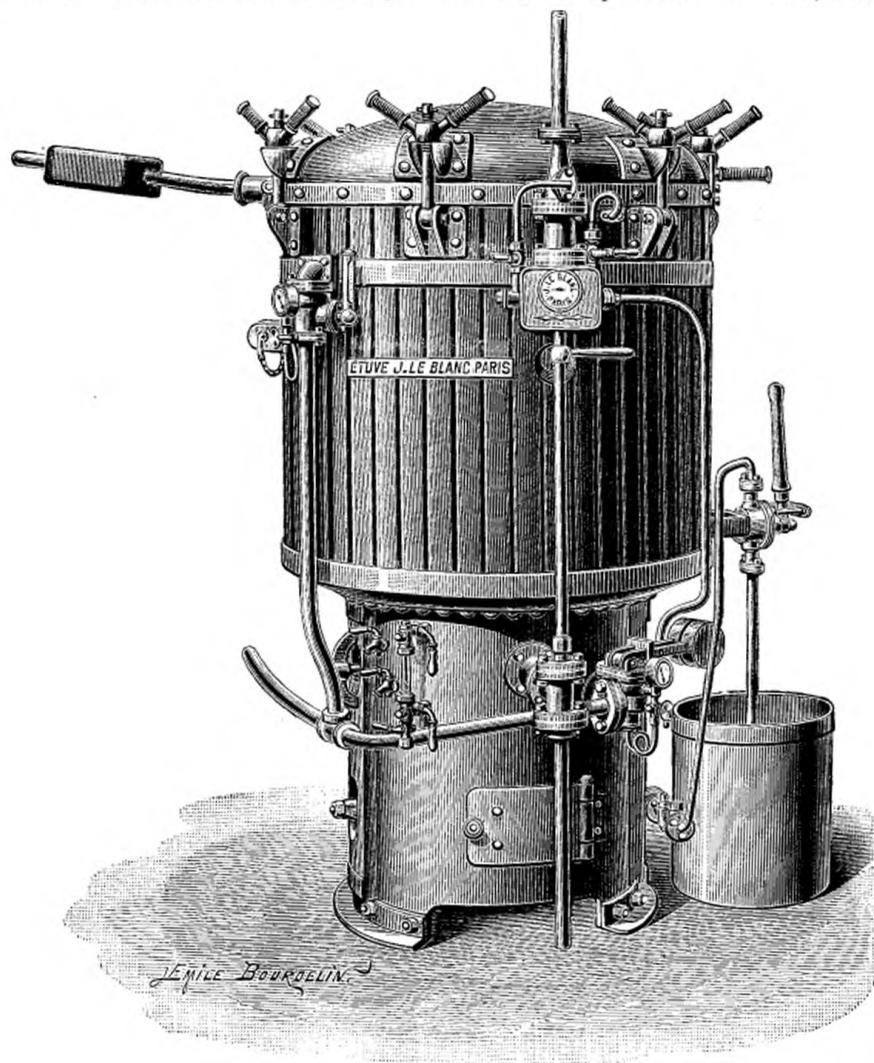


Fig. 327. — Petite étuve fixe verticale, J. Le Blanc, avec son fourneau, pour crèches, hôpitaux, etc.

1 atmosphère $7/10$. Ce résultat est obtenu par un dispositif bien particulier et très simple de robinetterie liée entre elle, afin de purger continuellement, c'est-à-dire laisser échapper successivement du bas de l'étuve, l'air, l'eau condensée et la vapeur, sans que jamais la pression et la température soient inférieures ou supérieures à 115° .

Les robinets étant groupés autour d'une plaque d'inscription indiquant

leur emploi, la manœuvre en est très simple et très sûre, et il n'y a pas à se tromper.

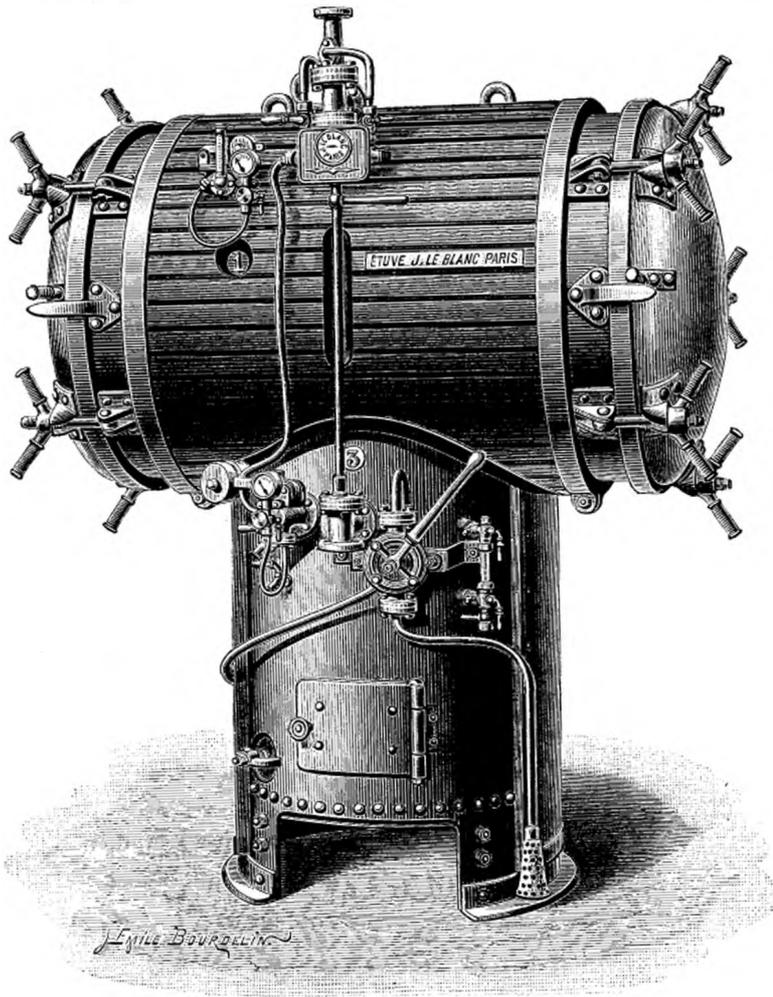


Fig. 328. — Petite étuve fixe horizontale, J. Le Blanc, avec son fourneau, pour petits établissements.

Trois appareils de sûreté et d'observation posés sur une même tubulure et se contrôlant réciproquement donnent toute garantie pour une désinfection parfaite, ce sont :

Un thermomètre,

Un manomètre.

Une soupape de sûreté à levée instantanée.

Le séchage des objets est obtenu à l'intérieur même de l'étuve et avant de l'ouvrir, au moyen d'un éjecteur spécial qui aspire l'air du dehors et l'oblige à passer très énergiquement à travers l'appareil, produisant une ventilation qui assure le séchage parfait en quelques minutes.

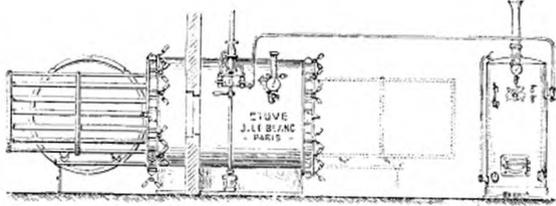


Fig. 329. — Étuve fixe J. Le Blanc, pour stations de désinfection.

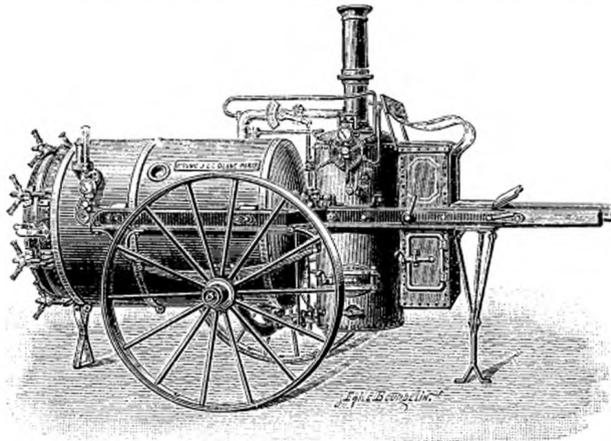


Fig. 330. — Étuve locomobile J. Le Blanc, montée sur 2 roues.

Le corps cylindrique est garanti contre le refroidissement et la condensation par une triple enveloppe d'air, de bois et de tôle; les portes ou fonds ont aussi leur enveloppe calorifuge en tôle. Le serrage de ces portes est obtenu rapidement par des boulons articulés à écrous sphériques, dont les poignées sont entourées de cordes pour éviter de brûler les mains. Par ce système d'écrous à base sphérique, s'encastrent et se centrent d'eux-mêmes dans des crans *ad hoc*, la fermeture et le serrage se font sans tâtonnements et beaucoup mieux que par tout autre moyen.

L'ossature du chariot est en métal étamé, afin d'empêcher l'oxydation et les châssis sont faits en bois, vissés en cuivre pour ne pas abîmer les objets, comme dans les chariots entièrement métalliques.

Les chaudières sont habituellement du système Field.

Les fig. 327 et 328 font voir deux étuves fixes, l'une verticale, l'autre horizontale, pour petits établissements (assez semblables à celles de Vaillard et Besson).

La fig. 329 montre l'étuve fixe ordinaire des stations de désinfection

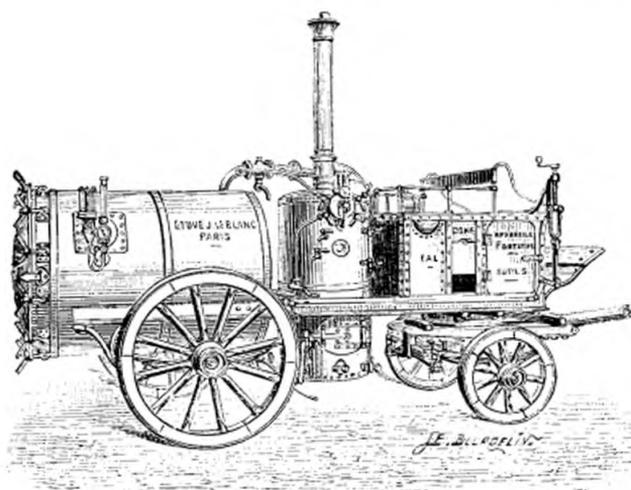


Fig. 331. — Étuve locomobile J. Le Blanc, montée sur 4 roues.
(Cylindre en long).

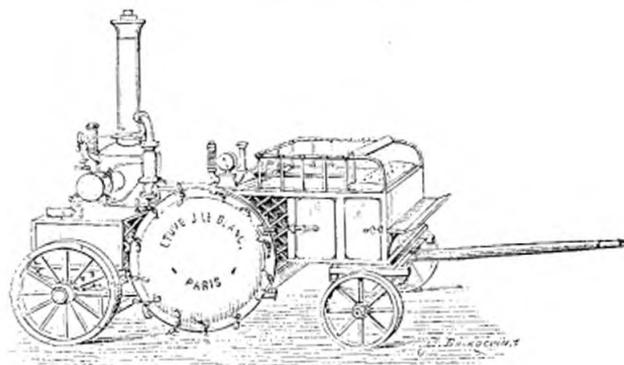


Fig. 332. — Étuve locomobile J. Le Blanc, montée sur 4 roues.
(Cylindre en travers).

et les fig. 330, 331 et 332 trois types d'étuves locomobiles sur deux et quatre roues.

(1) Signalons pour en finir avec les appareils français, que le Dr Lavagna a proposé au Congrès de Médecine 1900 une étuve où le cylindre intérieur contenant le chariot serait mobile et pourrait être animé d'un mouvement de rotation dans l'intérieur du cylindre enveloppe; l'auteur prétend que cette rotation favoriserait la pénétration de la vapeur dans les effets. C'est possible, mais cela paraît une bien grande complication.

APPAREILS ALLEMANDS

Etuves Budenberg (aujourd'hui Lümkemann, à Dortmund). — Ces appareils, à vapeur fluente et très faible pression, sont fort répandus

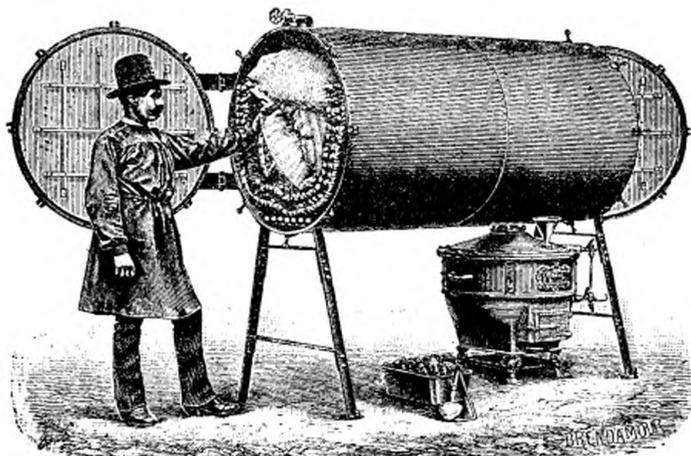


Fig. 333. — Etuve horizontale de Budenberg (Lümkemann Succ^r) facilement transportable avec sa chaudière.

en Allemagne. Il n'y a que peu de chose à en dire; les fig. 333, 334 et 335 en font voir trois types usuels.

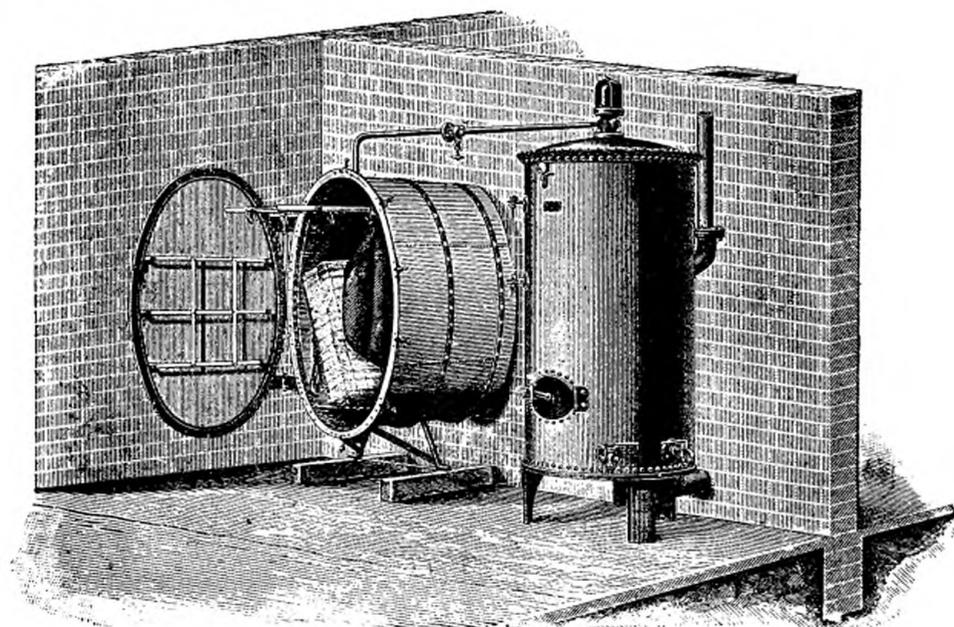


Fig. 334. — Grande étuve fixe de Budenberg (Lümkemann Succ^r) avec sa chaudière.

Etuves Rietschel et Henneberg (Berlin et Dresde). — Ce sont aussi des appareils à vapeur fluente ; la pression peut atteindre $1^{\text{atm}}, 1/3 (105^{\circ})$

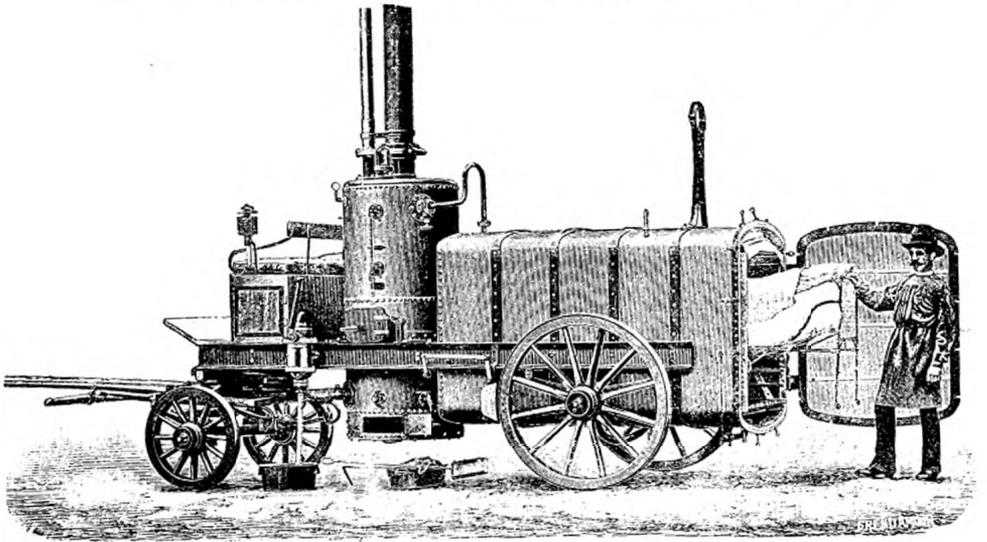


Fig. 335. — Grande étuve locomobile Budenberg (Lümkemann Suco).

dans le grand appareil représenté par la fig. 336 et dont voici la description donnée par les constructeurs :

« Le générateur de vapeur se compose de quatre chambres en fonte *a* qui sont reliées deux à deux par les tubes bouilleurs *c*. Pour nettoyer l'intérieur de ces tubes, on enlève les couvercles *e* ; le nettoyage extérieur et l'enlèvement des suies se font par les carnaux fermés par les couvercles *d*. Le foyer se trouve dans le petit socle *b* dont l'intérieur est fait de briques réfractaires ; les gaz, après avoir contourné les chambres *a* et les bouilleurs *c*, s'échappent dans la cheminée par l'ajutage conique et le conduit de fumée dont la section de passage est réglée au moyen d'un clapet-papillon. Cet ajutage, de même que la partie inférieure du conduit de fumée, sont entourés d'un marteau en fer forgé *l* qui forme ainsi un espace servant de chambre à air chaud. Cette dernière est chauffée d'une part par les gaz qui s'échappent et, d'autre part, par la vapeur qui remplit les parties supérieures des chambres *a* et les tuyaux de communication *f*.

L'entrée de l'air froid se fait par un certain nombre d'ouvertures rondes ménagées dans le manteau *l* ; l'air réchauffé traverse le tuyau *m*,

passé dans le coude muni de la soupape *k* et de là dans l'étuve *n* quand cette soupape est ouverte. Le tuyau à vapeur *h*, qui est branché sur le robinet à trois voies *g* vient déboucher immédiatement au-dessous de cette soupape. Selon la position du robinet *g*, la vapeur entre dans l'étuve

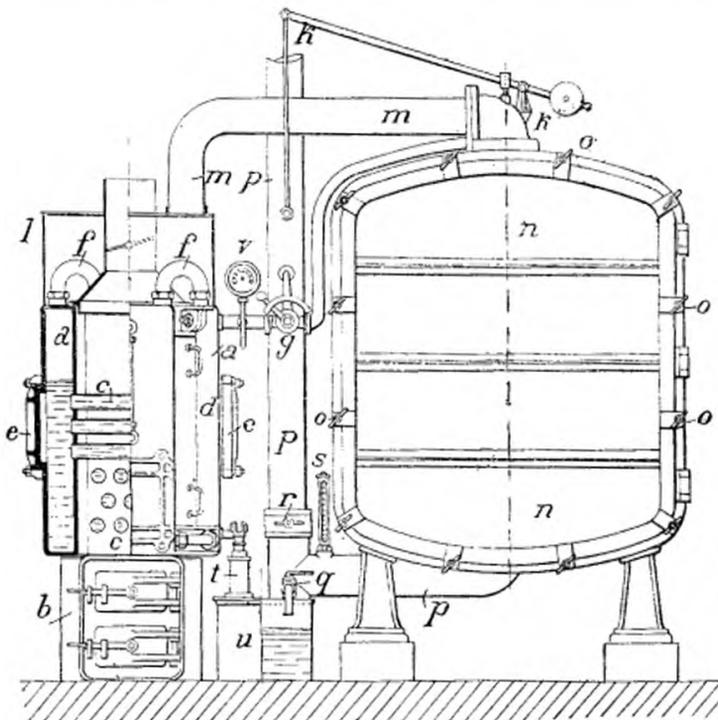


Fig. 336. — Grand appareil désinfecteur de Rietschel et Henneberg, avec disposition pour la ventilation. — Vue de face.

Légende : *a*, Chambre d'eau du vaporisateur tubulaire. — *b*, Foyer. — *c*, Tubes bouilleurs du vaporisateur, autour desquels circulent les gaz de la combustion. — *d*, Couvercle s'enlevant pour le nettoyage des carneaux. — *e*, Couvercle s'enlevant pour le nettoyage intérieur des tubes bouilleurs. — *f*, Tuyaux de communication entre les différentes chambres d'eau. — *g*, Robinet de vapeur, à trois voies, pour envoyer la vapeur dans l'étuve ou dans le tuyau de ventilation. — *h*, Tuyau de vapeur allant à l'étuve. — *i*, Tuyau de vapeur, allant du robinet à trois voies dans le tuyau de ventilation. — *k*, Soupape à levier et à contrepoids pour fermer le conduit d'air chaud *m*. — *l*, Chambre à air chaud, avec orifices d'entrée par le fond. — *m*, Conduit d'air chaud allant de la chambre à air chaud à l'étuve. — *n*, Etuve à désinfection, avec porte, montée sur pieds en fer. — *o*, Vis de fermeture de la porte. — *p*, Tuyau d'échappement, avec collecteur d'eau. — *q*, Robinet de vidange de l'eau de condensation. — *r*, Clapot-papillon pour le réglage de l'échappement de la vapeur. — *s*, Thermomètre indiquant la température de la vapeur qui s'échappe après avoir servi à la désinfection. — *t*, Pompe d'alimentation à bras. — *u*, Collecteur de l'eau de condensation débitée par le robinet *q*. — *v*, Manomètre indiquant la pression de la vapeur.

par le tuyau *h*, ou file, par *i*, dans le tuyau d'échappement *p* et de là à l'air libre. Le tuyau *i* pénètre dans le tuyau *p* et se termine en forme de tuyère. Le jet de vapeur, dirigé vers le haut, produit un vif effet aspirant.

Le tuyau p , fermé dans le bas par le papillon r , va rejoindre, par un branchement latéral, le point le plus bas de l'étuve n . L'eau de condensation qui se forme dans l'étuve, s'amasse dans la partie la plus basse de ce tuyau pour se déverser, par le robinet g , dans le collecteur n d'où la pompe à bras t la prend pour la refouler dans le générateur. Il est facile de se rendre compte du but et de l'utilité des autres dispositions encore prévues dans nos appareils, en consultant la figure et la légende.

Voici comment on opère :

On allume le feu sous le générateur et l'on réchauffe en même temps l'étuve au moyen de l'air chaud, en mettant les organes g , k , r dans leurs positions correspondantes. Puis on remplit l'étuve d'objets à désinfecter, en ayant soin de placer ces derniers de façon qu'ils offrent prise de toutes parts à la pénétration de la vapeur. On tourne le robinet g , pour envoyer la vapeur dans l'étuve. La vapeur refoule l'air (dont le poids spécifique est supérieur au sien) vers le bas, en le poussant devant elle, et finit par s'échapper à l'air libre, par le tuyau p et le papillon r . La pression de la vapeur se règle, dans cette opération, par le papillon r qui est construit de telle sorte qu'il peut toujours encore s'échapper un peu de vapeur, même quand il est tout à fait fermé, il y a donc échappement continu. En outre, une soupape de sûreté (qui n'est pas visible dans la figure) empêche que la pression voulue ne soit dépassée et prévient tout danger de ce côté.

La désinfection terminée, on ferme le robinet g , pour que la vapeur s'échappe par le tuyau d'échappement ; en même temps, on ouvre en plein le robinet k et le papillon r . L'effet aspirant du jet de vapeur passant du tuyau i dans le tuyau d'échappement, produit un courant d'air, réchauffé dans la chambre l , qui débarrasse de toute trace de vapeur l'étuve et les objets qu'elle renferme ; le séchage est donc fait dans l'appareil même ».

La maison construit naturellement des étuves fixes ou mobiles, de toutes dimensions, mais le type reste sensiblement le même. Voici toutefois, fig. 337, une étuve très simple pour petites installations : le corps en est cylindrique et la figure montre une coupe longitudinale. La chemise b repose par sa partie basse et par le cadre rectangulaire c , sur la cuvette de vaporisation d qui repose à son tour sur le petit socle-foyer e . Ce dernier comprend la grille f , la porte de foyer g et la porte du cendrier h . Les gaz de la combustion chauffent la cuvette d et s'échappent, par le tuyau de fumée i , dans la cheminée. L'enlèvement des suies et de la cendre se fait par la petite porte k .

La paroi de derrière de la cheminée *b* porte un clapet-papillon *l*, auquel vient se raccorder le tuyau d'échappement *m*. Sur le devant, l'étuve *d* se ferme hermétiquement avec un couvercle *n*, au moyen d'un joint en caoutchouc. Ce couvercle est muni d'une soupape d'admission *o* pour l'air et d'un thermomètre *p* indiquant la température dans le bas de l'étuve. L'eau de condensation formée dans l'étuve *a* retourne à la cuvette par le tuyau *q*.

Légende :

a, Etuve à désinfection, avec claie en bois au fond et crochets, en haut, pour suspendre les objets. — *b*, Chemise de vapeur. — *c*, Cadre de fermeture. — *d*, Cuvette de vaporisation. — *e*, Socle formant foyer. — *f*, Grillo du foyer. — *g*, Porte du foyer. — *h*, Porte du cendrier. — *i*, Tuyau de fumée. — *k*, Porte de nettoiyago. — *l*, Clapet-papillon. — *m*, Tuyau d'échappement de la vapeur. — *n*, Couvercle se fermant hermétiquement, au moyen de vis à rabattement. — *o*, Soupape d'admission de l'air. — *p*, Thermomètre indiquant la température de l'étuve. — *q*, Tuyau d'écoulement.

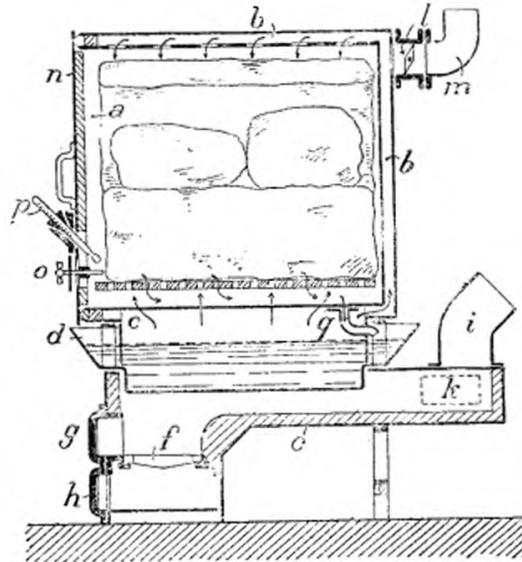


Fig. 337. — Petite étuve simple de Rietschel et Henneberg (Coupe en long).

Etuves Oscar Schimmel (Chemnitz). — Grande maison qui a installé les stations de Berlin, de Munich, de Hambourg et beaucoup d'autres. Ses étuves, sont également à très faible pression (105°). La fig. 338 fait voir une petite étuve verticale directement posée sur son fourneau ; la fig. 339 une étuve

Légende :

A, Paroi extérieure avec enveloppe calorifuge. — *T*, Couvercle. — *U*, Fondations en briques réfractaires. — *F*, Foyer. — *K*, Chaudière. — *I*, Cylindre intérieur formant la chambre de désinfection ; *a*, son couvercle. — *D*, Tuyau d'échappement de la vapeur. — *d*, Registre. — *t*, Thermomètre. — *L*, Tubulure d'entrée d'air. — *s*, Ecoulement de l'eau de condensation. — *r*, Tuyau de fumée. — *O*, Entonnoir d'amenée d'eau. — *o*, Tuyau d'amenée d'eau. — *w*, Indicateur du niveau de l'eau. — *h*, Robinet de vidange.

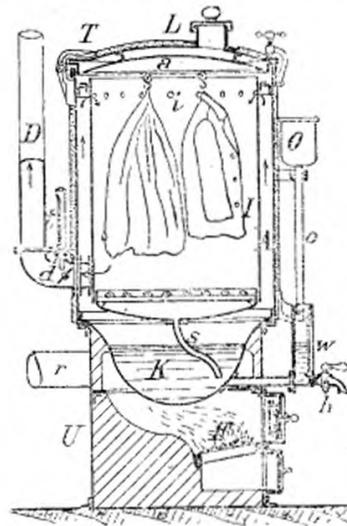
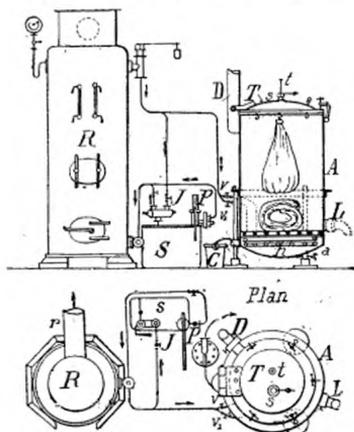


Fig. 338. — Petite étuve verticale sur son fourneau, d'Oscar Schimmel (Chemnitz).

également verticale d'un peu plus grande taille, avec chaudière séparée.

La maison construit les mêmes appareils où le cylindre est couché horizontalement au lieu d'être vertical.



Légende :

A, Cuve cylindrique. — T, Son couvercle. — L, Tubulure d'entrée d'air. — D, Evacuation de la vapeur. — h, Serpentin. — c, Condenseur. — t, Thermomètre. — s, Soupape de sûreté. — a, Robinet de vidange. — R, Chaudière tubulaire verticale. — r, Tuyau de fumée. — S, Bassin d'alimentation. — J, Injecteur. — P, Pompe à main. — v, Valve de vapeur pour le serpentin. — v₁, Valve de vapeur pour l'étuve.

Fig. 339. — Etuve verticale avec chaudière séparée, d'Oscar Schimmel.

La fig. 340 représente une coupe en long de la grande étuve fixe de section elliptique.

La fig. 341 une coupe en long de l'étuve locomobile : les légendes annexées à ces figures suffisent à les faire comprendre.

Etuves des frères Schmidt (Weimar). — Cette maison construit également de nombreux appareils à vapeur fluente. La fig. 342 montre une petite étuve verticale et son tourneau montés sur un chariot transporteur spécial. La fig. 343 fait voir la grande étuve locomobile, avec chaudière tubulaire.

Etuve de Rohrbeck (Berlin) : système à faire le vide. — Pour faciliter la pénétration de la vapeur dans les objets, Rohrbeck, à l'exemple de Budde, a proposé et construit des étuves où on fait un vide relatif (Vakuum system) en faisant condenser la vapeur une première fois introduite dans la chambre de désinfection : on obtient ce résultat en faisant arriver de l'eau froide dans l'espace compris entre le cylindre intérieur et l'enveloppe ; on espère que l'air contenu dans les objets est bien expulsé, et on peut du reste recommencer plusieurs fois la manœuvre. C'est une complication qui paraît peu utile.

Etuves Thursfield (Vienne). — Ici la chaudière entoure la chambre de désinfection et comprend l'espace intermédiaire entre les deux pa-

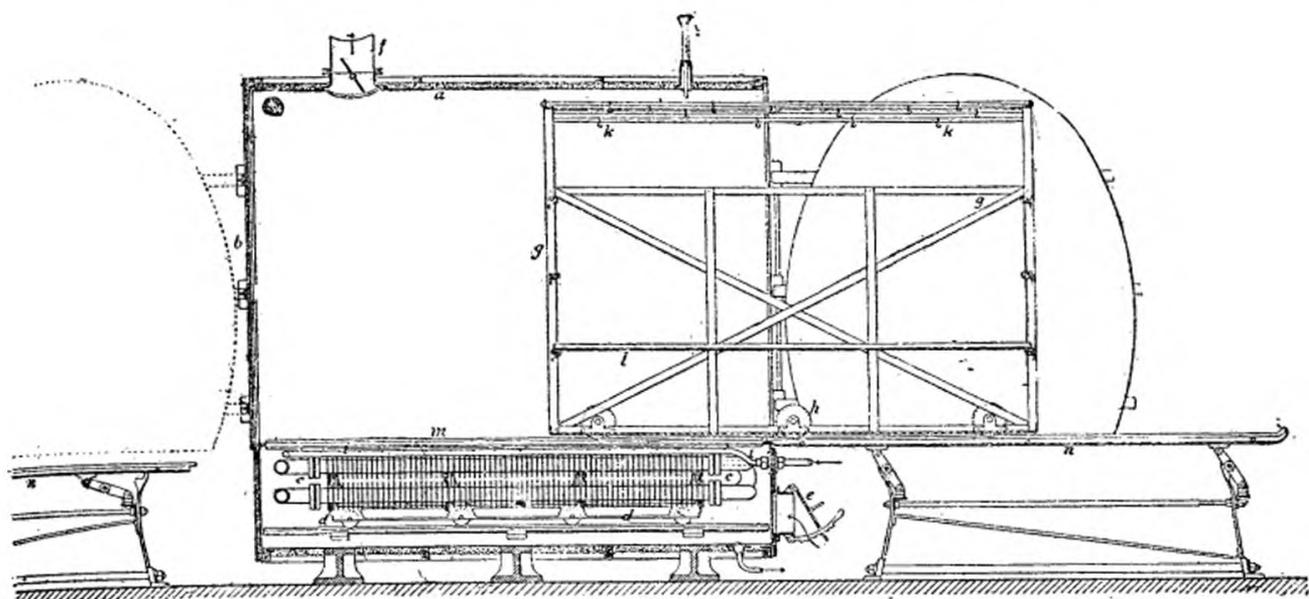


Fig. 340. — Grande étuve fixe elliptique d'Oscar Schimmel : Coupe en long.

Légende : a, Cylindre avec enveloppe isolante. — b, Portes. — c, Système à ailettes pour chauffage préalable et séchage final. — d, Appareil mobile portant ce système. — e, Ouverture pour entrée de l'air. — f, Tuyau d'évacuation avec valve. — g, Chariot monté sur les roues h et roulant sur les rails m et n. — i, Tuyau perforé amenant la vapeur dans la chambre de désinfection. k, Crochets pour pendre les effets. — l, Cadre à treillis pour recevoir les matelas et couchages. — t, Thermomètre.

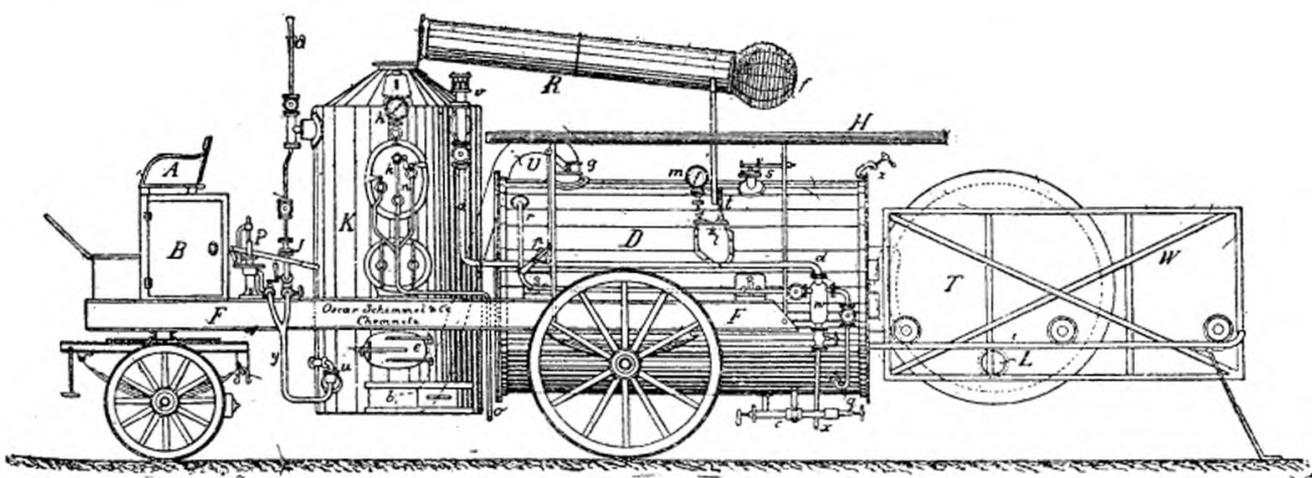


Fig. 341. — Grande étuve locomobile d'Oscar Schimmel : Coupe en long.

Légende : D, Cylindre désinfecteur. — T, Sa porte. — H, Toit par dessus. — W, Chariot. — i Rails du chariot. — L, Orifice d'entrée d'air. — U, Evacuation de la vapeur. — g, Registre. — p, Manœuvre du registre. — d, Amenée de la vapeur de la chaudière K. — t, Thermomètre. — m, Manomètre de l'étuve. — l, Robinet d'air. — s, Soupape de sûreté de l'étuve. — r, Tuyau de vapeur allant au serpent. — g, Tuyau de vapeur pour le courant direct. — e, Tuyau d'évacuation de l'eau de condensation. — x, Tuyau de purge. — J, Injecteur. — P, pompe à main. — y, Tuyau d'alimentation. — F, Châssis de la voiture. — B, Boîte à charbon. — A, Siège. — K, Chaudière. — R, Cheminée. — f, Capuchon de la cheminée. — e, Porte du foyer. — b, — Porte du cendrier. — k, Niveau d'eau. — n, Robinets d'épreuve. — h, Manomètre de la chaudière. — v, Soupape de sûreté de la chaudière. — a, Tuyau de purge. — u, Soupape d'alimentation. — o, Tuyau de purge du niveau d'eau.

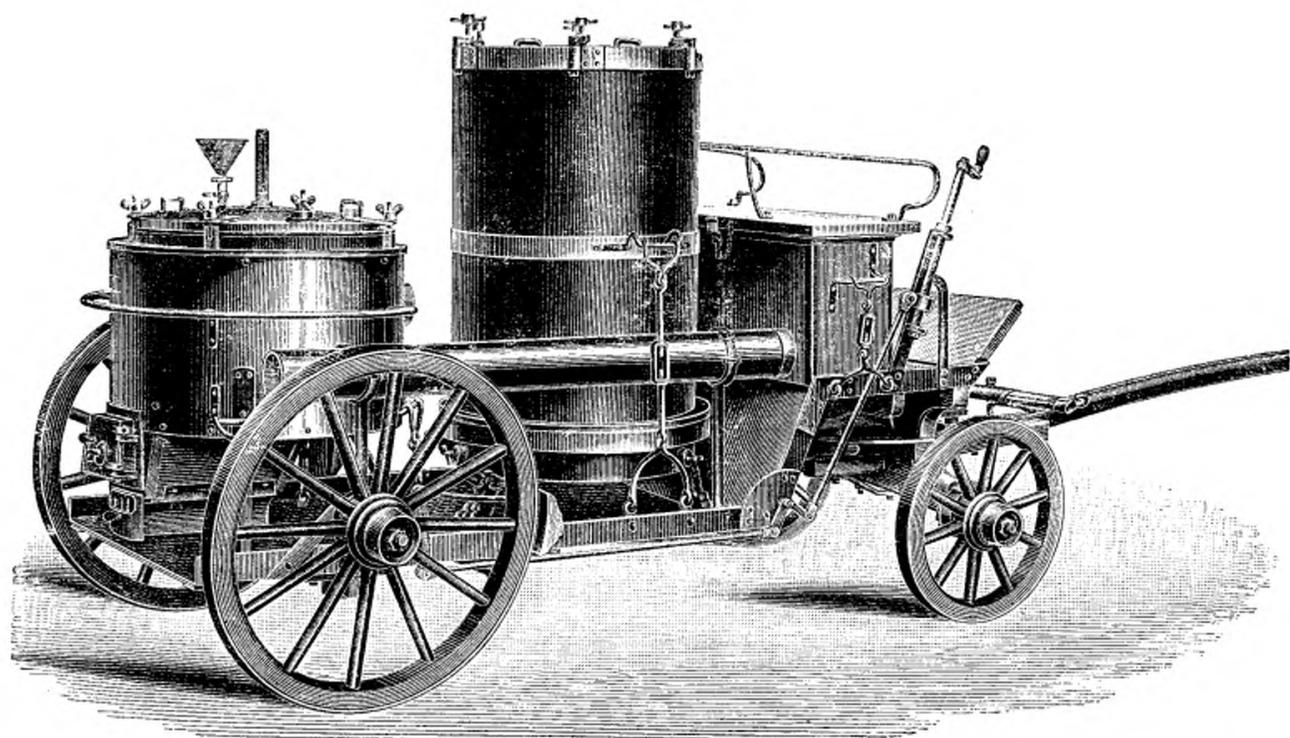


Fig. 342. — Éluve verticale et son fourneau, montés sur un chariot transporteur spécial, des Frères Schmidt (Weimar).

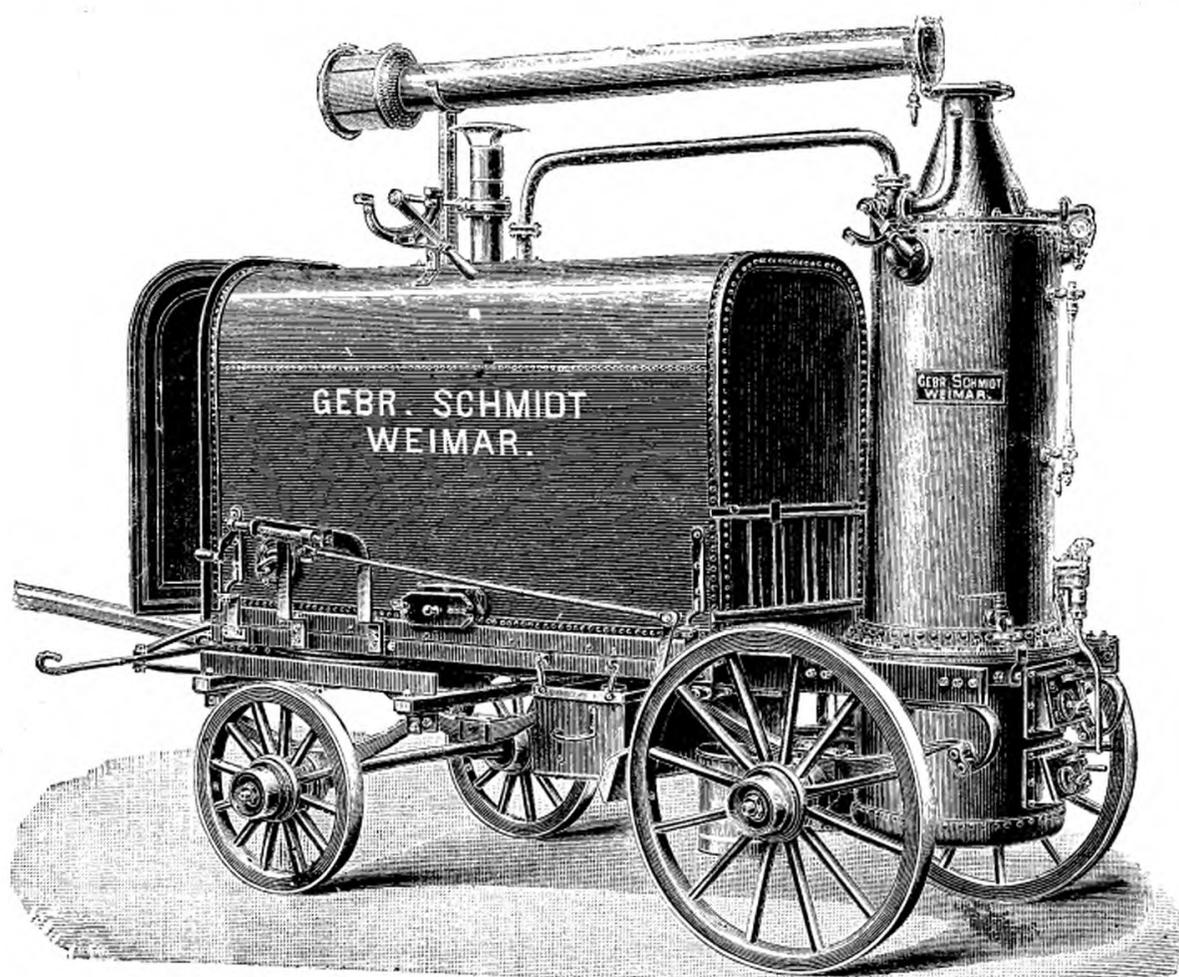


Fig. 343. — Grande éluve locomobile des Frères Schmidt (Weimar).

rois : il en résulte que la chambre s'échauffe en même temps que l'eau ; et qu'après l'opération elle reste chaude et sert de séchoir. On sait qu'à Vienne chaque arrondissement possède une petite étuve de ce type, qu'un homme seul peut transporter au lieu d'emploi (fig. 344). L'étuve

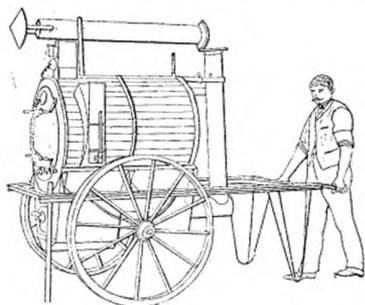


Fig. 344. — Etuve transportable Thursfield en service à Vienne.

Brückner qui était aussi employée à Vienne, il y a dix ans, l'est beaucoup moins aujourd'hui.

Comme autres maisons allemandes, il faut encore citer : Schäfer et Walcker, Lenz, Bacon, Altmann, Lautenschläger, Fehrmann, à Berlin ; Biemann, à Wismar ; Weyergans, à Düsseldorf ; Schmahl à Mainz-Mombach etc.

APPAREILS DANOIS

Étuves Reck. (Copenhague). — Cette grande maison de construction, qui fournit également beaucoup en Angleterre, fait des étuves qui travaillent à volonté à 105 ou à 110°, avec de la vapeur en circulation continue.

La vapeur entre par le haut de la chambre et s'échappe par le bas, ce qui facilite l'expulsion de l'air. La fig. 345 fait voir une étuve fixe et

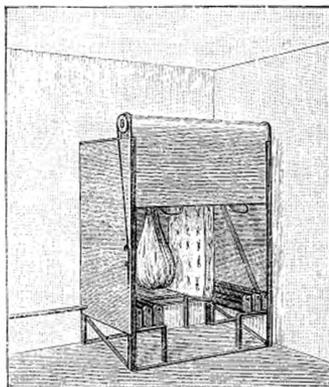
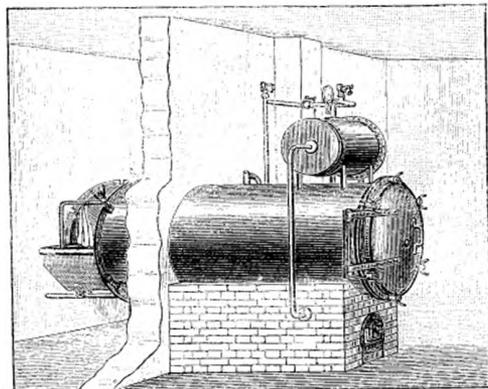
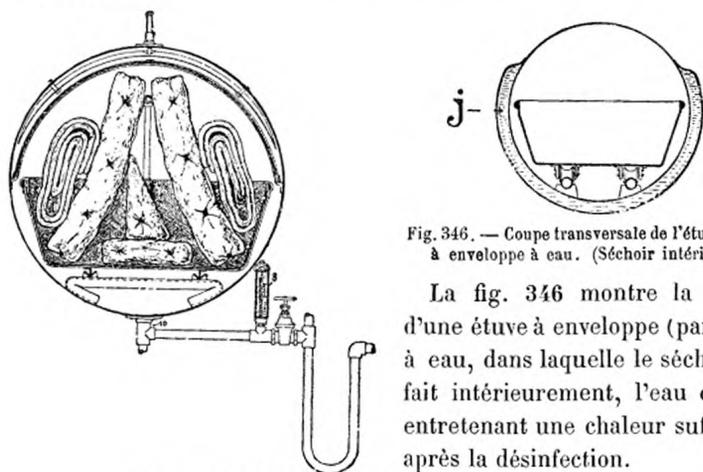


Fig. 345. — Étuve fixe de Reck et son séchoir.

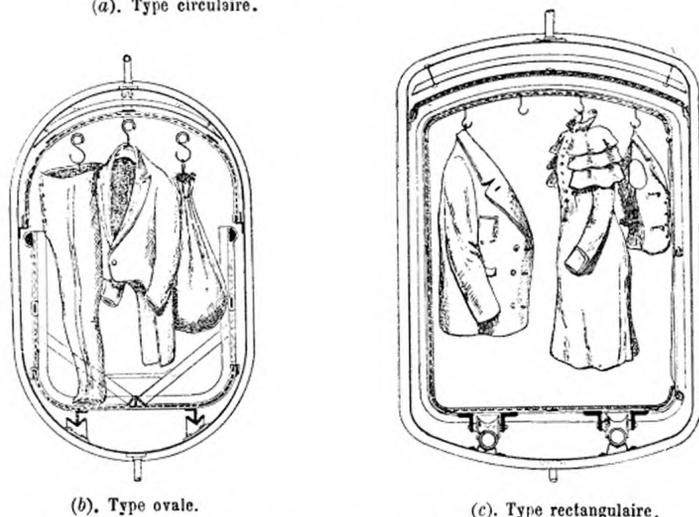
son séchoir chauffé par la vapeur de retour : ici la chaudière est divisée en deux parties, le cylindre placé au-dessus de l'étuve et une chaudière en tombeau ordinaire en-dessous, reliés par des tubes où circule l'eau chauffée.



(a). Type circulaire.

Fig. 346. — Coupe transversale de l'étuve Reck, à enveloppe à eau. (Séchoir intérieur.)

La fig. 346 montre la coupe d'une étuve à enveloppe (partielle) à eau, dans laquelle le séchage se fait intérieurement, l'eau chaude entretenant une chaleur suffisante après la désinfection.



(b). Type ovale.

(c). Type rectangulaire.

Fig. 347. — Coupes transversales des étuves Reck.

La fig. 347 montre les coupes transversales de trois étuves de plus grandes dimensions, et la fig. 348 une étuve transportable sur deux roues.

APPAREILS ANGLAIS

Outre les étuves Reck, on trouve fréquemment en Angleterre les étuves de la maison *Washington-Lyon* (Londres), mais cette maison n'a pas cru devoir répondre à notre demande de renseignements.

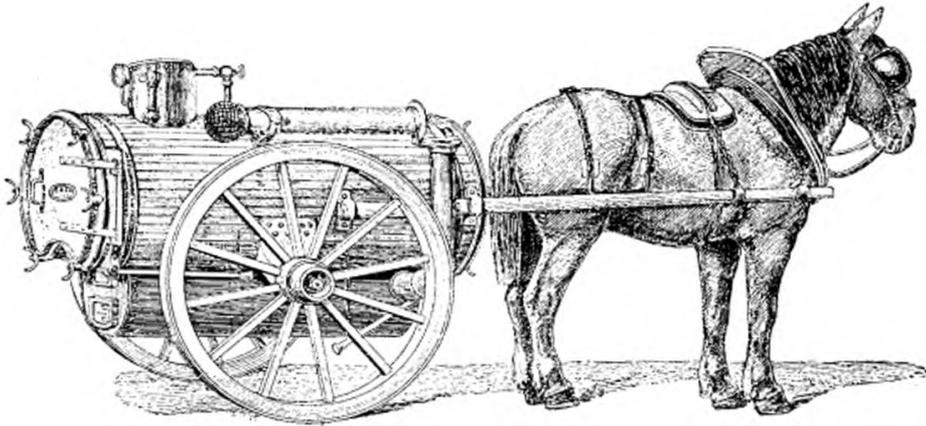
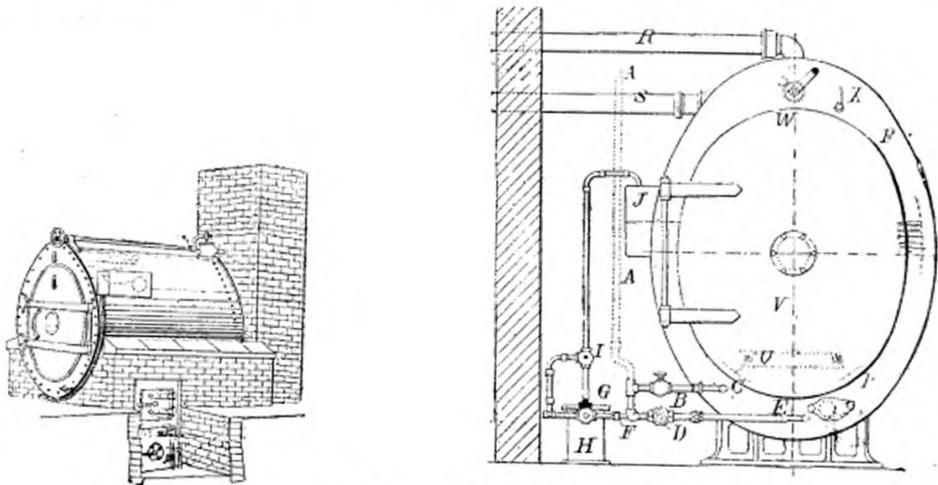


Fig. 348. — Étuve Reck, transportable, sur 2 roues.

L'étuve *Tresh* (Westminster) est également très répandue. Elle est à vapeur fluente, de forme elliptique, et peut être soit posée sur un foyer fixe (fig. 349 — a) ou mobile, soit chauffée par la vapeur venant

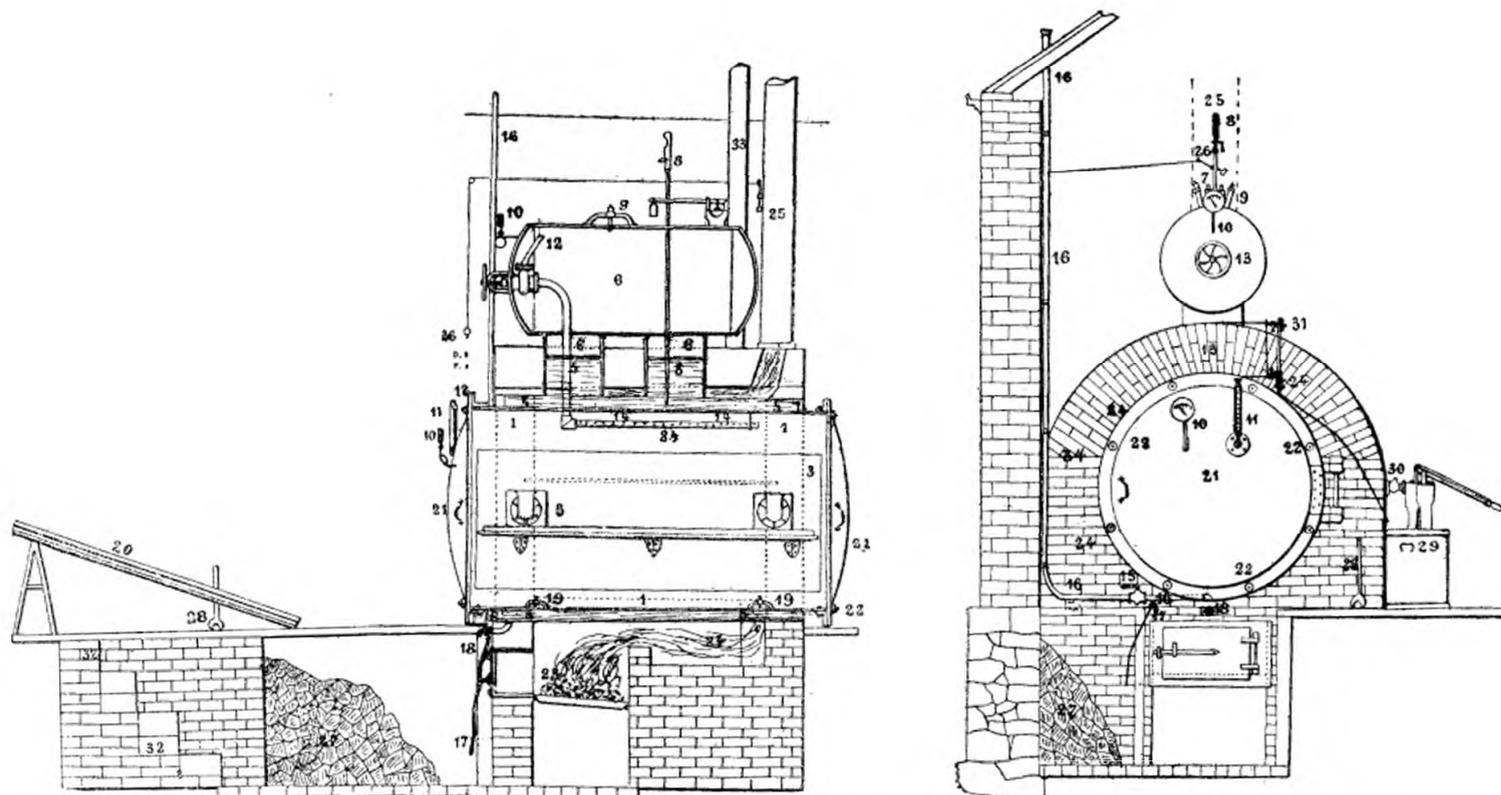


a). Vue perspective d'une étuve Tresh à chauffage direct par foyer sous-jacent.

(b). Coupe transversale d'une étuve Tresh chauffée par la vapeur venant de générateurs éloignés.

Fig. 349. — Etuves Tresh.

Légende de la fig. 349 (b). — A, Tuyau d'amenée de la vapeur. — B et D, Robinets d'entrée de la vapeur dans l'espace annulaire formant chaudière E. — F, Tuyau de purge et de décharge de l'espace E. — G et I, Robinets à trois voies pour les manœuvres et l'alimentation du bassin alimentaire J. — H, Condenseur. — M, Valve d'entrée de l'air et P tuyau d'amenée de l'air. — Q, Appareil de manœuvre pour l'entrée ou la sortie de la vapeur dans la chambre V par les orifices WW. — R et S, Tuyaux d'évacuation de la vapeur. — U, Chariot. — X, Thermomètre.



Coupe en long.

Fig. 350. — Etuve à désinfecter de J. Wodon (Namur).

Coupe en travers.

Légende : 1, Chambre à désinfecter. — 3, Chariot à désinfecter. — 5, Eau. — 6, Vapeur. — 7, Soupape de sûreté. — 8, Appareil Black. — 9, Trou d'homme. — 10, Manomètre. — 11, Thermomètre. — 12, Entrée de la vapeur. — 13, Robinet de prise de vapeur. — 14, Sortie de la vapeur dans l'étuve. — 15, Robinet pour lâcher la vapeur. — 16, Tuyau d'échappement de la vapeur. — 17, Robinet purgeur. [— Robinet de vidange de la chaudière. — 19, Porte de lavage. — 20, Rails. — 21, Porte fermant l'étuve. — 22, Boulons fixant la porte. — 23, Foyer. — 24, Carneaux. — 25, Cheminée. — 26, Clef pour le tirage avec cordon. — 27, Charbon. — 28, Clef pour serrer les boulons. — 29, Pompe foulante et aspirante. — 30, Soupape de retenue. — 31, Indicateur de niveau d'eau. — 32, Escalier. — 33, Mur séparant la salle des objets infectés de celle des objets désinfectés. — 34, Tôle pour la séparation des carneaux.

d'autres générateurs (fig. 349 — *b*), l'espace compris entre le cylindre intérieur et l'enveloppe formant chaudière et contenant l'eau en ébullition jusqu'un peu au-dessus du milieu de la hauteur. Le séchage se fait facilement dans l'intérieur grâce à un courant d'air réchauffé par les parois de la chambre de désinfection.

APPAREILS BELGES

A signaler l'*étuve de J. Wodon* (Namur) fig. 350. Comme on le voit, la chambre de désinfection est entièrement entourée par l'eau de la chaudière, laquelle comporte en outre un réservoir de vapeur placé au-dessus de l'étuve. La vapeur entre par le haut de la chambre et en sort par le bas, ce qui est une bonne condition. Avec un appareil de ce genre, la température est très égale partout et le séchage très facile.

Signalons encore l'*étuve d'Overbeek de Meijer*, construite par la maison Bingham, d'Utrecht, qui a également autour de la chambre de désinfection une enveloppe d'eau chaude, et l'*étuve de F. Putzeys* construite par la maison Piedbœuf, de Jupille-les-Liège, où cette enveloppe n'est remplie que par la vapeur : dans ces deux types, la vapeur entre par le haut de la chambre.

APPAREILS ITALIENS

L'étuve la plus répandue est celle d'*Abba-Rastelli*, qui peut travailler soit à vapeur fluente, soit sous pression à 117°. Elle ressemble trop à l'étuve Geneste-Herschel pour mériter une description.

2° Désinfection par les antiseptiques.

Le contact assez prolongé avec des antiseptiques est toujours un bon procédé de désinfection, le seul applicable du reste pour certains objets (meubles, cuir, objets en peau, tissus délicats, fourrures, objets collés, livres etc.) qui ne supportent pas la vapeur ainsi que pour les parois des appartements. Il faudrait passer en revue ici tous les antiseptiques, et étudier leur *puissance antiseptique* (plus petite quantité de la substance qui empêche la putréfaction d'un litre de bouillon) et leur *pouvoir bactéricide* (durée de contact nécessaire pour tuer les germes) propriétés qui ne sont pas du reste les mêmes vis-à-vis des différents microbes. Mais cela nous entrainerait trop loin, et en pratique il n'y a en somme qu'un petit nombre de substances qui puissent actuellement

être utilisées : ces substances sont sous la forme liquide (en solution), qui est la plus commode pour les lavages et les pulvérisations, ou sous la forme gazeuse qui est mieux indiquée pour pénétrer dans tous les recoins d'un appartement.

Solution de sublimé (généralement à 1/1000). — Excellent antiseptique, couramment en usage pour le lavage des planchers et les pulvérisations.

Il présente des inconvénients qui en limitent l'emploi : il attaque les métaux, il forme avec les substances albuminoïdes un précipité qui le rend inutilisable pour les crachats, pus, matières fécales etc. ; il se fixe sur la laine et la soie ; enfin sa solution se conserve difficilement (on l'additionne dans le but de la conserver de 2 0/0 de Na Cl).

Acide phénique et ses dérivés. — La solution d'acide phénique à 5 0/0 tue les germes plus lentement que le sublimé, mais voit augmenter son pouvoir bactéricide par l'addition de 0,5 0/0 de H Cl. Attaque les corps vernis ou émaillés ; a une odeur peu agréable. On peut le mélanger à des corps pulvérulents (chaux, craie, marne, charbon) pour obtenir des désinfectants solides utilisables dans les fosses d'aisances, fouilles, etc.

Ses dérivés sont nombreux : crésol, tricrésol, acide phénylsulfurique de Laplace, saprol, lysol, solvéol, solutol, créoline, tous composés plus ou moins bien définis, qui présentent une valeur antiseptique sérieuse et une odeur forte (1).

Les dernières instructions belges préconisent le crésol savonneux (mélange de parties égales de crésol et de savon mou fondus ensemble) à raison de 500 grammes pour 10 litres d'eau.

Sulfates de cuivre et de fer, nitrate d'argent, permanganate et bichromate de potasse. — Substances fortement antiseptiques, mais présentant des inconvénients de coloration ou autres qui les rendent peu utilisables pour la désinfection des effets ou appartements.

Eau de chaux, lait de chaux. — La chaux a un véritable pouvoir antiseptique : on l'emploie en solution à 20, 30, 50 0/0 à la désinfection des fosses d'aisances, des fouilles et terres remuées, et nous connaissons assez son rôle dans l'épuration des eaux d'égout. Elle attaque la laine et en change la couleur et la solidité. Le badigeonnage des murs à la chaux est très recommandable et très usité.

(1) Autres antiseptiques qu'on voyait à l'Exposition : l'*aniodol*, dérivé du méthanol ; le *lauréol*, à base de chloro-aluminate de zinc sulfo-cuprique ; le *cho-rol-Marye* à base de sublimé ; le *sanitor*, etc.

Chlorure de chaux. — Bon également pour la désinfection des matières fécales et des terres souillées. Donne en se décomposant à l'air des composés oxygénés du chlore ; attaque les couleurs.

Savons. — Ils ont un certain pouvoir bactéricide, mais il est lent et a besoin d'être renforcé par le secours de la chaleur (il faut une heure à une solution de savon vert à 3 0/0 portée à 50° pour tuer les vibrions cholériques). Le savonnage à l'eau chaude est une excellente pratique courante pour le linge et certains effets.

Acide sulfureux. — C'est un désinfectant gazeux, produit dans des conditions faciles et économiques par la combustion du soufre. Il a été et est encore à cause de cette commodité même employé à la désinfection des appartements : toutefois les auteurs allemands (Wolfhügel) prétendent qu'il n'a qu'une action lente et superficielle et qu'il ne pénètre pas en profondeur, et il n'est plus guère employé en Allemagne. Bien qu'inférieur à la formaldéhyde, il ne mérite peut-être pas complètement ce discrédit.

Formaldéhyde (formol, formaline et dérivés). — L'aldéhyde formique CH_2O , obtenue en 1869 par Hofmann par oxydation de l'alcool méthylique au moyen d'un fil de platine incandescent, est aujourd'hui très employée pour la désinfection. C'est un gaz qui s'oxyde facilement en donnant de l'acide formique (ses solutions se décomposent à la lumière et doivent être conservées dans l'obscurité).

Elle se polymérise par évaporation de ses solutions et donne de la *paraformaldéhyde*, $(\text{CH}_2\text{O})_2$ ou du *trioxyméthylène* $(\text{CH}_2\text{O})_3$, corps solides qui par la chaleur repassent à l'état d'aldéhyde formique gazeux : c'est le principe de la méthode de Schering ou des pastilles, des méthodes Guasco, Robierge et d'autres semblables.

La polymérisation doit être évitée autant que possible pour les solutions dont on veut se servir comme désinfectant, et qui sans cela perdraient leur pouvoir antiseptique. On arrive à ce résultat, en ajoutant soit du chlorure de calcium, ce qui donne le *formochlorol* de Trillat, soit une solution de menthol dans l'alcool méthylique comme dans la méthode de Rosenberg (*holzine*), soit de la glycérine comme dans la méthode de Walther-Schlossmann-Lingner (*glycoformal*). Comme la polymérisation ne se produit que sur les solutions à 40 0/0, on conservera aussi l'aldéhyde en faisant des solutions plus étendues : méthode de Breslau. La solution du commerce à 40 0/0 s'appelle *formaline*.

Un autre dérivé du formol, c'est la *formacétone* de M. Fournier, so-

lution d'aldéhyde formique dans l'acétone. Ce corps a un pouvoir antiseptique énergique, mais n'agit bien qu'en présence de la vapeur d'eau ainsi qu'il en est du reste, comme l'a bien démontré Flügge, pour l'aldéhyde formique elle-même. L'action antiseptique augmente aussi avec la température : à la température ordinaire, la durée du contact de la formacétone avec les corps à désinfecter doit être d'au moins 24 heures ; à 40 ou 42°, elle peut être réduite à 6 heures ; à 85° (dans la formacétone-étuve) elle n'est plus que de une heure. La solution de formacétone à 3 0/0 réussit à stériliser les linges souillés, après une immersion de deux heures : ils peuvent être alors lessivés, sans essangeage préalable.

De nombreuses expériences et de nombreuses discussions, qu'il serait trop long de rappeler, ont eu lieu dans ces dernières années au sujet de l'efficacité de la désinfection par l'aldéhyde formique. On est à peu près d'accord pour les solutions : les objets trempés 24 heures dans une solution de 1 0/0 sont stérilisés, et on peut dès lors recommander le procédé Guasco, Duquesne et Pégat qui enferme les objets dans un sac de caoutchouc où on fait le vide et où on refoule une solution de formol à 3 0/0.

Quant à la forme gazeuse, depuis les travaux de Flügge (1), de Rübner et Peerenboom (2) etc., on admettait qu'elle a une action, mais seulement une action de surface, liée d'ailleurs à la présence de la vapeur d'eau : on pensait que le gaz en se condensant, sans doute en même temps que la vapeur d'eau qu'il absorbe, sur certains corps (les corps polis comme le verre par exemple) les désinfectait sur leurs parois, mais sans pénétrer en profondeur dans les pores ou interstices. Or, tout récemment les frères de Rechter ont repris la question, et par leurs beaux travaux sur la conservation des cadavres et sur la désinfection par le formol ont démontré que les vapeurs de ce corps ont un très réel pouvoir de pénétration dans les pores et interstices des objets, pourvu qu'on réalise certaines conditions de température, d'hermétisme du local et de maintien de la saturation pendant une durée suffisante (ce sont ces conditions qui n'auraient pas été réalisées par les précédents expérimentateurs). Il y aurait également une certaine avidité de diverses substances, notamment d'origine animale (soie, laine, etc.), pour les vapeurs formiques, avidité qui s'expliquerait par une sorte de dissolution des gaz dans les solides. Nous reviendrons plus loin sur les procédés de Rechter.

(1) *Zeitschrift für Hygiene*, 1896, 29^e vol., page 276.

(2) *Hygienische Rundschau*, n° 6, 1899.

Ajoutons enfin que l'aldéhyde formique laisse après elle une forte odeur, mais qu'on s'en débarrasse après désinfection au moyen de l'ammoniaque; le formol en excès se transforme alors en hexaméthylèneamine, corps inerte et inodore.



Fig. 351. — Pulvérisateur de la maison J. Le Blanc.

b). — Désinfection des locaux.

La désinfection des appartements habités est une opération délicate: il faut tuer les microbes sur toutes les surfaces et dans tous les recoins, et cela sans rien dégrader; or nos chambres modernes sont encombrées de meubles, tapis, rideaux, etc., dont la présence complique beaucoup

le problème (1). Pour atteindre toutes les parties d'une pièce, on ne voit guère que les pulvérisations et surtout les désinfectants gazeux : toutefois rappelons que les planchers sont très utilement lavés au sublimé, et que pour les murs qui ne peuvent être badigeonnés à la chaux, Esmarch a recommandé la méthode du *frottage à la mie de pain* (les débris de pain sont ensuite incinérés) qui s'est fort répandue en Allemagne, malgré les soins et le temps qu'exige sa mise en œuvre.

1° *Pulvérisations.* — La pulvérisation au sublimé (solution à $\frac{1}{1000}$ avec addition de $\frac{2}{1000}$ de NaCl) est la méthode classique française, encore employée à Paris. Elle a l'inconvénient de mouiller les objets, mais avec de l'habitude et des précautions la détérioration est faible : on doit plutôt lui reprocher d'être peu sûre, parce qu'il est bien difficile d'être certain que les opérateurs n'oublient aucune région des surfaces à désinfecter. On peut employer naturellement d'autres antiseptiques que le sublimé : Mackensie, se sert en Angleterre d'un liquide renfermant, par litre, 24 cm³ de solution d'aldéhyde formique et autant de glycérine.

Tous les pulvérisateurs (fig. 331) se ressemblent : un cylindre divisé en deux compartiments superposés (Geneste-Herschler) ou concentriques (Le Blanc), communiquant par un tube étroit et contenant l'un le liquide antiseptique et l'autre de l'air ; une petite pompe à main pour comprimer l'air ; enfin deux tubes amenant le liquide et l'air à se rencontrer dans une petite pièce métallique terminale où se fait la pulvérisation.

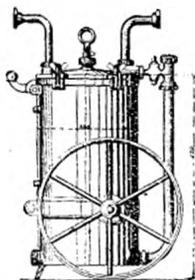


Fig. 352 — Mélangeur dosimétrique Laurans. M^{son} Geneste-Herschler.

A ces appareils se rattachent ceux qui permettent de faire mécaniquement le dosage des solutions à pulvériser, et notamment les *mélangeurs dosimétriques* récemment imaginés par Laurans et construits par la maison Geneste-Herschler : ils sont actuellement utilisés par le service de désinfection de Paris. Leur grand avantage est de permettre le mélange des liquides antiseptiques choisis en toute proportion voulue avec l'eau sous pression de la canalisation (ou l'eau comprimée par une pompe quelconque) : voici du reste leur description (fig. 352).

(1) Il serait bon qu'on réserve dans les appartements une chambre de malade à parois lisses, imperméables, faciles à laver, avec des meubles aussi simples que possible, sans tapis, ni rideaux, et qu'on y installe le membre de la famille atteint de maladie.

« L'appareil se compose d'un cylindre métallique dans lequel se meut un piston à double effet. Pour le remplir du désinfectant liquide à utiliser, l'on met l'appareil en communication, par le robinet de purge du bas, avec le tuyau d'amenée de l'eau. Celle-ci remplit le corps cylindrique et fait remonter le piston. Lorsque celui-ci est arrivé au haut de sa course, (ce qui se constate par la sortie de l'eau par un orifice situé au haut de l'appareil et qui servira ultérieurement pour le passage du mélange sous pression), on le bloque au moyen d'un écrou mobile. Cela fait on supprime l'arrivée de l'eau et on laisse écouler celle-ci par le robinet de purge ou de vidange dont il a été question plus haut. L'appareil étant vidé et le robinet de purge fermé, l'on introduit par un orifice *ah hoc* le liquide désinfectant dans l'espace qui se trouve en dessous du piston. L'appareil est alors garni et prêt à fonctionner ; à cet effet, l'on visse d'abord sur l'orifice d'admission le raccord qui doit communiquer avec la bouche d'eau sous pression, ensuite sur l'orifice de distribution un tuyau-lance ; on ouvre les robinets, sans oublier celui qui ferme le distributeur de l'antiseptique, et on desserre la cale qui retient la tige de guidage du piston. L'eau de la conduite exerce alors sur le piston une pression que celui-ci, à son tour, transmet au liquide antiseptique. Le dosage de ce dernier s'obtient par une série de jaugeurs en ébonite que l'on peut changer à volonté et dont les ouvertures sont calculées de façon à pouvoir donner des pourcentages déterminés. L'arrosage peut alors se faire dans toutes les conditions habituelles, soit en jet, soit en pomme d'arrosoir, soit en queue de carpe, soit enfin en pulvérisation fine au moyen d'un ajutage spécial. Il suffit de fixer sur le tuyau-lance l'embouchure appropriée.

Le mélange de l'eau et du désinfectant est parfait pendant toute la durée de la marche, ce que nous avons pu constater en prélevant à plusieurs reprises des échantillons des produits émis. Quant aux désinfectants à employer, nous citerons la crésiline, la créoline, le lysol, les solutions de bichlorure de mercure, de chlorure de zinc et de formaline. Une des qualités de l'appareil sur laquelle nous attirons spécialement l'attention, c'est que le mélange du désinfectant peut être à volonté ou supprimé ou rétabli, sans arrêt de marche et sans perte aucune de pression, ce qui permet de laver à l'eau pure les surfaces préalablement désinfectées ou désodorisées sans avoir d'autre manœuvre à exécuter que la fermeture du robinet qui commande le distributeur d'antiseptique. De plus l'appareil est mobile grâce à un chariot léger sur lequel il peut être monté et qui permet de le déplacer à volonté. Il est un fait certain, c'est que pour l'emploi de cet appareil il faudra déterminer d'abord la valeur réelle des désinfectants à mettre en œuvre dans les différents cas où il en sera fait usage, mais cette question n'influe en rien la valeur de l'appareil comme distributeur d'un mélange dosimétrique quel qu'il soit. C'est là une solution à rechercher en dehors de toute préoccupation quant à l'emploi de l'invention de M. Laurans. »

2° *Désinfectants gazeux.* — En dehors de l'acide sulfureux dont nous avons déjà dit un mot et qui n'exige qu'une simple combustion du soufre avec une fermeture hermétique des orifices, il n'y a que la formaldéhyde : en revanche elle a suscité l'écllosion de nombreux appareils, dont nous avons déjà signalé le principe.

Il n'y a plus à parler des essais faits avec diverses lampes pour produire l'aldéhyde formique par la méthode d'oxydation de l'alcool méthylique (méthode d'Hofmann) ; ils n'ont pas réussi à devenir pratiques. Depuis plusieurs années déjà Van Emegem avait condamné les lampes formogènes, et tout récemment (*Technologie sanitaire*, mai 1900)

Schoofs a montré en outre que ces lampes dégageaient une quantité notable d'oxyde de carbone.

Autoclave formogène de Trillat (1). — Un des premiers appareils utilisés (1896), a été l'autoclave de Trillat, au formochlorol (solution de formaldéhyde de densité 1,075 dans laquelle on fait dissoudre assez de chlorure de calcium cristallisé pour porter la densité à 1,200) (2). Il est assez semblable aux autoclaves des laboratoires (fig. 333), mais s'en distingue parce qu'il a une hauteur plus grande et aussi parce qu'il est entièrement en cuivre. Cet autoclave est garni intérieurement d'un revêtement d'argent (le cuivre serait attaqué) ; il demande à être construit d'une manière tout à fait spéciale, de façon à éviter toute fuite de vapeurs. Ces vapeurs sont tellement irritantes que, s'il s'en produisait le plus léger dégagement au dehors, la manœuvre de l'appareil deviendrait presque impossible. La contenance de l'autoclave est de cinq litres ; l'appareil porte un tube de dégagement métallique assez long d'un diamètre de 1 mm environ.

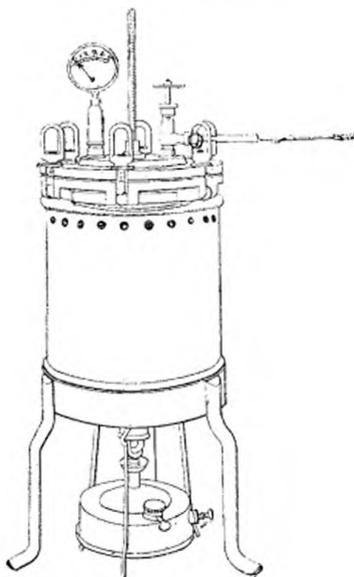


Fig. 333. — Autoclave formogène Trillat au formochlorol.

Pour faire fonctionner l'appareil, on s'y prend de la façon suivante : l'autoclave est rempli aux deux tiers avec la solution de formochlorol ; le couvercle est mis et les écrous solidement ajustés. On allume la lampe à pétrole (ou la couronne de gaz) qui se trouve à la partie inférieure. L'appareil est maintenu fermé jusqu'à ce que la tension des vapeurs atteigne trois ou quatre atmosphères. Lorsque cette pression est atteinte, le tube de dégagement est introduit à travers le trou de la serrure dans l'appareil à désinfecter. *L'appareil fonctionne donc en dehors de la pièce à désinfecter.* On a eu soin simplement au préalable de bien fermer toutes les ouvertures de la pièce, de baisser le

(1) Rappelons que c'est Trillat qui a le premier indiqué le procédé vraiment pratique et économique de fabrication du formol, par pulvérisation de l'alcool méthylique dans un tube de cuivre contenant du coke incandescent.

(2) Pétruschky utilise l'autoclave Trillat avec la solution de formaline elle-même.

tablier des cheminées, de coller des bandes de papier sur la porte si celle-ci joint mal. S'il y a plusieurs pièces à désinfecter, on a soin de laisser ouvertes les portes de communication de ces pièces ; de même, on ouvrira les portes des armoires, les tiroirs des tables.

Comme quantité à évaporer on compte généralement un litre de formochlorol pour 100 à 150 m³ de capacité : on n'opère pas avec moins d'un litre. Il suffit en général de une heure à une heure et demi de vaporisation, puis on retire le tube, on bouche l'ouverture de la serrure et on laisse les vapeurs dans l'appartement pendant une dizaine d'heures.

De très nombreuses expériences (Rietsch, Funck, Pfuhl, Niemann, Petruschky, Nicolle, Vaillard et Lemoine, Abba et Rondelli, etc.) ont été faites avec cet appareil, sans conduire à des conclusions absolues. Il semble qu'aujourd'hui on puisse lui reprocher de ne donner que des vapeurs sèches.

Appareil de Prausnitz. (*) — (Constructeur Baumann à Vienne). C'est un pulvérisateur (spray) à vapeur qui placé dans la pièce y pulvérise la formaline à 40 0/0 du commerce : après le temps voulu, on le remplace par un pulvérisateur à ammoniac du même genre. L'inconvénient, c'est que cet appareil abandonné à lui même dans la pièce à désinfecter peut mal fonctionner.

Appareil de Czapski dit « Colonia ». — (Constructeur Lautenschläger, à Berlin). La fig. 354 et sa légende le font comprendre : c'est aussi un spray-apparat à la vapeur d'eau et à la formaline. La petite chaudière est bien comprise : la quantité d'alcool de la lampe est calculée de manière qu'elle s'éteigne avant que toute l'eau soit évaporée.

Légende: KK₁, Chaudière pour l'ébullition de l'eau. — rr₁, Tuyaux de circulation de l'eau dans la chaudière. — H, Enveloppe de l'appareil. — L, Lampe à alcool. — M, Porte de la lampe. — RR, Cheminée. — CC, Orifice de remplissage et départ du tuyau D. — DS, Tuyau de pulvérisation de vapeur. — D₁S₁, Tuyau de pulvérisation de la formaline. — G, Vase contenant la formaline. — T, Support du vase. — C', Tube condenseur fermé par le fond embouti P.

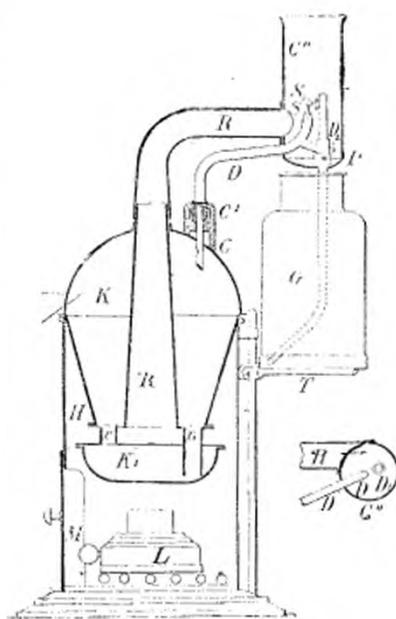


Fig. 354. — Appareil de Czapski dit « Colonia ».

(1) Prausnitz : *Münchener med. Wochenschrift* 1899.

Appareil de Lingner. — (Walther, Schlossmann et Lingner, au glycoformal) (fig. 355 et 355 bis). La proportion de glycérine ajoutée à la formaline est de 10 0/0. L'appareil se compose du réservoir annulaire B dans lequel est introduite l'eau destinée à l'ébullition, et du réservoir A

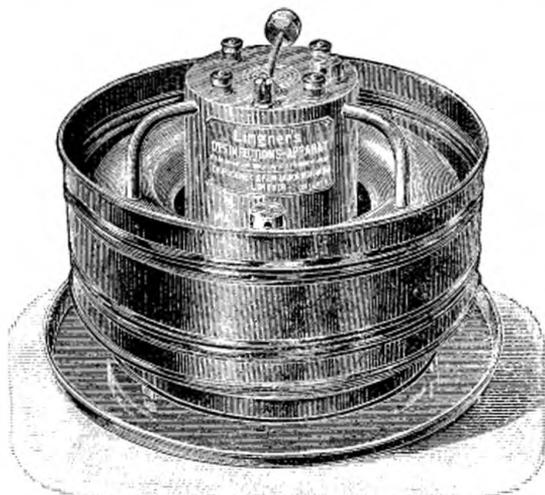


Fig. 355. — Appareil de Lingner, au glycoformal.

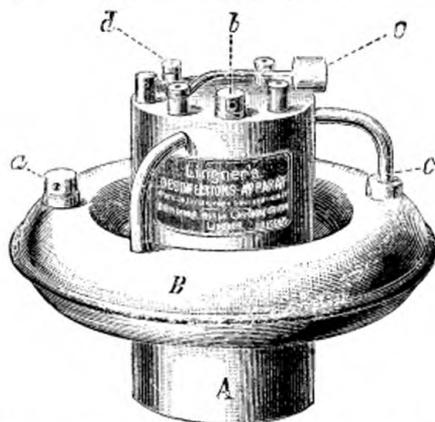


Fig. 355 (bis) — Appareil de Lingner. (Évaporation du glycoformal).

rempli de glycoformal ; une lampe à alcool à mèche circulaire est placée sous B. La vapeur monte dans A par les tubes de jonction et le glycoformal pulvérisé par la vapeur sort par les quatre tubulures *dd* : *a* est l'orifice pour l'entrée de l'eau, *b* celui pour le glycoformal ; *e* est une soupape de sûreté. Il faut deux litres de glycoformal pour une chambre de 80 m³ : la température doit être d'au moins 20°. Comme temps il faut au moins 3 heures, et suivant Flick de 5 à 7 heures.

(1) Czaplowski : *Münchener med. Wochenschrift*, 1898.

Appareil de Rosenberg (1) (fig. 356). — Cet auteur appelle *holzine* une solution de formaline et de menthol (5 0/0) dans de l'alcool méthylique, et l'appareil a pour but de volatiliser cette solution. Il se compose d'un fût cylindrique *c* terminé en bas par une petite grille *s* et en haut par une assiette d'amiante *t*. On met des briquettes spéciales sous la grille *s* et on les allume, tandis qu'on verse la *holzine* dans l'assiette *t*, ainsi que dans le vase *b* lequel est suspendu au-dessus et se termine en bas par un orifice recouvert d'amiante qui laisse tomber le liquide goutte à goutte sur l'assiette chauffée. Pour un cube de 100 m³, il faut 1/2 à 1 lit. de *holzine*, suivant que la pièce est vide ou occupée par des meubles : l'opération dure de 4 à 5 heures.

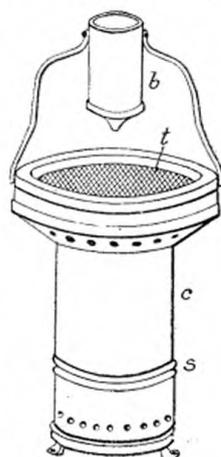
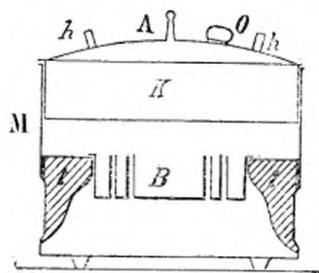


Fig. 356.
Appareil de Rosenberg
(à la holzine).

Appareil de Flügge (dit de Breslau), fig. 357. — Flügge ayant démontré que les solutions de formaldéhyde à moins de 40 0/0 ne se polymérisaient pas, a proposé de vaporiser dans un appareil très simple des solutions assez étendues pour qu'elles n'arrivent jamais à se concentrer à 40 0/0 ; la dilution employée contient 8 0/0 de formol. Flügge pense qu'il faut 2^{gr},5 de formaldéhyde pure pour stériliser un mètre cube en 7 heures, et comme cette quantité est contenue dans 6^{cm}³,2 de formaline du commerce qu'on étend 3 fois, il en résulte qu'un mètre cube reçoit environ la vapeur de 30 cm³ d'eau. Pour dissiper les vapeurs de formol, il faut ensuite 8 cm³ de solution ammoniacale à 25 0/0 par mètre cube.



Coupe en long.
Fig. 357. — Appareil de Flügge,
dit « de Breslau ».

L'appareil comprend une boîte métallique *K* fermée par un couvercle soudé hermétiquement : *h, h*, poignées ; *O*, orifice de remplissage se fermant ensuite hermétiquement ; *A*, tubulure d'échappement de la vapeur. Sous la boîte est une lampe à alcool *B* portée par trois supports triangulaires *tt* ; enfin *M* est une enveloppe métallique sur le rebord de laquelle s'appuie la boîte, mais en laissant entre les deux parois un espace libre pour l'échappement des gaz de la combustion.

(1) Rosenberg, *Zeitschrift für Hygiene*, 24^e vol. 1897.

Appareil de Hoton. — (Maison Geneste-Herscher), fig. 358. Basé sur le même principe (évaporation de solutions à 7,5 0/0 d'aldéhyde).

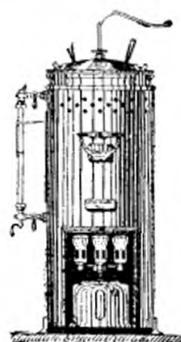


Fig. 358.
Appareil de Hoton
(Maison Geneste-Herscher)
pour la désinfection
au formol.

Il consiste en une chaudière en cuivre, munie d'un niveau d'eau. Son couvercle est fixé au moyen d'écrous à oreilles, et reçoit l'extrémité d'un tube flexible, de petit diamètre, dont l'autre extrémité sera introduite dans la pièce à désinfecter. Enfin, une gaine en tôle sert à obtenir le maximum de rendement de chaleur du réchaud disposé à la partie inférieure.

Voici maintenant des appareils qui produisent l'aldéhyde en chauffant (distillant) les polymères solides. Ce sont le *dissociateur Guasco*, l'*appareil Robierge* (employé à Anvers), le *thermoformol* qui utilisent le trioxyméthylène pulvérulent du commerce (ce dernier assure aussi l'évaporation de l'eau au moyen d'un combustible formé de briquettes d'un charbon spécial); mais le plus connu de ces appareils est sans contredit l'*Aesculap Schering* (1),



Fig. 359. — Formolateur Hélios (Schering) pour petits espaces.

Légende. — *b*, Lampe à alcool se dévissant près du bouton de la mèche; *a*, Verre qu'on enlève de la lampe pour allumer la lampe; *r*, Récipient inférieur se plaçant sur le verre de la lampe; *c*, Récipient supérieur s'emboîtant dans le récipient inférieur *r*.

appelé en France *formolateur Hélios*, qui emploie les pastilles de paraformaldéhyde.

(1) Il dérive de la lampe Alfarment.

Les fig. 359, 360 et 361 font voir les trois appareils employés : les deux premiers exigent qu'on dégage à côté d'eux de la vapeur d'eau au moyen d'un autre appareil d'évaporation; le dernier (Aesculape combiné) assure simultanément le dégagement de la vapeur d'eau et de la vapeur de formol. Les légendes annexées aux figures les font suffisamment comprendre.

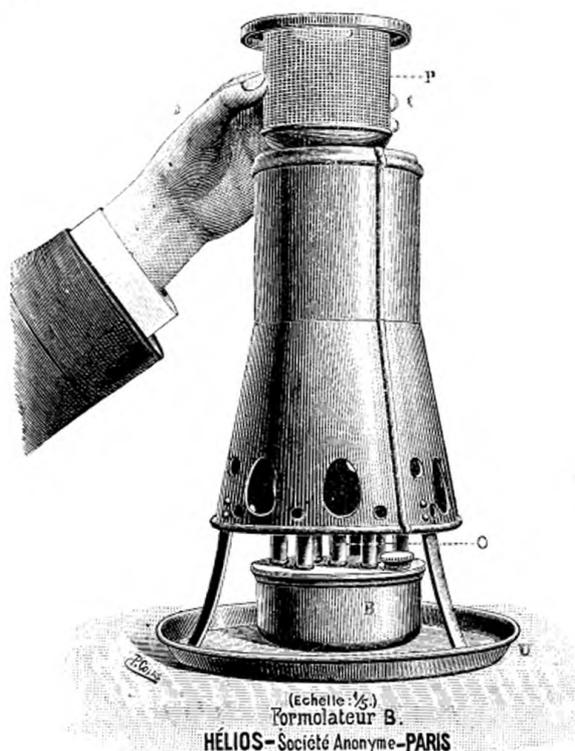


Fig. 360. — Formolateur Hélios (Aesculape simple) pour appartements.

Légende. — B, Lampe à alcool; O, Becs brûleurs; V, Plateau; P, Panier contenant des pastilles paraformiques.

L'opération dure sept heures, l'appareil étant enfermé dans la pièce soigneusement calfatée: il faut deux pastilles et demie par mètre cube, chaque pastille pesant un gramme, et il convient d'évaporer 35 cm³ d'eau également par mètre cube. Le cent de pastilles coûte trois francs.

L'opération terminée, on fera disparaître les vapeurs de formol en dégagant de l'ammoniaque au moyen de l'appareil représenté par la fig. 362; il faut environ un centilitre d'ammoniaque par mètre cube (un peu moins pour les cubes un peu forts).

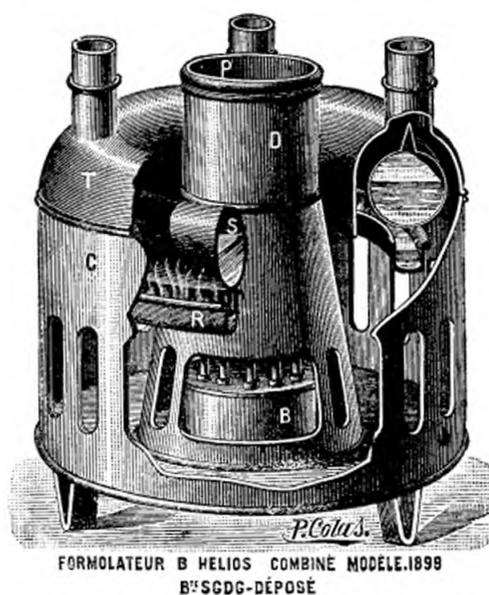


Fig. 361. — Formolateur Hélios (Aesculape) combiné.

Légende. — B, Lampe du Formolateur ; P, Récipient pour les pastilles de Formaline ; R, Rigole pour l'alcool à chauffer l'eau ; S, Chaudière à remplir d'eau ; T, Dôme recouvrant le tout et muni de cheminées donnant passage à la vapeur d'eau.

NOTA. — Toutes les parties de cet appareil, à l'exception de la lampe à alcool et de la chaudière sont soigneusement émaillées.

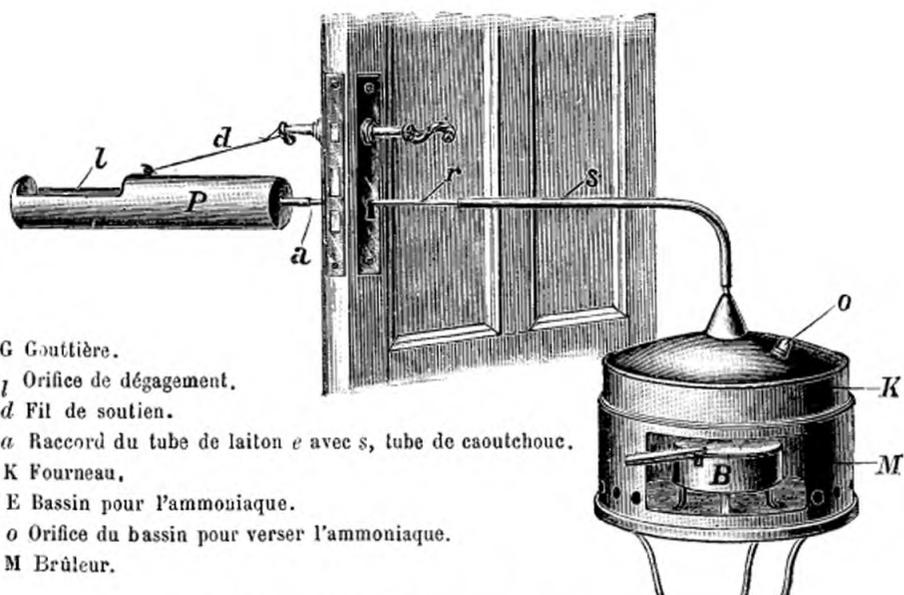


Fig. 362. — Appareil Hélios pour dégager l'ammoniaque.

Appareils Fournier (à la formacétone). — Arrivons maintenant aux appareils tout nouveaux de M. Fournier (ils figuraient à l'Exposition et ont fait l'objet de communications au Congrès d'Hygiène et au Congrès de Pharmacie de 1900). Ces appareils paraissent appelés à un bel avenir :

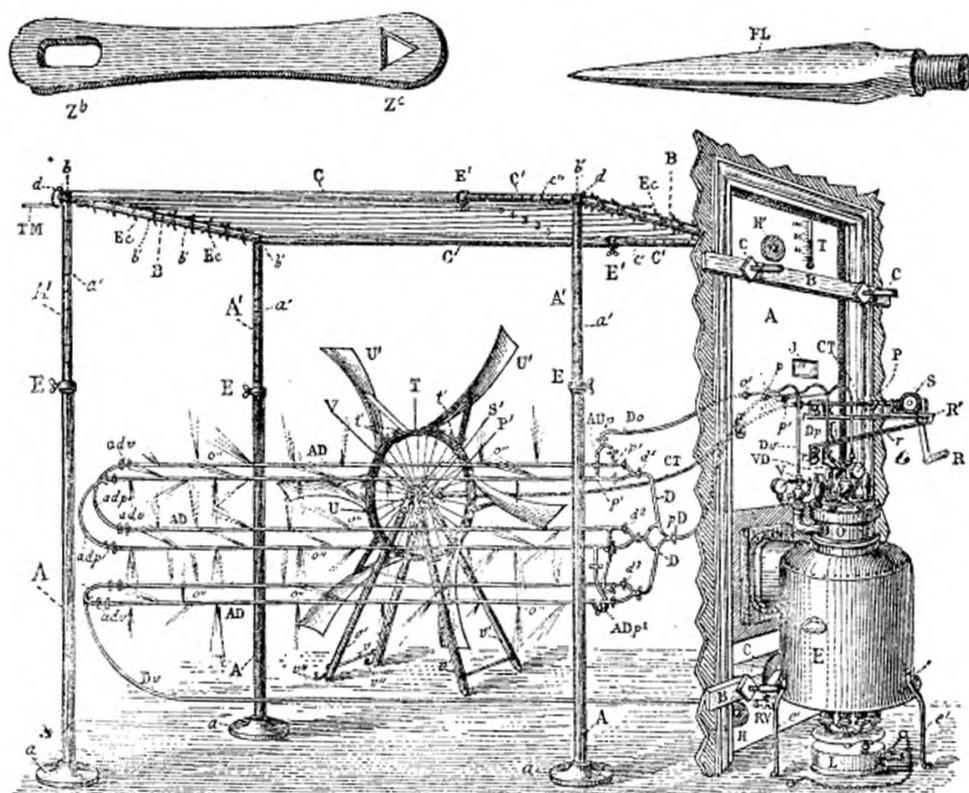


Fig. 363. — Vue d'ensemble du système de désinfection Fournier, à la température minima de 40 degrés.

On y trouve figurés : 1° La porto-omnibus ABBF donnant la fermeture instantanée et hermétique du local ; 2° Le désinfecteur O disposé sur l'appareil de chauffage EL et se raccordant en p' au projecteur Pr, en p'' au système DpD des lances-sondes AD servant à la pénétration des objets de literie, et en O au tube de chauffage Do de vapeur d'eau circulant en ADp dans les deux jeux de lances AD, auxquels il se raccorde en $p'p'$, pour se terminer en DV et aboutir au robinet extérieur de purge RV ; 3° Le cadre extensible ABC, à rallonges A'B'C' et à écrous-cablots mobiles Ec sur lesquels s'enroulent les cordes de suspension des vêtements, tentures, etc. Deux tubes creux s'appuyant sur les traverses du cadre qu'ils dépassent quelque peu supportent les pinces des matelas ; et enfin 4° le mélangeur ou ventilateur à ailettes VTU actionné par le câble flexible CT, à manivelle RS dont le support horizontal R' est fixé extérieurement sur la porto-omnibus. Si l'on ouvre le robinet VD du désinfecteur, les vapeurs de formacétone se trouvent dirigées à volonté par le raccord Dp' sur le projecteur Pr ou par le raccord Dp dans les lances, d'où elles s'échappent par leurs crifices dans l'intérieur du matelas, sans qu'il puisse se produire aucune condensation dans les sondes, grâce au courant continu de vapeur d'eau ; on peut ramener à la chaudière cette vapeur d'eau et le produit de sa condensation en supprimant le robinet de sortie RV et en raccordant le tube DV au robinet de jauge RJ, qu'on obtient facilement en changeant la disposition qui doit se trouver en contre-bas du tube DV. Le fer de lance FL se visse, au moyen de la clef Zc, à l'extrémité de chaque lance pour sa pénétration dans le matelas. La clef Zb sert pour les écrous des bouchons.

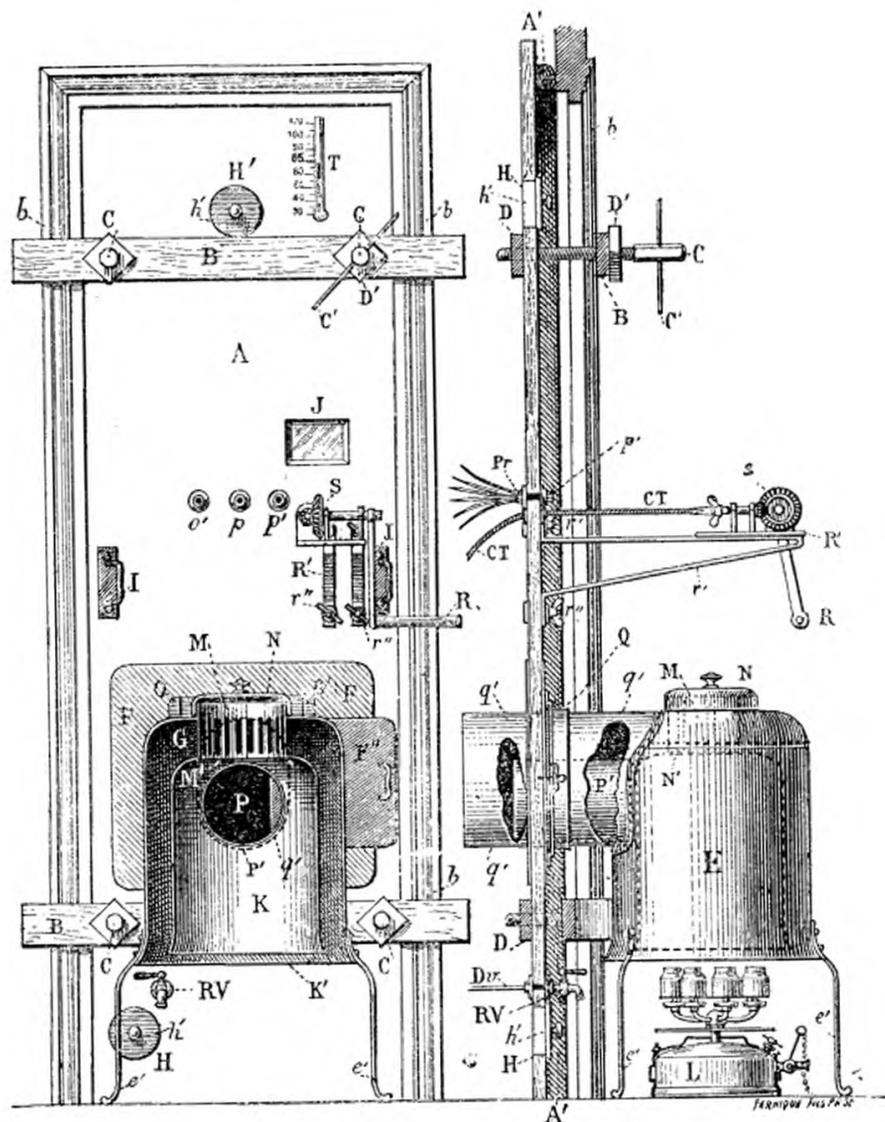


Fig. 364. — Porte-omnibus avec les appareils de chauffage.

A Porte-omnibus à rallonges latérales et supérieures, à fermeture instantanée s'appuyant sur un bourrelet A' disposé de façon à porter sur l' huisserie de la porte du local. — BB Traverses, avec vis de serrage C, à écrou DD', s'arc-boutant sur les montants de la porte. Celle du bas est suffisamment cintrée pour permettre d'approcher la cloche. — EL Appareil de chauffage comprenant une lampe à pétrole à chauffage intensif F', la « Naphteuse » pouvant être remplacée par un appareil à gaz. La cloche à double enveloppe KK' porte sur le côté une buse PP' pour le passage de l'air surchauffé et s'engageant dans un tuyau Q recevant en outre, par sa partie supérieure, tout le calorique de rayonnement de la double enveloppe, pour le déverser à travers la porte dans le local. — FF Garniture en tôle dont la coulisse F' ferme hermétiquement l'ouverture dès que l'appareil est enlevé. Le couvercle N fait place, dès que le local est amené à la température nécessaire, au désinfecteur. — HHH' Tampons des ouvertures de ventilation. — II Poignées pour le maniement de la porte. — J Verre encastré dans la porte. — O' p p' Points de jonction des prolongements des robinets de la chaudière et du désinfecteur avec le tube de chauffe pour la vapeur d'eau, avec les lances et le projecteur pour la formacétone. — RV Robinet de purge du tube de chauffe. — Pr Projecteur. — SR Manivelle actionnant le câble CT du mélangeur

soumis dans ces derniers mois aux expériences officielles d'une Commission de l'Académie des Sciences (rapporteur M. Roux), ils viennent de donner des résultats concluants, tant comme stérilisation que comme pénétration ; le plus résistant des microbes sporulés, *b. subtilis*, a été détruit en une heure à l'étuve à formacétone et en six heures dans les locaux.

M. Fournier ayant bien voulu nous prêter les clichés de ses appareils, nous avons le plaisir d'en donner la reproduction aux lecteurs de la *Revue technique* : après ce que nous avons déjà dit de la formacétone, nous nous bornerons à faire suivre ces figures des légendes et des courtes descriptions données par l'inventeur. Le système comporte d'une part les désinfecteurs, portes démontables et autres appareils pour la désinfection des locaux, d'autre part les étuves à formacétone pour la stérilisation des objets apportés aux stations. M. Fournier crée trois types de désinfecteurs (l'un courant pour pièces de 50 à 100 m³, le second pour pièces de 100 à 200 m³ et le troisième pour au-dessus de 250 m³), et deux types d'étuves (l'un de 24 m³ et l'autre de 40 m³).

Le matériel de désinfection des locaux comprend :

1° Un cadre démontable pour la suspension, sous leur plus grande surface, des couvertures, tapis, vêtements, etc. ;

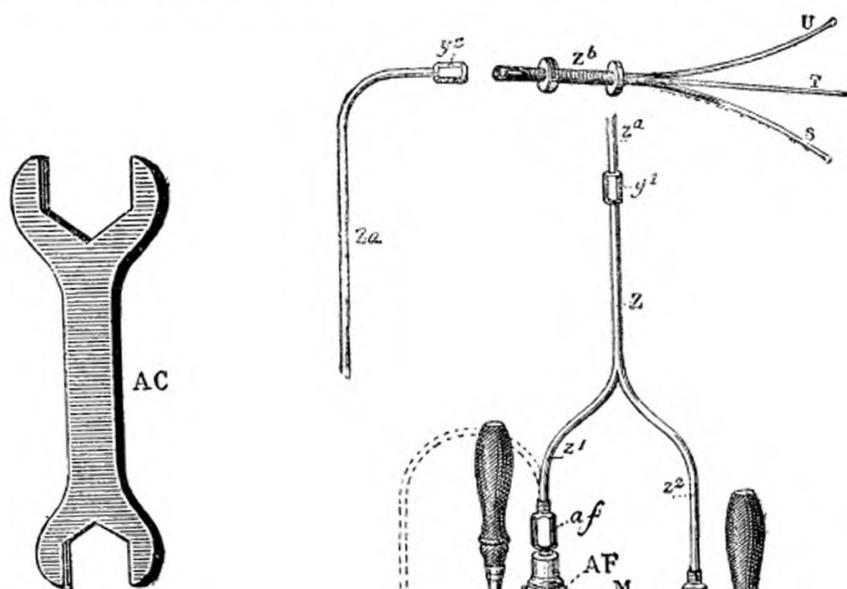
2° Une étagère démontable à claire-voie pour recevoir les coiffures, chaussures et autres objets qui se trouvent ainsi désinfectés sur toutes leurs surfaces ; il y en a une spéciale pour les livres ;

3° Une *porte-omnibus*, spéciale pour la fermeture instantanée de l'entrée des locaux et appartements : cette porte est traversée par le raccord du projecteur et présente des ouvertures à obturateurs spéciaux pour les appareils de chauffage et de ventilation, et reçoit sur sa face extérieure le support du câble du ventilateur ;

4° Un désinfecteur. Celui qui a servi jusqu'à ce jour fait partie d'un appareil que l'inventeur appelle *stérilisateur-autoclave portatif à trois fonctions*. Cet appareil, qui répond à toutes les exigences, est chauffé au pétrole : la lampe dite *suédoise* est utilisée pour les petites opérations, mais pour les plus importantes elle est remplacée par un type plus solide que l'auteur appelle la *naphteuse*.

M. Fournier insiste sur l'utilité d'opérer à une température aussi élevée que possible et toujours en présence de la vapeur d'eau acétonée ; à 40° l'opération dure 6 heures, tandis qu'à la température ambiante il conseille de la prolonger 24 heures.

5° L'appareil de chauffage (fig. 363 et 364) comprenant la naphteuse et



Clef pour les écrous.

Légende :

A Chaudière à couvercle autoclave C et à oreillons C'. — BV Robinet de vapeur d'eau de la chaudière. — H Ecrrou maintenant au couvercle de l'autoclave la douille S du cylindre intérieur à désinfectant. — AF Robinet s'adaptant à la douille. — Z'Z² Ponté de communication des deux robinets avec le tube de sortie Z²Z^b et le projecteur AZ. — M Manomètre. — FF Soupape à levier d' et à sifflet E. — R Robinet de jauge. — af ax Siphon pour le remplissage du cylindre per le vide. — AC Clef de serrage. — B Chemise-support fixe de la chaudière ayant servi avec les anciens appareils de chauffage. Cette chemise est remplacée par la chemise mobile B' à pieds suffisamment élevés pour le passage libre des appareils de chauffage et à robinet de jauge RJ. — Le registre AB servait de régulateur de l'air chaud pour l'étuve à température constante.

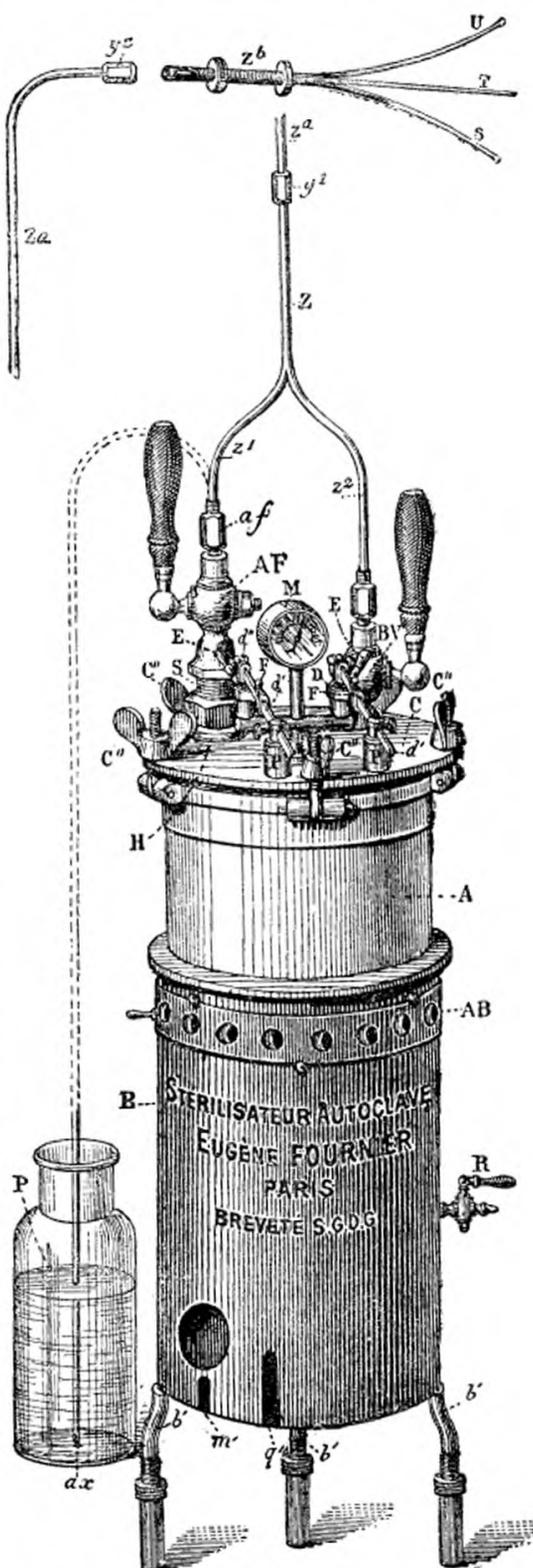


Fig. 365. — Désinfecteur ordinaire Fournier.
(Stérilisateur autoclave ayant servi aux expériences officielles.)

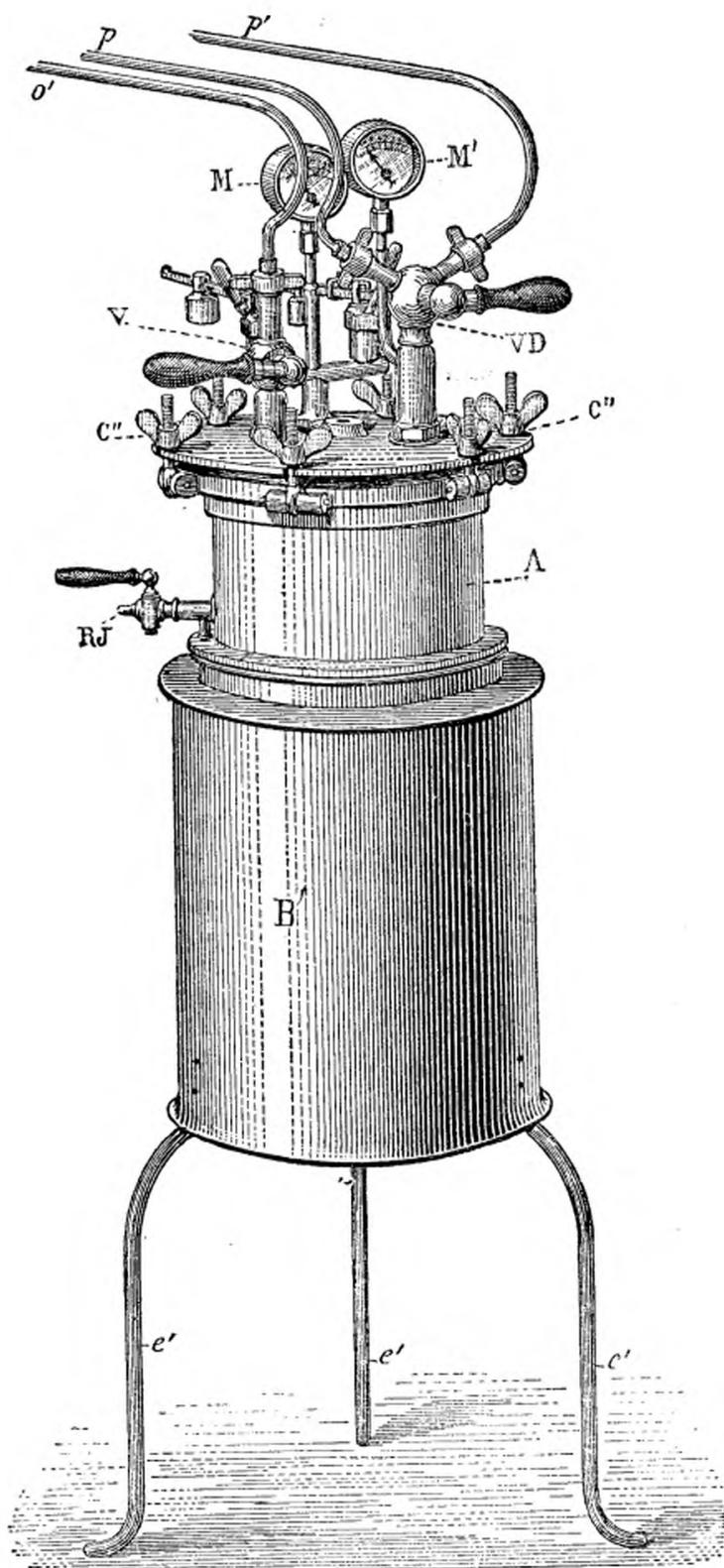


Fig. 366. — Désinfecteur Fournier muni de ses raccords, pour la désinfection à 40° d'une chambre à coucher et des matelas.

o' Raccord de la chaudière avec le tube de chauffage formant un courant continu de vapeur d'eau dans les lances. — *p*, Raccord du désinfecteur avec le système de projection des matelas. — *p'*, Raccord du désinfecteur avec le projecteur ordinaire du local. — RJ, Robinet de jauge.

sa cloche à double paroi, pour porter, dans la désinfection en 6 heures et avant les projections, l'intérieur du local à une température de 40° à 42°. On peut faire servir la cloche pour les projections, dans la désinfection en 24 heures, et utiliser ainsi tout le calorique en excès.

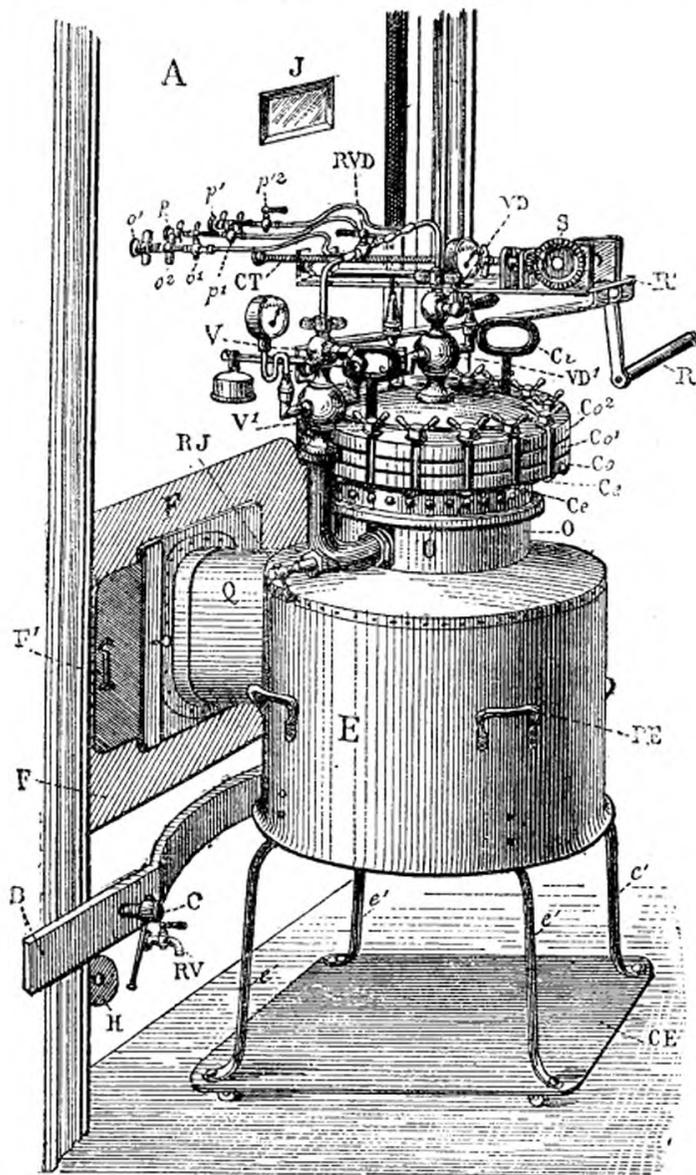


Fig. 367. — Type de désinfecteur Fournier pour les opérations industrielles.

A Porte-omnibus. — EQ Cloche de l'appareil de chauffage. — FF' Garniture métallique à coulisse de la porte A. — O Désinfecteur. — RJ Vis de serrage faisant fonction de robinet du niveau d'eau. — Co Collerette de la chaudière. — Co' Collerette du récipient à désinfectant. — Co² Couverture. — Ce, C, e Boulons-écrous de serrage.

6° Le projecteur à lances, *sans condensation*, pour la pénétration des matelas, les lances se trouvant traversées par un courant de vapeur

d'eau (AD, fig. 363). Grâce à la puissance des nouveaux appareils et à une disposition de chauffage semblable pour les projecteurs, on peut procéder simultanément à la désinfection de plusieurs pièces contiguës d'un même local.

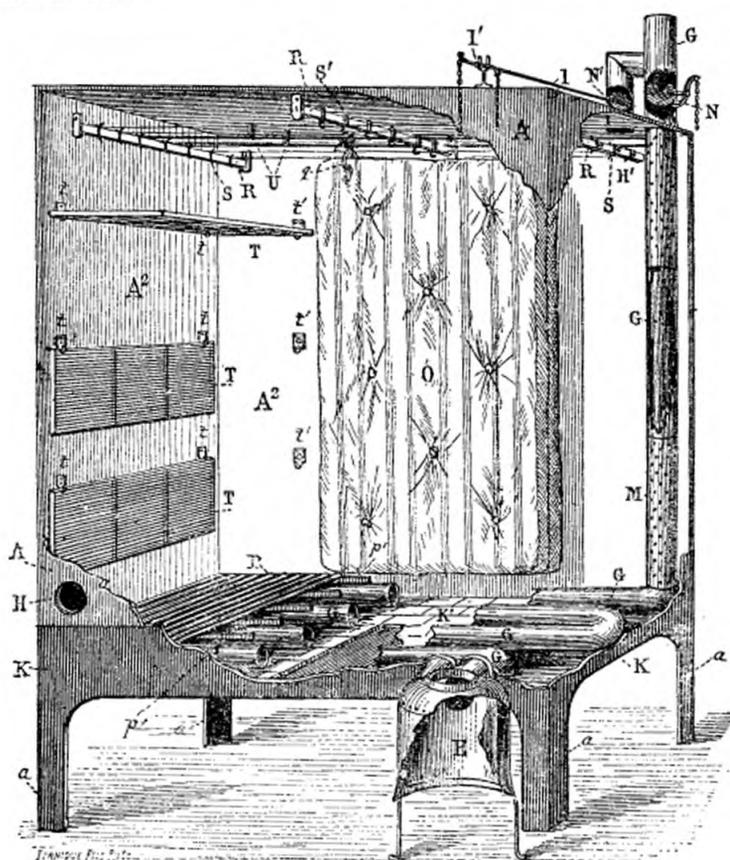


Fig. 368. — Coupe de la formacétone-étuve Fournier.

A² Revêtement intérieur de l'étuve. — E Coupe de la cloche de chauffage. — G G G Tuyaux de chauffage. — N Clef à manivelle *g'* pour le réglage du départ de l'air. — H ouverture inférieure de ventilation. — H' Ouverture supérieure se fermant au moyen d'une clef N' à manivelle I P'. — P Plancher de l'étuve. — R R R Traverses à écrous-càblots mobiles, pour la suspension des objets. — O Matelas suspendu. — T T T Etagères mobiles se rabattant sur une paroi, pour les objets de petit volume.

7° Le mélangeur d'air TU U' (fig. 363) qui est actionné du dehors par la manivelle SR. L'air surchauffé tendant à monter, il en résulterait une température élevée au plafond du local, alors que celle du plancher serait sensiblement la même que celle de l'air ambiant ; mais la température du local est très rapidement égalisée par le mélangeur.

8° Enfin, l'opération terminée, rien de plus facile que de faire les projections de vapeurs ammoniacales, au moyen de l'appareil lui-même.

La fig. 363 fait voir l'ensemble de l'opération.

La fig. 364 montre le détail de la porte-omnibus avec les appareils de chauffage.

Les fig. 365, 366 et 367 montrent le désinfecteur courant et le grand désinfecteur pour opérations industrielles.

Enfin, la fig. 368 donne la coupe de l'étuve à formacétone qui peut être installée dans les stations municipales, et où l'on opère à 85°.

Appareils de Rechter. — Enfin, nous terminerons par les appareils imaginés, il y a un an à peine, par les frères de Rechter (à Bruxelles, Société « Le Formol »), appareils dont ils ont rendu compte dans une note insérée dans les n^{os} de juillet et août 1901 du *Mouvement hygiénique*, et qui, parallèlement à ceux de Fournier, paraissent susceptibles de conquérir l'avenir. Ils ont même, sur ces derniers, l'avantage de renoncer aux complications produites, d'une part, par l'emploi de la porte-omnibus et, d'autre part, par l'addition d'acétone : MM. de Rechter prétendent que cette addition n'est d'aucune utilité, et opèrent dès lors avec la simple formaline du commerce. Quant aux joints et fissures de l'appartement à désinfecter et de ses portes et fenêtres, ils se contentent de les encoller au moyen de fortes bandes de papier empesé, en bouchant préalablement les mal joints et fissures un peu fortes par des bandelettes de ouate humide tassées dans ces fentes : les ouvertures de cheminées et les bouches d'aération ou de chauffage sont bourrées de papier et fermées ensuite en collant par-dessus du papier goudronné.

Les appareils de Rechter comprennent l'*évaporateur-électro-formogène* (fig. 369), la *chambre de désinfection* et les *étuves formogènes* (fig. 370). M. le D^r de Rechter a bien voulu nous communiquer les clichés des deux figures ci-après, et il nous informe également que le service d'hygiène de la ville de Bruxelles vient d'adopter officiellement son système.

Voici la description que les inventeurs donnent de leurs appareils :

« 1^o *Évaporateur électro-formogène.* — Cet évaporateur (fig. 369), qui se place au centre du local à désinfecter (rendu aussi hermétique que possible ainsi qu'il vient d'être dit), est essentiellement composé d'un ventilateur électrique déplaçant de 20 à 25 m³ d'air à la minute ; ce courant d'air intense passe à travers une série d'anneaux (généralement 3) superposés, qui portent chacun un grille de gouttières dans lesquelles plongent des mèches tendues sur un support. Chaque anneau est constamment alimenté par un alimentateur rempli de formaline diluée. Cet alimentateur, à débit automatique, assure l'humectation permanente des mèches au fur et à mesure de l'évaporation du liquide. Les

ventilateurs électriques que nous utilisons habituellement sont commandés par trois accumulateurs qui restent en dehors du local, mais nous en avons marchant à 110 ou 220 volts et pouvant être actionnés directement par les courants de distribution.

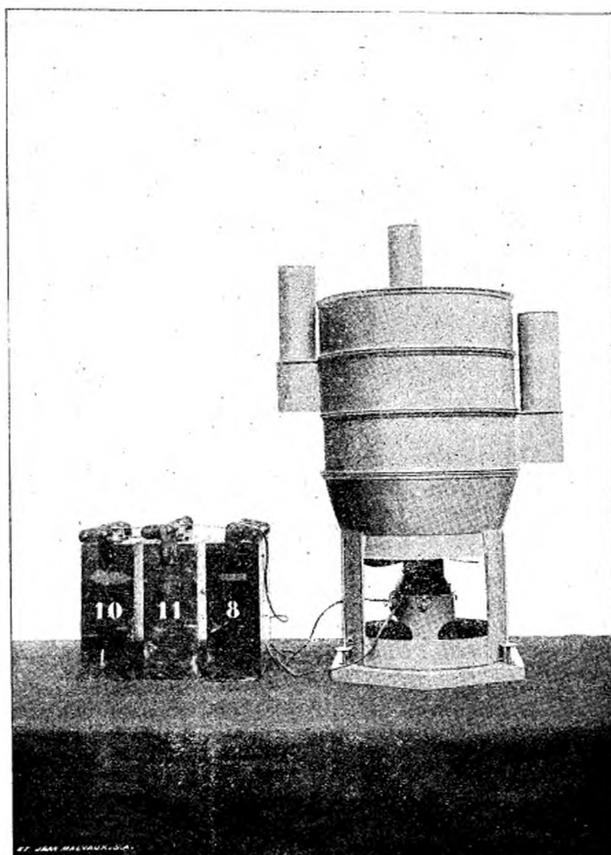


Fig. 369. — Evaporateur électro-formogène des frères de Rechter.

Nous avons pu observer que, par l'évaporation forcée à froid, à l'opposé de ce qui se produit par l'évaporation spontanée et surtout par l'évaporation à chaud, la tendance à la polymérisation de l'aldéhyde dissoute est infiniment moins grande. Il suffit de diluer la solution à 40 % avec deux parties et même avec une partie d'eau, pour pouvoir évaporer le liquide jusqu'à la dernière goutte, sans qu'il laisse aucun résidu. L'expérience nous a démontré que pas n'était besoin de pousser plus loin la dilution, en vue de fournir la quantité d'eau nécessaire pour empêcher, d'autre part, la polymérisation des vapeurs dégagées et mises en contact avec les objets. Il en résulte que sans nuire à l'efficacité de la désinfection, nous évitons la condensation excessive et partant l'humectation du sol, des parois et des meubles, comme cela s'observe après l'emploi des appa-

reils de Schering (Aesculape combiné) et surtout avec ceux de Flügge ou de Hoton.

Nos appareils sont construits de façon à débiter, en 7 à 8 heures, 3 lit 1/2 de liquide, soit pour une dilution de 1/2, 1 lit et 750 cm³ de formol : cette quantité, d'après les tables de Flügge, suffit pour désinfecter un espace de 218 m³. Ils ont, comme principal avantage, la continuation de l'évaporation pendant toute la durée de l'opération et partant, le maintien de la saturation pendant sept à huit heures nonobstant les déperditions inévitables.

D'autre part, on pourrait leur reprocher, comme on l'a fait pour toute une catégorie d'appareils, l'obligation de mettre notre évaporateur à l'intérieur de la chambre à désinfecter, mais en fait, l'objection n'a de valeur qu'autant que l'abandon, sans surveillance, de l'instrument dans l'intérieur du local puisse offrir quelque danger, notamment au point de vue incendie, ce qui ne peut être le cas dans l'espèce. Le degré d'efficacité des appareils nous paraît d'ailleurs le critérium essentiel de leur supériorité ou de leur infériorité.

A ce point de vue, nous avons pu constater que nos évaporateurs à formol, employés méthodiquement, non seulement assuraient une désinfection superficielle, mais qu'ils permettaient de démontrer le pouvoir pénétrant des vapeurs d'aldéhyde formique. Nous en donnerons pour preuve le rapport suivant qu'a bien voulu nous remettre M. Calmette, le savant directeur de l'Institut Pasteur de Lille. (Suit le rapport de M. Calmette, déclarant que dans ses expériences d'août 1900 des bacilles du charbon, de la peste et du coli, ont été tués dans des tubes bouchés à l'ouate, en 8 heures, à 26° : des spores de *b. subtilis*, protégées par l'ouate avaient résisté. Des expériences de mars et avril 1901 de MM. de Rechter confirment ces résultats).

2° *Chambre de désinfection.* — La chambre de désinfection que nous avons construite est une chambre en maçonnerie, à angles arrondis, de 6 m de long sur 4 de large et sur 3^m,40 de hauteur, soit 81^m³,600. Le sol est recouvert d'un pavement en ciment comprimé, les murs, soigneusement plâtrés ont été largement enduits, mastiqués, puis peints à l'émail. Le local ne présente, comme ouverture, que deux portes, l'une pour l'entrée des objets infectés, l'autre, pour la sortie des objets désinfectés. L'éclairage est fourni par une lampe à incandescence commandée du dehors. Les portes (voir à droite de la fig. 370) présentent, à hauteur du regard, une place soigneusement encastrée et mastiquée dans son cadre, ces portes sont à joints de caoutchouc portant sur leur encadrement, la fermeture s'obtient au moyen d'un dispositif de serrage spécial. Les objets sont disposés sur le sol ou sur des claies et supports suivant leur nature. Le formol est dégagé par deux appareils évaporateurs puissants, à ventilateurs électriques déplaçant 35 à 40 m³ par minute ; ils sont commandés du dehors et peuvent débiter jusqu'à 8 lit de formol dilué en 10 heures, soit 4 lit. de formol à 40 %. Les hommes appelés à pénétrer dans la chambre sont pourvus d'un aspirateur communiquant avec l'air extérieur, ils ont les yeux protégés par des lunettes appropriées. L'atmosphère de ce local est maintenue constamment à saturation ; à cet effet, pour parer à la déperdition par les fuites éventuelles et surtout par l'absorption des vapeurs par les objets exposés, les évaporateurs marchent tous les jours pendant 8 à 10 heures. Le formol employé est dilué à 1/2 ; il n'y a pas de polymérisation.

Ici, les preuves de la pénétrabilité des vapeurs d'aldéhyde formique abondent.

Les objets en bois tels que lits, tables, etc., sont si fortement pénétrés, qu'après un séjour de quarante-huit heures à soixante-douze heures dans la chambre de désinfection, et après une exposition à l'air de deux jours, ils exhalent encore, surtout si on les chauffe légèrement, une odeur nettement appréciable d'aldéhyde formique. Leur stérilisation non seulement *superficielle*, mais profonde, est complètement assurée, comme nous avons eu maintes fois l'occasion de le vérifier.

(Suivent les résultats d'expériences faites de février à juin 1901 et prouvant encore le pouvoir de pénétration de l'aldéhyde dans des tubes bouchés à l'ouate, dans une masse de gélatine figée, etc.).

Pareille chambre de désinfection, permettant d'obtenir la destruction des germes morbides les plus résistants à travers les objets mobiliers les plus volumineux, est de nature à rendre, croyons-nous, de grands services dans les hôpitaux, pour les administrations publiques et spécialement dans les sanatoria installés avec un certain luxe. Elle peut servir à la désinfection des livres. Le grand avantage du procédé est, en effet, de n'altérer en rien les objets même les plus délicats et à être somme toute d'une grande simplicité d'installation. Quand on a à désinfecter des vêtements ou des meubles de prix, des tentures de soie ou de velours, on ne peut guère y parvenir par d'autre procédé, sans une détérioration profonde de ces objets entraînant même la mise hors d'usage.

3° *Étuves formogènes* (fig. 370). — Nos étuves à formol sont basées, comme notre évaporateur électro-formogène, sur les principes qui nous ont guidés dans la construction de nos appareils pour la conservation des cadavres : chambres

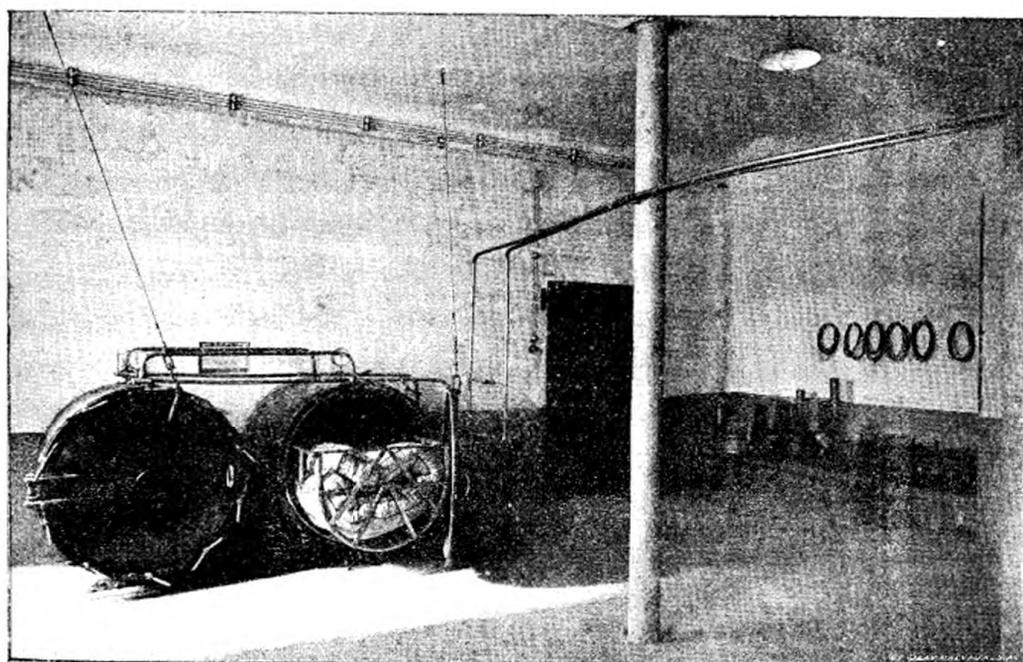


Fig. 370. — Etuves formogènes des frères de Rechter.

d'exposition, chambres d'évaporation ou évaporateurs, circulation permanente de l'atmosphère intérieure de l'appareil sans communication avec l'extérieur. Mais pour assurer mécaniquement la pénétration, l'air chargé constamment de vapeurs de formol peut être à volonté comprimé et raréfié au moyen d'une pompe pneumatique à double effet. Nous avions cru d'abord arriver à raccourcir suffisamment le temps de la pénétration, grâce à ce seul artifice, mais de multiples expériences, très laborieuses, nous ont amené, mon frère et moi, à faire intervenir l'élément température, dont l'importance avait été signalée, dès 1894, par l'éminent professeur Van Ermengem. Les si intéressantes recherches de ce savant constituent d'ailleurs une mine inépuisable, à laquelle feront bien de recourir tous ceux qui chercheront quelque mode nouveau d'application, à la

désinfection publique, de l'aldéhyde formique gazeuse ou d'autres substances analogues. Nous avons donc muni nos appareils d'un dispositif permettant le chauffage modéré, indispensable à la marche rapide des opérations.

L'appareil se compose essentiellement de deux autoclaves cylindriques de 1 m³ de capacité chacun. Munis de couvercles à leurs deux extrémités, ces autoclaves sont encastrés dans un mur et présentent ainsi une de leurs ouvertures du côté des objets infectés, l'autre côté s'ouvrant du côté des objets désinfectés. A droite des autoclaves et réunis à eux par une tuyauterie appropriée, se trouvent deux évaporateurs, constitués par des boîtes à chicanes, remplies de substances poreuses largement imprégnées de formol fortement dilué. Nous verrons tout à l'heure pourquoi. Les autoclaves peuvent être mis directement en communication l'un avec l'autre par un tuyau à robinet. D'autre part, la tuyauterie qui les fait communiquer avec les évaporateurs se continue jusqu'à une double pompe à double effet, actionnée, dans l'installation existante, par un moteur électrique. Des robinets à trois voies permettent d'isoler l'un ou l'autre des autoclaves, ou bien de faire le vide dans l'autoclave A et la pression dans l'autoclave B, ou au contraire la pression dans A et le vide dans B. Dans ces alternatives, c'est l'air saturé d'un autoclave qui va sursaturer et comprimer l'atmosphère de l'autre et réciproquement. Dans tous les mouvements de circulation d'air qui s'effectuent, l'air passe toujours d'ailleurs par les deux évaporateurs pour se resaturer. Les tuyaux et autoclaves sont rendus calorifuges, ce qui n'est pas reproduit sur les figures et de petites rampes à gaz permettent de chauffer les autoclaves et les évaporateurs jusqu'à la température que l'expérience nous a démontrée la plus favorable. Les appareils peuvent d'ailleurs être munis de thermostats. Dans les évaporateurs, nous mettons du formol dilué, nos nombreuses expériences nous ont démontré que le résultat le plus parfait s'obtenait dans le dispositif actuel, en mettant, dans chaque évaporateur, 2 lit. de formol dilué au 1/5, soit 1 partie de formol pour 4 parties d'eau. Ce n'est pas tant ici pour empêcher la polymérisation qui n'est pas à craindre même avec le formol pur, évaporé à chaud, étant donnée la rapide saturation par la vapeur d'eau des 2^m³,5 que représente, au maximum, la capacité intérieure totale de l'appareil, mais c'est pour assurer l'échauffement régulier de toute la masse contenue dans les autoclaves. Plus on travaille à sec, plus l'échauffement intérieur des grandes masses est long à obtenir.

En prenant la température au moyen de thermomètres à maxima, mis à l'intérieur et à la surface de matelas empilés dans les chariots-corbeilles des autoclaves, nous observons : en ayant mis un litre de liquide seulement dans chaque évaporateur, après 3 heures de marche, à l'extérieur, 79°, à l'intérieur, 67°.

Dans une autre expérience avec 3/4 de litre au bout de 3 heures, nous constatons, extérieur 80°, intérieur 40° seulement.

Avec 1 lit dans chaque évaporateur, marche 2 heures, extérieur 59°, intérieur 47°. Avec 2 lit. de liquide dans chaque évaporateur, marche 2 heures : extérieur 59°, intérieur, 58°.

Comme la quantité de formol n'a pas besoin d'être augmentée, la dilution s'impose donc. Nous retrouvons en fait ici les phénomènes signalés, il y a longtemps déjà, à propos de l'étude des étuves à air sec et chaud. Outre l'inconvénient que présente ces étuves, d'ailleurs généralement condamnées aujourd'hui, de ne tuer les bacilles sans spores et les microcoques que par l'action prolongée pendant une heure et demie de température de 100°, de ne stériliser les spores du charbon qu'après deux heures d'action d'une température de 140° à 144°, partant de ne désinfecter efficacement les objets qu'à condition de les roussir; elles ne permettent pas de chauffer uniformément les masses exposées. Koch et Wolffhügel ont constaté qu'après trois heures de séjour dans une étuve à 160°, la température au centre d'une couverture de laine enroulée n'était que de 70°. Dans une autre expérience, le centre d'un matelas exposé pendant 5 heures à l'action de l'air chaud à 118°, n'atteignit que 50°. Le fait s'explique aisément,

l'air sec n'a qu'une capacité calorifique très faible, soit 0,2374 de petite calorie par gramme et le litre d'air à 0° et à la pression normale ne pèse que 1^{gr},293, tandis que les objets exposés ont une capacité calorifique généralement voisine de 1. La vapeur d'eau, au contraire, outre sa capacité calorifique de 1, peut encore céder sa chaleur latente de vaporisation, soit 537 petites calories par gramme. La vapeur d'eau est donc éminemment utile, en tant que véhicule de la chaleur. »

(Suivent les résultats d'expériences faites en mai 1901 et montrant que si en 2 heures des spores de *b. subtilis* placées au centre d'un matelas, dans l'étuve, ont pu résister, elles ont été définitivement tuées à 58° pendant le même temps. Les larves des teignes (mites) sont également tuées dans ces conditions).

Voici enfin les conclusions de MM. de Rechter :

« 1° L'aldéhyde formique gazeuse jouit d'un pouvoir de pénétration considérable, lorsqu'on se place dans les conditions voulues de durée, de mode de dégagement et d'hermétisme du local ;

2° Dans la pratique de la désinfection des appartements en quelques heures, par dégagement des vapeurs de formol, il faut procéder de façon à empêcher les phénomènes de polymérisation ;

3° Même quand on réalise ces conditions, on ne peut compter sur une pénétration très considérable. La désinfection des appartements ne peut être que relativement superficielle ; elle est suffisante dans un grand nombre de cas ;

4° Pour assurer la désinfection profonde par les vapeurs de formol à froid, il faut avoir recours à des chambres de désinfection spécialement construites à cet effet, l'élément temps ne doit pas être perdu de vue ;

5° Dans la pratique de la désinfection publique, pour *stériliser rapidement* les objets profondément souillés, on peut employer, quand faire se peut, l'immersion dans les solutions antiseptiques, sublimé corrosif ou formol à 1 ‰ ;

6° Dans le cas contraire, il faut avoir recours aux étuves à vapeur sous pression, ou mieux aux étuves à formol, l'avantage de celles-ci étant de ne détériorer en rien les objets délicats et de pouvoir s'appliquer par conséquent sans inconvénient aux objets de grand prix ;

7° La température de 55° à 60° favorise et hâte considérablement l'action désinfectante de l'aldéhyde formique gazeuse. »

En résumé, nous pensons que — pour le moment du moins — en matière de désinfection on doit être éclectique, c'est à-dire demander à chaque procédé antiseptique ce qu'il peut donner et faire un choix motivé suivant les circonstances : il n'y a pas en somme de procédé universel applicable partout et toujours, mais une série de moyens appropriés aux

différents cas et notamment aux différents microbes à détruire. Voici comment Malvoz résume les idées de Flügge à ce sujet (1) :

« Dans le choléra et la fièvre typhoïde, les germes morbides ne se trouvent guère que dans les déjections et souillent surtout, et très profondément, les matelas, literie, certains vêtements, etc. Pour ces cas, la désinfection par les étuves à vapeur (ou à formol) de ces objets s'impose ; on lavera le lit et le plancher au sublimé à 1 p. 1000 et largement. Les mouchoirs, les linges, la vaisselle, etc., seront aussi désinfectés par des liquides antiseptiques. De la chaux sera projetée dans les cabinets. Cela suffit : les bacilles typhique et cholérique ne sont pas disséminés sur les murs et les meubles. Ces affections ne se communiquant pas par les poussières provenant des parois, inutile de désinfecter ici le local à la formoline ou au pulvérisateur antiseptique. Le formol d'ailleurs serait impuissant à stériliser (sur place) la profondeur des matelas et literies.

En cas de fièvre puerpérale, de suppurations graves, de septicémie, d'érysipèle, il faudra combiner la désinfection à la vapeur (ou au formol) des matelas, literies, vêtements, etc., à la stérilisation du local, des meubles largement ouverts, etc., par l'aldéhyde formique : les germes de ces affections peuvent, semble-t-il, se retrouver jusque dans les poussières éloignées du lit.

Il en serait de même pour la peste et la variole où il faut admettre la pénétration possible, dans certains cas, de leurs agents jusque dans la profondeur des matelas.

Mais pour toute une série d'autres maladies — et ce sont justement celles à la suite desquelles on fait le plus fréquemment appel aux équipes de désinfection — Flügge est d'avis que la désinfection à la formoline, d'après les procédés qu'il préconise, s'impose comme véritable méthode de choix. Ces maladies sont la diphtérie, la scarlatine, la rougeole, la tuberculose et l'influenza. Les germes de ces affections, à cause de leur origine même, ne pénètrent pas *profondément* dans les matelas et les vêtements. Ceux-ci ne sont souillés qu'assez superficiellement et l'aldéhyde formique peut y atteindre leurs germes. D'autre part, ils peuvent se trouver sur les parois de la pièce et le formol les y tuera. Les mouchoirs et les draps de lit, qui peuvent être assez fortement imprégnés, seront plongés dans une solution au sublimé : le parquet au voisinage du lit et

(1) Les additions entre parenthèses tiennent compte des nouveaux progrès de la désinfection au formol.

dans les endroits où on découvrira des souillures visibles sera également frotté avec une solution semblable. »

c). — **Stations municipales de désinfection
et stations régionales.**

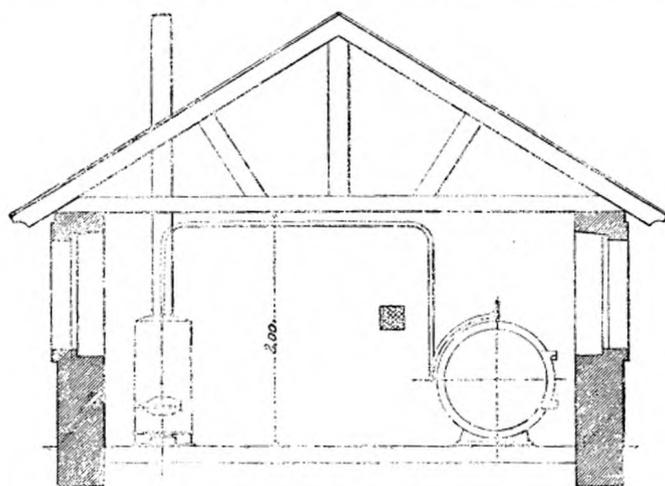
Nous avons dit qu'il appartient aux Villes d'organiser les services de désinfection et de les gérer elles-mêmes. Une station municipale doit donc comprendre le personnel et le matériel nécessaires pour assurer : 1° la désinfection des locaux ; il suffit de transporter dans les appartements les engins que nous connaissons et de les mettre en œuvre avec des agents exercés et consciencieux ; 2° la désinfection des effets et autres objets transportables, qu'on peut apporter à une station centrale fixe et bien organisée. Malgré l'exemple de Vienne, ce transport paraît vraiment plus pratique que la désinfection par des appareils locomobiles amenés devant la maison infectée : toutefois il exige un service de voitures spéciales, étant bien entendu que les voitures à objets contaminés ne serviront jamais pour le retour des objets désinfectés.

Toutes les stations centrales relèvent du même type, représenté par la fig. 371, à son maximum de simplicité : les objets souillés arrivent par un côté et ne peuvent sortir par l'autre qu'après avoir passé par l'étuve ; le personnel spécial aux deux côtés est différent ; bref, il y a séparation absolue, et l'étuve est comme l'écluse forcée que tout objet doit franchir. Il convient toutefois d'ajouter au schéma ci-dessus une salle de lavage et désinfection chimique pour les linges et objets qui ne peuvent passer (au moins sans traitement préalable) à l'étuve à vapeur, ainsi qu'une étuve à aldéhyde formique ou formacétone pour ceux qui sont justiciables de cette méthode.

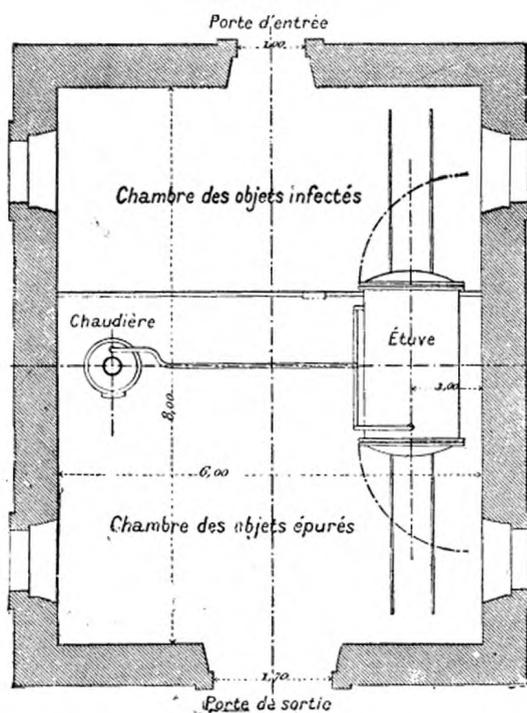
Ne pouvant citer toutes les stations de désinfection, aujourd'hui très nombreuses, nous nous bornerons à décrire sommairement celles de Paris, de Berlin, de Hambourg et aussi une station récente de Palerme (dont le plan figurait à l'Exposition).

Pour Paris, il n'y a qu'à se reporter à la brochure de M. le Docteur A.-J. Martin « *Service municipal de désinfection, 1900* » pour bien comprendre la consistance et le fonctionnement de cet important service. Les étuves municipales de la station de la rue du Château-des-Rentiers fonctionnent depuis le 18 mai 1889 ; celle de la rue des Récollets depuis le 21 juillet 1890 ; une troisième station a été créée rue de Chaligny en 1891 et enfin une quatrième en 1894 rue Stendhal. L'établis-

sement le plus important est celui de la rue des Récóllets dont nous reproduisons le plan (fig. 372), qui se comprendra de lui-même grâce



Coupe transversale.



Plan.

Fig. 371. — Plan et coupe transversale d'une station municipale simple.

à la légende. Outre leurs huit étuves à vapeur sous pression, ces stations contiennent bien entendus les pulvérisateurs, les mélangeurs dosimétriques Laurans, les sacs-enveloppes (de forme spéciale) pour les objets, les voitures, etc. : en un mot tout ce qui est nécessaire pour le transport des objets et la désinfection à domicile. Le personnel se compose, outre la direction de : un contrôleur, quatre chefs de station, quatre économes.

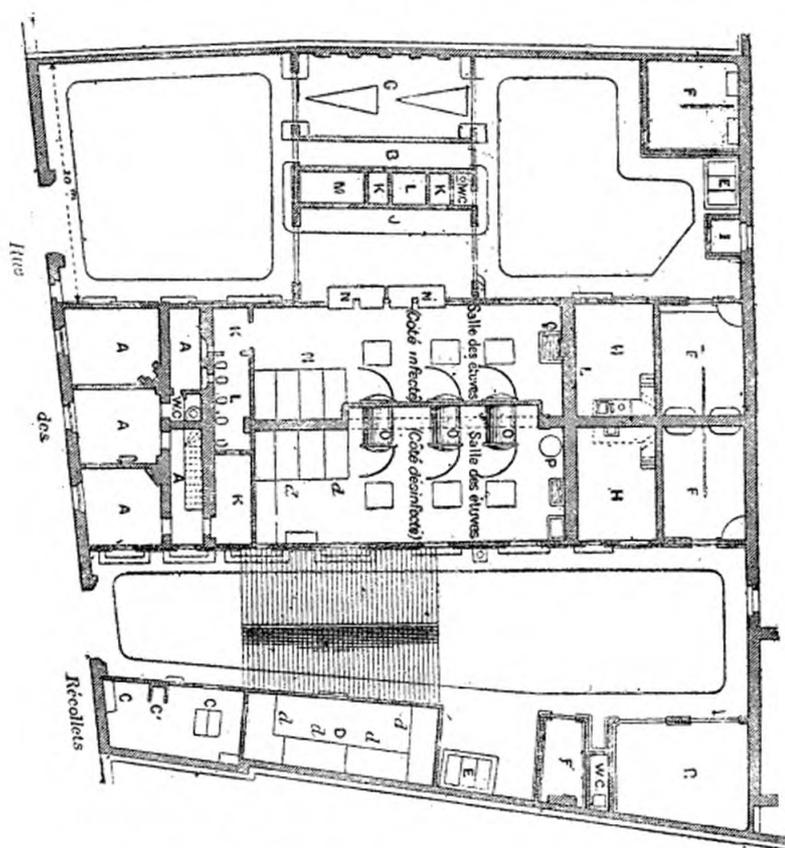


Fig. 372. — Plan général de la station municipale de désinfection de la ville de Paris, 6, rue des Récollets.

Légende : A, Logement du surveillant général. — B, Magasin. — C, Bureau de la station. — C', Cabine téléphonique. — D, Séchoir. — d, Claies. — E, Fosses à fumier. — F, Ecuries. — G, Remises. — H, Cuisines, réfectoires. — I, Sas de communication avec le refuge de nuit. — J, Hail de déchargement des voitures. — K, Vestiaires. — L, Lavabos, bains-douches. — M, Dépôt des pulvérisateurs. — N, Table de déchargement des objets infectés. — O, Eluves. — P, Chaudières. — Q, Bac de rinçage. — R, Atelier de réparation.

deux surveillants, un chef mécanicien, quatre mécaniciens, cinq aides-mécaniciens et cent trente-trois désinfecteurs. Le budget du service était en 1899 de 595 000 francs, dont 346 000 francs pour le personnel : on a fait cette année-là 64 100 désinfections.

A Berlin, la première station (Reichenbergerstrasse) date de 1886 : elle est classique, ayant servi de modèle à la plupart des stations allemandes et même européennes. Elle comporte quatre des grandes étuves elliptiques d'Oscar Schimmel que nous connaissons. La fig. 373 et la légende suffisent

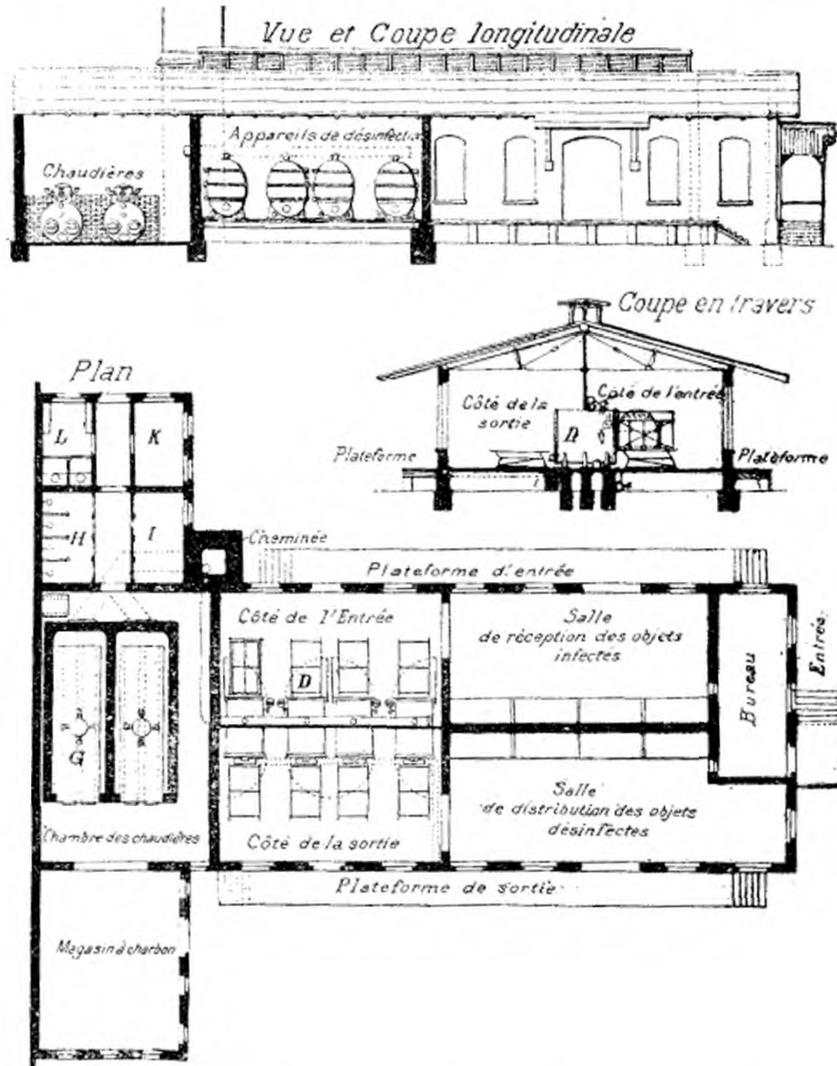


Fig. 373. — Plan de la première station municipale de désinfection de Berlin (à la Reichenbergerstrasse)

Légende : D, Appareils de désinfection. — *d*, Tuyau d'évacuation de leur vapeur. — *l*, Canal d'air. — *a*, Tuyau d'évacuation de l'eau. — G, Chaudière. — H, Salles de bains et douches. — R, Réservoir d'eau pour les bains. — I, Vestiaire. — L, Cabinets. — K, Magasin.

à en faire voir la disposition : le lecteur qui en voudrait lire une description plus complète la trouverait dans « *Vierteljahrsschrift für ger. Medizin*, 1886 » article de Hirschwald. Depuis cette époque, Berlin a construit une deuxième station à peu près semblable (également quatre étuves) annexée au refuge de Prenzlauer Thor.

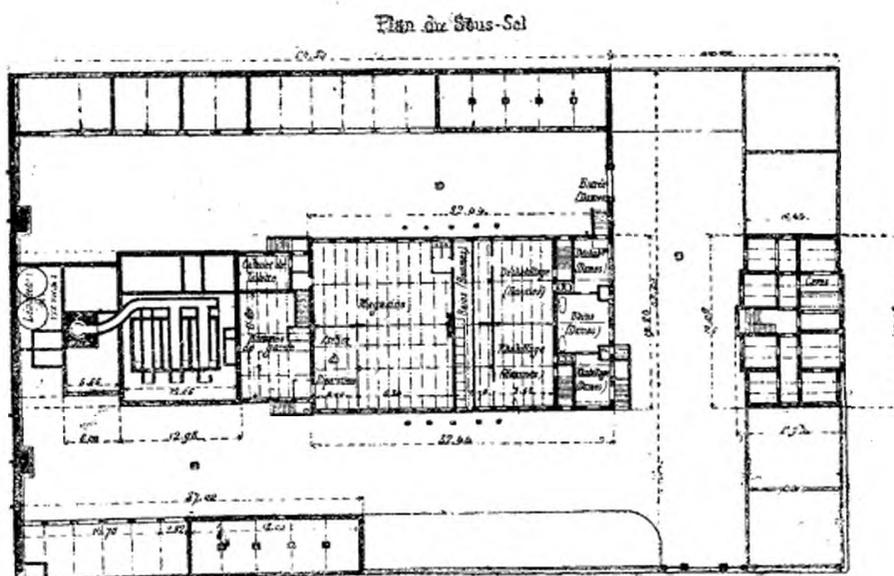
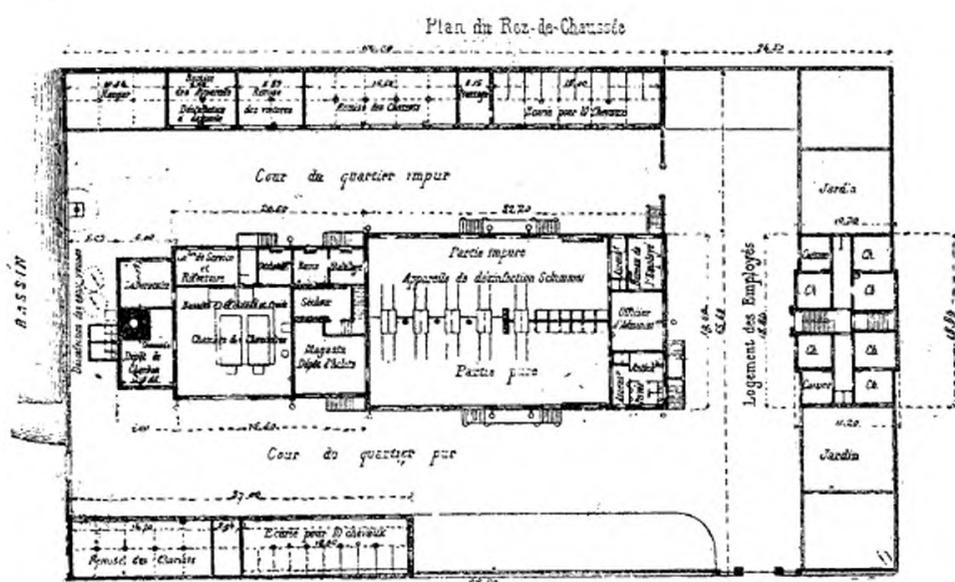
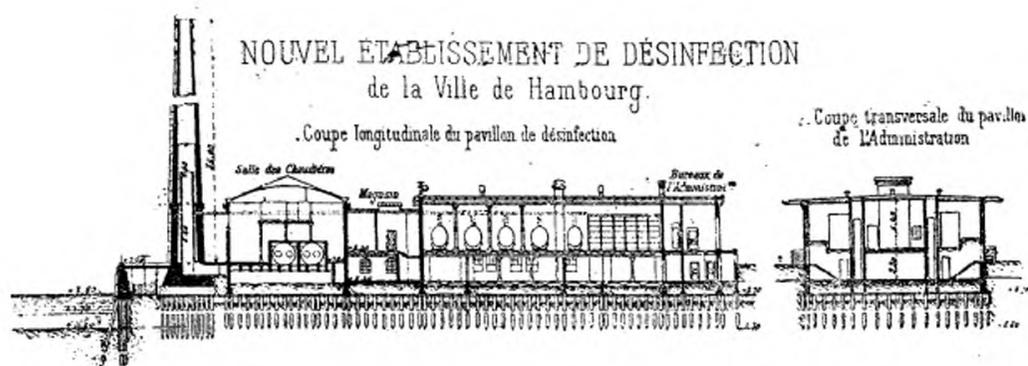


Fig. 374.

La station de Hambourg (sur le Bullerdeich) est plus récente et date de 1896. Pendant la sévère épidémie de choléra de 1892, la ville ne possédait aucune installation et on dut se contenter des désinfectants chimiques, notamment les solutions de lysol à 5 0/0; mais nous savons que depuis lors, instruite par l'expérience, la ville de Hambourg s'est mise à la tête du progrès hygiénique. La fig. 374 montre toute l'installation : elle contient 5 étuves Schimmel.

L'Italie a multiplié dans ces derniers temps ses stations de désinfection. Nous empruntons à l'excellent petit ouvrage du professeur Abba « *Guida per la pratica delle desinfezioni — Turin 1900* » le plan d'une station de Palerme (fig. 375) : on y voit réservées des chambres pour le lavage et pour la désinfection à la formaldéhyde.

Il ne suffit pas que les grandes villes possèdent des stations bien organisées, il faut aussi que les villes moins fortunées, les bourgs et les villages puissent à un moment donné (en cas d'épidémie notamment) profiter des bienfaits de la désinfection. C'est alors aux administrations régionales (départementales en France) à intervenir : elles doivent donc

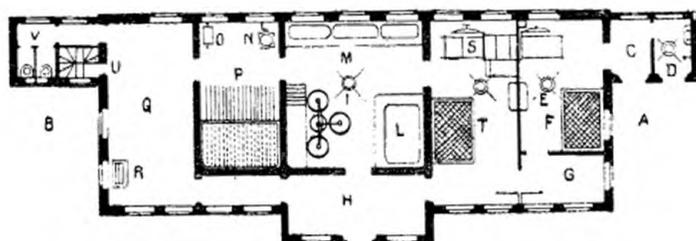


Fig. 375. — Station de désinfection de Palerme (au sanatorium d'Igea).

Légende : A, Côté infecté. — B, Côté désinfecté. — C, Entrée des objets infectés. — D, Chambre pour la désinfection du personnel. — E, Sortie des objets désinfectés. — F, Lessiveuse. — G, Cuve d'immersion pour les objets désinfectés. — H, Cuve de rinçage pour les objets désinfectés. — I, Cuve pour la désinfection au sublimé. — J, Claie pour le dépôt des objets infectés. — K, Chambre pour la désinfection à la formaldéhyde. — L, Essoreuse. — M, Montecharge pour les objets lavés. — N, Séchoir. — O, Raccornement et détreillage. — P, Machine à détreiller. — Q, Etuve Alba-Rastelli. — R, Claie pour dépôt des objets désinfectés. — S, Cabinets.

soit se concerter avec les services municipaux déjà existants, soit organiser elles-mêmes des services régionaux. Pour cela deux procédés sont en présence : celui des stations fixes convenablement réparties dans la région, ou celui des étuves locomobiles faciles à transporter d'un point à un autre du pays. C'est le premier système qui a été adopté en 1899 par le département du Nord (1) : il a créé ainsi 12 stations possédant cha-

(1) Sur l'initiative de M. le Dr Dron, député du Nord. (Voir *Recueil des Travaux du Comité consultatif d'Hygiène publique*, 1900, p. 8.

cune une étuve fixe (beaucoup plus avantageuse que les étuves mobiles) et 2 voitures spéciales de transport des effets, en sorte que chacune de ces stations dessert la région dans un rayon de 13 km. Au contraire, le département de la Seine possède 20 étuves mobiles : il semble que dans les départements peu peuplés, ce système soit préférable, car il faudrait étendre par trop le rayon d'action des stations fixes.

Il resterait à voir comment le monde civilisé s'est armé, grâce aux appareils de désinfection, contre les maladies transmissibles : bien que datant de 15 ans au plus, on verrait que cet armement est déjà sérieux. Ainsi en France, nous comptons 51 départements qui ont organisé des services de désinfection ⁽¹⁾, et toutes les villes un peu importantes ont leur station municipale : rien que la maison Geneste-Herscher a placé plus de 700 étuves en France et plus de 60 dans les colonies. L'Allemagne est encore plus avancée sous ce rapport. La Suisse possède 28 stations fixes de désinfection et en outre 31 étuves locomobiles (rapport du Dr Carrière sur l'hygiène en Suisse, 1900). En Angleterre, il est assez difficile de se faire une idée d'ensemble et il est certain qu'il y a encore beaucoup à faire : les rapports annuels de Shirley Murphy, Medical officer of Health du comté de Londres, nous apprennent qu'en 1898, 32 districts sur les 43 de ce comté ont des stations de désinfection. Cependant il y avait encore un ou deux anciens appareils à air chaud, et les fumigations à l'acide sulfureux étaient encore très répandues à Londres. Comparativement au développement progressif des moyens de défense, il est certain que la statistique des maladies transmissibles accuserait une diminution : c'est ce que montrent les tableaux de Shirley Murphy pour la mortalité par maladies infectieuses à Londres, ainsi que le graphique qui termine la brochure du Dr A.-J.-Martin pour Paris.

II. — MESURES ADMINISTRATIVES ET LÉGISLATION DE LA DÉSINFECTION.

En vertu du droit qu'a la Société de se protéger contre tout danger menaçant la santé publique, la législation a le devoir formel de donner à l'autorité les pouvoirs nécessaires pour agir efficacement : comme les mœurs, elle doit se mettre à la hauteur des découvertes de l'hygiène. Or, contre les maladies infectieuses, les mesures à prendre comprennent quatre termes : la déclaration des cas, les avertissements donnés au public, l'isolement du malade, la désinfection de ses effets et apparte-

(1) On trouve des renseignements à ce sujet dans les « *Annales des assemblées départementales* » que publie chaque année M. de Crisenoy.

ments. Voyons ce qu'on devrait faire sur ces quatre points, et nous passerons ensuite en revue les lois sanitaires des principaux Etats civilisés en ce qu'elles ont de nouveau ou d'intéressant.

a) *Déclaration obligatoire* ⁽¹⁾. — Tout le monde est d'accord sur la nécessité de cette déclaration, et tous les pays civilisés ont aujourd'hui des lois qui la prescrivent. Nous avons déjà cité ces lois, pages 320 et 321, à propos des maladies d'origine hydrique et nous avons aussi expliqué l'utilité et le fonctionnement des *Bureaux d'Hygiène municipaux*. Nous n'avons à y revenir que pour compléter la liste des maladies qui doivent légalement faire l'objet d'une déclaration : en France, cette liste est la suivante :

1. Fièvre typhoïde ; 2. Typhus exanthématique ; 3. Variole ou variole ; 4. Scarlatine ; 5. Diphtérie (croup et angine couenneuse) ; 6. Suette miliaire ; 7. Choléra et maladies cholériques ; 8. Peste ; 9. Fièvre jaune ; 10. Dysenterie ; 11. Infections puerpérales ; 12. Ophthalmie des nouveau-nés.

La liste est à peu près la même dans tous les pays, mais il conviendrait d'y ajouter l'érysipèle, la rougeole, les pneumonies infectieuses, la varicelle, les oreillons, la coqueluche, l'influenza, enfin la *tuberculose ouverte*. Pour la rougeole ⁽²⁾, malgré sa bénignité habituelle, l'Académie de Médecine a émis un vœu le 27 février 1900, pour son addition à la liste : elle a émis le 3 avril suivant un vœu semblable pour les pneumonies et bronchopneumonies infectieuses. Quant à la tuberculose, la question est délicate et la déclaration a des partisans et des adversaires non moins résolus. A la suite du rapport de MM. Vallin et A.-J.-Martin où les arguments pour et contre sont exposés en détail, le Congrès d'Hygiène de 1900 a voté par 75 membres sur 82 la déclaration des cas de tuberculose *ouverte*, c'est-à-dire sécrétant des produits bacillaires dangereux. Cette déclaration est déjà entrée en pratique dans deux pays : en Norvège suivant la loi que nous citerons plus loin, et en Italie dans certains cas (voir plus loin art. 129 § 6 du règlement sanitaire du 2 février 1901 ⁽³⁾). En principe, il semble bien évident, dans certains cas où le phthisique inconscient ou rebelle est un véritable danger pour son

(1) Voir le rapport de MM. Vallin et A. J. Martin au Congrès d'Hygiène de 1900 : « *De la déclaration obligatoire des maladies transmissibles etc. etc.* »

(2) Voir l'article de Vallin : « *La déclaration obligatoire de la rougeole et des pneumonies infectieuses* » in *Revue d'Hygiène*, 20 avril 1900.

(3) Voir l'article de Vallin : « *La déclaration obligatoire de la tuberculose ouverte* » in *Revue d'Hygiène*, 20 août 1900, et l'article du Dr Axel Holst : « *L'Hygiène en Norvège* » in *Revue d'Hygiène*, 20 mars 1900.

entourage, que le médecin doit déclarer le fait à l'Autorité et lui demander main-forte pour assurer la protection des êtres menacés : on peut laisser aux médecins le soin de discerner ces cas.

La question reste pendante pour la déclaration de la syphilis. Dans son rapport au Congrès d'Hygiène « Etude des différentes mesures mises en pratique pour assurer la prophylaxie de la syphilis »⁽¹⁾, le D^r Bourges est d'avis que la déclaration obligatoire serait un excellent moyen de prophylaxie, mais il reconnaît que cette solution ne paraît pas encore pouvoir être adoptée dans tous les pays. Il n'y a qu'en Danemark, où la loi du 10 avril 1874 oblige les médecins à déclarer les cas de maladies vénériennes et permet de soumettre les sujets infectés de l'un et l'autre sexe à l'hospitalisation forcée et à une surveillance médicale ultérieure. En Norvège, la loi de 1860 oblige bien les médecins à déclarer les cas constatés, mais sans indiquer l'origine de la contagion de leur client. Dans les autres pays, les soldats seuls sont tenus de révéler cette origine.

b). *Avertissements donnés au public: affichage.*— Quand un danger existe quelque part, généralement on en informe le public et spécialement les personnes qui fréquentent le passage périlleux, au moyen d'affiches apposées aux abords, de signaux, enfin de tous les moyens de publicité. Doit-on faire de même pour les maladies contagieuses ? Les avis sont partagés, en raison des difficultés et des complications de toutes sortes que susciterait à l'heure présente — au moins en France — l'affichage d'une maison contaminée. Que le public apprenne demain qu'une grande maison de Paris (véritable ruche humaine comprenant des ateliers et des magasins au rez-de-chaussée et même aux étages, de nombreux locataires, etc., etc.) contient un cas de peste ou de choléra, ne verrons-nous pas aussitôt cette maison mise effectivement en interdit, les magasins et les fournisseurs délaissés, les locataires en fuite, la rue elle-même évitée ? Si le cas se produit dans un hôtel et qu'on le publie, cet hôtel ne sera-t-il pas aussitôt vide de voyageurs ? Bref, un préjudice sérieux peut être causé, du fait de la publicité, aux propriétaires, gérants, locataires, négociants de la maison contaminée et même des voisins, ainsi qu'à la vie et à la circulation publiques dans tout un quartier. C'est là une question de mœurs et d'habitude, car en somme l'affichage devrait être plutôt rassurant, puisqu'il prouve que

(3) Voir également sur ce sujet le bel article du professeur Fournier « *Ligue contre la syphilis* », in *Semaine Médicale* du 22 mai 1901.

s'il existe un cas de maladie contagieuse dans la maison, ce cas est connu, surveillé officiellement, et qu'ainsi toutes les précautions sont prises pour empêcher la maladie de se propager : aujourd'hui au contraire, le doute plane partout, et nous ne savons jamais en entrant dans un appartement si nous n'y coudoyons pas un cholérique ou un scarlatineux.

Nous sommes donc en principe pour l'affichage, mais avec des restrictions et de la mesure, Il serait évidemment excessif de signaler une maison où il y a un typhique ou un phtisique ; mais en temps d'épidémie grave ne vaut-il pas mieux montrer le mal où il est (il est souvent moins grand que l'imagination se le figure) que de laisser planer un soupçon général sur toutes les maisons ? Nous verrons qu'aux Etats-Unis, c'est aux Commissions d'Hygiène à décider s'il y a lieu à affichage, et qu'on peut encore ne pas afficher quand on a affaire à un médecin ou un chef de famille responsable et capable de prendre toutes mesures de préservation utiles : c'est là une solution qui nous paraît très sage. En Europe, la loi hollandaise seule (Voir son texte plus loin art. 20) prescrit le signalement des maisons contaminées, et on voyait à l'Exposition comment la ville d'Asterdam l'applique : un article très intéressant du Dr Ringeling « Le service sanitaire municipal d'Amsterdam » (*Revue d'Hygiène* 20 juillet 1900) nous l'explique encore mieux. C'est le service sanitaire qui fait placer les marques portant le mot « maladie infectieuse » avec le nom de la maladie, et on a ainsi marqué en 1898, 355 cas de fièvre typhoïde et typhus, 1 cas de petite vérole, 477 cas de scarlatine, 557 cas de diphtérie et 3913 cas de rougeole. A propos de cette dernière maladie, comme l'art. 14 de la loi interdit à tous les enfants d'une maison signalée de fréquenter les écoles, il est arrivé que celles-ci restaient à moitié désertes, et on a dû à cause de cette conséquence inattendue rayer la rougeole de la liste des maladies affichées (décret du 21 juillet 1899). Mais à part cela, l'affichage est entré dans les mœurs, ainsi du reste que la pratique de la désinfection.

La loi norvégienne et la loi allemande permettent également l'affichage quand il est jugé nécessaire.

c) *Isolement des contagieux.* — L'isolement du ou des malades dangereux a été pratiqué de tout temps et constitue une mesure éminemment rationnelle. On peut l'appliquer soit aux individus, soit à des groupes de personnes, soit à une région tout entière : en grand, c'est le principe même des quarantaines et de la défense des frontières par les

postes sanitaires⁽¹⁾. Réduite à la ville elle-même, la mesure se bornera à protéger la cité soit contre l'invasion de cas apportés du dehors, — ce qui pourrait se faire en cas d'épidémie dans la région avoisinante ou dans les villes voisines en installant des postes sanitaires avec des moyens de désinfection à chacune des portes d'entrée de la ville — soit contre la contagion provenant des cas reconnus en ville, importés ou nés sur place. C'est cette seconde alternative qui est de beaucoup la plus habituelle : elle est de la pratique journalière d'un service municipal d'Hygiène.

L'isolement d'un malade doit pouvoir être rendu obligatoire dans certains cas, et les lois sanitaires des divers pays civilisés (sauf la France qui n'en a pas encore) permettent à l'autorité, quand elle le juge nécessaire, soit de transférer le contagieux dans un hôpital spécial, soit de le séquestrer et de l'isoler convenablement dans son propre domicile. Le transfert dans un hôpital, une maison de santé ou un sanatorium devra être exigé toutes les fois que l'appartement du malade (et ce n'est que trop fréquent dans la classe pauvre) ne se prête pas à un isolement effectif : il reste bien entendu qu'à défaut d'un hôpital spécial à la maladie dont il s'agit, le contagieux devra être interné dans un pavillon d'isolement de l'hôpital général (et non amené dans les salles communes, comme on le fait trop souvent encore pour les tuberculeux, qui contagionnent alors leurs voisins)⁽²⁾. Pour les familles aisées, l'isolement à domicile sera la règle : cependant, il serait à désirer que les familles puissent trouver des maisons de santé capables de recevoir le contagieux pendant la durée de la maladie, de même qu'on en trouve pour

(1) Nous ne pouvons étendre notre sujet jusqu'à parler de cette défense des nations entières contre les fléaux, venant généralement d'Orient, qui les menacent : c'est l'affaire des Gouvernements, et même cela exige une entente internationale (conférences de Venise 1892, de Dresde 1893, de Paris 1894 et de Venise 1897). En France, le règlement de police sanitaire maritime du 4 janvier 1896 paraît suffisant à protéger les frontières de mer ; quant aux frontières de terre, il y aurait lieu, bien entendu, d'installer des postes sanitaires en cas de contamination d'un pays voisin, ainsi que cela s'est fait par crainte du choléra en 1892. La crainte de la peste en 1897 a suscité également des mesures dans toute l'Europe : voir l'article du Dr A. J. Martin : « *La peste en Extrême-Orient et la politique sanitaire européenne* » *Revue d'Hygiène*, 20 mars et 20 mai 1897. Voir également les communications sur la peste présentées par M. le professeur Proust à l'Académie de Médecine les 10 et 17 janvier 1899, et les mesures exceptionnelles prises en 1900 pour la défense du littoral français (*Recueil des travaux du Comité Consultatif d'Hygiène publique*, 1900, p. 455).

(2) Pour la question des hôpitaux spéciaux et des pavillons d'isolement dans les hôpitaux, voir le rapport au Congrès d'Hygiène de 1900 de M. le Dr Drouineau : « *Les contagieux à l'hôpital* ».

une opération ; l'isolement y serait mieux fait, et cela soulagerait bien des familles.

Nous ne pouvons donner ici le détail des précautions minutieuses qu'il faut prendre pour qu'un isolement de contagieux soit bien fait. Nous avons sous les yeux le rapport présenté à la Société de Médecine publique (Séance du 24 juin 1896) par M. Bouloumié au nom d'une Commission spéciale, (Rapport sur les maladies évitables, les moyens de s'en préserver et d'en empêcher la propagation), et nous y renverrons le lecteur qui voudrait entrer dans ce détail. Nous rappellerons seulement les principes posés par M. Bouloumié : « il faut, dit-il : 1° que l'isolement porte sur le malade, sur ceux qui le soignent, et sur tous les objets ayant été au contact ou à proximité du malade, et tout particulièrement sur les objets souillés par ses sécrétions et ses déjections ; 2° que l'isolement soit secondé par l'emploi régulier des antiseptiques et de la désinfection ; 3° qu'il soit commencé dès que la maladie contagieuse est soupçonnée et qu'il soit continué jusqu'à la fin de la convalescence » (1).

Mais, nous dira-t-on, l'isolement doit-il porter sur toutes les maladies ? Sans doute, quand il s'agit des fièvres éruptives, de la peste, du choléra, en un mot des maladies aiguës, il n'y a pas de doute ; mais que faire pour les maladies chroniques, la syphilis et la tuberculose, car on ne peut de toute évidence isoler tous les vérolés et tous les phthisiques ? Pour la syphilis, la solution est assez simple : il ne peut s'agir d'isolement obligatoire, d'internement, que pour les prostituées, et en fait dans tous les pays civilisés, on interne les femmes dénoncées ou reconnues atteintes pendant tout le temps où elles sont dangereuses. Mais pour la tuberculose — et nous ne parlons ici que de la tuberculose *ouverte*, la question est bien plus difficile : il y a de nombreux cas où le phthisique est un danger permanent de contagion pour sa famille et ses voisins, mais comment l'arracher à son foyer, comment lui faire comprendre l'affreuse vérité, enfin comment, si on peut l'éloigner des siens et se charger de son entretien, faire face également aux besoins de la famille qu'il quitte et que souvent il nourrissait du produit de son maigre travail ?

C'est là le gros problème de la prophylaxie de la tuberculose, lequel se double d'un problème économique et social de premier ordre.

(1) Le malade reste dangereux après le début de la convalescence pendant les temps approximatifs ci-après : fièvre typhoïde, scarlatine, diphtérie et variole, six semaines ; oreillons, trois semaines ; rougeole, deux semaines ; choléra, deux à trois semaines, etc., etc. Après ce laps de temps, il prend un bain antiseptique, revêt des vêtements propres n'ayant pas été exposés à la contagion et peut reprendre la vie commune.

Pour le moment, on ne peut guère agir que par des conseils : quand il y consentira, on emmènera le phtisique dans les sanatoria qui se multiplient dans tous les pays, mais quand on devra le laisser chez lui il faudra bien lui faire prendre des précautions pour préserver les siens et le public en général (car le phtisique crachant dans la rue et dans les endroits publics est un danger pour tout le monde). De là, la défense de cracher par terre dans tous les lieux publics, sur les trottoirs, dans la rue elle-même, défense qui existe depuis quelques années dans plusieurs villes des Etats-Unis et d'Allemagne, et qui vient d'être affichée ces jours derniers sur les murs de Paris en vertu de la délibération du 8 juillet 1901 du Conseil municipal. De là aussi la recommandation faite au phtisique d'avoir un *crachoir de poche*, facile à stériliser (1), et de ne jamais cracher par terre, ni chez lui, ni dans un atelier, ni nulle part. De là, enfin, cette excellente création dans les différents quartiers de *dispensaires* (2), c'est-à-dire de locaux où régulièrement le phtisique resté chez lui vient se faire ausculter, recevoir des conseils médicaux, des encouragements, et aussi, s'il est pauvre, des médicaments, etc. — Nous ne pouvons évidemment en dire plus ici sur cette lutte contre la tuberculose qui est le souci de toutes les Sociétés modernes, et nous ne pouvons que renvoyer sur ce vaste sujet aux délibérations des Congrès de Naples, de Berlin et de Londres, à celles du Congrès d'Hygiène de 1900 (rapports de MM. Landouzy et Mosny, et de M. Malvoz), au magnifique volume qui contient le rapport de la Commission de la tuberculose : « La propagation de la tuberculose; moyens pratiques de la combattre » Masson 1900 (3), aux écrits et conférences de M. Brouardel (4), etc.

d) *Désinfection obligatoire*. — Sauf en France, toutes les lois sanitaires prescrivent la désinfection après décès d'un contagieux, et dans bien des pays la désinfection se fait d'office et gratuitement (au moins pour les indigents) : l'obligation ne peut aller en effet sans cette gratuité qui est d'ordinaire étendue à tous les cas de maladie contagieuse déclarés

(1) Voir l'article du Dr Rouget : « Des crachoirs : ce qu'ils étaient, ce qu'ils sont, ce qu'ils doivent être » in *Revue d'Hygiène* du 20 octobre 1900.

(2) Des dispensaires de ce genre fonctionnent avec succès à Liège, Huy, Verriers et Mons.

(3) M. Vallin dit de ce rapport « qu'il est le testament sur la tuberculose que le XIX^e siècle en mourant a légué au XX^e : c'est ce dernier qui aura la tâche effrayante d'en être l'exécuteur testamentaire ».

(4) Voir notamment « Prophylaxie de la tuberculose et sanatoriums » Conférence faite à Nancy le 15 mars 1900 par le professeur Brouardel et publiée dans les *Annales d'hygiène publique*, mai 1900.

chez les indigents (Hambourg, Zurich (1), etc., etc.). Dans les familles, la désinfection n'est généralement pas obligatoire en cas de maladie n'entraînant pas la mort : c'est là une lacune, car l'appartement du malade convalescent est tout aussi dangereux que s'il y avait eu décès, et l'autorité devrait s'assurer que la désinfection en est faite convenablement avant qu'il soit rendu à l'habitation collective. Il convient qu'elle puisse être ordonnée ou faite d'office dans les cas voulus (art. 19 de la loi allemande). Il va sans dire que dès qu'un contagieux est transféré à l'hôpital la désinfection du local qu'il occupait doit être également exigée ou faite d'office.

La désinfection des appartements entraîne la nécessité pour les familles frappées de se loger ailleurs pendant l'opération, laquelle doit dès lors être aussi courte que possible : pour les indigents, ce sera évidemment à l'autorité à pourvoir à ce logement temporaire. La loi allemande § 18, en permettant de faire évacuer d'office un appartement, déclare que les personnes expulsées par cette mesure recevront gratuitement un logement convenable. En Belgique, l'instruction ministérielle de 1894 dit : « Si la chambre qu'il y a lieu de désinfecter constitue l'unique logement d'une famille, celle-ci sera hébergée aux frais de la commune », et en fait Bruxelles et Anvers ont créé depuis longtemps des *postes sanitaires* pour recevoir momentanément les familles intéressées. Le 29 octobre 1900, le Conseil municipal de Paris a demandé la mise à l'étude de la question (voir l'article de M. Fillassier : « Les postes sanitaires dans les grandes villes » dans le numéro d'avril 1901 des *Annales d'hygiène*). La création de ces postes sera d'autant plus utile que les pauvres recevront là ces soins de propreté et d'hygiène (bains, nettoyage des habits, etc.), dont ils ont d'autant plus besoin qu'ils viennent de subir le contact d'un parent contagieux.

Enfin, il est des logements que toutes les désinfections du monde ne parviendraient pas à rendre sains et habitables, et cela parce qu'ils contiennent des causes d'insalubrité intrinsèques (manque d'air, humidité persistante, mauvaise installation des cabinets, défectuosité des canaux, etc.) Que fera-t-on pour un appartement dont les vices se révèlent bien souvent à l'occasion du signalement d'un contagieux ? C'est ici toute

(1) On peut prendre comme modèle l'organisation de la désinfection à Zurich qu'on trouvera décrite dans un article du Dr Leuch, dans *Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege*, 1898. La désinfection est obligatoire et se fait d'office et gratuitement pour les cas de fièvre typhoïde, fièvre puerpérale, diphtérie, scarlatine, etc., etc., mais pour la tuberculose, on n'a pas osé l'imposer et on n'agit que par conseils et persuasion.

la question des *Logements insalubres* ainsi que celle du droit et du devoir qu'a l'autorité pour intervenir dans la construction des maisons neuves. Ce droit résulte évidemment de ce qu'il ne devrait pas être plus permis de mettre en location des logements malsains ou de nuire à la santé de ses voisins que de mettre en vente des aliments frelatés ou corrompus, et il est exercé généralement dans tous les pays (1). En France, il reste beaucoup à faire sous ce rapport car, pour le moment, les *Commissions des Logements insalubres* instituées par la loi du 13 avril 1850 ne sont pas obligatoires, et en fait elles ne fonctionnent régulièrement qu'à Lille, Roubaix, Le Havre, Nancy et Paris (Voir à ce sujet le rapport de M. Challamel au Congrès d'hygiène de 1900 ainsi que ses propositions d'organisation nouvelle). Le projet de loi pour la protection de la santé publique (voir ci-après) prévoit, art. 11, 12 et suivants, l'intervention du maire et des Commissions sanitaires; mais pour les maisons en construction, le contrôle du Maire n'aura lieu que dans les villes de plus de 20.000 âmes.

Tant que nous sommes sur ce sujet de l'assainissement des maisons, lequel est comme le détail de l'assainissement de la ville, nous devons signaler l'organisation modèle du Service des Logements insalubres à Paris. Ainsi qu'on le voyait à l'Exposition (pavillon de la ville de Paris), chaque maison de la capitale a son dossier (*casier*) sanitaire, et on y retrouve, outre une description de l'immeuble et de ses parties constitutives, l'histoire de tout ce qui s'est passé au point de vue de la salubrité depuis 1893. Ces archives sanitaires rendent d'inappréciables services. C'est encore à M. le Dr A.-J. Martin qu'on doit l'idée et la réalisation de cette œuvre: on en trouvera les détails dans l'article du Dr P. Reille « Le casier sanitaire de la ville de Paris » dans le numéro de juillet 1900 des *Annales d'Hygiène*.

LOIS SANITAIRES DE DIVERS PAYS.

I. *France*. — En dehors de la loi du 3 mars 1822 qui arme le Gouvernement de pouvoirs sans limites pour la défense contre les maladies exotiques (choléra, peste, fièvre jaune, etc., etc.), et de la loi du 30 no-

(1) En Angleterre, d'après la loi de 1875, le Local Board of Health a le droit d'interdire tout logement reconnu insalubre; de plus tout projet de construction nouvelle doit lui être soumis. C'est au Medical officer of Health et au Surveyor à faire appliquer ces prescriptions.

vembre 1892 (applicable depuis à l'Algérie, à l'Annam et au Tonkin) qui prescrit la déclaration, notre pays n'a pas de loi sanitaire à proprement parler : ni l'isolement, ni la désinfection, ni la vaccination même n'y sont obligatoires. Le fondement de la législation sanitaire française réside donc encore dans le pouvoir conféré depuis 1790 aux autorités municipales pour prendre « le soin de prévenir par des précautions convenables, et de faire cesser par la distribution des secours nécessaires les accidents et les fléaux calamiteux, tels que... les maladies épidémiques ou contagieuses » (art. 97 de la loi du 5 avril 1884) ; mais la jurisprudence ne permet pas aux autorités chargées de l'exécution de cette législation d'en imposer, ni d'en déterminer les modes particuliers d'application, et comme d'un autre côté les mesures sanitaires n'ont pas pour les Communes ou les Départements le caractère de dépenses obligatoires, on comprend qu'elle soit restée généralement lettre morte.

Heureusement, les choses vont changer, car le projet de loi pour la *protection de la santé publique* a été voté définitivement par le Sénat le 28 juin 1901 et n'a plus qu'à repasser (pour la forme) à la Chambre.

Le texte de 1893 a été profondément modifié (pas toujours en bien à notre avis), et voici celui de la Commission du 27 mars 1900 qui paraît devoir devenir définitif.

Projet de loi pour la protection de la santé publique en France

TITRE PREMIER

Des mesures sanitaires générales.

CHAPITRE PREMIER

Mesures sanitaires générales.

Article Premier. — Dans toute commune, le maire est tenu, afin de protéger la santé publique, de déterminer, après avis du Conseil municipal et sous forme d'arrêtés municipaux portant règlement sanitaire :

1° Les précautions à prendre, en exécution de l'article 97 de la loi du 5 avril 1884, pour prévenir ou faire cesser les maladies épidémiques, spécialement les mesures de désinfection ou même de destruction des objets à l'usage des personnes atteintes d'une maladie épidémique ou qui ont été souillées par elles, et généralement des objets quelconques pouvant servir de véhicule à la contagion ;

2° Les prescriptions destinées à assurer la salubrité des maisons et de leurs dépendances, des voies privées, closes ou non à leurs extrémités, des logements loués en garni et des autres agglomérations quelle qu'en soit la nature, notamment l'alimentation en eau potable et l'évacuation des matières usées.

Art. 2. — Les règlements sanitaires communaux ne font pas obstacle aux droits conférés au Préfet par l'article 79 de la loi du 5 juillet 1884.

Ils sont approuvés par le Préfet, après avis du Conseil départemental d'hygiène.

Si, dans le délai d'un an, à partir de la promulgation de la présente loi, une commune n'a pas de règlement sanitaire, il lui en sera imposé un d'office par un arrêté du Préfet, le Conseil départemental d'hygiène entendu.

Dans le cas où plusieurs communes auraient fait connaître leur volonté de s'associer, conformément à la loi du 22 mars 1890, pour l'exécution des mesures sanitaires, elles pourront adopter les mêmes règlements qui leur seront rendus applicables suivant les formes prévues par ladite loi.

Art. 3. — En cas d'urgence, c'est-à-dire en cas d'épidémie ou d'un autre danger imminent pour la santé publique, le Préfet peut ordonner l'exécution immédiate, tous droits réservés, des mesures prescrites par les règlements sanitaires prévus à l'article premier. L'urgence doit être constatée par un arrêté du maire, et, à son défaut, par un arrêté du Préfet, que cet arrêté spécial s'applique à une ou plusieurs personnes ou qu'il s'applique à tous les habitants de la commune.

Art. 4. — La liste des maladies épidémiques auxquelles sont applicables les dispositions de la présente loi sera dressée, dans les six mois qui en suivront la promulgation, par un décret du Président de la République rendu sur le rapport du Ministre de l'Intérieur, après avis de l'Académie de médecine et du Comité consultatif d'hygiène publique de France. Il pourra y être ajouté, dans la même forme, toute autre maladie épidémique.

Art. 5. — La déclaration à l'autorité publique de tout cas de maladie épidémique est obligatoire pour tout docteur, officier de santé ou sage-femme qui en constate l'existence, ou, à leur défaut, pour le chef de famille, maître d'hôtel ou directeur d'établissement, ou pour les personnes qui soignent les malades. Un arrêté du Ministre de l'Intérieur, après avis de l'Académie de médecine et du Comité consultatif d'hygiène publique de France, fixe le mode de la déclaration.

Art. 6. — La vaccination antivariolique est obligatoire au cours de la première année de la vie, ainsi que la revaccination au cours de la onzième et de la vingt-et-unième année.

Les parents ou tuteurs sont tenus personnellement de l'exécution de ladite mesure.

Un règlement d'administration publique, rendu après avis de l'Académie de médecine et du Comité consultatif d'hygiène publique de France, fixera les mesures nécessitées par l'application du présent article.

Art. 7. — La désinfection est obligatoire pour tous les cas de maladies épidémiques prévues à l'article 4 ; les procédés de désinfection devront être approuvés par le Ministre de l'Intérieur, après avis du Comité consultatif d'hygiène publique de France.

Les mesures de désinfection sont mises à exécution, dans les villes de 20 000 habitants et au-dessus, par les soins de l'autorité municipale, suivant les arrêtés du Maire approuvés par le Préfet et, dans les communes de moins de 20 000 habitants, par les soins d'un service départemental.

Les dispositions de la loi du 21 juillet 1856 et des décrets et arrêtés ultérieurs, pris conformément aux dispositions de ladite loi, sont applicables aux appareils de désinfection.

Un règlement d'administration publique, rendu après avis du Comité consultatif d'hygiène publique de France et de la Commission centrale des appareils à vapeur, déterminera les conditions que ces appareils doivent remplir, tant au point de vue de la sécurité que de l'efficacité des opérations à y effectuer.

Art. 8. — Lorsqu'une épidémie menace tout ou partie du territoire de la République ou s'y développe, et que les moyens de défense locaux sont reconnus insuffisants, un décret du Président de la République détermine, après avis du Comité consultatif d'hygiène publique de France, les mesures propres à empêcher la propagation de cette épidémie.

Il règle les attributions, la composition et le ressort des autorités chargées de

l'exécution de ces mesures, et leur délègue, pour un temps déterminé, le pouvoir de les exécuter. Les frais d'exécution de ces mesures, en personnel et en matériel, sont à la charge de l'Etat.

Les décrets et actes administratifs qui prescrivent l'application de ces mesures sont exécutoires dans les vingt-quatre heures, à partir de leur publication au *Journal Officiel*.

Art. 9. — Lorsque l'Etat sanitaire d'une commune nécessite des travaux d'assainissement, notamment lorsqu'une commune n'est pas pourvue d'eau potable de bonne qualité ou en quantité suffisante, ou bien quand les eaux usées y restent stagnantes au milieu des habitations, le Préfet invite le Conseil départemental d'hygiène à délibérer sur l'utilité et la nature des travaux jugés nécessaires. Le maire sera mis en demeure de présenter ses observations devant le Conseil départemental d'hygiène.

En cas d'avis contraire à l'exécution des travaux ou de réclamation de la part de la commune, le Préfet transmet la délibération du Conseil au Ministre de l'Intérieur, qui, s'il le juge à propos, soumet la question au Comité consultatif d'hygiène publique de France.

Sur les avis du Conseil départemental d'hygiène et du Comité consultatif d'hygiène publique, le Préfet met la commune en demeure de procéder aux travaux.

Si, dans le mois qui suit cette mise en demeure, le Conseil municipal ne s'est pas engagé à y déférer, ou si dans les trois mois il n'a pris aucune mesure en vue de l'exécution des travaux, un décret du Président de la République, rendu en Conseil d'Etat, ordonnera ces travaux dont il déterminera les conditions d'exécution et dont la dépense ne pourra être mise à la charge de la commune que par une loi.

Le Conseil général statue, dans les conditions prévues par l'article 46 de la loi du 10 août 1871, sur la participation du département aux dépenses des travaux ci-dessus spécifiés.

Art. 10. — Le décret déclarant d'utilité publique le captage d'une source pour le service d'une commune déterminera, s'il y a lieu, en même temps que les terrains à acquérir en pleine propriété, un périmètre de protection contre la pollution de ladite source. Il est interdit d'épandre sur les terrains compris dans ce périmètre des engrais humains et d'y forer des puits sans l'autorisation du Préfet. L'indemnité qui pourra être due au propriétaire de ces terrains sera déterminée suivant les formes de la loi du 3 mai 1841 sur l'expropriation pour cause d'utilité publique, comme pour les héritages acquis en pleine propriété.

CHAPITRE II

Mesures sanitaires relatives aux immeubles.

Art. 11. — Dans les agglomérations de 20 000 habitants et au-dessus, aucune habitation ne peut être construite sans un permis du maire constatant que, dans le projet qui lui a été soumis, les conditions de salubrité prescrites par le règlement sanitaire prévu à l'article premier sont observées. En cas d'inexécution de ces prescriptions il en sera dressé procès-verbal.

A défaut par le maire de statuer dans le délai de vingt jours, à partir du dépôt à la mairie de la demande de construire dont il sera délivré récépissé, le propriétaire pourra se considérer comme autorisé à commencer les travaux.

L'autorisation de construire peut être donnée par le Préfet en cas de refus du maire.

Art. 12. — Lorsqu'un immeuble, bâti ou non, attenant ou non à la voie publique, est dangereux pour la santé des occupants ou des voisins, le maire ou, à son défaut, le Préfet, invite la Commission sanitaire prévue par l'article 20 de la présente loi à donner son avis :

1° Sur l'utilité et la nature des travaux ;

2° Sur l'interdiction d'habitation de tout ou partie de l'immeuble jusqu'à ce que les conditions d'insalubrité aient disparu.

Le rapport du maire est déposé au secrétariat de la mairie à la disposition des intéressés.

Les propriétaires, usufruitiers ou usagers sont avisés, au moins quinze jours d'avance, à la diligence du maire et par lettre recommandée, de la réunion de la Commission sanitaire et ils produisent dans ce délai leurs observations.

Ils doivent, s'ils en font la demande, être entendus par la Commission, en personne ou par mandataire, et ils sont appelés aux visites et constatations de lieux.

En cas d'avis contraire aux propositions du maire, cet avis est transmis au Préfet qui saisit, s'il y a lieu, le Conseil départemental d'hygiène.

Le Préfet avise les intéressés quinze jours au moins d'avance, par lettre recommandée, de la réunion du Conseil départemental d'hygiène et les invite à produire leurs observations dans ce délai. Ils peuvent prendre communication de l'avis de la Commission sanitaire déposé à la préfecture et se présenter, en personne ou par mandataire, devant le Conseil ; ils sont appelés aux visites et constatations de lieux.

L'avis de la Commission sanitaire ou celui du Conseil d'hygiène fixe le délai dans lequel les travaux doivent être exécutés ou dans lequel l'immeuble cessera d'être habité en totalité ou en partie. Ce délai ne commence à courir qu'à partir de l'expiration du délai de recours ouvert aux intéressés par l'article 13 ci-après ou de la notification de la décision définitive intervenue sur le recours.

Dans le cas où l'avis de la Commission n'a pas été contesté par le maire, ou, s'il a été contesté, après notification par le Préfet de l'avis du Conseil départemental d'hygiène, le maire prend un arrêté ordonnant les travaux nécessaires ou portant interdiction d'habiter, et il met le propriétaire en demeure de s'y conformer dans le délai fixé.

L'arrêté portant interdiction d'habiter devra être revêtu de l'approbation du Préfet.

Art. 13. — Un recours est ouvert aux intéressés contre l'arrêté du maire devant le Conseil de préfecture dans le délai d'un mois à dater de la notification de l'arrêté. Ce recours est suspensif.

Art. 14. — A défaut de recours contre l'arrêté du maire ou si l'arrêté a été maintenu, les intéressés qui n'ont pas exécuté, dans le délai imparti, les travaux jugés nécessaires sont traduits devant le tribunal de simple police, qui autorise le maire à faire exécuter les travaux d'office, à leurs frais, sans préjudice de l'application de l'article 471, paragraphe 15, du Code pénal.

En cas d'interdiction d'habitation, s'il n'y a pas été fait droit, les intéressés sont passibles d'une amende de 16 francs à 500 francs et traduits devant le tribunal correctionnel qui autorise le maire à faire expulser, à leurs frais, les occupants de l'immeuble.

Art. 15. — La dépense résultant de l'exécution des travaux est garantie par un privilège sur les revenus de l'immeuble, qui prend rang après les privilèges énoncés aux articles 2101 et 2103 du Code civil.

Art. 16. — Toutes ouvertures pratiquées pour l'exécution des mesures d'assainissement prescrites en vertu de la présente loi sont exemptes de la contribution des portes et fenêtres pendant cinq années consécutives à partir de l'achèvement des travaux.

Art. 17. — Lorsque, par suite de l'exécution de la présente loi, il y aura lieu à résiliation des baux, cette résiliation n'emportera, en faveur des locataires, aucuns dommages et intérêts.

Art. 18. — Lorsque l'insalubrité est le résultat de causes extérieures et per-

manentes, ou lorsque les causes d'insalubrité ne peuvent être détruites que par des travaux d'ensemble, la commune peut acquérir, suivant les formes et après l'accomplissement des formalités prescrites par la loi du 3 mai 1841, la totalité des propriétés comprises dans le périmètre des travaux.

Les portions de ces propriétés qui, après assainissement opéré, resteraient en dehors des alignements arrêtés pour les nouvelles constructions, pourront être revendues aux enchères publiques, sans que les anciens propriétaires ou leurs ayants droit puissent demander l'application des articles 60 et 61 de la loi du 3 mai 1841, si les parties restantes ne sont pas d'une étendue ou d'une forme qui permette d'y élever des constructions salubres.

TITRE II

De l'Administration sanitaire.

Art. 19. — Si le Préfet, pour assurer l'exécution de la présente loi, estime qu'il y a lieu d'organiser un service de contrôle et d'inspection, il ne peut y être procédé qu'en suite d'une délibération du Conseil général réglant les détails et le budget du service.

Dans les villes de 50 000 habitants et au-dessus, il sera institué, sous le nom de Bureau d'hygiène, un service municipal chargé, sous l'autorité du maire, et, à Paris, du Préfet de la Seine, de l'application des dispositions de la présente loi.

Toutefois, à Paris, les logements loués en garnis restent placés sous l'autorité du Préfet de police.

Art. 20. — Dans chaque département, le Conseil général, après avis du Conseil d'hygiène départemental, délibère, dans les conditions prévues par l'article 48 5° de la loi du 10 août 1871, sur l'organisation du service de l'hygiène publique dans le département, notamment sur la division du département en circonscriptions sanitaires et pourvues chacune d'une Commission sanitaire; sur la composition, le mode de fonctionnement, la publication des travaux et les dépenses du Conseil départemental et des Commissions sanitaires.

Le Conseil d'hygiène départemental se composera de dix membres au moins et de quinze au plus. Il comprendra nécessairement deux conseillers généraux, trois médecins, dont un de l'armée de terre ou de mer, un pharmacien, l'ingénieur en chef, un architecte et un vétérinaire.

Le Préfet présidera le Conseil, qui nommera dans son sein, pour deux ans, un vice-président et un secrétaire chargé de rédiger les délibérations du Conseil.

Chaque Commission sanitaire de circonscription sera composée de cinq membres au moins et de sept au plus, pris dans la circonscription. Elle comprendra nécessairement un conseiller général, un médecin ou tout autre homme de l'art et un vétérinaire.

Le Sous-Préfet présidera la Commission, qui nommera dans son sein, pour deux ans, un vice-président et un secrétaire chargé de rédiger les délibérations de la Commission.

Les membres des Conseils d'hygiène et ceux des Commissions sanitaires sont nommés par le Préfet (le Préfet de la Seine à Paris), pour quatre ans et renouvelés par moitié tous les deux ans; les membres sortants peuvent être renommés.

Les Conseils départementaux d'hygiène et les Commissions sanitaires ne peuvent donner leur avis sur les objets qui leur sont soumis en vertu de la présente loi que si les deux tiers au moins de leurs membres sont présents. Ils peuvent recourir à toutes mesures d'instruction qu'ils jugent convenables.

Art. 21. — Les Conseils d'hygiène départementaux et les Commissions sanitaires doivent être consultés sur les objets énumérés à l'article 9 du décret du

18 décembre 1848, sur l'alimentation en eau potable des agglomérations, sur la statistique démographique et la géographie médicale, sur les règlements sanitaires communaux et généralement sur toutes les questions intéressant la santé publique, dans les limites de leurs circonscriptions respectives.

Art. 22. — Le Comité consultatif d'hygiène publique de France délibère sur toutes les questions intéressant l'hygiène publique, l'exercice de la médecine et de la pharmacie, les conditions d'exploitation ou de vente des eaux minérales, sur lesquelles il est consulté par le Gouvernement.

Il est nécessairement consulté sur les travaux publics d'assainissement ou d'amencé d'eau d'alimentation et sur le classement des établissements insalubres, dangereux ou incommodes.

TITRE III

Dépenses.

Art. 23. — Les dépenses résultant pour la commune ou les syndicats de communes de l'application des règlements sanitaires prévus par l'article premier de la présente loi sont comprises parmi les dépenses obligatoires pour les communes spécifiées à l'article 136 de la loi municipale du 5 avril 1884.

Les dépenses d'organisation et de fonctionnement du service de désinfection spécifiées à l'article 7, pour les villes de 20 000 habitants et au-dessus, ainsi que les dépenses d'organisation et de fonctionnement des Bureaux d'hygiène prévus par l'article 19, sont des dépenses obligatoires pour les communes.

Les dépenses d'organisation du service départemental de désinfection sont obligatoires pour les départements et les communes, suivant une proportion fixée par délibération du Conseil général, approuvée par le Ministre de l'Intérieur.

Les communes et les départements pourront être autorisés à établir des taxes pour le remboursement de leurs dépenses relatives à la désinfection.

TITRE IV

Pénalités.

Art. 24. — Sera puni des peines portées à l'article 471 du Code pénal quiconque, en dehors des cas prévus par l'article 21 de la loi du 30 novembre 1892, aura commis une contravention aux prescriptions des règlements sanitaires prévus aux articles 1 et 2, ainsi qu'à celles des articles 5, 6, 7, 8, 11 et 14.

Art. 25. — Quiconque, par négligence ou incurie, dégradera des ouvrages publics ou communaux destinés à recevoir ou à conduire des eaux d'alimentation; quiconque, par négligence ou incurie, laissera introduire des matières excrémentielles ou toute autre matière susceptible de nuire à la salubrité dans l'eau des sources, des fontaines, des puits, citernes, conduites, aqueducs, réservoirs d'eau servant à l'alimentation publique, sera puni des peines portées aux articles 479 et 480 du Code pénal. Tout acte volontaire de même nature sera puni des peines portées à l'article 257 du Code pénal.

Art. 26. — Seront punis d'une amende de 100 francs à 500 francs et, en cas de récidive, de 500 francs à 1 000 francs, tous ceux qui auront mis obstacle à l'accomplissement des devoirs des maires et des membres délégués des Commissions sanitaires en ce qui touche l'application de la présente loi.

Art. 27. — L'article 463 du Code pénal est applicable dans tous les cas prévus par la présente loi. Il est également applicable aux infractions punies de peines correctionnelles par la loi du 3 mars 1822.

TITRE V

Dispositions générales.

Art. 28. — La loi du 13 avril 1850 est abrogée, ainsi que toutes les dispositions des lois antérieures contraires à la présente loi.

Art. 29. — La présente loi n'est pas applicable aux ateliers et manufactures.

Art. 30. — Des règlements d'administration publique détermineront les conditions d'application de la présente loi à l'Algérie et aux colonies de la Martinique, de la Guadeloupe et de la Réunion.

Art. 31. — La présente loi ne sera exécutoire qu'un an après sa promulgation.

II. *Belgique.* — La Belgique n'a également de loi générale d'hygiène publique qu'en projet, et ce sont les anciennes lois françaises des 14 décembre 1789, 16 et 24 août 1790, 19-22 juillet et 23 septembre 1791 qui y sont encore en vigueur (1) ; toutefois, les pouvoirs qui en résultent pour les Municipalités sont restés plus étendus qu'en France, et il y a dès lors de nombreuses ordonnances ou règlements communaux. Les *Commissions médicales provinciales* n'ont pas une très grande action, mais il n'en est pas de même de la *Société de Médecine publique*. (Voir page 320 ce qui a été dit pour la déclaration des maladies contagieuses).

Nous avons sous les yeux une brochure intitulée : « *Instructions pratiques à l'usage des administrations et du public pour prévenir l'apparition des maladies transmissibles et combattre leur propagation* », brochure dont la première édition date de 1894 et dont la seconde édition vient de paraître en juin 1901. Elle a été répandue dans les communes par le Ministère de l'Agriculture, de l'Industrie et des Travaux publics, et son contenu peut être regardé comme un modèle. Il est intéressant d'en reproduire les premières pages :

Instructions générales se rapportant à toutes les maladies épidémiques et transmissibles

Pour prévenir l'apparition des maladies transmissibles et combattre leur propagation, il est nécessaire de recourir à des mesures de prophylaxie, dont les unes ne peuvent être exécutées que par les *particuliers*, les familles au domicile des malades ; les autres mises en œuvre seulement par les *administrations publiques*.

Ces mesures sont :

I. *L'information* de l'existence des cas de certaines maladies transmissibles, donnée aux autorités sanitaires par le père de famille ou la personne qui est

(1) Il faut y ajouter les lois du 30 mars 1836 et du 30 juin 1842.

chargée de ce soin en son absence et par le médecin traitant, en vue de permettre l'exécution immédiate des mesures nécessaires pour combattre la propagation de ces maladies.

II. *L'isolement*, c'est-à-dire l'éloignement de la famille, la séparation plus ou moins complète du malade des personnes saines ou d'autres malades, de manière à réduire au minimum la possibilité des dangers de transmission par rapports directs ;

III. *La désinfection*, qui comprend toutes les opérations ayant pour but d'anéantir les agents de transmission de la maladie, de tuer les microbes ou parasites pathogènes dans tout et sur tout ce qui provient du malade. Elle s'effectue soit à domicile, soit à la station de désinfection.

IV. *L'assainissement*, qui a pour but de combattre toutes les causes d'insalubrité prédisposant l'organisme à contracter les maladies transmissibles ou facilitant leur propagation. Il doit comprendre d'abord les mesures capables d'assurer une bonne hygiène des habitations : la propreté, l'aération, l'éloignement régulier des immodices, etc., et ensuite viser tous les moyens que l'hygiène publique met en œuvre afin de réaliser la salubrité des agglomérations, en y combattant l'encombrement et la malpropreté, en y amenant de l'eau potable protégée contre toute contamination, en enlevant systématiquement toutes les matières usées par des canalisations bien conditionnées, etc.

I. INFORMATION. — Il n'est pas de mesure plus *urgente* que celle de l'information donnée aux autorités sanitaires des cas de certaines maladies transmissibles.

Aussi la loi en fait-elle une obligation, sous peine d'amende et de prison, dans la plupart des pays.

Cette mesure est indispensable puisque, sans connaître l'existence de ces maladies, les autorités sanitaires ne sauraient pas appliquer, en temps utile, les moyens nécessaires pour protéger l'entourage des malades, leur famille et les familles voisines.

Il est donc de l'intérêt des parents des malades, des chefs d'établissement, d'institution, etc., des sociétés de secours mutuels, etc., de ne jamais cacher l'existence des cas de maladies venus à leur connaissance.

2 — *Le chef de ménage, ou à son défaut, les plus proches parents présents dans l'habitation, le principal occupant ou toute autre personne qui logerait le malade* doivent faire leur déclaration au bourgmestre ou au service sanitaire local (bureau d'hygiène), dès que le médecin a indiqué la nature de la maladie.

Si le cas s'est produit à bord d'un navire, d'un bateau ou d'une barque, l'information incombe *au capitaine, au patron ou à celui qui le remplace.*

Cette même information doit également être donnée à l'autorité sanitaire (1) par le *médecin traitant.*

Le *bourgmestre* doit notifier par la voie la plus rapide à l'autorité sanitaire du ressort et au Gouverneur de la Province la déclaration des maladies transmissibles qui lui parvient.

Il est utile que le bourgmestre notifie aussi ces déclarations aux chefs des administrations des communes limitrophes.

3. — Pour établir la nature de la maladie, dans les cas douteux de peste, de choléra, de diphtérie, de fièvre typhoïde, de tuberculose, etc., il est souvent nécessaire de recourir à l'analyse bactériologique. Le médecin et le bourgmestre peuvent réclamer ce diagnostic et l'obtenir sans frais des *Laboratoires officiels* ou *agréés.*

(1) D'après la législation actuelle, cette autorité sanitaire est la commission médicale provinciale du ressort.

4. — Tout cas de maladie transmissible signalé à l'administration communale doit faire l'objet d'une *enquête* de la part de cette administration.

L'enquête portera spécialement sur l'origine et le mode probable de propagation du mal, sur les conditions hygiéniques de l'habitation, sur la désignation des écoles fréquentées par les enfants habitant la maison, etc.

Elle indiquera, en outre, les mesures préventives à mettre en exécution et dont l'administration communale aura à surveiller l'application (isolement du malade, désinfection, assainissement, etc.).

II. ISOLEMENT. — 1. — L'isolement des personnes atteintes d'une maladie transmissible est une mesure des plus *rationnelles* à opposer à sa propagation.

Mais l'isolement complet n'est pas réalisable, car nécessairement le malade reste en rapport avec certaines personnes, certains objets. Il n'a donc pas une efficacité suffisante par lui-même. On doit le considérer plutôt *comme une mesure complémentaire et y recourir toujours en même temps qu'à la mesure essentielle : la désinfection.*

2. — L'isolement est surtout indispensable quand le ménage du malade n'a à sa disposition qu'un *logement étroit, encombré* ou lorsqu'il est exposé à recevoir de nombreux visiteurs, qu'il s'agit d'une *maison de commerce*, d'un *débit de boissons* ou de *denrées alimentaires* (pain, fruits, légumes, lait, etc.).

3. — Pour isoler convenablement un malade *à domicile*, il faut :

— Qu'une pièce de l'habitation soit réservée uniquement comme chambre de malade et que cette pièce n'ait pas de communication directe avec d'autres pièces, telles que boutique, magasin, cuisine, salle à manger, chambre à coucher, etc.

En outre, — la chambre d'isolement sera spacieuse, bien éclairée et bien aérée.

Enfin, — des mesures rigoureuses de désinfection devront être prises afin d'éviter de répandre la contagion au dehors de la chambre.

Dans ce but : — on éloignera toutes les personnes et tous les objets qui ne sont pas indispensables : rideaux, tentures, tapis, etc. ; — aucun objet, dont le malade a fait usage (vêtements, literie, mouchoirs, ustensiles de cuisine, de toilette, etc.), ne pourra sortir de la chambre sans y avoir été désinfecté au préalable, à moins qu'il ne s'agisse d'objets qu'on ne peut pas traiter sur place ou qui sont envoyés à la station de désinfection. On aura soin alors de les envelopper dans des draps ou des sacs mouillés avec une solution désinfectante — on placera le lit au milieu de la chambre ; — les gardes-malades porteront constamment au-dessus de leurs vêtements une longue blouse de toile qu'ils auront soin de laisser dans cette chambre avant de sortir et de désinfecter lorsqu'elle a été souillée ; — ils se désinfecteront les mains et le visage avec la solution de crésol chaque fois qu'ils ont été en contact avec le malade, avec des objets souillés, ainsi qu'avant leurs repas ; — ils auront soin de ne prendre aucune nourriture, aucune boisson dans la chambre. — En outre, les gardes-malades devront se soumettre à l'un ou l'autre procédé d'immunisation ou de vaccination dont il est question plus loin. (Voir aux *Instructions spéciales* les articles : peste, variole, diphtérie.)

4. — Si le malade ne peut être convenablement isolé à domicile, l'autorité communale le fera transporter dans un *hôpital*, un *lazaret* ou dans tout autre *local d'isolement*.

Si le transport ne peut se faire, elle pourra prescrire l'éloignement et la mise en observation de tous les membres de la famille qui ne soignent pas le malade et défendre rigoureusement les visites des parents, voisins et amis.

5. — Lors de l'apparition des premiers cas de peste, de choléra, etc., il est indispensable d'isoler les personnes formant l'entourage des malades. Elles

doivent être *mises en observation* et rester sous *surveillance médicale* pendant toute la durée d'incubation de ces maladies.

L'autorité communale aura recours pour cette mise en observation aux *postes sanitaires* ou, au besoin, à tout autre local pouvant en tenir lieu ; une maison vide, etc. Elle aura soin de faire procéder à une désinfection complète des vêtements, de la literie, du mobilier et des habitations elles-mêmes des familles mises en observation.

6. — A l'hôpital, les malades doivent être placés dans des pavillons entièrement séparés et y être soignés par un personnel spécial, qui n'aura pas accès dans les salles communes de l'établissement.

A défaut de *pavillon d'isolement* ou de *lazaret*, l'administration communale isolera les malades dans une maison appropriée à cet effet, de préférence située hors de l'agglomération et séparée de toutes autres habitations.

Les *écoles* ne doivent être utilisées que s'il est absolument impossible de trouver d'autres locaux dans la commune.

Tous les bâtiments où les malades auront séjourné doivent être ensuite désinfectés de la manière indiquée ci-après.

7. — Tout enfant présentant des signes prémonitoires ou des symptômes d'une maladie transmissible, telle que la *variolo*, la *diphthérie*, la *rougeole*, la *scarlatine*, etc., sera renvoyé d'urgence de l'école ; sa réadmission ne sera autorisée que sur production d'un *certificat médical* constatant que sa présence à l'école n'offre aucun danger et que ses vêtements, ses linges et son logement ont été désinfectés d'une manière efficace.

En tout cas, l'enfant ne pourra rentrer en classe qu'après la période indiquée dans les instructions spéciales pour chaque maladie. Les autres enfants, qui habitent un logement contaminé, devront être exclus de l'école pendant la même période.

L'école sera *licenciée* si l'autorité sanitaire locale ou provinciale le juge nécessaire.

L'établissement, où cette mesure aura été prise, sera *désinfecté* par les procédés indiqués ci-après.

L'*inspection médicale* régulière des écoles est instamment recommandée.

8. — Des *voitures spéciales*, faciles à désinfecter, seront affectées au transport des malades atteints d'affections transmissibles.

Si des *voitures publiques* ont servi à ce transport, elles seront immédiatement désinfectées à l'intervention de l'administration communale.

Si le transport s'est effectué par *chemin de fer*, l'administration compétente, avertie par le bourgmestre, veillera à ce que la désinfection ait lieu.

9. — Les *cadavres* des personnes qui ont succombé à une maladie transmissible, doivent être transportés dans le plus bref délai possible au dépôt mortuaire. Sur l'avis conforme soit du médecin délégué par la commune ou du médecin traitant, soit de l'autorité sanitaire locale ou provinciale, ils seront inhumés sans passer par l'église.

Le *transport* des corps sera soumis à telles conditions qui seront jugées nécessaires pour sauvegarder la santé publique. Il se fera dans des cercueils étanches, bien clos.

En cas de *transport par chemin de fer*, les prescriptions du règlement sur cet objet (*) seront scrupuleusement observées.

(*) Le règlement actuellement en vigueur est du 18 avril 1891. Toutes les dispositions générales et spéciales relatives aux transports funèbres, que ce soit à l'intérieur du pays, ou en transit ou bien de la Belgique à destination de l'étranger ou vice-versa se trouvent indiquées dans les articles 921 à 946 (pages 434 à 443) de l'instruction générale concernant les transports des marchandises, tapissières, etc., publiée par l'administration des chemins de fer de l'Etat belge. (Annexe n° 2 à l'ordre de service n° 215 de 1900, fascicule II, 1^{er} novembre 1900.)

L'exhumation des cadavres de personnes ayant succombé à une maladie transmissible ne pourra être autorisée par l'administration communale qu'après la prescription des précautions nécessaires. Celles-ci seront indiquées par l'autorité sanitaire.

III. DÉSINFECTION. — 1. — La désinfection est une mesure *essentielle* de prophylaxie, puisqu'elle fait directement obstacle à la transmission des affections microbiennes et parasitaires en anéantissant les agents de cette transmission.

Si on néglige la désinfection, les autres mesures resteront inefficaces.

2. — La désinfection se pratique à l'aide de substances chimiques ou par la vapeur.

(Suit l'énumération des procédés de désinfection et toutes indications utiles pour leur mise en œuvre tant pendant qu'après la maladie. Suivent ensuite des instructions spéciales sur chaque maladie contagieuse en particulier.)

III. *Hollande*. — C'est à la Hollande que revient l'insigne honneur d'avoir non seulement devancé les autres nations, mais même d'être allée plus loin qu'elles dans la prescription des mesures hygiéniques capables de défendre la santé publique. Aussi devons-nous citer en entier sa loi du 4 décembre 1872, en y apportant les légères corrections faites ultérieurement par les lois des 3 décembre 1874, 28 mars 1877, 8 avril 1899 et 21 juillet 1899. (Nous avons également sous les yeux des instructions et avis officiels pour la pratique de la désinfection, qui ont été rédigés avec beaucoup de soins et en grand détail par le Conseil sanitaire de la Hollande méridionale, et qui nous ont été communiqués, ainsi que les textes des lois ci-dessous, par M. le D^r Götte, secrétaire du Conseil médical à La Haye ; nous regrettons que la place nous manque pour les publier).

(N^o 134).

LOI du 4 décembre 1872 pour prévenir les maladies contagieuses en Hollande (1).

NOUS GUILLAUME III, par la grâce de Dieu, etc., etc.

A tous ceux qui liront ou entendront lire ces lignes, salut ! faisons savoir :

Ayant pris en considération qu'il est nécessaire de prescrire des dispositions pour combattre et prévenir les maladies contagieuses ;

Le Conseil d'Etat entendu et avec l'accord des Etats-Généraux, nous avons trouvé bon et nous trouvons bon d'ordonner ce qui suit :

Article premier. — Les maladies contagieuses, auxquelles cette loi est applicable, sont :

- a) le choléra asiatique,
- b) le typhus et la fièvre typhoïde ;
- c) la variole (et les varioloïdes) ;
- d) la fièvre scarlatine ;
- e) la diphtérie ;

(1) Traduction du Bureau de traductions techniques de M. Svilkossitch.

f) la dysenterie (1) ;

g) la peste ;

Une mesure générale de l'administration peut déclarer applicable cette loi en entier ou partiellement également à d'autres maladies, pour un temps déterminé, dans les communes indiquées, dans certaines parties du Royaume ainsi que dans tout le Royaume. La mesure n'est obligatoire que pendant un an après sa publication, à moins qu'elle ne soit confirmée par une loi avant l'expiration de ce délai.

Art. 2. — Le maire (bourgmestre) est autorisé, après avoir pris l'avis d'un médecin, de faire transporter des personnes, qui sont atteintes d'une maladie contagieuse et qui se trouvent dans des auberges ou des logements, dans un établissement public pour y être traitées, lorsque, suivant une déclaration conforme du médecin, l'état de ces personnes permet ce transport.

Art. 3. — Le maire est autorisé à prescrire et s'il est nécessaire à faire exécuter des mesures pour la désinfection des auberges et logements nommés dans le précédent article après avoir pris l'avis du fonctionnaire du service sanitaire, ainsi que d'autres mesures tendant à prévenir la propagation des maladies.

Lorsqu'il y aura opposition à l'exécution des mesures indiquées dans l'article précité, les auberges ou logements seront, après avis du fonctionnaire médecin, déclarés fermés par le bourgmestre pour un temps déterminé.

Art. 4. — Le maire est autorisé, après avoir pris l'avis du fonctionnaire cité dans l'article précédent, ou d'un médecin exerçant dans la commune, à faire nettoyer et désinfecter les maisons, salines et bateaux qui constituent ou menacent de devenir des foyers d'infection et ce, entièrement ou partiellement aux frais de la commune.

Art. 5. — Le maire est autorisé à faire détruire des objets contaminés ou suspects d'avoir été contaminés, aux frais de la commune, après leur expropriation préalable. Dans la décision qui sera prise à cet effet, les objets qui doivent être expropriés seront consignés avec les noms des propriétaires, et il y sera rapporté la déclaration d'un médecin avec les raisons qui ont rendu cette expropriation nécessaire. Cette décision sera, dans la forme habituelle, portée à la connaissance du public. Les objets et effets énumérés dans cette décision seront immédiatement saisis par le bourgmestre.

Sont applicables à cette expropriation les articles 70, 71 et 72 de la loi du 28 août 1851 (*Journal officiel*, n° 125).

Art. 6. — Lorsque le danger de maladies contagieuses a été constaté, le bourgmestre ou les magistrats (adjoints) pourront, aux frais de la commune, faire nettoyer (enlever) ou rendre innocives des agglomérations d'immondices et d'autres saletés, peu importe où elles se trouvent, assainir des mares et des fossés et prendre toutes autres mesures pour sauvegarder la propreté publique. Si cela n'a pas été fait par celui que cela concerne dans le délai ordonné, le nettoyage sera fait à ses frais.

Art. 7. — Dans chaque commune où cela a été ordonné par les Etats des députés de la province, l'administration de la commune est obligée d'établir un local pour l'isolement et le traitement des personnes atteintes de maladies contagieuses : il sera en même temps décidé si l'installation dont il s'agit doit être provisoire ou permanente.

Les administrations des communes situées l'une près de l'autre peuvent s'entendre au sujet de cette organisation en vertu des art. 121 et 122 de la loi communale.

Art. 8. — Il est interdit de transporter ou de faire transporter des personnes atteintes de maladies contagieuses, sauf dans les cas indiqués par la présente loi ;

(1) La rougeole a été supprimée par la loi du 21 juillet 1899, qui a ajouté la peste.

aux personnes atteintes de ces maladies de se déplacer ; de transporter des objets (effets) qui étaient en contact avec les malades ou morts d'une maladie contagieuse ou qui en proviennent, de faire transporter ces objets ou de les donner en cadeaux et d'en faire usage, de les prendre ou de les faire prendre, à moins que ces objets n'aient été au préalable désinfectés, suivant l'article 25 ; de faire naître par inadvertance ou imprévoyance le danger d'une contagion qui pourrait être prévue.

Art. 9. — Le transport des personnes atteintes d'une maladie contagieuse dans un hôpital ou dans leur logement est permis suivant les prescriptions locales à édicter dans ce but.

Dans des cas spéciaux, le transport de personnes atteintes d'une maladie contagieuse peut être autorisé par le maire aux conditions par lui prescrites.

Il est interdit de faire procéder à ce transport à l'aide des moyens de communication publics.

Les voitures ou bateaux par lesquels ce transport a eu lieu doivent être désinfectés immédiatement après par les soins et aux frais du propriétaire.

Lorsque ce transport est effectué dans une autre commune, le maire de la commune du départ donne immédiatement connaissance au maire de la commune de destination du permis accordé et des prescriptions édictées à cet effet.

Il est permis, en tenant compte des prescriptions du maire, de transporter des effets ou objets à l'endroit où ils doivent être désinfectés.

Art. 10 (Texte de la loi du 28 mars 1877).

Sans préjudice des dispositions légales pour combattre la contagion par les navires arrivant par mer, les patrons de navires dans lesquels se trouve une personne atteinte d'une des maladies déclarées contagieuses par l'article 1 de la présente loi, ou dans lesquels une personne atteinte de l'une de ces maladies est décédée dans les derniers quatorze jours sont tenus, avant ou au moment de leur abordage du territoire d'une commune qu'ils veulent traverser ou dans lequel ils veulent s'arrêter, de donner connaissance au bourgmestre des circonstances précitées. Ils sont tenus de relâcher à l'endroit indiqué par lui et de rester constamment sans contact avec le rivage ou avec d'autres bateaux, jusqu'à ce que la désinfection ait eu lieu en vertu de l'article 25.

Cette interdiction de toucher le rivage ferme ou d'entrer en contact avec d'autres bateaux est étendue en ce qu'aucune personne qui se trouve à bord ne peut quitter le navire et que personne ne peut y monter, à l'exception du pilote, du médecin chargé de l'examen sanitaire et des personnes procédant à la désinfection, des médecins et prêtres (ministres du culte) chargés des secours médicaux et religieux aux malades, des fonctionnaires d'Etat dans l'exercice de leurs fonctions, comme aussi des fonctionnaires de police et de justice lorsque leurs fonctions de service l'exigent ; en outre, aucunes marchandises ne peuvent être débarquées, ni aucunes autres embarquées que celles qui sont nécessaires à la satisfaction des personnes à bord et pour les soins des malades, avec la restriction que les personnes qui sont chargées du transport de ces marchandises ne puissent pas se rendre à bord. Les effets (habits) des personnes qui, en vertu de ce qui précède, ont été retenues à bord seront immédiatement, après que celles-ci auront quitté le bateau, désinfectés suivant les prescriptions de l'article 25. Ceux qui s'opposent à cette interdiction, et qui se seront rendus à bord seront considérés comme étant arrivés par le bateau et soumis aux mêmes prescriptions que ceux-ci, sans préjudice des pénalités qu'entraîne la transgression par eux effectuée des dispositions de cette loi.

Art. 11. — Les personnes mortes de choléra asiatique, de typhus ou fièvre typhoïde, de variole, de scarlatine, de dysenterie, de diphtérie ou de peste, ne peuvent être transportées dans d'autres cimetières généraux ou particuliers que ceux qui servent à l'usage des habitants de la commune.

Ce transport ne pourra pas s'exécuter dans des voitures ou bateaux destinés aux personnes vivantes et doit se faire suivant le trajet le plus court.

L'article 11 de la loi du 10 avril 1869 (*Journal officiel* n° 65) reste applicable.

Art. 12. — Un an au plus après la mise en vigueur de la présente loi, on établira dans chaque cimetière un local pour la réception provisoire des morts d'une maladie contagieuse quelconque. A défaut de s'être conformé à cette prescription, ce local sera établi par les soins de Notre Commission de la province, aux frais de la commune et, autant qu'il existe un cimetière spécial, par les soins du bourgmestre et des magistrats (adjoints) aux frais de ceux à qui cela incombe et ce, dans le délai minimum.

Art. 13. — Sans préjudice de l'article 6 de la loi du 10 avril 1869 (*Journal officiel*, n° 65), le bourgmestre peut, lorsque le souci de la santé des habitants d'une maison où quelqu'un est mort ou de la population de la commune l'exige, aux frais de la commune s'il est nécessaire, ordonner le transport immédiat au dépôt mortuaire d'une personne morte d'une maladie contagieuse.

Art. 14. — Les habitants de maisons ou de bateaux où une maladie contagieuse a été constatée ne pourront fréquenter des écoles qu'après huit jours à partir du jour où, suivant la déclaration d'un médecin, la maladie a disparu de ces maisons ou de ces bateaux.

Cette interdiction sera annulée lorsque la désinfection aura eu lieu suivant l'article 25 de la présente loi.

Art. 15. — Les chefs des établissements énoncés à l'article précédent ne pourront pas admettre dans ces établissements, tant que dure l'interdiction, les personnes dont il s'agit dans le précédent article.

Art. 16. — Sans préjudice de l'information faite, suivant les prescriptions de l'article 6 de la loi du 1^{er} juin 1865 (*Journal officiel*, n° 60), à un médecin-inspecteur qu'un malade est atteint de choléra asiatique, de variole ou de peste, le médecin ayant fait cette information est tenu d'informer, dans le délai de 24 heures, le bourgmestre de la commune où le cas s'est produit.

Le bourgmestre envoie immédiatement une copie de l'information au fonctionnaire du service sanitaire.

Art. 17. — Les institutrices, les institutrices d'enfants qui, suivant les indications d'un médecin n'ont pas subi plus d'une fois avec succès la vaccination ou qui n'ont pas été atteints de la variole des enfants, ne seront pas admis dans les écoles.

La forme, l'endroit, le mode de production, de conservation et de restitution des déclarations faites dans ce but, seront édictés et prescrits par une mesure générale de l'administration intérieure.

Art. 18. — Dans chaque commune, il sera procuré par les soins de l'administration communale, au moins une fois tous les trois mois, l'occasion de vaccination et revaccination gratuites. Cette occasion sera procurée au moins une fois par mois lorsque Notre Ministre de l'Intérieur aura porté à la connaissance générale que la variole s'est déclarée dans une partie du Royaume à l'état épidémique, et au moins une fois par semaine lorsque la variole s'est déclarée dans la commune même. Les heures et l'endroit auxquels la vaccination se fera seront portés à la connaissance générale par un avis au public.

Pour allouer des subsides destinés à couvrir en partie les frais occasionnés par ces opérations, il sera prévu tous les ans une somme déterminée dans le budget de l'Etat.

Art. 19. — Le chef d'une famille, le tenancier ou les tenanciers d'une auberge ou d'un logement, le patron (capitaine) d'un bateau (d'un navire) qui traverse une commune, les administrateurs d'institutions de bienfaisance énon-

cés aux articles 1 et 2 de la loi du 28 juin 1854 (*Journal officiel*, n° 100), ceux des prisons, des dépôt de mendicité et d'asiles d'aliénés, seront tenus de donner connaissance au bourgmestre qu'une maladie s'y est déclarée, 24 heures après la constatation de cette maladie contagieuse, ce délai compté depuis le moment où ils en étaient informés.

La même prescription est applicable aux commandants de détachements militaires et de navires de guerre à l'ancre dans les ports, des officiers qui exercent une surveillance sur des casernes, des embarcations et d'autres locaux.

Art. 20. — Les maisons et les bateaux, dans lesquels une maladie contagieuse s'est déclarée seront immédiatement et, au plus tard 24 heures après que le bourgmestre en aura été informé, signalés par un écriteau bien visible et durable et s'il est nécessaire, par plusieurs écriteaux, portant les mots « maladie contagieuse » et le nom de la maladie ; le tout aux frais de la commune.

Cette indication sera maintenue jusqu'à ce qu'une déclaration d'un médecin aura constaté que le danger de contagion a disparu.

Art. 21. — Dès qu'une maladie a été constatée par le médecin dans une commune, celui-ci en informera le bourgmestre qui portera à la connaissance du public qu'une maladie contagieuse s'est déclarée dans la commune à l'état épidémique.

A partir de ce moment, le bourgmestre fera connaître toutes les semaines, la semaine étant comptée du lundi jusque et y compris le dimanche, en cas de choléra asiatique, de typhus ou fièvre typhoïde, de variole, de scarlatine, de dysenterie, de diphtérie ou de peste le nombre des personnes atteintes ainsi que celui des personnes mortes de ces maladies.

Art. 22. — Lorsqu'on a constaté l'épidémie de choléra asiatique, de variole, de scarlatine ou de peste dans une commune, il ne pourra pas s'y tenir de kermesses ni de foires. Elles seront dans ces cas suspendues par l'administration communale.

Art. 23. — Lorsqu'une épidémie de maladies contagieuses se déclare, la tenue des kermesses et des foires, si elle n'a pas été suspendue par l'administration communale peut être interdite par Nous dans les communes, dans certaines parties du Royaume ou dans tout le Royaume.

Art. 24. — Lorsque dans une commune le choléra asiatique ou la peste sont constatés, le bourgmestre, indépendamment de la prescription du deuxième alinéa de l'article 21 de la présente loi, doit porter le fait à la connaissance des habitants. Ensuite, il fera connaître journellement combien de personnes ont été atteintes par ces maladies dans les 24 heures écoulées et combien en sont mortes.

Art. 25. — Nous édicterons, par mesure générale de l'administration intérieure, des règles concernant l'incinération ou la destruction par d'autres moyens des effets expropriés en vertu de la présente loi, la désinfection d'effets contaminés énumérés à l'article 8, la désinfection des bâtiments, voitures et bateaux, et les mesures destinées à rendre innocives les fumiers et autres agglomérations d'immondices, l'établissement et la pose des écriteaux dont il a été question à l'article 20.

Art. 26. — Lorsque les mesures qui seront prescrites par le bourgmestre en vertu de la présente loi, auront été prises, celui-ci en informera immédiatement le fonctionnaire du service sanitaire.

Lorsque le fonctionnaire du service sanitaire estime que le bourgmestre d'une des communes qui font partie de son ressort n'a fait aucun usage ou n'a fait qu'un usage insuffisant de l'autorisation que lui accorde la présente loi (au bourgmestre) et consistant en ce qu'il peut prendre des mesures ou édicter des prescriptions, ce fonctionnaire en donnera connaissance au bourgmestre par écrit en citant le présent article de loi et en indiquant les mesures et prescrip-

tions qu'il (le fonctionnaire) estimera nécessaire de prendre, ainsi que le délai dans lequel le bourgmestre devra prendre ou édicter ces mesures et prescriptions. En même temps, le fonctionnaire du service sanitaire enverra une copie de la mise en demeure au Commissaire de la Reine de la province. Aussitôt que possible, et immédiatement après que le délai indiqué dans la mise en demeure du fonctionnaire sanitaire se sera écoulé, le maire est tenu de donner connaissance par écrit au commissaire royal de la province que l'avis du fonctionnaire sanitaire a été suivi d'effet ou, si ce n'est pas le cas, ce qui a empêché de prendre et d'édicter les mesures et prescriptions que le fonctionnaire a estimées nécessaires. Le bourgmestre délivrera de cet avis une copie en même temps au fonctionnaire sanitaire. (Ce deuxième alinéa a été ajouté par la loi du 8 avril 1893).

Art. 27. — Sans préjudice de l'article 5 de la loi du 1^{er} juin 1865 (*Journal officiel*, n° 58), les fonctionnaires du service sanitaire, les membres et les membres suppléants des conseils sanitaires, pourvus d'une autorisation du fonctionnaire sont autorisés, lors de l'apparition de maladies contagieuses, à entrer, entre le lever et le coucher du soleil et dans le cercle où ils sont nommés, dans les logements des habitants, malgré l'opposition de ceux-ci, mais seulement en présence du juge du canton ou bien du chef ou d'un membre de l'administration communale.

De cette entrée et des motifs qui l'ont rendue nécessaire, celui qui, en vertu de la disposition ci-dessus, a été présent pendant la visite du logement sera tenu de dresser dans le délai de deux fois 24 heures un procès-verbal et d'en délivrer copie à celui dans le logement duquel on est entré.

Art. 28. — Le bourgmestre, seul, ou en présence de personnes qu'il croit nécessaire d'appeler dans ce but, est autorisé d'entrer dans les logements des habitants, malgré leur opposition, entre le lever et le coucher du soleil pour procéder à l'exécution des dispositions de la présente loi ou des prescriptions édictées en vertu d'elle.

Art. 29. — Les administrations provinciales, ou communales sont autorisées à établir des règlements concernant l'existence des maladies contagieuses, les mesures destinées à les combattre et à les faire disparaître, pourvu que ces règlements ne soient pas en contradiction avec les dispositions de la présente loi.

Dispositions pénales.

Art. 30. — Seront punis d'une amende de 5 à 25 florins et de un à trois jours de prison, en commun ou isolément :

1^o Ceux qui ne se seront pas conformés aux prescriptions édictées par le maire, en vertu de l'art. 3, premier alinéa et de l'article 9, sixième alinéa.

2^o Ceux qui auront agi contrairement à l'article 11, premier et deuxième alinéas, ainsi qu'aux articles 14, 15, 16 et 17.

Sont punissables les parents ou les tuteurs des enfants qui enverront ceux-ci dans les écoles, aux cas prévus par les articles 14 et 17.

Sont punissables les chefs d'établissements qui, contrairement à l'article 17, ont permis aux instituteurs et institutrices l'entrée dans les écoles ainsi que les instituteurs et les institutrices mêmes qui ont donné l'enseignement dans les écoles.

3^o Ceux qui auront agi contrairement aux articles 8 et 9, quatrième alinéa, lorsqu'ils auront connu la nature de la maladie.

Art. 31. — Seront punis d'une amende de 10 à 100 florins et de 3 jours à un mois de prison, en commun ou isolément.

1^o Ceux qui s'opposeront à l'exécution des mesures édictées en vertu de l'article 3, deuxième alinéa, des articles 4, 5, 6, 13 et 20 sans préjudice des peines édictées en cas de rébellion par le Code pénal.

2^o Ceux qui auront agi contre l'article 9, troisième alinéa, contre les articles

10, 11, deuxième alinéa, lorsqu'ils auront connu la nature de la maladie, et contre l'article 19.

3° Ceux qui auront enlevé, déplacé ou rendu illisibles ou invisibles les écrits énoncés à l'article 20.

Art. 33. — Seront punis d'une amende de 25 à 75 florins, ceux qui auront refusé l'entrée aux personnes énumérées aux articles 27 et 28.

Art. 33. — L'article 463 du Code pénal et l'article 20 de la loi du 20 juin 1854 (*Journal officiel*, n° 102) sont applicables aux délits prévus par les articles 30, 31 et 32.

Disposition finale.

Art. 34. — La présente loi sera mise en vigueur à partir du 1^{er} mai 1873.
Ordonnons et enjoignons, etc.

Donné à La Haye, le 4 décembre 1872.

Signé : GUILLAUME.

Le Ministre de l'Intérieur,

Signé : GEERTSEMA.

Publié le 10 décembre 1872.

Le Ministre de la Justice,

Signé : DE VRIES.

IV. *Angleterre et Ecosse.* — Chacun sait que l'Angleterre a, dans le *Public Health Act 1875* un admirable Code d'hygiène publique, et on peut dire que son organisation sanitaire basée sur la surveillance permanente des *Surveyors* et des *Sanitary Inspectors*, des *Medical officers of Health*, des *Local Boards of Health* et enfin du *Local Government Board*, peut défier, comme lors des menaces de peste de 1897, l'invasion d'une épidémie. Comme l'écrivait alors M. Vintras « les autorités sanitaires de ce pays sont toujours en état de paix armée ; le public le sait et ne s'effraie pas. »

Ne pouvant citer le texte entier de cet Act, nous en reproduisons, outre ce que nous avons déjà dit page 320, le résumé que donne Palmberg (ouvrage cité) en ce qui concerne les maladies contagieuses.

« Dès que le *Medical officer of health* ou un médecin praticien déclare que, pour prévenir la contagion, une maison a besoin d'être nettoyée et désinfectée, l'autorité locale en donne l'ordre par écrit. Si à cause de sa pauvreté ou une autre raison, le locataire ou le propriétaire ne peut se conformer à l'ordre donné, l'administration s'en charge aux frais de la commune.

Le *Local Board of Health* a le droit, s'il le juge nécessaire, de faire détruire les vêtements et objets de literie infectés. Le propriétaire est dédommagé de cette perte à moins qu'il ne se soit attiré la maladie par sa propre faute.

Les malades sont transportés gratuitement à l'hôpital ou ailleurs par les soins de l'administration sanitaire qui fait aussi exécuter la désinfection. Elle fait transporter et soigner gratuitement à l'hôpital spécial ou dans un autre lieu d'isolement, toute personne qui, atteinte d'une maladie contagieuse, ne possède pas une habitation pour elle seule ou qui habite un logement occupé par plus

d'une famille. Il en est de même pour tout malade demeurant à bord d'un navire ou dans un garni.

Afin de préserver les gens en bonne santé de tout contact avec les malades et avec les hardes infectées, il est défendu, sous peine d'amende :

1° A toute personne atteinte d'une maladie contagieuse de se montrer, avec intention et sans avoir pris les précautions nécessaires, dans les rues, sur les places, dans les boutiques, les hôtels ou les voitures publiques. Elle doit, en montant dans un fiacre, prévenir le cocher de sa maladie ;

2° A toute personne au service des malades de les laisser agir comme il est dit § 1 ;

3° A tout le monde de donner, prêter, vendre, expédier ou exposer des objets de literie, vêtements ou autres objets qui ont été en contact avec des malades atteints d'une affection contagieuse et qui n'ont pas été désinfectés.

Toute voiture qui a servi au transport, consenti par le cocher, d'une personne atteinte de maladie contagieuse, sera immédiatement désinfectée. En sus du prix de sa course, le cocher reçoit le montant des frais de désinfection.

La maison ou la chambre où a séjourné un malade ne peut être louée à un nouveau locataire, avant d'avoir subi une désinfection reconnue suffisante par certificat d'un médecin.

Tout propriétaire d'un hôtel doit s'engager à ne pas laisser habiter une chambre infectée.

Toute personne qui met en location partie ou totalité d'une maison sans prévenir de la présence actuelle ou pendant les six dernières semaines d'un malade contagieux, est passible de réclusion.

Le Local Government Board a le droit de prescrire les mesures à prendre contre le choléra ou toute autre épidémie sévissant dans quelque partie du royaume. Ces ordonnances seront publiées dans la *London Gazette*. Quiconque refuse de s'y conformer ou en contrarie quelque'une des prescriptions est passible d'une amende de 1 250 francs au maximum. »

L'Écosse s'est donné récemment une loi sanitaire : Public Health Act 1897. Non seulement cette loi oblige à la déclaration des maladies contagieuses mais, en cas de soupçon, elle autorise le Medical officer of Health à aller dans toute maison et à procéder à l'examen de toute personne. Les habitants d'une maison où s'est déclaré un cas peuvent en être éloignés ; tout malade contagieux peut être transporté d'office à l'hôpital si son logement ne paraît pas convenable pour le soigner et l'isoler, ou si on ne peut y prendre les précautions voulues pour sauvegarder les voisins, etc.

V. *Suède et Norvège*. — La Suède a un Code d'hygiène qui date du 25 décembre 1874 avec amendement du 6 novembre 1885. Il institue les *Commissions de salubrité* dont les pouvoirs en matière d'hygiène publique sont très étendus. Tout cas de maladie contagieuse doit naturellement être déclaré par le médecin au président de la Commission de salubrité : celle-ci doit alors veiller, nous dit Palmberg :

« Au transport immédiat des malades dans un hôpital spécial ou dans un local *ad hoc*, à moins toutefois que ce transport ne mette en péril la vie du malade, ou qu'il ne soit soigné à domicile suivant des mesures acceptées par la Commission ;

A la désinfection immédiate de l'habitation, des vêtements, literie, etc., d'un malade décédé, guéri ou parti pour l'hôpital ;

A ce que les voitures publiques ne transportent point de malades ;

A la désinfection, après chaque transport, des brancards et chaises à porteurs ;

A la désinfection des vêtements des malades et des effets de l'hôpital prêtés ou vendus. »

Dans les petites localités, où il n'y a pas de Commission de salubrité, c'est le médecin traitant qui doit prévenir le président du Conseil communal des maladies contagieuses et lui indiquer les mesures à prendre : le Conseil doit s'y conformer autant qu'il est possible.

La Norvège a également une loi sanitaire excellente (loi du 10 mai 1860), courte, mais expressive et que le Dr Axel Holst ne craint pas d'appeler un chef-d'œuvre. Elle institue aussi dans chaque commune une *Commission sanitaire*, dont le Président est un médecin nommé par l'Etat et qui a toute la charge du service hygiénique. Grâce aux bonnes habitudes que les médecins ont fait prendre à la population, l'hospitalisation des contagieux est devenue la règle (la crainte de voir leurs maisons affichées, leurs enfants éloignés des écoles, etc., fait accepter aux malades assez facilement cette mesure) : l'hospitalisation des lépreux a, de son côté, été déclarée obligatoire et on a obtenu une grande diminution de cette terrible maladie. La désinfection peut être rendue obligatoire et exécutée d'office par une décision de la commission sanitaire. Enfin, comme nous l'avons dit plus haut, la Norvège vient de donner l'exemple au monde civilisé en s'attaquant courageusement à la tuberculose et édictant une loi dont nous devons donner le texte entier :

Loi norvégienne du 8 mai 1900, relative à tuberculose

§ 1^{er}. — Les prescriptions de cette loi concernent toutes les maladies de nature tuberculeuse, en tant qu'elles sont accompagnées de sécrétions susceptibles de propager la maladie.

§ 2. — Chaque médecin doit, la première fois qu'il traite un cas de telle maladie, en informer le président de la commission sanitaire locale. Il en sera de même pour les cas déjà en traitement au moment où la loi entrera en vigueur.

§ 3. — En cas de décès, celui à qui incombe, selon la législation ordinaire, le devoir de déclarer le décès, doit en informer le médecin qui a traité le malade, et qui de son côté prévient le président de la commission sanitaire. Si le malade n'était pas soigné par un médecin, la déclaration de décès est faite directement au président de la commission sanitaire.

Par application des paragraphes 4 et 11 de la loi du 16 mai 1860, il peut être

prescrit que la déclaration sera faite également lorsque le malade déménagera ; cette loi indique à qui incombe le devoir de cette obligation. La commission sanitaire décide dans quel délai ces déclarations doivent être faites.

§ 4.— Si le malade est soigné par un médecin, ce dernier doit indiquer les mesures à prendre pour empêcher la propagation de la maladie. De plus, il doit veiller à leur exécution, suivant les exigences de chaque cas particulier.

Si le médecin traitant ne se croit pas en état de faire appliquer les mesures hygiéniques d'une manière satisfaisante, il doit prévenir le président de la commission sanitaire en signalant les difficultés possibles d'exécution.

Sur la demande du président de cette commission, le médecin traitant est tenu de donner tous les renseignements nécessaires sur les conditions hygiéniques concernant chaque cas spécial.

§ 5.— Si le malade n'est pas soigné par un médecin, le président de la commission sanitaire lui-même, ou un médecin délégué par lui, doit faire le contrôle hygiénique suivant la nature et les besoins de chaque cas particulier.

C'est lui également qui doit se charger du contrôle hygiénique, dans le cas où les prescriptions du médecin traitant ne sont pas suivies.

On peut exiger que les mesures prises par le président de la commission sanitaire conformément à ce paragraphe soient portées devant la commission elle-même.

§ 6.— Si le président trouve que l'état du malade ou les conditions de son logement font craindre que la maladie se propage à d'autres personnes, il doit soumettre le cas à la commission sanitaire, laquelle se prononcera sur les mesures à prendre. Si le malade ou son entourage néglige de suivre les prescriptions de la commission sanitaire, et s'il est, par conséquent, impossible de procurer au malade les soins nécessaires pour éviter la propagation de la maladie, la commission sanitaire peut décider l'hospitalisation du malade. Toutefois, il n'est pas permis de séparer les époux qui désirent rester ensemble.

§ 7.— En cas de décès ou de déménagement d'un malade, les chambres occupées par celui-ci, ainsi que ses vêtements et garnitures de lit, doivent être nettoyés et désinfectés dans la mesure exigée par les circonstances.

Ces chambres ne peuvent pas être occupées par d'autres personnes avant d'avoir été désinfectées.

§ 8 — Les vêtements et garnitures de lit appartenant à un malade ne doivent pas être donnés à d'autres en toute propriété ou en usufruit avant d'être désinfectés d'une manière jugée suffisante.

Des instructions détaillées concernant le nettoyage et la désinfection mentionnés dans ce paragraphe et dans le précédent seront données par la commission sanitaire.

§ 9.— Les personnes atteintes des maladies visées par cette loi ne doivent pas être confiées par l'assistance publique aux soins de personnes privées, sans la permission de la commission sanitaire.

Les indigents tuberculeux ne doivent pas être confiés aux soins d'un district de charité. L'assistance publique ne peut placer personne dans un ménage où se trouve un malade tuberculeux sans la permission de la commission sanitaire.

§ 10.— S'il n'y a pas d'autre moyen d'écarter le danger de la propagation de la maladie, la commission sanitaire peut défendre aux personnes atteintes de prendre part à la préparation de vivres destinés à la vente, ou de s'occuper directement de la vente des substances alimentaires.

La commission sanitaire peut défendre aux femmes atteintes de maladie tuberculeuse de se placer comme nourrices ou comme bonnes d'enfants.

Quand il y a un danger imminent de propagation de la tuberculose par le lait, la commission sanitaire peut défendre la vente de lait provenant de lieux où des personnes atteintes de maladies tuberculeuses s'occupent de la garde et des soins des vaches ou du traitement du lait.

§ 11.— Après avoir demandé l'avis des commissions sanitaires locales, le roi, ou son mandataire autorisé, en vue d'empêcher la propagation de la maladie visée dans la présente loi, peut prendre des ordonnances concernant :

a) Les ateliers, fabriques, bureaux, magasins et autres locaux où travaillent continuellement et en même temps des personnes ne faisant pas partie du ménage;

b) Les hôtels, sanatoriums et habitations privées, dont les habitants font métier de recevoir des voyageurs comme locataires;

c) Les lieux de réunion, comme églises, écoles, salles de vente, salles d'audience, théâtres, salles de danse, salles de concerts et de réunions, etc.;

d) D'autres locaux servant à la vie en commun et présentant des conditions particulières, tels que : prisons, asiles d'aliénés et autres hôpitaux, cabines, wagons, casernes, barques de pêcheurs, etc.

§ 12.— Le roi, ou le représentant de l'autorité royale, rédige les règlements détaillés sur le mode de déclaration et d'information, ainsi que sur les rapports et les communications à faire par les présidents des commissions sanitaires et par les médecins traitants. Les instructions générales nécessaires pour l'exécution de la loi sont données par la Direction du service médical civil; celle-ci doit également assister les commissions sanitaires et les médecins en ce qui concerne les mesures à prendre.

§ 13.— Les présidents des commissions sanitaires et les autres médecins délégués engagés par ces commissions recevront, pendant les voyages nécessités par l'application de cette loi, l'indemnité ordinaire de route; les frais de voiture, de chemin de fer, etc., sont payés par l'Etat, les frais d'aliments par le département ou par le budget de la ville visitée. Les dépenses causées par l'hospitalisation des pauvres et par leur entretien en dehors de leur domicile conformément au paragraphe 6, sont également payées par le département ou sur le budget de la ville en question, mais de telle manière que l'Etat en rembourse les quatre dixièmes.

Par décision du conseil du département, la moitié au plus des frais du département peut être rejetée sur la commune de domicile du malade.

Les frais des désinfectants nécessaires sont supportés par le département ou le trésor de la ville en question. Pourtant les propriétaires de sanatoriums ainsi que d'autres établissements qui reçoivent des malades payants doivent supporter eux-mêmes ces dépenses.

§ 14.— Les infractions à cette loi ou aux règlements annexés entraîneront une amende de deux couronnes (2^f 90) et davantage, et seront poursuivies devant un tribunal de police.

§ 15.— Cette loi entrera en vigueur le 1^{er} janvier 1901.»

VI. *Allemagne.* — Nous connaissons déjà (voir p. 321) le rôle de surveillance du *Kreisphysicus*, du *Medizinalrath* et en tête du *K. Gesundheitsamt*. Nous savons aussi que chaque Etat particulier a des règles qui complètent (pour la fièvre typhoïde et quelques autres maladies) les prescriptions de la loi d'Empire du 30 juin 1900, et nous nous bornerons dès lors à donner en plus le texte de cette nouvelle loi qui est d'une importance capitale :

Loi du 30 juin 1900 en Allemagne.

NOUS, GUILLAUME, par la grâce de Dieu Empereur d'Allemagne, Roi de Prusse etc.

Ordonnons, au nom de l'Empire, après l'assentiment du Conseil Fédéral et du Reichstag, ce qui suit :

Déclaration obligatoire

§ 1. Tout cas de maladie et de décès causé par lèpre, choléra (asiatique), typhus exanthématique, fièvre jaune, peste (bubonique), variole, et quand il y a soupçon d'une de ses maladies, doit être immédiatement déclaré à la police, dont relève le lieu de séjour du malade ou du décédé.

Le changement du lieu de séjour du malade doit être immédiatement déclaré à la police de l'ancien lieu et à celle du nouveau lieu.

§ 2. Sont obligés à la déclaration.

1. le médecin traitant
2. le chef de famille ou le patron,
3. chaque autre personne qui traite ou soigne le malade,
4. le locataire ou le propriétaire de chaque logement ou maison, où une maladie ou un décès s'est présenté.
5. le médecin chargé à faire les constatations légales.

Les personnes mentionnées sous les numéros 2—5 ne sont astreintes à la déclaration obligatoire que dans le cas, où une autre personne obligée, mentionnée antérieurement, n'existe pas.

§ 3. Pour les cas de maladie et de décès, se présentant dans les hôpitaux publics, les maternités, les asiles, les prisons et d'autres établissements semblables, le directeur de l'établissement ou la personne, commissionnée officiellement par l'autorité compétente à faire la déclaration, doit faire la déclaration.

Quant aux bateaux et aux radeaux, le batelier ou conducteur du radeau ou leurs remplaçants doivent faire la déclaration. Le Conseil Fédéral est autorisé à déterminer, à qui la déclaration des cas de maladies et de décès, qui se sont produits à bord de bateaux et sur les radeaux doit être faite.

§ 4. La déclaration peut se faire verbalement ou par écrit. Les administrations de la police délivreront sur la demande et gratuitement des formulaires destinés aux déclarations écrites.

§ 5. Les règlements, en vigueur dans les Etats fédérés et qui tendent à une obligation plus étendue de la déclaration, ne sont pas supprimés par la présente loi.

Les prescriptions sur la déclaration obligatoire (§§ 1—4) peuvent, par ordonnance du Conseil Fédéral, être mises en vigueur à d'autres maladies transmissibles, qui ne sont pas dénommées dans l'alinéa 1 du premier paragraphe.

Constatation de la maladie

§ 6. L'administration de la police, étant informée de l'apparition ou d'un cas suspect de l'apparition d'une des maladies (maladies contagieuses offrant un danger général) précitées dans l'alinéa 1 du paragraphe 1, avertira le médecin compétent délégué. Ce dernier fera immédiatement, sur les lieux, les constatations concernant la nature, l'état et l'origine de la maladie, et il rapportera à l'administration de la police, si l'apparition de la maladie a été constatée ou le

soupçon de l'apparition a été fondé. Si besoin est, le médecin délégué peut faire la constatation sans avertissement préalable de l'administration de la police,

Les localités de plus de 10 000 habitants sont soumises aux règlements de l'alinéa 1 dans le cas même où les maladies ou les décès se sont produits dans une partie isolée de la localité, qui jusqu'alors est restée indemne de la maladie.

L'autorité préposée peut demander des rapports sur chaque cas de maladie et de décès. Tant que cette demande n'est pas faite, le médecin délégué, après la première constatation de la maladie, ne fera qu'avec le consentement de l'administration subordonnée ses recherches qui se restreignent seulement sur l'étendue et la durée de la propagation de la maladie.

§ 7. Il est permis au médecin délégué, quand il le croit nécessaire pour constater la maladie et admissible sans causer du mal au malade, de visiter le malade ou le décédé et de faire les recherches nécessaires pour la constatation de la maladie. Quand il y a soupçon de choléra, de fièvre jaune et de peste, l'autopsie du corps peut être ordonnée par la police, tant que le médecin délégué le croit nécessaire à la constatation de la maladie.

Le médecin traitant est autorisé à assister aux recherches et notamment à l'autopsie.

Les personnes mentionnées dans les paragraphes 2 et 3 sont obligées, de donner au médecin délégué et à l'autorité compétente sur la demande, des renseignements sur les circonstances importantes, concernant l'origine et la marche de la maladie.

§ 8. Quand le médecin délégué, dans son rapport, a constaté l'apparition de la maladie ou qu'il a motivé le soupçon de l'apparition, l'administration de la police doit immédiatement exécuter les mesures de précaution, qui sont nécessaires.

§ 9. Quand il y a péril en la demeure, le médecin délégué peut ordonner, avant l'intervention de la police même, les mesures nécessaires pour éviter la propagation de la maladie. Le maire de la localité se soumettra aux dispositions prises par le médecin délégué. Ce dernier rapportera immédiatement, par écrit, à la police; ces dispositions resteront en vigueur jusqu'à que l'autorité compétente ait ordonné d'autres dispositions.

§ 10. Dans les localités et districts atteints ou menacés d'une maladie offrant un danger général, l'autorité compétente peut décider, que chaque corps, avant l'enterrement, sera soumis à une autopsie d'office.

Mesures de préservation.

§ 11. Pour éviter la propagation des maladies offrant un danger général, des mesures de fermeture et de surveillance peuvent, pendant la durée du danger d'épidémie, être prises conformément des §§ 12 à 21.

La constatation des mesures à prendre n'a pas d'effet de suspension.

§ 12. Les malades et les personnes suspectes de maladies ou d'infection peuvent être soumises à une observation. Une restriction dans le choix du séjour ou du lieu de travail n'est admissible qu'aux personnes sans abri ou sans résidence déterminée, ou aux bohémiens et vagabonds.

§ 13. L'autorité préposée peut, dans toute l'étendue de sa circonscription ou pour certaines parties, décider que les personnes venant du dehors se présenteront après leur arrivée à la police locale, quand ces personnes ont séjourné avant leur arrivée dans des localités ou des districts, qui ont été envahis par une épidémie.

§ 14. Un isolement des personnes malades et suspectes de maladie ou d'infection peut être organisé. L'isolement de personnes malades doit être organisé de telle façon que le malade ne soit en contact qu'avec ses gardiens, le médecin et le prêtre pour éviter autant que possible la propagation de la maladie. Les parents ainsi que les personnes autorisées à dresser des actes officiels peuvent pénétrer

auprès du malade, quand il s'agit d'affaires importantes et urgentes, tout en observant les mesures nécessaires pour éviter la propagation de la maladie.

Si les dispositions demandées par la police et considérées par le médecin délégué comme nécessaires à l'isolement, ne sont pas appliquées dans le logement du malade, son transport peut être effectué dans un hôpital ou un autre local convenable, pourvu que le médecin délégué le croie indispensable et le médecin traitant le déclare admissible sans aucun détriment du malade.

L'isolement des personnes suspectes de maladie d'infection tombe sous les règlements de l'alinéa 2. Il est cependant défendu que les personnes suspectes de maladies ou d'infection ne partagent les mêmes chambres que les personnes malades. Les personnes suspectes d'infection peuvent être logées dans les mêmes locaux avec les personnes suspectes de maladie, pourvu que le médecin délégué le considère comme admissible.

Les logements et les maisons, dans lesquels se trouvent des personnes malades, peuvent être marqués. Pour les gardes-malades professionnels des mesures restrictives peuvent être ordonnées.

§ 15. Les autorités des Etats confédérés sont autorisées, pour les localités et les districts atteints ou menacés d'une maladie infectieuse, quant à la fabrication professionnelle, à la manipulation et à la vente d'objets susceptibles de propager l'épidémie.

1. A instituer une surveillance sanitaire et à prendre des mesures destinées à éviter la propagation de la maladie; l'exportation des objets indiqués n'est défendue que dans les localités atteintes de choléra, de typhus exanthématique, de peste ou de variole.

2. à exclure des objets désignés sous le numéro 1 au colportage ambulant.

3. à défendre ou à restreindre les marchés, foires et autres arrangements produisant un grand rassemblement public.

4. à soumettre à la surveillance sanitaire toutes les personnes occupées dans la navigation, sur les radeaux et dans d'autres entreprises de transport, et à défendre le transport des personnes malades, ou suspectes de maladie ou d'infection ainsi que les objets susceptibles d'être contaminés.

5. à restreindre à certaines heures de la journée les communications dans la navigation et sur les radeaux.

§ 16. Les jeunes gens habitant des demeures ou des maladies se sont produites, peuvent être exclus de l'école ou de leur salle d'enseignement. Quant aux autres mesures de préservation concernant les écoles, les règlements existants des Etats confédérés restent en vigueur.

§ 17. Dans les localités atteintes ou menacées de choléra, typhus exanthématique, peste et variole, ainsi que dans leurs environs, l'usage des puits, étangs, lacs, cours d'eau, conduites d'eau, natations, lavoirs et cabinets d'aisances peut être défendu ou restreint.

§ 18. L'évacuation entière ou partielle des logements et maisons, où des maladies se sont manifestées, peut être ordonnée, quand le médecin délégué le considère comme indispensable pour combattre efficacement la maladie. Les personnes frappées par cette mesure, recevront gratuitement un logement convenable.

§ 19. Pour les objets et les locaux susceptibles d'être contaminés, la désinfection peut être organisée d'office.

Les bagages de voyage et les marchandises ne sont soumis à la désinfection, en cas de lèpre, choléra et fièvre jaune, que dans le cas où la supposition de la contamination de ces objets est fondée par des circonstances spéciales. Si la désinfection n'est pas réalisable ou trop coûteuse en comparaison de la valeur des objets, leur destruction peut être effectuée.

§ 20. Pour combattre la peste, des mesures peuvent être ordonnées pour tuer et éloigner les rats, les souris et autre vermine.

§ 21. Pour la conservation, la mise en cercueil, le transport et l'enterrement des corps de personnes mortes à la suite d'une maladie contagieuses, des précautions spéciales peuvent être ordonnées.

§ 22. Les règlements exécutoires des mesures de préservation, prévues dans les paragraphes 12-21, en particulier de la désinfection, seront émis par le Conseil Fédéral.

§ 23. L'autorité compétente peut astreindre les communes et les autres associations communales à exécuter les installations, qui sont nécessaires à combattre les épidémies. Quant aux frais et dépenses, la disposition du § 37, alinéa 2 sera applicable.

§ 24. Pour éviter l'importation des épidémies de l'étranger, l'entrée des navires peut dépendre de l'exécution de prescriptions sanitaires; l'autorité peut défendre ou restreindre :

1. l'entrée d'autres bâtiments servant au transport du public et des marchandises.

2. l'entrée et le transit de marchandises et d'objets à usage.

3. l'entrée et le transport de personnes venant d'un pays contaminé.

Le Conseil Fédéral est autorisé à déterminer des prescriptions concernant ces mesures. Tant que ces prescriptions se rapportent à la surveillance sanitaire des navires, elles peuvent être étendues sur la navigation entre les ports allemands.

§ 25. Quand une maladie infectieuse s'est produite à l'étranger ou dans les pays allemands limitrophes de la mer, le chancelier de l'Empire ou le gouvernement de l'Etat confédéré, menacé le plus, avec l'assentiment du chancelier, décidera, quand et dans quelle étendue les prescriptions énoncées conformément au paragraphe 24, alinéa 2, seront à mettre en exécution.

§ 26. Le Conseil Fédéral est autorisé à décider des prescriptions concernant les patentes de santé à délivrer aux navires sortant des ports allemands.

§ 27. Le Conseil Fédéral est autorisé à émettre des prescriptions sur les mesures de précaution à prendre dans les travaux scientifiques s'occupant de bactéries pathogènes ainsi que sur leur maniement et leur conservation.

Indemnités.

§ 28. Les personnes soumises à l'assurance contre l'invalidité ont droit d'indemnité à cause de la perte de leur salaire pour l'époque pendant laquelle elles sont restreintes, conformément au § 12, dans le choix de leur lieu de séjour ou de travail, ou qu'elles sont isolées conformément au § 14. Pour fixer l'indemnité on prend pour base de salaire journalier la trois-centième portion du salaire annuel, décisif pour l'assurance d'invalidité. Le droit d'indemnité n'est pas accordé à un assuré, qui reçoit du secours pendant une maladie causant l'incapacité de travail, ou s'il y a traitement aux frais publics.

§ 29. Sur la demande et sous la réserve des exceptions énoncées dans les paragraphes 32 et 33, des indemnités sont accordées pour les objets qui, à la suite d'une désinfection ordonnée et surveillée par la police, conformément à la loi, sont endommagés de façon qu'ils ne puissent plus être utilisés à l'usage ordinaire, ou pour ceux qui sont détruits sur l'ordre de la police.

§ 30. L'objet sera indemnisé dans sa valeur générale sans prendre en considération la réduction de sa valeur par une contamination éventuelle. Quant l'objet est détérioré ou détruit en partie, la valeur restante sera déduite de l'indemnité.

§ 31. L'indemnité sera payée au détenteur de l'objet détérioré ou détruit au moment de la désinfection, à moins qu'il n'y ait d'autre ayant droit. Par ce paiement chaque obligation d'indemnité (§ 29) s'éteint.

§ 32. Conformément à cette loi, une indemnité ne sera pas allouée :

1. pour les objets qui sont propriété de l'Empire, d'un État confédéré ou d'une corporation communale ;

2. pour les objets qui ont été importés ou exportés en dépit d'une interdiction conformément au paragraphe 15, numéro 1 ou au paragraphe 24.

§ 33. Le droit d'indemnité cesse :

1. quand celui auquel l'indemnité serait à payer, s'est mis en possession des objets endommagés ou détruits, quoiqu'il sût ou dût supposer d'après les circonstances, que ces objets fussent déjà contaminés et à soumettre à une désinfection.

2. quand celui auquel l'indemnité serait à payer ou qui serait le détenteur des objets endommagés ou détruits, a provoqué la désinfection en enfreignant la loi ou une disposition de cette loi.

§ 34. Les frais d'indemnité seront payés par les caisses d'État ; cependant les gouvernements des États confédérés se réservent de décider :

1. qui alloue et fournit l'indemnité,
2. le délai du droit d'indemnité,
3. de constater et de fixer l'indemnité.

Prescriptions générales.

§ 35. Les installations servant à un usage général et destinées à approvisionner l'eau potable ou à enlever les immondices sont constamment surveillées par des fonctionnaires nommés par l'État.

Les communes sont obligées à veiller que les inconvénients insalubres soient enlevés. Elles peuvent être astreintes, à tout moment, à établir des installations désignées dans l'alinéa 1 suivant leurs moyens financiers et en tant que ces installations donnent une protection contre les maladies transmissibles.

La procédure à prendre envers les communes se régle d'après le droit en vigueur dans les différents États confédérés.

§ 36. Médecins délégués, au sens de cette loi, sont ceux qui se trouvent au service de l'État ou qui sont employés avec l'assentiment de l'État.

En cas d'empêchement ou par des raisons urgentes, les médecins délégués peuvent être remplacés par d'autres médecins, qui durant l'accomplissement de leur commission, sont considérés comme médecins délégués ; ils sont autorisés et obligés à exécuter les fonctions qui sont confiées aux médecins délégués par la présente loi et ses règlements exécutoires.

§ 37. Les gouvernements des États confédérés et leurs organes doivent s'occuper à régler les mesures préservatives et répulsives.

La compétence des autorités et le versement des frais résultants sont réglés par la législation de l'État confédéré.

Les caisses publiques paient les frais provenant des recherches administratives exécutées conformément au § 6, ceux de l'observation dans les cas du § 12, ensuite, sur demande, les frais de la désinfection ordonnée et surveillée par la police suivant le § 19 et les frais causés par l'exécution des précautions pour conserver, mettre en cercueil, transporter et enterrer les corps.

Les gouvernements des États confédérés déterminent quelles corporations sont considérées comme commune, association communale et corporation communale.

§ 38. Les autorités des États confédérés sont tenues à se secourir mutuellement dans la tâche de combattre les maladies transmissibles.

§ 39. Les administrations des armées de terre et de mer exécuteront, conformément à la présente loi, les précautions nécessaires en ce qui concerne :

1. les personnes appartenant aux armées de terre et de mer ;
2. les personnes logées dans les établissements militaires ou qui se trouvent à bord des navires et bâtiments de la marine impériale ou affrétés par cette dernière.

3. les militaires en route ou transportés et les détachements de l'armée et de la marine, ainsi que leurs effets d'équipement et leurs objets à l'usage ;

4. les biens fonciers et établissements exclusivement exploités par les administrations des armées de terre et de mer.

Les mesures de restriction ne sont pas applicables aux manœuvres militaires.

Le Conseil Fédéral décidera comment le gouvernement militaire et les administrations de la police se mettent réciproquement au courant de l'apparition du soupçon d'une maladie transmissible, de son invasion ainsi que de sa marche et sa disparition.

§ 40. Les autorités compétentes de l'Empire et des États confédérés sont exclusivement tenues à organiser, conformément à la présente loi, les précautions concernant les services des chemins de fer, des postes et télégraphes ainsi que de la navigation, qui se trouve en communication avec le service des chemins de fer et relève de l'administration de surveillance de ce dernier. Le Conseil Fédéral décidera l'étendue des mesures de restriction et les opérations de désinfection organisées par la police, conformément à cette loi sur :

1. les personnes reconnues pendant leur transport malades, suspectes de maladies ou d'infection.

2. les employés et ouvriers des services des chemins de fer, postes et télégraphes ou de la navigation, ces personnes se trouvant dans le service ou, de passage, en dehors de leur résidence.

§ 41. Le chancelier de l'Empire est tenu à surveiller l'exécution de cette loi et de ses règlements.

Quand, pour combattre les maladies contagieuses, des mesures deviennent nécessaires, qui atteignent les territoires de plusieurs États confédérés, le chancelier de l'Empire ou le commissaire, délégué par lui, veillera que les dispositions des autorités s'accomplissent d'un commun accord ; il déterminera à cet effet tout ce qui est nécessaire ; en cas d'urgence il enverra sans délai des instructions aux autorités.

§ 42. Quand dans une localité l'invasion d'une épidémie a été constatée, le Kaiserliches Gesundheitsamt sera à prévenir immédiatement et aussi vite que possible. Le Conseil Fédéral est autorisé à décider, comment, au courant de l'épidémie, les indications sur les cas de maladies et de décès seront envoyées au Kaiserliches Gesundheitsamt

§ 43. Conjointement au Kaiserliches Gesundheitsamt un Conseil supérieur de santé (Reichsgesundheitsrath) sera formé. Le chancelier de l'Empire, avec l'assentiment du Conseil Fédéral, déterminera la réglementation. Les membres seront élus par le Conseil Fédéral.

Le Conseil supérieur de santé doit appuyer le Gesundheitsamt dans l'accomplissement de la tâche qu'il a à remplir. Le Conseil est autorisé à seconder les autorités sur leur demande. Il lui est permis pour être renseigné, de se mettre en relations directes avec les autorités désignées à cet effet, d'envoyer des délégués qui, avec le concours des autorités compétentes, se renseignent sur les lieux.

Pénalités.

§ 44. Sera puni jusqu'à trois ans d'emprisonnement :

1. quiconque sciemment fait usage, abandonne à d'autres ou met en commerce des biens meubles qui seraient soumis à une désinfection ordonnée par la police, avant que cette désinfection soit exécutée ;

2. quiconque sciemment fait usage, abandonne à d'autres ou met en commerce des vêtements, du linge de corps, de la literie ou d'autres biens meubles, qui ont été employés par des personnes atteintes d'une maladie contagieuse ou qui servaient au traitement et aux soins du malade, avant qu'ils aient été désinfectés, conformément aux dispositions ordonnées par le Conseil Fédéral en raison du § 22 ;

3. quiconque sciemment fait usage, ou abandonne à d'autres des véhicules ou autres ustensiles, ayant servi au transport du malade ou du décédé, avant que ces objets soient désinfectés par l'ordonnance de la police.

En cas de circonstances atténuantes, une amende jusqu'à 1500 marks sera prononcée.

§ 45. Sera puni de 10 à 150 marks d'amende ou de prison d'au moins une semaine :

1. quiconque omet de faire la déclaration obligatoire, conformément aux paragraphes 2, 3 ou aux prescriptions ordonnées par le Conseil Fédéral en raison du paragraphe 5, ou quiconque retarde la déclaration de plus de vingt-quatre heures après avoir pris connaissance du fait à déclarer. La poursuite ne se fait pas, quand la déclaration sera exécutée à temps par une autre personne.

2. quiconque refuse, en cas du § 7, au médecin délégué la libre entrée chez le malade ou le corps, ou d'exécuter les constatations nécessaires ;

3. quiconque contrairement aux dispositions du § 7, alinéa 3, refuse au médecin délégué ou à l'autorité compétente les renseignements ou donne sciemment des indications fausses sur les circonstances ;

4. quiconque contrevient aux dispositions énoncées conformément au § 13.

§ 46. Sera puni d'une amende allant jusqu'à 150 marks ou de prison, à moins que les lois ne demandent une peine plus sévère :

1. quiconque contrevient aux dispositions provisoires, ordonnées conformément au § 9 par le médecin délégué ou le maire de la localité ou quiconque contrevient aux dispositions conformément au § 10 par l'autorité compétente ;

2. quiconque contrevient aux dispositions, ordonnées par la police conformément au § 12, au § 14, alinéa, 5, aux §§ 15, 17, 19 à 22 ;

3. quiconque contrevient aux prescriptions ordonnées conformément aux §§ 24, 26, 27.

Dispositions dernières.

§ 47. Les règlements exécutoires de cette loi, ordonnés par le Conseil Fédéral, seront notifiés au Reichstag.

§ 48. Les prescriptions des Etats confédérés concernant à combattre d'autres maladies transmissibles que celles mentionnées dans le § 1 alinéa 1, ne sont pas abrogées par cette loi.

§ 49. Cette loi sera en vigueur le jour de sa promulgation.

En foi de quoi Nous avons signé de Notre propre main et apposé Nos sceaux Impériaux.

Fait à Travemunde, le 30 juin 1900.

WILHELM.

Comte de Posadowsky.

VII. *Autriche-Hongrie.*—L'Autriche a la loi sanitaire du 30 avril 1870, qui organise comme nous le savons déjà (p. 342) l'administration sanitaire dans les districts politiques avec l'aide du *Bezirksarzt* et du Conseil provincial de santé. La surveillance des maladies contagieuses est surtout regardée comme un service d'Etat, et quatre arrêtés gouvernementaux ont été pris dans ce but : ce sont 1° une instruction pour les médecins des épidémies ; 2° un code des règles prescrites pour l'examen et la combinaison des rapports sur les épidémies ; 3° les instructions pour

les mesures à prendre par l'administration de chaque district, par les autorités communales, par le clergé, par les officiers de santé; 4° une instruction pour les Inspecteurs de la santé (*Sectionskommissäre*). Pour la petite vérole, le choléra, la peste et la fièvre jaune, il existe des prescriptions spéciales et détaillées dans lesquelles sont comprises des dispositions minutieuses relatives aux quarantaines. On comprendra que nous n'entrons pas dans le détail : ajoutons seulement qu'à Vienne le médecin de district peut ordonner l'isolement du malade, sa translation dans un hôpital, ainsi que la désinfection d'office.

La loi sanitaire hongroise est du 8 avril 1876. Elle organise auprès des municipes un *Comité sanitaire* qui se transforme en temps d'épidémie ou simplement de menace en *Comité municipal d'épidémie*, sous la présidence du bourgmestre, et qui peut alors ordonner et faire exécuter toutes mesures préventives nécessaires. La déclaration est obligatoire pour la liste des maladies habituellement désignées et de plus pour la rougeole, la coqueluche, les oreillons et la méningite cérébrale. Pour les malades dont l'isolement à domicile ne présente pas les garanties requises, le transport dans un hôpital peut être ordonné, mais s'il s'agit d'un enfant, la mère peut l'accompagner. D'après l'ouvrage du Dr Paul Klasz : « *La législation et l'administration sanitaire de la Hongrie* » (Budapest, 1900), un arrêté ministériel récent a ordonné à toutes les communes de posséder au moins un appareil de désinfection : les villes ont généralement des établissements de désinfection à poste fixe bien outillés, et les campagnes trop pauvres un appareil transportable. Enfin il y a des prescriptions ministérielles détaillées relatives à chaque maladie considérée spécialement.

VIII. *Suisse*. — Nous savons déjà que la Suisse est parfaitement outillée en appareils et stations de désinfection, et le Dr Carrière dans son ouvrage déjà cité « *L'hygiène publique en Suisse* » (Genève 1900), nous donne de nombreux renseignements sur la législation sanitaire, qui se partage comme on sait (page 321) entre le gouvernement fédéral et les Administrations cantonales. La loi fédérale du 2 juillet 1886 ne vise que les maladies offrant un *danger général*, savoir la variole, le typhus exanthématique, la peste et le choléra : elle repose sur les principes suivants :

- a). Information obligatoire des cas de ces maladies ;
- b). Isolement des malades et des personnes qui les soignent, soit à domicile, soit dans un lazaret ;

c). Surveillance médicale temporaire et au besoin isolement des personnes qui ont été en contact avec les malades ou habitent la même maison ;

d). Traitement gratuit des malades indigents et des autres personnes nécessiteuses qui se trouvent soumises, sans qu'il y ait négligence ou imprudence de leur part, aux mesures d'isolement ; indemnité équitable à celles qui auront été délogées ou internées ou auront subi des pertes en suite de l'exécution des mesures prévues par la loi ;

e). Participation de la Confédération pour moitié aux dépenses causées aux cantons et aux communes par l'exécution des mesures prescrites par la loi.

Un règlement d'exécution du 4 novembre 1887 précise différents points. Enfin un règlement pour la désinfection en cas d'épidémies offrant un danger général (en exécution de l'article 6 de la loi de 1886 a été édicté à la date du 4 décembre 1899 : il décrit les procédés de désinfection recommandables, y compris l'emploi de la formaldéhyde par la méthode de Flügge.

La plupart des cantons ont également leur loi sanitaire spéciale dont le Dr Carrière donne les dates. Ils exigent presque tous la déclaration des autres maladies contagieuses et leur appliquent généralement les règles de désinfection du règlement fédéral de 1899.

IX. *Italie.* — L'Italie fait des progrès considérables du côté de l'hygiène publique.

Sa loi du 22 décembre 1888 sur la protection de la santé publique suivie du décret réglementaire du 9 octobre 1889 (1) était un pas de géant. Un nouveau règlement très complet a été édicté par décret du 3 février 1901 et peut servir de modèle : M. le Dr Santoliquido, Inspecteur général de la santé publique au Ministère de l'Intérieur, ayant bien voulu nous en adresser le texte, nous en traduirons un extrait relatif à la défense contre les maladies infectieuses, et nous le ferons précéder de la partie correspondante de la loi elle-même.

(1) On consultera utilement à ce sujet une brochure du Dr Pagliani : *Législation et administration sanitaires en Italie*, Rome 1894.

I. — **Extrait de la loi du 22 décembre 1888, sur la protection de l'Hygiène et de la santé publiques en Italie.**

TITRE IV

CHAPITRE II. — *Défense contre la diffusion des maladies infectieuses de l'homme et des animaux.*

Art. 45. — Tout médecin qui observe un cas de maladie infectieuse et contagieuse, dangereuse ou pouvant l'être, doit aussitôt la déclarer au syndic (maire) et à l'officier sanitaire communal, et les aider en toute circonstance dans l'exécution des premières mesures destinées à empêcher la diffusion du mal.

Les contrevenants seront punis d'une amende pouvant aller jusqu'à 500 livres, et dans les cas graves de prison, sans préjudice des peines édictées par le Code pénal pour les dommages causés aux personnes.

Art. 46. — Tous les médecins exerçant dans une commune où s'est déclarée une maladie infectieuse de caractère épidémique sont obligés de se mettre au service de la commune, et dans ce cas le bénéfice de la loi du 29 juillet 1868 leur est applicable en faveur de leur famille. La même disposition est applicable aux *medici condotti* et aux autres médecins qui sont appelés spécialement dans une commune pour le service durant une épidémie.

Les contrevenants au présent article sont passibles d'une amende pouvant aller à 500 livres et de l'interdiction de l'exercice de la profession médicale.

Art. 47. — Les déclarations des maladies contagieuses ou soupçonnées de l'être doivent aussitôt être communiquées par le syndic au préfet et par l'officier sanitaire au médecin provincial; le préfet en donne avis au Ministre de l'Intérieur. Là où la gravité du cas l'exige, le préfet, sur la proposition du médecin provincial, peut d'urgence instituer des commissions locales, déléguer des personnes expertes pour examiner les caractères de la maladie, envoyer des médecins et des remèdes, et ordonner toutes précautions qu'il juge utiles pour assurer le traitement des malades et la prophylaxie de la maladie: il rend compte au Ministre de l'Intérieur.

Art. 48. — En cas de nécessité absolue, pendant les épidémies, d'occuper des propriétés particulières pour y créer des hôpitaux, lazarets, cimetières et autres services sanitaires, il sera procédé conformément aux articles 71, 72 et 73 de la loi du 25 juin 1865, à la loi du 18 décembre 1879 et à l'article 7 de la loi du 20 mars 1865, § E.

Art. 49. — Le Ministre de l'Intérieur, en cas d'épidémie se développant dans le Royaume, pourra prendre des ordonnances spéciales pour la visite et la désinfection des maisons, pour l'organisation des services et secours médicaux et pour les mesures à prendre contre la diffusion de la maladie.

Ces ordonnances seront publiées à la *Gazette officielle* et entreront en vigueur le jour même de leur publication.

Art. 50. — Les contrevenants aux ordres de l'autorité pour empêcher l'invasion ou la diffusion des maladies infectieuses seront punis d'une amende allant à 500 livres et de un à six mois de prison.

Art. 51. — La vaccination est obligatoire, et sera régie par un règlement spécial approuvé par le Ministre de l'Intérieur après avis du Conseil supérieur de santé.

Art. 52. — Le virus vaccinal sera conservé par le médecin provincial pour être transmis gratuitement à toute époque aux syndics et aux praticiens qui en feront la demande. Les dépenses relatives à la fourniture et conservation du vaccin seront à la charge de la province, celle de la vaccination à la charge des communes.

Art. 53. — (Nécessité d'une autorisation pour ouvrir un institut de préparation et de vente du virus vaccinal : contrôle officiel de cet institut).

Art. 54. — Les mesures préventives contre la diffusion des maladies vénériennes seront prescrites par un règlement spécial, émanant du Ministre de l'Intérieur et fixant les peines d'amende, de réclusion ou de prison dont seront passibles les contrevenants.

Art. 55. — (Application des mêmes règles et peines pour la déclaration des épizooties).

II. — Extrait du Règlement général sanitaire, édicté par décret du 3 février 1901.

TITRE V

CHAPITRE XIII. — Mesures contre la diffusion des maladies infectieuses de l'homme.

Déclarations. — Art. 129. — En exécution de l'article 45 de la loi du 22 décembre 1888, est obligatoire pour les médecins la déclaration des cas de maladies suivantes :

a). Rougeole, scarlatine, variole et varioloïde, fièvre typhoïde, typhus exanthématique, diphtérie et croup, fièvre puerpérale, choléra, fièvre jaune, peste, et autres maladies contagieuses ou soupçonnées de l'être qui seraient indiquées par l'autorité sanitaire par des ordonnances spéciales ;

b). Tuberculose pulmonaire :

1) Dans les hospices de mendicité ou d'invalides, les orphelinats, les prisons, les auberges, les lieux de réunion (convitti), les écoles et les couvents ;

2° Dans les refuges, hôpitaux, maisons de santé et de convalescence ;

3° Dans les laiteries et vacheries ;

4° Enfin partout, en suite du décès ou du changement de logement d'un malade.

c). Malaria ;

d). Syphilis, transmise par la prostitution ;

e). Rage ou simplement morsures d'animaux suspects de rage ;

f). Cas de charbon, morve ou farcin chez l'homme.

L'autorité sanitaire pourra par une ordonnance spéciale rendre obligatoire pour les aubergistes et logeurs en garni la déclaration d'une ou plusieurs des maladies ci-dessus.

Art. 130. — La déclaration devra indiquer :

a). Les nom, prénoms, âge, demeure et provenance du malade, et si possible le jour du début de la maladie ;

b). Le diagnostic de la maladie ;

c). Toutes les observations que le médecin croira utiles ;

d). Les mesures qu'il aura prises pour prévenir la diffusion du mal.

Les communes sont tenues de mettre à la disposition gratuite des praticiens des formules imprimées pour les déclarations, suivant le modèle adopté.

Art. 131. — L'office communal devra donner un accusé de réception de la déclaration, quand le médecin le demandera.

Mesures générales contre la diffusion des maladies infectieuses.

Art. 132. — Dans tous les cas de maladies contagieuses, le médecin devra donner aux personnes assistant ou avoisinant le malade toutes les instructions utiles pour empêcher la propagation du mal.

Dans les cas du § a de l'article 129, il devra en outre assurer un isolement

convenable du malade et des personnes qui le soignent, et en cas de besoin requérir le transport du malade dans un local d'isolement.

Art. 133. — Le transport des malades affectés des maladies indiquées par le § *a* de l'article 129 à l'hôpital ou au local d'isolement devra se faire au moyen de voitures spéciales ou de civières qui seront chaque fois désinfectées. Quand cela sera impossible et qu'il faudra recourir à une voiture publique, celle-ci sera désinfectée.

Art. 134. — Quand il s'agit d'une maladie exotique (choléra, peste, fièvre jaune), l'autorité sanitaire devra pourvoir d'office, et en vertu des articles 3, 7 et 151 de la loi communale, à l'isolement du malade et des personnes qui ont été en contact avec lui, et cela de la manière qui lui paraîtra la plus propre à supprimer tout danger de contagion.

Art. 135. — L'Autorité sanitaire aura toujours pouvoir d'assurer d'office l'exécution des mesures prophylactiques indiquées au présent règlement et de toutes autres mesures qu'elle jugerait nécessaires.

Art. 136. — Est obligatoire la désinfection du linge, des effets et literie, appartenant aux malades atteints des maladies contagieuses dénommées aux § *a* et *b* de l'article 129. Elle pourra aussi être déclarée obligatoire pour les maladies des § *d* et *e*. La désinfection devra se faire de préférence à la station municipale, s'il y en a une.

Art. 137. — Est aussi obligatoire la désinfection des appartements des malades des § *a* et *b* de l'article 129; elle sera limitée à la chambre du malade ou étendue à tout l'appartement suivant ce qu'exigera l'autorité sanitaire.

Art. 138. — Le transport des objets infectés à l'établissement de désinfection devra se faire dans des voitures ou récipients spécialement affectés à cet usage, fermés et faciles à désinfecter, qui seront fournis par la commune. Les objets à transporter seront en tout cas enveloppés dans des draps trempés dans une solution désinfectante.

Si pour le transport on est obligé de se servir de voitures ordinaires, celles-ci seront désinfectées aussitôt après.

Le transport des objets et la désinfection des objets et des appartements qui auront été ordonnés par l'autorité seront gratuits. Quand ces mesures seront demandées par des particuliers, les frais pourront en être recouvrés sur eux, sauf le cas où il s'agit d'indigents inscrits.

Les intéressés pourront suivre à leurs frais et sous la direction de l'Office sanitaire, toutes les opérations de désinfection et de transport.

Art. 139. — Les communes pourront prescrire dans leur règlement d'hygiène que les auberges, chambres garnies et pensions devront procéder au moins une fois l'an à un nettoyage général, précédé s'il y a lieu de la désinfection. Le nettoyage et la désinfection une fois par an sont obligatoires pour les hôpitaux, hospices, maisons de santé et de convalescence, publics ou privés.

Art. 140. — Il est défendu de vendre et d'exposer des habits, effets, et objets de literie qui n'aient pas été lavés et désinfectés.

Art. 141. — Au reçu de l'avis d'un cas de maladie contagieuse, l'officier sanitaire fera personnellement ou par l'intermédiaire des agents techniques municipaux une enquête sur l'origine de la maladie et s'assurera que le médecin traitant a bien donné et que la famille exécute bien les instructions indiquées à l'article 132.

Art. 142. — Si dans une commune il se produit plusieurs cas d'infection liés originellement entre eux (épidémie), le médecin provincial fera lui-même l'enquête, s'il est nécessaire, donnera les instructions opportunes et s'assurera de leur exécution.

Art. 143. — Toutes les écoles, lieux de réunions, asiles et établissements d'instruction en général devront être désinfectés au moins une fois par an. Les personnes atteintes de maladies transmissibles devront être aussitôt éloignées de

ces établissements, à moins qu'il ne soit possible de les isoler convenablement. Seront éloignés de même les maîtres et élèves qui auraient été en rapport avec des contagieux, quand l'autorité sanitaire jugera que l'isolement n'était pas suffisant : leur rentrée ne pourra avoir lieu qu'après le délai qui sera prescrit.

Art. 144. — Quand le cas de maladie se sera produit parmi les élèves mêmes d'un des établissements précités, les locaux seront désinfectés et pourront être fermés par ordre du syndic tant que le danger subsistera.

Art. 145. — Toute commune doit faire visiter au moins une fois par mois, et plus s'il est nécessaire, par l'officier sanitaire ou un médecin délégué à cet effet toutes les écoles publiques ou privées de son territoire.

Le médecin doit s'assurer qu'il n'y a pas d'élève affecté de maladie contagieuse (ainsi que de dermatose et d'ophtalmie purulente), et en cas contraire il exigera l'exclusion du malade jusqu'après guérison. Les communes veilleront à ce que les élèves ainsi exclus pour dermatose ou ophtalmie purulente reçoivent l'instruction dans un local à part.

Art. 146. — Toute commune doit avoir un local convenable pour pouvoir en cas d'urgence y mettre un individu atteint de maladie contagieuse qu'on ne pourrait isoler à domicile : plusieurs communes voisines pourront s'entendre pour avoir un local commun.

Art. 147. — Le Préfet, après avis du Conseil provincial de santé, peut grouper plusieurs communes pour le local d'isolement.

Art. 148. — La déclaration par les employés des chemins de fer des voyageurs affectés de maladies contagieuses et la désinfection des véhicules qui les ont transportés seront réglées par des instructions du Ministre de l'Intérieur.

Mesures spéciales relatives à certaines maladies. — Maladies exotiques.

Art. 149. — D'après les ordonnances qui seront émises par l'autorité sanitaire, tous les voyageurs venant de lieux infectés par le choléra, la peste ou autres maladies exotiques contagieuses, devront se soumettre, outre les visites et mesures sanitaires appliquées au port ou à la station d'arrivée, à une surveillance spéciale de l'officier sanitaire de la Commune où ils arrivent pendant la durée qui sera indiquée par lesdites ordonnances.

Art. 150. — Les aubergistes, loueurs de garnis et tous autres recevant chez eux des personnes venant de lieux infectés par les maladies exotiques précitées doivent en faire la déclaration immédiate au syndic.

Art. 151. — Si un cas suspect de ces maladies exotiques se rencontre, l'Autorité sanitaire après avoir pris toutes les mesures prophylactiques, cherchera à assurer le diagnostic par tous les moyens possibles : tant que tout soupçon n'aura pas disparu, les mesures de prophylaxie seront les mêmes que pour les cas confirmés.

Art. 152. — Sauf les exceptions prévues aux ordonnances spéciales, les linges, chiffons, effets d'usage personnel ou domestique venant des pays infectés ne pourront être importés dans le Royaume. En certains cas, l'interdiction pourra être étendue à d'autres objets et à toutes les denrées alimentaires.

Art. 153. — Pour éviter la diffusion des maladies exotiques, l'Autorité sanitaire pourra empêcher les foires, marchés et réunions publiques.

Maladies transmissibles des animaux à l'homme.

Art. 154. — Sur l'avis d'un cas de charbon, morve, farcin ou rage chez l'homme ou les animaux, l'autorité sanitaire devra en rechercher l'origine et prendre toutes les mesures de police sanitaire capables d'empêcher la propagation du mal.

Art. 155. — Les propriétaires et détenteurs de chiens doivent donner immédiatement avis à l'Office communal de tout fait qui donne à soupçonner l'exis-

tence de la rage chez les chiens. Le chien suspect, s'il n'est pas tué, sera isolé dans un lieu spécial et tenu en observation sous la surveillance de l'officier sanitaire ou du vétérinaire délégué. La période d'observation dans les cas favorables ne sera pas de moins de quatre mois.

Art. 156. — Tout animal reconnu atteint de la rage sera immédiatement abattu, et son cadavre sera rendu exempt de danger suivant les instructions de l'officier sanitaire. La localité où se trouve l'animal sera désinfectée.

Art. 157. — Tous les animaux mordus par un animal enragé, suspect, ou resté inconnu seront abattus ou isolés suivant l'article 155.

Quant aux animaux de boucherie, la chair pourra en être utilisée à l'alimentation, après la période d'observation fixée à la dernière phrase de l'article 155, ou s'ils ont été tués dans la semaine de morsure, sauf disposition contraire de l'autorité sanitaire.

Art. 158. — Si l'on peut avoir le cadavre d'un animal suspect de rage ou ayant mordu des personnes ou autres animaux, l'autorité sanitaire recherchera autant que possible la preuve expérimentale de la rage.

Mesures spéciales contre la diffusion de la tuberculose.

Art. 159. — L'officier sanitaire, au reçu de l'avis d'un cas de tuberculose suivant le § b de l'article 129, veillera à ce que les mesures nécessaires pour empêcher la diffusion de la maladie soient prises.

Art. 160. — Les refuges et habitations collectives indiqués au n° 1 du § b de l'article 129 ne peuvent recevoir ni soigner les malades de tuberculose pulmonaire si, d'après l'avis de l'autorité sanitaire, ils ne disposent pas des locaux ou des services appropriés.

Art. 161. — L'établissement et la direction d'établissements spéciaux pour la cure de la tuberculose pulmonaire devront faire l'objet de la vigilance toute particulière des autorités sanitaires.

Dans les habitations collectives, les usines, les écoles, les lieux de réunions publiques, les offices et les lieux d'exercice ouverts au public, il sera placé des crachoirs et des écriteaux défendant de cracher en dehors de ces récipients.

Art. 162. — Si un cas de tuberculose dans une vacherie produisant du lait est confirmé, l'animal infecté doit être séparé et sa stalle désinfectée, et il ne pourra y être introduit d'autre tête de bétail qui n'ait supporté favorablement l'épreuve de la tuberculine.

Art. 163. — Si un cas de tuberculose est dénoncé dans une laiterie ou dans le personnel de service, la vente du lait ne pourra se faire qu'après qu'il aura été bouilli sous la surveillance de l'autorité sanitaire, et cela tant que la cause du mal n'aura pas été écartée.

Mesures pour la prophylaxie de la fièvre puerpérale.

Art. 164. — Les refuges pour femmes enceintes et accouchées doivent répondre à toutes les exigences de l'hygiène et du traitement de ces femmes et notamment aux conditions prescrites par l'article 35 de la loi du 22 décembre 1888 et par les articles 83, 84 et 87 du présent règlement.

Art. 165. — Les directeurs ou administrateurs de ces refuges, outre l'obligation de déclarer tout cas de maladies infectieuses et spécialement de fièvre puerpérale, doivent adresser au médecin provincial un compte rendu du nombre des femmes admises, des accouchements, des opérations obstétricales et de leurs suites.

Art. 166. — Sur l'avis d'un cas de fièvre puerpérale, l'officier sanitaire, outre qu'il prendra toutes les mesures pour empêcher la diffusion de la maladie, recherchera la cause de l'infection et s'il y a lieu la dénoncera à l'autorité judiciaire.

Art. 167. — Les sages-femmes sont tenues d'observer le règlement spécial à l'exercice de l'art obstétrical et les instructions y annexées.

(Suivent les mesures contre la diffusion des maladies vénériennes, la prostitution etc., ce qui nous entraînerait trop loin de notre sujet).

X. *Etats-Unis* (1). — Dans la grande république américaine, l'action gouvernementale (centrale ou fédérale) ne s'exerce en matière d'hygiène publique que pour les quarantaines imposées aux navires entrant dans les ports, lesquelles dépendent du Service de l'Hôpital maritime, sous le contrôle du Ministère des Finances à Washington. En cas d'épidémie ou de guerre ce Service de l'Hôpital Maritime pourrait être chargé d'autres attributions. Il existe bien nominalement un *National Board of Health* mais, en temps ordinaire, il ne fonctionne pas : toutefois il suffirait d'une simple décision du Congrès pour le mettre à même d'exercer un contrôle général sur l'Administration sanitaire des Etats. Le soin de l'hygiène publique est donc laissé aux Etats et aux Municipalités. Voici sommairement comment ils s'en occupent.

Tous les Etats sauf cinq (Géorgie, Idaho, Montana, Oregon et Wyoming) ont un *State Board of Health* dont les pouvoirs sont très étendus (il rend exécutoires ses propres décrets) : en outre, vingt Etats ont des Commissions sanitaires de comtés et seize des Commissions municipales. Dans les villes où ces dernières existent, ce sont elles qui ont l'action la plus importante ; ailleurs c'est un médecin « *officer of Health* ». Les commissions municipales d'hygiène, ainsi que les *officers of health* sont nommés soit par une loi de l'Etat, soit plus habituellement par le *State Board of Health*. Dans l'Etat de Floride, quelques villes n'ont pas de Commission municipale, et c'est le *State Board* lui-même qui en exerce les fonctions. Dans la plupart des Etats, le *State Board* se borne au rôle de *conseil* pour les Commissions municipales : en temps d'épidémie il peut toutefois se substituer à elles, si leur action lui paraît insuffisante.

La loi d'hygiène de l'Etat de Massachusetts peut être regardée comme type de celles des divers Etats de l'Union. Elle s'exprime ainsi :

« Si, à l'intérieur de l'Etat, la petite vérole ou toute autre maladie contagieuse « présentant du danger pour la santé publique vient à éclater ou est signalée « comme pouvant prendre naissance, le *State Board of Health* doit faire une « enquête à ce sujet, et prendre les mesures nécessaires pour en éviter la propaga- « tion : il se consultera à cet effet avec les autorités locales, et il comblera ses « pouvoirs avec ceux dont sont investis en tous lieux les Commissions municipi- « pales et les officiers de santé, ou à défaut de Commission et d'officier de santé, « avec ceux des Maires et des Aldermen » (Massachusetts, public statutes 80, § 2)

Dans les statuts de l'Etat d'Ohio, on retrouve le type d'une loi à peu près semblable, autorisant les Commissions locales à prendre toutes mesures nécessaires (soumises cependant à l'approbation du *State Board*) : une fois en vigueur ces mesures ne peuvent être modifiées ou abolies sans le consentement du *State Board*.

« Le *State Board of Health*, ou toute Commission d'une ville ou d'un village

(1) Nous devons ces renseignements à l'obligeance de notre ami M. le Professeur E.-M. Chamot, de Cornell University (Ithaca N. Y) qui nous a envoyé un travail inédit reproduit ici presque en entier après traduction.

« quelconque peut ordonner, lorsqu'une épidémie éclate ou menace de se déclarer, « la mise en quarantaine de tous navires, convois, diligences ou autres véhicules « publics ou privés servant au transport des voyageurs, des bagages ou marchan- « dises quelconques. De plus, ces Commissions peuvent rendre les ordonnances « et prescrire tels règlements qu'elles jugent sages et nécessaires dans l'intérêt de « la salubrité publique, qu'il s'agisse de l'Etat entier ou d'une simple com- « munité. Ces ordonnances et ces décrets relatifs à la mise en quaran- « taine, lorsqu'ils auront été mis en vigueur par une Commission locale « d'hygiène, peuvent être, à la suite de soigneuses investigations de la « part du State Board, modifiés ou abolis par ordre de ce dernier, après « quoi aucun changement ne pourra être opéré sans son autorisation (à moins « que ce ne soit pour faire face à une nécessité pressante) ». (Etat d'Ohio, Extrait des lois, 1900, § 2143).

Par ce qui précède on voit que toutes les autorités ont respectivement qualité pour prendre les précautions nécessaires au cas où une épidémie est à redouter à l'intérieur de l'Etat, ou même quel qu'en soit le lieu d'origine; c'est-à-dire que si une épidémie règne dans un Etat voisin, on doit immédiatement s'occuper d'en prévenir l'invasion. Cependant, la direction des moyens de défense contre les épidémies menaçantes est quelquefois placée entre les mains de l'autorité de l'Etat seule. La loi en vigueur dans l'Etat de Mississipi est un exemple typique de ce mode de législation.

« Si la fièvre jaune ou toute autre maladie contagieuse vient à faire son appa- « rition, le State Board of Health doit s'occuper du district ou de la localité « contaminée, fixer des décrets et prendre toutes les mesures qu'il juge néces- « saires pour éviter la propagation de la maladie et même pour y apporter « remède ». (Etat de Mississipi, Annotation au Code, 1892, § 2279).

Le pouvoir de réglementation appartient généralement au State Board of Health à l'exclusion des Commissions locales. Dans tous les Etats, sauf ceux de Nebraska Kansas, Arkansas et Oregón, les règlements contiennent certaines prescriptions ayant trait aux maladies épidémiques. Dans dix-neuf Etats, le State Board of Health a toute latitude pour fixer tous règlements relatifs aux maladies contagieuses; dans deux autres Etats, il n'a ce pouvoir que dans le cas de sérieuse épidémie.

La défense contre les maladies contagieuses se fait au moyen de différentes mesures qui peuvent se résumer sous plusieurs rubriques : 1° Déclaration, 2° Affichage, 3° Isolement, 4° Désinfection.

1° *Declaration*. — Vingt-sept Etats et territoires possèdent des lois insérées dans leurs codes, exigeant la déclaration des cas de maladies contagieuses, à la Commission d'hygiène ou à l'officier de santé désigné à cet effet; dans cinq autres, des règlements édictés par le State Board portent la même prescription. Dans les autres Etats, la déclaration est généralement exigée par les Commissions locales.

D'une manière générale, le médecin traitant est rendu responsable de la déclaration immédiate des différents cas de maladies épidémiques qu'il a pu constater; de plus les chefs de famille sont déclarés solidairement responsables avec les médecins dans un grand nombre d'Etats et de villes. Il existe même des Etats et des villes où « toute personne ayant connaissance d'un cas de maladie épidémique est tenue d'en informer l'autorité compétente ». Les peines encourues pour infraction aux règlements sus-visés sont généralement très sévères, variant d'une amende de 25 à 100 dollars et rendant même le délinquant passible d'un emprisonnement; quelquefois, on peut aller jusqu'à appliquer les deux peines simultanément.

La plupart des lois promulguées mentionnent communément un certain nombre de maladies, en dehors de la désignation vague « maladies contagieuses ou infectieuses ». Ces affections spécialement désignées comme susceptibles de se propager, se trouvent mentionnées dans la nomenclature ci-dessous :

Petite vérole (partout). Choléra (partout, à l'exception de quatre Etats). Fièvre jaune (11 Etats). Scarlatine (20 Etats). Diphtérie (20 Etats). Croup ou angine (8 Etats; dans un grand nombre d'endroits, les maux de gorge doivent être signalés lorsque la diphtérie y règne). Typhus (maladie peu fréquente aux Etats-Unis; 9 Etats). Fièvre typhoïde (7 Etats). Rougeole (7 Etats et 28 villes). Coqueluche (4 Etats et 18 villes). Phtisie (2 Etats et 9 villes). Méningite cérébro-spinale (2 Etats et 17 villes). Varioloïde (8 villes). Lèpre (7 Etats). Rage (1 Etat et 1 ville). Erysipèle (1 Etat et 5 villes). Oreillons (1 Etat et 5 villes). Fièvre puerpérale (2 Etats et 5 villes). Fièvre intermittente (1 Etat et 5 villes). Dysenterie (1 Etat et 1 ville). Trichine (2 Etats). Peste (1 Etat et 1 ville). Pneumonie (1 ville). Morve (3 villes). Malaria (1 ville).

Par comparaison, il n'y a que des instructions peu formelles relatives aux maladies vénériennes aux Etats-Unis. Aucune action directe n'est tentée de la part des autorités compétentes en matière d'hygiène se rapportant à la syphilis ou à la blennorrhagie, le sentiment public s'opposant vivement à toute discussion publique sur ce sujet ou sur les mesures à prendre pour déterminer officiellement les conditions dans lesquelles la maladie a pris naissance. D'après le Dr Deyer (de la Nouvelle-Orléans), il n'y a pas une seule ville aux Etats-Unis qui tente de faire exercer une surveillance médicale sur les prostituées.

2° *Affichage*. — La première mesure prise actuellement par les Commissions d'hygiène américaines, pour prévenir la propagation des maladies contagieuses, consiste dans l'affichage d'un avis dans les endroits contaminés. Cet avis a pour objet d'avertir le public du danger qui existe dans ce quartier. La nature de cet avis, ainsi que son lieu et son mode d'affichage, sont absolument différents dans presque toutes les villes et il n'est pas possible d'entrer ici dans le détail.

Dans un grand nombre d'endroits, où des décrets déterminant le mode d'affichage sont en vigueur, on n'appose pas d'avis lorsque le chef de la maison s'y oppose et qu'on peut le regarder comme responsable et capable d'assurer l'isolement de ses malades, ou encore lorsque le médecin traitant prend la responsabilité de l'isolement prescrit.

Les maladies signalées par voie d'affiche sont : la petite vérole, la scarlatine, la diphtérie, le croup, la fièvre jaune et le typhus. Actuellement, il y a une grande divergence d'opinion sur la question de savoir s'il est nécessaire d'afficher les cas de rougeole et d'oreillons, et le grand problème consistant à savoir de quelle façon il faut intervenir lorsqu'on se trouve en présence de la tuberculose et de la malaria attire sérieusement l'attention des autorités sanitaires américaines.

La fièvre typhoïde est rarement affichée (si toutefois elle l'est), mais elle figure généralement sur les listes des maladies réclamant une prompt intervention des autorités compétentes, afin que les dispositions puissent être prises pour en prévenir la propagation par des mesures convenables, telles que, par exemple, en vérifiant les produits alimentaires supposés infectieux ou en suppléant à l'eau contaminée

3° *Isolement*. — Cette mesure préventive est actuellement presque généralement mise en vigueur dans toutes les grandes villes des Etats-Unis par les Commissions locales d'hygiène ou les officiers de santé; il est plus rare qu'elle soit imposée par des lois régulières ou par des décrets du State Board. Le mode d'isolement, sa durée, etc., sont toujours laissés à l'appréciation des autorités locales, juges sensés et compétents en la matière. Les mesures employées varient nécessairement suivant la nature de l'habitation, le nombre des personnes ou de familles vivant sous le même toit, la gravité du cas, etc.

La retraite complète (reclusion) du malade dans une chambre (au lieu de son transport dans un hôpital qui pourrait être contagionné), est la règle adoptée pour les maladies telles que la petite vérole, le typhus, le choléra, la fièvre jaune et la peste. Des précautions identiques sont considérées comme nécessaires et sont recommandées dans la plupart des ordonnances sanitaires en cas de diphtérie et de scarlatine; pour ces deux dernières maladies cependant, l'isolement, dans

certaines endroits, n'est pas surveillé avec autant de soin par les autorités compétentes.

Puisque nous traitons la question de l'isolement, il est bon de mentionner que la plupart des Commissions locales d'hygiène ont des règlements précis relatifs à la surveillance que l'on doit exercer dans les écoles sur les enfants qui peuvent avoir été ou sont exposés à contracter des maladies contagieuses, et qu'une prompte décision est prise, s'il y a lieu, pour la fermeture des écoles dans tout quartier infecté, ou lorsqu'une épidémie sérieuse menace de se déclarer.

La question de l'opportunité d'isoler les malades atteints de tuberculose est prise en grande considération, dans la plus grande partie des Etats-Unis. A New-York, le mouvement dans ce sens s'est tellement généralisé, que des dispositions ont été prises pour l'établissement d'un hospice national (public) pour les phthisiques.

4° *Désinfection.* — Dans quinze Etats au moins, la désinfection des appartements, etc., ayant été occupés par des malades atteints d'affections contagieuses, est pratiquée d'office au nom de la loi ; dans deux autres, les Commissions locales d'hygiène sont autorisées à désinfecter, s'il y a lieu. Pour tous les autres Etats, ce sont les Commissions locales d'hygiène qui ont pleins pouvoirs, suivant les circonstances, et qui rendent les ordonnances nécessaires.

En général, les décrets et les règlements relatifs à la désinfection sont édictés en des termes très précis, prescrivant la méthode et les antiseptiques à employer et déterminant le temps pendant lequel les objets ou les locaux désinfectés ne pourront être utilisés.

Il n'y a que quelques-unes des grandes cités américaines qui possèdent des appareils de stérilisation à vapeur pour les vêtements, la literie, etc. Un grand nombre de communautés emploient encore l'acide sulfureux ; mais la formaldéhyde remplace presque partout maintenant les anciennes fumigations au soufre.

En outre des différentes méthodes mentionnées ci-dessus destinées à prévenir la propagation des maladies contagieuses, celle du diagnostic est employée dans le plus grand nombre des villes importantes ; elle consiste à s'assurer la collaboration d'un bactériologiste municipal occupé à cet effet, ou à soumettre les cas à un laboratoire privé, chargé de les examiner.

Dans l'éventualité d'une épidémie de petite vérole, la vaccination est obligatoire dans la plupart des Etats et des dispositions sont prises pour la vaccination gratuite de tous les habitants.

Depuis la preuve qui a été faite l'année dernière de la transmission de la malaria et de la fièvre jaune par les moustiques, le Gouvernement Fédéral s'efforce d'éveiller les intérêts, d'encourager les recherches et de recueillir les avis en ce qui concerne les mesures à prendre vis-à-vis de ces maladies. Quelques communautés déjà ont fait passer des ordonnances en vue de se débarrasser de ces insectes. Des expériences sont faites cet été même (1901) sur une grande échelle à Long Island (N. Y.), dans une région infectée par les moustiques et la malaria.

Et maintenant, arrivé au terme de notre mission, il nous reste à demander pardon aux lecteurs de la *Revue Technique* d'une part de ce que ces pages ont d'incomplet et de quelque peu décomposé, d'autre part du temps un peu long pendant lequel nous avons retenu leur attention. Pour le premier point, notre excuse est dans la rapidité avec laquelle nous avons dû rassembler et coordonner les matériaux de ce compte rendu : (plusieurs documents nous sont arrivés trop tard,

et bien des choses intéressantes nous ont sans doute échappé, qui auraient pu venir à notre connaissance si nous avions été moins pressé par le temps). Quant à la large place que nous avons prise dans la *Revue Technique*, elle nous paraît vraiment justifiée — non par la place, trop petite avons-nous dit, que l'Hygiène publique occupait à l'Exposition — mais par celle qu'elle aurait dû y tenir et qu'elle tiendra désormais dans les sociétés humaines. Cette science, née d'hier, est déjà, nouvelle Minerve, armée de pied en cap pour la défense de l'humanité. Nous avons passé la revue de ses armes, c'est-à-dire des moyens qu'elle emploie pour approvisionner les villes en eau saine, en éloigner les eaux souillées et les immondices de toutes sortes, détruire sur place les germes pathogènes et empêcher l'éclosion des épidémies; nous avons vu l'aide qu'elle sait tirer des autres sciences, la géologie, l'art de l'Ingénieur, la chimie, la bactériologie, la physique, la mécanique, etc.; enfin, nous avons promené le lecteur non seulement dans l'enceinte de l'Exposition et dans Paris, mais encore dans les grandes cités de la France, de l'Europe et de l'Amérique, pour lui montrer comment la fin du XIX^e siècle a commencé à mettre en action toutes ces ressources et quelle grande œuvre il reste au XX^e à accomplir. Puissions-nous avoir contribué à convaincre les esprits de l'importance et de l'utilité de cette œuvre! Elle mérite bien, certes, que les gouvernements, les municipalités, les savants et tous les hommes de bonne volonté s'appliquent de toutes leurs forces à la réaliser: en mettant la Science et le Progrès au service de l'homme, l'Hygiène arrive à écarter la douleur et la maladie, à prolonger la Vie humaine, à faire reculer la Mort (1).

Août 1901.

D^r ED. IMBEAUX

(1) Si quelque lecteur doute encore de l'efficacité de l'hygiène et de ses procédés, nous mettrons simplement sous ses yeux (à défaut d'une statistique que nous n'avions ni le temps, ni les moyens d'entreprendre), les quelques chiffres ci-dessous qui nous tombent sous la main et comparent la mortalité par 1000 dans dix grandes villes, en 1882 et en 1895.

Nul doute que l'amélioration constatée ne soit due aux mesures d'hygiène publique prises pendant cette période de 13 ans.

Mortalité par 1 000 habitants. comparée en 1882 et 1895

NOMS DES VILLES	en 1882	en 1895
Amsterdam	24,3	17,6
Rotterdam	23,5	19,7
Berlin	26,4	19,0
Dresde	25,2	20,6
Saint-Petersbourg	35,2	27,2
Vienne	29,2	23,1
Rome	26,1	20,8
New-York	30,6	22,4
Paris	26,3	21,1
Nancy	26,4	24,2

TABLE DES FIGURES

Fig.	Pages
1. Coupe d'une ancienne citerne-filtre de Venise	48
2. Exemple de sources filoniennes et de sources de déversement (coupe et plan schématiques de la vallée de Plombières)	21
3. Sources de déversement Effet de l'inclinaison des couches	22
4. Exemple de sources de déversement et de nappes superposées (couche du plateau de Malzéville)	23
5. Sources d'émergence	24
6. Configuration en plan d'une ligne de sources et de leurs bassins alimentaires	24
7. Relèvement d'une source par rencontre à son émergence d'un placage imperméable	25
8. Relèvement des eaux par une faille (Vallée de Saratoga)	25
9. Production d'une source par une faille (exemples de la fontaine de Nîmes)	26
10. Abaissement et jaillissement d'une source (glissant sous un manteau imperméable)	27
11. Détermination des nappes	31
12. Coupe transversale de l'Ardenne (bassins de Dinant et de Namur)	38
13. Coupe schématique des terrains de l'Est de la France et de leurs nappes aquifères	42
14. Coupe du crétacé inférieur aux environs de Vassy	43
15. Coupe du crétacé supérieur en Champagne	43
16. Coupe en long du bassin de la fontaine de Vaucluse	48
17. Diagramme des couches tertiaires et des nappes aquifères sous Paris	50
18. Coupe d'une colline des environs de Bruxelles	52
19. Coupe du sud au nord des Etats-Unis et nappes aquifères	61
20. Coupe de l'ouest à l'est — — — — —	61
21. Captage d'une source d'affluement	76
22. Captage d'une source de thalweg	76
23. Type de drains	86 et 87
24. Drainage dans les terrains granitiques	88
25. Exemple d'un bon et d'un mauvais puits	89
26. Exemple de puits artésiens réussis ou infructueux	93
27. Puits filtrants, système Putzeys, dans les sables bouillants	98, 99 et 100
28. Coupe en long d'un kiaris persan	102
29. Plan général des galeries captantes de Liège et de leurs extensions éventuelles	103
30. Coupe du plateau de la Hesbaye à Liège	104
31. Coupe du puits captant (régulateur) projeté à Liège	105
32. Effet d'un serrement sur le niveau de la nappe	108
33. Topographie souterraine de la forêt de Haye (projet de Nancy)	108
34. Coupe schématique suivant la galerie projetée sous la forêt de Haye	110
35. Types des galeries de captation de la forêt de Haye	111 à 114
36. Variation de la température de l'eau des lacs d'après la profondeur	117
37. Projet d'augmentation du débit des ouvrages de captation de Toulouse (batterie de puits filtrants)	125
38. Augmentation du débit de la galerie filtrante de Nancy par renforcement de la nappe souterraine et création d'un filtre d'arrière	126 à 128
39. Eaux souterraines artificielles: bassin d'infiltration et puits filtrants	130
40. Réservoir formant bassin d'infiltration à Uddevalla	131
41. Renforcement d'une nappe artésienne à Gottembourg	132
42. Filtres dégrossisseurs, système Pnech	133 à 137

43.	Alimentation de la banlieue de Paris en eau filtrée	142
44.	Usine d'épuration et de filtration de Choisy-le-Roi	143
45.	Révoluer du procédé Andorson	144
46.	Etablissement de filtrage d'Ivry	145
47.	Constitution des filtres à sable dans diverses villes	147
48.	Appareils de réglage des filtres à sable à l'entrée de l'eau brute	153
49.	Appareils de réglage des filtres à sable à la sortie de l'eau filtrée	154 et 155
50.	Tambour-laveur pour lavage du sable	157
51.	Plan et coupes du système Fischer à Worms	163 et 164
52.	Automatic-pressure filter (filtre Américain New-York filter)	169 et 170
53.	Filtre américain à sable et sans pression système Warron	172
54.	— — — Jowell	175
55.	Filtre Desrumeaux	182
56.	Filtre à siphon-laveur automatique Dervaux	183
57.	Filtres Howatson accouplés (pour grand débit).	184
58.	Filtre de pierre Kurka	187 à 190
59.	Filtre Breyer	191
60.	Pastourisateur Houdard, Egrot et Grangé	196
61.	Stérilisateur Rouart, Geneste et Herscher	197
62.	Stérilisateur Merko	198
63.	Appareil stérilisateur par électrolyse de l'aluminium	200
64.	Stérilisation par l'ozone. Appareil Marmier et Abraham	204
65.	Edon-filtre	217 et 218
66.	Aéri-filtre Mallié	219 et 220
66 bis	Vue au microscope des pores de la porcelaine et de la porcelaine d'amiante.	220
67.	Filtre Berkefelds	222
68.	Filtre Chamberland	223
69.	Appareil Ooston pour l'épuration des eaux ferrugineuses	230
70.	Pompe d'épuisement électrique (de la maison Ehrhardt et Schmer).	237 et 238
71.	Pompe centrifuge Schabazzer	240 et 241
72.	Pompes-turbines de Laval	243
73.	Pompe centrifuge système Rateau à axe vortical	244
74.	Tuyaux frottés de Pont-à-Mousson	251
75.	Essais à la presse hydraulique des tuyaux frottés de Pont-à-Mousson	252
76.	Fosse à siphon, système Deplanque	362
77.	Fosse Mouras	363
78.	— fixe métallique des frères Schmidt (de Weimar) avec appareils de clarification de désinfection et de vidange.	365
79.	Fosse à désinfection de Friedrich (de Leipzig)	366
80.	Tonne métallique de Heidelberg (maison C. Maquet) avec siphon et tuyau de ventilation	369
81.	Tonnes-voitures de Heidelberg (maison C. Maquet) sur deux ou quatre roues	369
82.	Garde-robes à terre (earth-closet) de la maison Jacob	371
83.	Torfstrecklosett de la maison C. Maquet de Heidelberg	372
83 bis.	— de Poppe	373
84.	Cabinets d'aisances à terre perfectionnés de Passavant (Francfort)	373
85.	Appareil pour nettoyage et stérilisation des tonnes à Groifswalde	374
86.	Appareil diviseur, système Dugléré	374
87.	Installation et raccordement à l'égout d'une tinette filtrante à Paris	375
88.	Type de tinette filtrante adopté par la ville de Paris	375
89.	Dilueur Miotat	377
90.	Siphon-dilueur de Geneste-Herscher	378
91.	— Lafforgue	378
92.	Feuerklosett de Seipp et Weyl	379
93.	Appareil de stérilisation à la vapeur des selles cholériques dans les salles du lazaret de Newcastle-on-Tyne	379

94.	Appareil de M. Perrachon pour la stérilisation des vidanges de la société coopérative des propriétaires de Lyon.	380
95.	Projet pour l'assainissement de Reims par le système séparatif	394
96.	La conduite Waring dans l'égout de la rue Vieille-du-Temple, à Paris	397
97.	Siphonnement et aération de la conduite Waring dans l'égout de la rue Vieille-du-Temple à la rencontre d'un égout latéral	398
98.	Bassin de chasse automatique, système Field-Waring (capacité de 460 litres) établi sous le trottoir.	398
99.	Dispositions adoptées pour les cabinets des écoles desservies par le système Waring	399
100.	Branchement et closet à air du système Liernur, à Amsterdam	400
101.	Système Liernur à Trouville. — Schéma de l'installation et du raccordement d'une maison	404
102.	Système Liernur à Trouville : plan d'un réservoir de district et des conduites qui y aboutissent	403
103.	Système Liernur à Trouville. — Schéma du réseau	406
104.	— Berlior. — Appareil de maison	407
105.	— de Levallois-Perret. — Appareil de maison	408
106.	Projet d'assainissement d'Avignon par le système de Levallois-Perret (plan général de la canalisation).	411
107.	Usine d'aspiration projetée à Avignon	412
108.	Vue du système Shone à un carrefour de rues	414
109.	L'éjecteur Shone dans une chambre en briques	414
110.	Coupe de l'éjecteur Shone	416
111.	Relèvement du sewage par l'éjecteur et compresseur Shone (ce dernier étant actionné par l'eau de la distribution)	418
112.	Plan des collecteurs (système en éventail) et des champs d'épandage de Brestau	423
113.	Les égouts de Francfort-sur-le-Mein. — Plan des collecteurs (système parallèle)	423
114.	Diagramme des valeurs du coefficient de retard φ d'après la formule $\varphi = \frac{1}{\sqrt{A}}$	428
115.	Transformation des anciens égouts d'Epinal et de Nîmes en vue de la surverse (d'après M. de Montricher)	430
116.	Le déversoir-intercepteur à Manchester	431
117.	Les collecteurs d'interception et l'assainissement de Buenos-Ayres	432
118.	Division de Paris en quatre bassins principaux	434
119.	Sections des quatre grands collecteurs parisiens.	434
120.	Egout de Paris, type 12 bis et bouche d'égout sous trottoir	436
121.	Déversoirs de fond et de superficie, avec porte de flot, à Paris	436
122.	Chambre ou bassin à sable du Châtelet	437
123.	Coupe et plan du siphon de l'Alma.	438
124.	Plan et profil en long du siphon de la Concorde	438
125.	— d'ensemble et coupe partielle de l'usine Mazas.	439
125 bis.	Élévation plan et coupe transversale de roue élévatoire Meunier, à l'usine Mazas	440
126.	Siphon de la Cité et usine élévatoire du quai des Orfèvres	441
127.	Plan de l'usine génératrice, rue Alain-Chartier	441 et 442
128.	— de l'émissaire des eaux d'égout de Paris et des terrains irrigués	442
129.	Profil en long de l'émissaire général des eaux d'égout de Paris. — Coupes principales.	444
130.	Usine de Clichy	446
131.	— Colombes	447
132.	Usine élévatoire de Pierelaye	448
133.	Bouche d'égout avec panier-filtre à Paris.	449
134.	Bouches d'égouts inodores (systèmes français).	450
135.	— — (— anglais)	451
135 bis.	— — (— —)	452
136.	— — (— allemands)	453

137.	Plan général du grand égout collecteur ou émissaire de Marseille	454
138.	Profil en long — — — — —	454
139.	Assainissement de Marseille : division en bassins et tracé des collecteurs	455
140.	— — — : cours Belsunce et cours Saint-Louis	455
141.	— — — général projeté de la ville de Lyon (collecteurs et champs d'épan- dage).	457
142.	Les collecteurs de Lyon.	458
143.	Plan de la canalisation et des champs d'épandage de Berlin (Les XII systèmes ra- diaux et les Rieselfelder).	461
144.	Profil normal d'une rue de Berlin (d'après M. Launay) échelle de 0 ^m ,0082 par mètre.	462
145.	Assainissement de Berlin. — Plan de l'usine élévatoire du radial-système V (d'après M. Launay	463
146.	Les égouts de Cologne. — Plan des collecteurs (Abfansystem).	466
147.	Section des collecteurs de Cologne	468
148.	Egout de Cologne : ouverture pour y précipiter la neige	469
149.	Division de Milan en quatre zones et tracé des collecteurs principaux	471
150.	Sections des collecteurs secondaires de Milan	472 à 474
150 bis.	Un égout drainant la nappe souterraine à Milan (Drenaggio saliente)	475
151.	Plan général de Naples et des environs : tracé des deux émissaires de Coroglio et de Cuma.	476
152.	Les collecteurs de Naples et leurs zones	477
153.	Profil en long des deux émissaires de Naples.	478
154.	Débouché dans la mer de l'émissaire de Coroglio	479 et 480
155.	Sections des égouts et collecteurs de Naples	481
155.	Élévateur hydropneumatique, système Adams.	482
157.	Installation de l'élevateur hydropneumatique pour relèvement d'eau d'égout.	483
157 bis.	Siphon de chasse automatique Adams.	483
158.	Hydro-élévateur Salmson.	486
159.	— — — Thirion	487
160.	Machine à colonne d'eau pour l'élévation des eaux-vannes, rue de la Convention	490
161.	Réservoir de chasse Geneste-Herscher à deux pentes opposées	491
162.	Les cinq phases d'amorçage du siphon automatique Geneste-Herscher.	492
163.	Réservoir de chasse avec siphon automatique Adams	493
164.	— et siphon de chasse — — — Flicoteaux	494
165.	Appareil Aimond	494
166.	— de chasse Parenty	495
167.	— Colin.	495
168.	— Poirier	495
169.	— à bascule Berlier	496
170.	Basculeur automatique Duckett.	496
171.	Appareil de chasse mobile employé en Belgique pour le curage des égouts de faible section	496
172.	Réservoir de chasse sur quatre roues, employé à Newhaven	496
173.	Hydraulic Sewer Flusher, de Merryweather	497
174.	Grand bateau-vanne des collecteurs de Paris	498
175.	Wagon-vanne à voie de 4 ^m ,20, des collecteurs de Paris.	499
176.	Appareil de curage automatique pour les égouts ovoïdes de Berlin	500
177.	— — — — — en tuyaux de Berlin	501
178.	Grille avec râteau mécanique Dutoit pour arrêter les fumiers des égouts de Paris.	501
179.	Drague montée sur wagon pour le curage des égouts de Paris	502
180.	Benne-dragueuse avec grue, au bassin à sable du Châtelet (égouts de Paris)	503 et 504
181.	Élévation, plan et vue de face d'une locomotive électrique des égouts de Paris.	504
182.	Grand et petit toueur des égouts de Paris	505
183.	Wagon-basculé se déversant en bout (voie de 4 ^m ,20) : égouts de Paris	506
184.	Wagon à sable pour voie de 4 ^m ,20, basculant par côté : égouts de Paris.	507

185.	Systèmes Webb (brûlant les gaz des égouts).	508
186.	Appareil Reeves pour la purification de l'air des égouts (dans un regard aménagé)	509
187.	La cheminée d'aérage et le désodoriseur Adams	510
188.	Les collecteurs de Boston et de la banlieue et leurs décharges en mer	515
189.	La Seine à l'aval de Paris dans la journée du 6 août 1898 (d'après MM. Girard et Bordas)	520
190.	L'auto-purification du Rhin en aval de Cologne	523
191.	Grille avec nettoyeur automatique de Riensch (d'Uerdingen)	540
192.	Blutoir tournant double de Friedrich	542
193.	Plan et coupes de l'usine de clarification des eaux d'égout de Cologne	544 et 545
194.	— — — d'épuration des eaux d'égout de Francfort-sur-le-Mein	552 et 553
195.	Coupe en long d'un des trois bassins continus de l'usine d'épuration de Wiesbaden	555
196.	Plan et coupe de l'installation d'épuration de Halle, procédé Muller-Nahusen	557
197.	Filtre-pressé de la Maison Dehne (Halle)	559
198.	Schwemmfiltre (filtre à membrane) de la Maison Dehne (Halle)	559
199.	Installation d'épuration chimique, avec puits de dépôt et filtre-pressé (Dehne)	560
200.	Schéma d'une installation d'épuration par le procédé Eichen (épuration chimique suivie de filtration)	562
201.	Schéma d'une autre installation d'épuration par le procédé Eichen (sédimentation simple, suivie de filtration oxydante ou intermittente)	563
202.	Bassin d'épuration Friedrich avec roue hydraulique et caisse filtrante	565
203.	Double fosse d'épuration Friedrich avec caisses filtrantes	565
204.	Installation Friedrich avec deux fosses servant alternativement	566
205.	— — à l'abattoir de Barmen (4 fosses)	567
206.	Puits profonds de Friedrich avec filtre horizontal et bassin de régularisation	568
207.	Installation Friedrich à cloche élévatrice (abattoir du Hanovre)	569
208.	Schéma du procédé Friedrich au charbon de vase comburée	570
209.	— d'une installation complète d'épuration par le procédé Rothe-Degeuer	574
210.	Installation d'épuration de Potsdam	575
211.	Saturateur de Dervaux	576
212.	Cylindre clarificateur de Dervaux	576
213.	Installation d'épuration de Dervaux-Reisert	577
214.	Puits clarificateur à diaphragmes angulaires de Riensch	578
215.	Système Cosham : bassins plats	580
216.	— — : puits profond	581
217.	— Ives	583
218.	— Howatson : vue de l'usine projetée pour Toulon (10.000 m ³ par jour)	587
219.	— — : installation projetée pour Rouen (36.000 m ³ —)	589 à 591
220.	Appareil électrolytique Hermite (a, b, c)	610
221.	— mangano-électrique	612
222.	L'épandage des eaux d'égout de Paris dans la presqu'île de Gennevilliers	617
223.	— — le parc agricole d'Achères	618
224.	— — la région de Méry-Pierrelaye	621
225.	— — la presqu'île de Carrières	623
226.	Bouche d'irrigation à clapet à vis et bouche d'irrigation automatique	624
227.	— — Flicoteaux	625
228.	Exemple d'installation d'une vanne Geneste-Herscher dans un bassin d'irrigation	626
229.	Plan des champs d'épandage de Reims	632
230.	— de détail d'un Rieselfeld de Berlin (district de Blankenburg-Malchow)	638
231.	— — de Breslau	641
232.	— du champ d'épandage de Fribourg en Brisgau	644
233.	— — de Croydon (Beddington farm)	646
234.	— des installations de filtration intermittente de Marlborough (Massachusetts)	653
235.	— — de Summit (New-Jersey)	654
236.	Schéma du système Scott-Monerieff (expériences d'Ashtead)	664

236 bis.	Lits de coke superposés et augets basculants de l'installation d'Eccleston Ferry	665
237.	Système Scott-Moncrieff à Caterham Barracks	666
238.	— Cameron : plan du septic tank de Belle-Isle (Exeter)	668
239.	Coupe transversale des lits filtrants d'Exeter	668
240.	Appareils de distribution automatique de Cameron	669
241.	Plan de l'installation de Barrhead (système Cameron).	671
242.	Diagramme des résultats de l'épuration à Yeovil	672
243.	Plan et détails de l'installation des lits bactériens à double contact de Sutton	675
244.	Appareils de distribution automatique Adams (plan et coupe schématiques).	677
245.	Vue générale des filtres à triple contact de Hampton (d'après M. Launay)	679
246.	Modèle d'une installation d'épuration par le procédé biologique (système de la compagnie Hydor-Allgemeine Gesellschaft	681
247.	Coupes des cuves filtrantes et de l'aërating tank de Waring, à Newport	685 et 686
248.	Coupe du filtre à aération de Lowcock	687
249.	Lit bactérien (vide) avec le sprinkler de Candy-Gaink, à Reigate	688
250.	Coupe des lits bactériens de Southwold (au Polarite avec système Candy)	689
251.	Installation de Knottingley (au Polarite avec système Candy)	691
252.	Coupe schématique et constitution du filtre Ducat	692
253.	Plan d'ensemble et coupes d'un filtre Ducat	693
254.	Installation pour le traitement du sewage de Salford et transformation de cette installation en vue d'un traitement bactériologique final.	697
255.	Expériences de Manchester : filtres à bactéries (M. Launay).	706
256.	— : Septic tank avec lits filtrants (M. Launay).	707
257.	Relations de la ville et du fleuve : ce qu'elles étaient et ce qu'elles doivent être.	718
258.	Réceptacles couverts interchangeables du système « Koprophor » brevet Hartwich	727
259.	Voiture collectrice du système « Koprophor ».	727
260.	Le système « Koprophor » appliqué au nettoyage et arrosage des chaussées	728
261.	Vue générale de la voiture collectrice « anti-poussière », système Kinsbruner	729
262.	Vue et coupe longitudinale du caisson de la voiture Kinsbruner	730
263.	Coupe transversale du caisson de la voiture Kinsbruner	731
264.	— — (schématique) du tombereau « Salubrita », système Lehbach	732
265.	Tombereau « Salubrita » n° 3 (Berlin)	733
266.	— — n° 5 (Cologne)	733
267.	— basculant et couvert de la ville d'Anvers	734
268.	— métallique de Hambourg.	735
269.	Four Fryer avec brûleur de fumée Jones : usine d'Ealing	744
270.	— Beaman et Deas, avec chaudière Babcock et Wilcox : usine de Leyton.	745
271.	— Manlove, Alliott et C ^{ie} : usine de Cobbe-Quarry	747
272.	Usine d'incinération projetée pour Cologne	748
273.	Coupe transversale d'une cellule Horsfall indépendante (usine d'Oldham)	750
274.	— de deux cellules Horsfall placées dos à dos (usines d'Edimburgh, de Bradford, etc.)	750
275.	Plans d'un four Horsfall double au niveau de la grille et au niveau du cendrier (usine de Bradford).	752
276.	Élévation de front d'un four Horsfall	753
277.	Plan, coupe et élévation de l'usine d'incinération du Strand Board of Works (Londres)	755 et 756
278.	Plan général de l'usine d'incinération et d'électricité de Fulham (Londres)	757
279.	— — projetée à Zurich.	758
280.	Usine d'incinération de Hambourg : plan d'ensemble.	759
281.	— : plan de détail, et coupes des cellules, chaudières et machines.	760 et 761
282.	Usine d'incinération de Hambourg : broyage et criblage des scories (clinker)	762
283.	Four Warner, avec ses derniers perfectionnements (usine de Torquay.	763
284.	— Heenan : installation de Farnworth	764

285.	Plan et élévation d'un four Meldrum	765
286.	Coupe en long du four Meldrum perfectionné, à Hunstanton.	766
287.	Four Whiley (Manchester)	767
288.	Plan et coupe du destructor Willoughby (à Lewisham).	768
289.	Four Thackeray	769
290.	— de Philadelphie.	770 et 771
291.	Petit four incinérateur de Ball	773
292.	— Kori pour gadoue, balayures, etc. (asile d'Aliénés de Nietleben)	774
293.	Four crémateur Kori pour hôpitaux (hôpitaux de Vienne, Berlin, etc.)	774
293 bis.	Four crémateur Kori pour grand abattoir (abattoirs de Stralsund, S-Petersbourg)	775
294.	Four crémateur de J. Le Blanc pour hôpitaux (Paris).	776
295.	Appareil distillateur Mason.	779
296.	Cylindre dessiccateur du système Merz	780
297.	Digesteur et trémie du procédé Arnold	781
298.	Presse du procédé Arnold	781
299.	Digesteur mobile du procédé Le Blanc.	783
300.	Balayeuse-arroseuse-ramasseuse « Salus » : vue schématique	786
300 bis.	— : vue perspective.	787
301.	Extracteur-stérilisateur d'abattoir et d'équarrissage de Rietschell et Henneberg.	789
302.	— — — — — de Hartmann.	790
303.	Appareil crémateur Polli-Clericetti	797
304.	— Gorini (plan et coupe longitudinale)	798
305.	— Venini.	799
306.	— Muller et Fichet (Paris).	800
307.	— Toisoul et Fradet (Paris) : appareil à coke.	801
308.	— Toisoul et Fradet (Lyon) : appareil au gaz d'éclairage.	802
309.	— Klingenstierna	803
310.	— Spasciani-Mesmer	804
311.	— Siemens	806
312.	— Bourry (Zurich)	807
313.	— Schneider (Hambourg)	808
314.	— Freigang	809
315.	Wagon-crématoire de Kuborn et Jacques	810
316.	Epuration des gaz odorants par le sol (M. Gérardin)	829
317.	Cuve à désinfection par trempage de Geneste-Herscher.	834
318.	Laveuse-désinfecteuse Dehaitre (a) vue perspective. — (b) coupe transversale).	836
318 bis.	Plan d'installation de la laveuse-désinfecteuse Dehaitre (actionnée par transmission avec mouvement de changement de marche automatique)	836
319.	Cuve de trempage et de désinfection Rietschell et Henneberg	839
320.	Étuve à désinfection Geneste-Herscher, par la vapeur fluente à très basse pression (avec séchoir et appareil à douches). — Coupe de l'installation.	841
321.	Étuve fixe Geneste-Herscher, à vapeur sous pression	843
322.	Étuve locomobile Geneste-Herscher, à vapeur sous pression	843
323.	Stérilisateur de Dehaitre.	844
324.	Étuve fixe à vapeur sous pression de Dehaitre	845
324 bis.	Cadre de manœuvre de l'étuve sous pression de Dehaitre	845
325.	Étuve verticale Vaillard et Besson ((a) vue perspective. — (b) coupe verticale) 846 et 847	846 et 847
326.	— horizontale locomobile de Vaillard et Besson.	848
327.	Petite étuve fixe verticale J. Le Blanc avec son fourneau	849
328.	— horizontale — — — — —	850
329.	— J. Le Blanc pour stations de désinfection	851
330.	Étuve locomobile J. Le Blanc montée sur 2 roues	851
331.	— — — — — 4 — (cylindre en long)	852
332.	— — — — — 4 — (— en travers).	852
333.	Étuve horizontale de Budenberg (Lümkemann, successeur), facilement transportable avec sa chaudière	853

334.	Etuve horizontale de Budenberg (Lünkemann successeur), avec sa chaudière	853
335.	Grande étuve locomobile de Budenberg (Lünkemann successeur)	854
336.	Grand appareil désinfecteur de Rietschel et Henneberg.	855
337.	Petite étuve simple de Rietschel et Henneberg (coupe en long)	857
338.	— verticale sur son fourneau, d'Oscar Schimmel (Chemnitz)	857
339.	Etuve verticale avec chaudière séparée, —	858
340.	Grande étuve fixe elliptique, d'Oscar Schimmel (coupe en long)	859
341.	— locomobile, — (—)	859
342.	Etuve verticale et son fourneau montés sur un chariot transporteur spécial des frères Schmidt (Weimar)	860
343.	Grande étuve locomobile des frères Schmidt (Weimar)	860
344.	Etuve transportable Thursfield, en service à Vienne.	861
345.	Etuve fixe de Reck et son séchoir (Copenhague)	861
346.	Coupe transversale de l'étuve Reck à enveloppe à eau (séchage intérieur)	862
347.	Coupes transversales des étuves Reck : types circulaire, ovale et rectangulaire	862
348.	Etuve Reck transportable, sur deux roues.	863
349.	— Trosh (Westminster) : vue perspective (a) et coupe transversale (b)	863
350.	Etuve à désinfecter de J. Wodon (Namur).	864
351.	Pulvérisateur (de la maison J. Le Blanc)	869
352.	Mélangeur dosimétrique Laurans (maison Geneste-Herscher)	870
353.	Autoclave formogène Trillat au formochlorol	872
354.	Appareil « Colonia », de Czaplewski	873
355 et 355 bis.	Appareil de Lingner, au glycoformal	874
356.	Appareil de Rosenberg (à la holzine)	875
357.	— de Flügge (dit de Breslau).	875
358.	— de Hoton (maison Geneste-Herscher).	876
359.	Formulateur Hélios (Schering) pour petits espaces	876
360.	— — pour appartements.	877
361.	— — combiné (dit Aesculape combiné).	878
362.	Appareil Hélios (Schering) pour dégager l'ammoniaque.	878
363.	Désinfection par la formacétone, système Fournier : vue d'ensemble du système.	879
364.	— — — : porte-omnibus avec les appareils de chauffage	880
365.	Désinfection par la formacétone, système Fournier : désinfecteur courant (stérilisateur-autoclave)	882
366.	Désinfection par la formacétone, système Fournier : Désinfecteur avec ses raccords pour la désinfection des matelas.	883
367.	Désinfection par la formacétone, système Fournier : grand désinfecteur pour opérations industrielles	884
368.	Désinfection par la formacétone, système Fournier : Etuve à formacétone	885
369.	Evaporateur électro-formogène des frères de Rechter	887
370.	Etuves formogènes des frères de Rechter	889
371.	Plan et coupe transversale d'une station municipale simple	894
372.	Plan de la station de désinfection de la rue des Récollets, à Paris	895
373.	— — de Reicherbergerstrasse, à Berlin	896
374.	— — de Hambourg	897
375.	— — de Palerme.	898

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction : Coup d'œil rapide sur l'Exposition d'Hygiène (Paris 1900).	4
Chapitre I. — Alimentation en eau	47
§ 1 ^{er} . — <i>Provenance de l'eau</i>	
1 ^o Eau de pluie : Citernes,	47
2 ^o Eau souterraine : sources et nappes	49
Généralités.	4
Etude hydro-géologique d'une région	27
Exemple de régions étudiées.	33
Principales nappes aquifères de la France.	33
— — — des Etats-Unis	60
3 ^o Eau de surface ou de ruissellement : fleuves et rivières, lacs, étangs, etc.	68
§ 2. — <i>Choix et captation de l'eau.</i>	
I — Choix de l'eau à distribuer	71
II. — Captation et prise de l'eau.	73
1 ^o Captation des eaux souterraines	73
A) prises à faible profondeur : sources, drainages, puits	73
B) prises à grande profondeur : puits et forages profonds, puits artésiens, galeries captantes.	91
2 ^o Dérivation des eaux de surface	115
A) prise d'eau dans les rivières, dans les lacs ; barrages-réservoirs	115
B) prise d'eau dans les berges : galeries et puits filtrants, filtration naturelle ; eaux souterraines artificielles	120
§ 3. — <i>Amélioration de l'eau naturelle.</i>	133
I. — Clarification	133
II. — Filtration et stérilisation	140
A) Filtration contrale. 1 ^o — Grands filtres à sable	140
Installations existantes	140
Constitution des filtres	146
Fonctionnement et réglage	149
Nettoyage	156
Mode d'action et efficacité	189
Perfectionnements et autres modes d'opération	162
Prix de revient du filtrage au sable.	165
2 ^o Filtres américains, dits filtres mécaniques ou filtres rapides.	
Comparaison avec les filtres à sable	167
3 ^o Autres systèmes de filtration et de stérilisation en grand	181
a) Procédés mécaniques	181
b) Procédés physiques.	194
c) Procédés chimiques.	208
B) Filtration à domicile. Examen rapide des divers filtres	215
III — Epuración ou correction	224
IV. — Aération.	232
§ 4. — <i>Elévation, adduction, emmagasinement et distribution de l'eau</i>	233
I. — Elévation. — Pompes électriques, pompes centrifuges	233

II — Adduction	243
Tuyaux en bois	247
Tuyaux en béton, grès, poterie	248
Tuyaux en ciment armé	248
Tuyaux en fonte	250
Tuyaux en fer ou acier	255
Tuyaux en plomb	256
Obstruction et désobstruction des conduites	257
Electrolyse des conduites	261
III. — Emmagasinement et distribution.	262
Réservoirs, pertes de la canalisation, compteurs	264
§ 5. — <i>Qualité de l'eau Recherche et contrôle de cette qualité; rapports avec la santé publique et la législation</i>	268
I. — Analyse chimique et son interprétation	278
II. — Analyse bactériologique et son interprétation	284
III. — Recherches expérimentales sur l'origine et le trajet des eaux souterraines	313
IV. — Maladies d'origine hydrique. Service démographique et épidémiologique pour ces maladies	318
V. — Protection des nappes et des sources : législation et instruction des projets de distribution d'eau	321

Chapitre II. — Assainissement des villes.

§ 1 ^{er} . — <i>Eloignement et traitement des immondices liquides (eaux usées et matières fécales).</i>	343
Généralités : volume et composition des eaux d'égout	343
1 ^o Evacuation hors ville des immondices liquides	359
a) Système d'évacuation individuelle	360
Fosses fixes, fosses Mouras, etc.	361
Récipients mobiles, système diviseur, linettes filtrantes, etc	369
Autres procédés individuels : destruction et stérilisation des matières fécales par la chaleur	377
b) Système d'évacuation générale à double canalisation, dit système séparatif.	382
Comparaison du système séparatif et du système unitaire.	385
Le système séparatif dans les différents pays (projet de Reims)	387
Système Waring	393
Système Liernur (Amsterdam, Trouville).	399
Système Berlier et système de Levallois-Perret (projet d'Avignon).	403
Système Shone (projet de Toulon)	413
c) Système d'évacuation générale à canalisation unique, dit système unitaire	421
Tracé d'un réseau d'égouts	422
Calcul des débits et des sections (coefficients φ et ψ)	426
Egouts de Paris (bouches d'égouts de divers systèmes)	433
— Marseille	452
Projet d'assainissement de Lyon	456
Egouts de Berlin	461
— Cologne.	463
— Milan	470
— Naples	475
Appareils divers relatifs à l'exploitation d'un réseau d'égouts.	483
Relèvement des eaux d'égout (élévateurs Adams, Salmson, Thirion, Samain)	483
Curage des égouts (réservoirs de chasse, bateau-vanne, wagon-vanne, grilles, bonnes-dragueuses, etc.)	491
Ventilation des égouts : siphon de pied	505
2 ^o Destinée finale et traitement des eaux d'égout	514
a) Déversement en mer (exemple de Boston)	514
b) Déversement direct dans les lacs et les fleuves : infection et autopurification des cours d'eau ; mesures de protection.	518
Législation relative à la protection des cours d'eau :	
en France	529
en Angleterre	534
en Belgique	538
en Suisse	535
en Allemagne	536

en Autriche	538
en Russie	538
aux Etats-Unis	538
c) Epuraton des eaux d'égout.	538
A Procédés mécaniques : bassins et puits de sédimentation (exemples de Cassel, Cologne)	539
B Procédés chimiques et mécanico-chimiques	547
I. — Epuration mécanico-chimique en Allemagne	551
Exemple de Francfort-sur-le-Mein	551
— Wiesbaden	553
— Halle, Dortmund etc. : procédé Müller-Nahnsen	556
Procédés de Dehne	559
— Eichen et applications	561
— Friedrich	565
— Rothe-Röckner et Rothe-Degener et applications	573
— Dervaux-Reisert	576
Puits clarificateur de Riensch	578
Procédé Gerson, procédés de Hulwa, procédé de Proskowetz	579
II. — Epuration mécanico-chimique en Angleterre.	579
Système Cosham	582
— Yves	582
Procédé Howatson (projets pour Rouen et Toulon)	583
— Howatson-Bergé	599
— de Conder.	600
Diverses villes anglaises.	600
III. — Epuration mécanico-chimique aux Etats-Unis	602
IV. — — — — en France : usine de Grimonpont.	603
C Procédés physiques (procédés Woolf, Hermite, Webster, mangano-électrique)	608
D — terriens ou épuration par le sol.	613
I. — L'épandage agricole en France : Paris et Reims.	615
II. — — — en Allemagne : Berlin, Breslau, Fribourg-en-Brisgau	633
III. — — — en Angleterre : Sewage-farms	644
IV. — — — aux Etats-Unis	648
V. — La filtration intermittente (Angleterre et Etats-Unis)	649
E Procédés biologiques ou bactériologiques	656
Généralités	656
I. — Procédés plus spécialement anaérobiques.	664
Système Scott-Moncrieff	664
— Cameron ou d'Exeter (Septic tank) (Exeter, Barrhead, Yeovil)	667
II. — Procédés plus spécialement aérobiques	672
Système Dibdin ou de Sutton : lits bactériens à double ou triple contact (Barking, Sutton, Oswestry, Southampton, Hampton).	672
Essais en Allemagne (Oxydationsverfahren)	680
III. — Procédés divers : aération forcée, chauffage artificiel, écoulement continu.	684
Système Waring	684
— Lowcock	687
— Garfield	687
Polarite biological system, avec sprinkler Candy-Caink.	688
Oxygen system (Adeney et Parry)	690
Système Ducat.	692
— Whittaker-Bryant	694
— Stoddart	695
Autres distributeurs automatiques.	696
IV. — Expériences de Salford, Londres, Leeds et Manchester. — Conclusions.	696
— de Salford (d'après Moore).	696
— de Londres	699
— de Leeds (d'après M. Launay)	699
— de Manchester (d'après M. Launay)	705
Résumé et conclusions de M. Launay	710
Instructions actuelles du Local Government Board	712
Renseignements complémentaires : rapports du Congrès de Glasgow	714
Rapport provisoire de la Royal Commission de Lord Iddesleigh	716
Conclusion : relations de la ville et du fleuve.	719

§ 2. — <i>Eloignement et traitement des immondices solides</i>	749
1 ^o Collecte, éloignement et traitement des ordures ménagères et des boues et poussières de rues	749
Volume et composition des gadoues	724
Collecte, enlèvement et transport des gadoues (voitures sans poussière)	725
Traitement et utilisation des gadoues	738
1 ^o Déversement en mer	738
2 ^o Utilisation agricole : triage et broyage préalables	738
3 ^o Incinération (fours Fryer, Beaman et Deas, Manlove et Alliott, Horsfall, Warner, Heenan, Meldrum, Macadam, Whiley, Willoughby, Thakeray, de Philadelphie, etc.) — Petits appareils incinérateurs ou crémateurs	742
4 ^o Fusion (système Wegener)	778
5 ^o Distillation, traitement par la vapeur etc. (procédés Mason, Merz, Arnold, Le Blanc etc.)	778
Boues et poussières des rues	783
2 ^o Eloignement et traitement des cadavres	788
a) Cadavres animaux	788
b) Cadavres humains : inhumation et crémation	794
Salubrité des cimetières	794
Fours crématoires	796
1 ^o Appareils à distillation	796
2 ^o Appareils à combustion avec flamme (Polli-Clericetti, Gorini, Venini, Muller et Fichet, Toisoul et Fradet, Klingenshierna, Spasciani-Mesmer)	797
3 ^o Appareils à air chaud (Siemens, Guichard, Bourry, Schneider, Freigang)	805
§ 3. — <i>Suppression des causes d'impureté de l'atmosphère urbaine</i>	840
A. — Suppression des fumées et des gaz de la combustion dans l'air des villes	842
Question de la fumivorté : législation	842
Analyse du rapport de M. Armand Gautier	847
B. — Suppression des odeurs urbaines et industrielles	822
Mémoire inédit de M. A. Gérardin	823
§ 4. — <i>Suppression des causes de contagion proprement dites : défense contre les maladies transmissibles</i>	832
I. — Procédés et engins de désinfection	832
a) Désinfection des effets	833
1 ^o Désinfection par la chaleur : étuves (constructeurs français et étrangers)	833
2 ^o — par les antiseptiques	865
b) Désinfection des locaux	869
1 ^o Pulvérisations	870
2 ^o Désinfectants gazeux : formaldéhyde (appareils de Trillat, de Prausnitz, de Czaplowski, de Lingner, de Flügge, de Hoton, de Schering, de Fournier, des frères de Rechter)	871
c) Stations municipales de désinfection et stations régionales (Paris, Berlin, Hambourg, Palerme)	893
II. — Mesures administratives et législation de la désinfection	899
a) Déclaration obligatoire	900
b) Avertissements donnés au public : affichage	901
c) Isolement des contagieux	902
d) Désinfection obligatoire	905
Lois sanitaires des divers pays :	
I. En France (projet de loi pour la protection de la santé publique)	907
II. Belgique (instructions ministérielles)	914
III. Hollande (loi du 4 décembre 1872 et modifications ultérieures)	918
IV. Angleterre et Ecosse (Public Health Act 1875)	924
V. Suède et Norvège (loi norvégienne du 8 mai 1900 relative à la tuberculose)	925
VI. Allemagne (loi du 30 juin 1900)	928
VII. Autriche-Hongrie	935
VIII. Suisse	936
IX. Italie (loi du 22 décembre 1888 et règlement du 3 février 1901)	937
X. Etats-Unis	943
Conclusion	946
Table des figures	949
Table des matières	957

