http://cnum.cnam.fr
Conservatoire numérique des Arts & Métiers

Titre : Congrès international du génie civil tenu à Paris du 5 au 14 août 1878
Auteur : Exposition universelle. 1878. Paris

Mots-clés : Exposition universelle (1878 ; Paris) ; Génie civil*France*19e siècle*Congrès ; Génie civil*Europe*19e siècle*Congrès
Description : 1 vol. ([4]-372 p.) ; 24 cm
Adresse : Paris : Imprimerie Nationale, 1880
Cote de l'exemplaire : Sciences-Po E 454.12

URL permanente : http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE246

La reproduction de tout ou partie des documents pour un usage personnel ou d'enseignement est autorisée, à condition que la mention complète de la source (*Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*) soit indiquée clairement. Toutes les utilisations à d'autres fins, notamment commerciales, sont soumises à autorisation, et/ou au règlement d'un droit de reproduction.

You may make digital or hard copies of this document for personal or classroom use, as long as the copies indicate *Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*. You may assemble and distribute links that point to other *CNUM* documents. Please do not republish these PDFs, or post them on other servers, or redistribute them to lists, without first getting explicit permission from *CNUM*.

PDF créé le 14/12/2011

E 12
454

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU COMMERCE.

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1878, A PARIS.

CONGRÈS ET CONFÉRENCES DU PALAIS DU TROCADÉRO.

BIBLIOTHÈQUE
E.454

COMPTES RENDUS STÉNOGRAPHIQUES

PUBLIÉS SOUS LES AUSPICES

DU COMITÉ CENTRAL DES CONGRÈS ET CONFÉRENCES

ET LA DIRECTION DE M. CH. THIRION, SECRÉTAIRE DU COMITÉ,

AVEC LE CONCOURS DES BUREAUX DES CONGRÈS ET DES AUTEURS DE CONFÉRENCES.

CONGRÈS INTERNATIONAL

DU GÉNIE CIVIL,

TENU À PARIS DU 5 AU 14 AOÛT 1878.

N° 12 de la Série.

PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXX.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

COMPTES RENDUS STÉNOGRAPHIQUES DES CONGRÈS INTERNATIO

DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878.

Congrès de l'Agriculture. (N° 1 de la série.)
Congrès pour l'Unification du numérotage des fils. (N° 2 de la série.)
Congrès des Institutions de prévoyance. (N° 3 de la série.)
Congrès de Démographie et de Géographie médicale. (N° 4 de la série.)
Congrès des Sciences ethnographiques. (N° 5 de la série.)
Congrès des Géomètres. (N° 6 de la série.)
Conférences de Statistique. (N° 7 de la série.)
Congrès pour l'Étude de l'amélioration et du développement des moyens de trans (N° 8 de la série.)
Congrès des Architectes. (N° 9 de la série.)
Congrès d'Hygiène. (N° 10 de la série.)
Congrès de Médecine mentale. (N° 11 de la série.)
Congrès du Génie civil. (N° 12 de la série.)
Congrès d'Homœopathie. (N° 13 de la série.)
Congrès de Médecine légale. (N° 14 de la série.)
Congrès sur le Service médical des armées en campagne. (N° 15 de la série.)
Congrès pour l'Étude des questions relatives à l'alcoolisme. (N° 16 de la série.)
Congrès des Sciences anthropologiques. (N° 17 de la série.)
Congrès de Botanique et d'Horticulture. (N° 18 de la série.)
Congrès du Commerce et de l'Industrie. (N° 19 de la série.)
Congrès de Météorologie. (N° 20 de la série.)
Congrès de Géologie. (N° 21 de la série.)
Congrès pour l'Unification des poids, mesures et monnaies. (N° 22 de la série.)
6e Congrès Séricicole international. (N° 23 de la série.)
Congrès de la Propriété industrielle. (N° 24 de la série.)
Congrès du Club Alpin français. (N° 25 de la série.)
Congrès sur le Patronage des prisonniers libérés. (N° 26 de la série.)
Congrès de la Propriété artistique. (N° 27 de la série.)
Congrès de Géographie commerciale. (N° 28 de la série.)
Congrès universel pour l'Amélioration du sort des aveugles et des sourds-muets. (de la série.)
Congrès des Sociétés de la paix. (N° 30 de la série.)
Congrès des Brasseurs. (N° 31 de la série.)
Congrès pour les Progrès de l'industrie laitière. (N° 32 de la série.)

AVIS. — Chaque compte rendu forme un volume séparé que l'on peut se proc **l'Imprimerie Nationale** (rue Vieille-du-Temple, n° 87) et dans toutes les librair fur et à mesure de l'impression.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CONGRÈS INTERNATIONAL

DU GÉNIE CIVIL,

TENU À PARIS DU 5 AU 14 AOÛT 1878.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DU COMMERCE.

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1878, A PARIS.

CONGRÈS ET CONFÉRENCES DU PALAIS DU TROCADÉRO.

BIBLIOTHÈQUE

COMPTES RENDUS STÉNOGRAPHIQUES

PUBLIÉS SOUS LES AUSPICES

DU COMITÉ CENTRAL DES CONGRÈS ET CONFÉRENCES,

ET LA DIRECTION DE M. CH. THIRION, SECRÉTAIRE DU COMITÉ,

AVEC LE CONCOURS DES BUREAUX DES CONGRÈS ET DES AUTEURS DE CONFÉRENCES.

CONGRÈS INTERNATIONAL

DU GÉNIE CIVIL,

TENU À PARIS DU 5 AU 14 AOÛT 1878.

N° 12 de la Série.

PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXX.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CONGRÈS INTERNATIONAL

DU GÉNIE CIVIL,

TENU À PARIS, DU 5 AU 14 AOÛT 1878.

ARRÊTÉ

DU MINISTRE DE L'AGRICULTURE ET DU COMMERCE

AUTORISANT LE CONGRÈS.

Le Ministre de l'agriculture et du commerce,

Vu notre arrêté en date du 10 mars 1878, instituant huit groupes de Conférences et Congrès pendant la durée de l'Exposition universelle internationale de 1878;

Vu le Règlement général des Conférences et Congrès;

Vu l'avis du Comité central des Conférences et Congrès,

Arrête :

Article premier. Un Congrès international du Génie civil est autorisé à se tenir au palais du Trocadéro du 5 au 14 août 1878.

Art. 2. M. le Sénateur, Commissaire général, est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Fait à Paris, le 6 juillet 1878.

Le Ministre de l'agriculture et du commerce,

TEISSERENC DE BORT.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

COMITÉ D'ORGANISATION.

Le Congrès international du Génie civil est dû à l'initiative de la sixième commission des Congrès et Conférences de l'Exposition universelle de 1878.

Cette commission constitua le Comité d'organisation du Congrès.

Le Comité, dont la composition est indiquée plus loin, s'adjoignit M. Ch. Thirion, ingénieur civil, secrétaire du Comité central des Congrès et Conférences de l'Exposition de 1878. Chacun de ses membres fut chargé d'élaborer un programme des questions qui pourraient être traitées au Congrès, et un choix fut fait par le Comité entre les questions ainsi proposées. Ce programme, avec une lettre d'invitation, fut adressé aux sociétés d'ingénieurs de France et de l'étranger, aux ingénieurs des différents corps de l'État, et enfin à tous les hommes qui, sans distinction de pays, avec ou sans attaches officielles, se livraient à des travaux ressortant du génie civil. Cet appel fut entendu. La Société des ingénieurs civils de France répondit une des premières à l'invitation de son président et s'inscrivit en bloc pour trois cents adhésions. D'autres sociétés suivirent son exemple.

Les ingénieurs des mines et des ponts et chaussées reçurent l'autorisation du Ministre et beaucoup d'entre eux manifestèrent l'intention de se joindre aux ingénieurs civils. Les principaux États de l'Europe déléguèrent des ingénieurs pour suivre les travaux du Congrès.

Lorsqu'on fut assuré ainsi du concours d'un nombre suffisant d'adhérents, on décida de se former en réunion préparatoire pour examiner les questions qu'il conviendrait de traiter de préférence parmi celles qui avaient fait l'objet du programme élaboré par la sous-commission d'organisation.

Cette réunion, qui eut lieu le 12 juillet au palais des Tuileries (pavillon de Flore), commença par constituer le bureau du Congrès. M. Tresca fut immédiatement désigné comme président. On nomma ensuite les vice-présidents, les secrétaires et le trésorier, dont les noms sont donnés ci-après.

Cela fait, on procéda à la répartition des membres des neuf sections correspondant aux neuf divisions du programme. Chaque section choisit son secrétaire.

Dans les jours suivants, chacune des sections se réunit séparément, et, après l'examen des mémoires envoyés au Bureau, choisit les questions qui seraient présentées au Congrès, sous forme de rapports, pour être ensuite l'objet de discussions dans la même séance.

La liste qui est donnée plus loin énumère toutes ces questions, ainsi que les noms des rapporteurs chargés de les développer.

Le programme définitif du Congrès se trouvait ainsi arrêté. Rien ne troubla sa réalisation qui occupa dix séances consécutives, du 5 au 14 août 1878.

Dans les intervalles, des conférences sur des sujets techniques furent faites dans une des salles du Trocadéro, et complétèrent ainsi, dans une certaine mesure, l'œuvre du Congrès.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LISTE DES MEMBRES DU COMITÉ D'ORGANISATION.

Président :

M. E. Duclerc, vice-président du Sénat.

Vice-président :

M. Henri Tresca, membre de l'Institut, sous-directeur au Conservatoire des arts et métiers, président de la Société des ingénieurs civils de France.

Secrétaire :

M. Turgan, publiciste.

Membres du Comité :

MM. Baron, inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques.
Bergon, administrateur des lignes télégraphiques.
Blavier, inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques.
Charton, ingénieur civil.
Collignon, professeur à l'École des ponts et chaussées.
Couche, inspecteur général des mines.
de Fréminville, directeur des constructions navales, professeur à l'École centrale des arts et manufactures.
Louis-Xavier Gargan, président de la Chambre syndicale des mécaniciens.
Hervé-Mangon, membre de l'Institut, professeur à l'Institut agronomique.
Ch. Laboulaye, secrétaire de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale.
A. Lavalley, ancien président de la Société des ingénieurs civils.
Mouchez, membre de l'Institut et du Bureau des longitudes.
Surell, ancien directeur des chemins de fer du Midi.
E. Trélat, professeur au Conservatoire des arts et métiers, directeur de l'École spéciale d'architecture.
Véron-Duverger, directeur général des Chemins de fer au Ministère des travaux publics.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

PROGRAMME DU CONGRÈS.

Section I. — Mines et métallurgie.

1. *L'acier.* — Nouvelles fabrications de l'acier; ses prix de revient; son avenir économique; ses divers emplois. — 2. *Les explosions de grisou.* — Des explosions; causes auxquelles elles peuvent être attribuées, et plus particulièrement de leurs rapports avec les variations de la pression extérieure; influence de la ventilation; moyens préventifs. — 3. *Les transports dans l'exploitation des mines.* — Transports intérieurs; élévation au jour; transports horizontaux et inclinés par chaînes; déchargement, embarquement. — 4. *Exploitation mécanique de la houille.* — Procédés proposés; l'air et l'eau employés comme moyens de transmission; essais d'application; avenir qui leur est réservé. — 5. *Procédés de sondage.* — Moyens employés; état actuel du matériel; dimensions des grands trous de sonde; sondages de recherches minérales; extraction des témoins; des sondages au point de vue de la recherche des eaux jaillissantes; derniers travaux de puits artésiens.

Section II. — Agriculture et génie rural.

1. *Culture à vapeur.* — État actuel de la question; matériel: moyens à employer pour en hâter le développement. — 2. *Aménagement des richesses hydrauliques.* — État actuel des irrigations; étude des moyens d'en accroître l'étendue; irrigations naturelles; machines à employer; réservoirs; colmatages. — 3. *Conquête des terrains propres à la culture.* — Desséchements, endiguements, polders, encouragements à donner aux entreprises. — 4. *Machines servant aux récoltes.* — Faucheuses, moissonneuses, faneuses et râteaux; leur application en France; nécessité de leur emploi; conditions auxquelles elles doivent satisfaire; leur état actuel. — 5. *Les transports économiques dans les fermes.* — Machines de traction; conditions d'emploi; résultats obtenus en Angleterre; chemins de fer agricoles; matériel de transport.

Section III. — Machines.

1. *Cheval-vapeur.* — Son évaluation à terre et à la mer; cheval indiqué; cheval effectif; cheval nominal; spécification de la puissance des générateurs; unification du cheval-vapeur. — 2. *Les accumulateurs.* — Extension de l'emploi des accumulateurs et des machines à pression d'eau; machines de manœuvres, presses hydrauliques, machines-outils, servo-moteurs. — 3. *Sociétés de surveillance des appareils à vapeur.* — Leur développement statistique des accidents; influence de ces sociétés sur la diminution du nombre des accidents, sur l'économie du combustible; leur importance au point de vue de l'observation des règlements; essais des tôles. — 4. *Unification dans les dimen-*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sions des organes de machines. — Pas et diamètres des écrous et boulons; état de la question en France, en Angleterre et en Allemagne; importance commerciale de l'unification; système à adopter. — 5. *Choix des métaux les plus propres aux différentes parties de la construction des machines.* — Propriétés des aciers mous et des aciers durs; propriétés des fers cémentés; propriétés de la fonte malléable; conditions d'emploi; générateurs en tôle d'acier; coques de navires en acier.

Section IV. — Routes, rivières et canaux.

1. *Inondations; moyens à leur opposer.* — Bassins naturels, bassins de retenue; endiguements, reboisements; étude méthodique des crues; leur prévision; indication probable de leur niveau. — 2. *Nouveaux procédés de montage des ponts métalliques.* — Les nouvelles méthodes comparées aux anciennes; pont provisoire de manœuvre; méthodes d'encorbellement et de glissement; description des plus grands montages. — 3. *Utilisation des routes et des berges pour l'établissement de chemins de fer.* — Rails saillants, rails encastrés; influence de la nature de la route, augmentation de l'adhérence; réduction de la traction. — 4. *Comparaison entre les différents modes de construction des chaussées dans les villes.* — Pavés, macadam, bois, dalles, bitume; examen des différents systèmes au point de vue de la propreté, de l'entretien et de la traction; enquête faite en Angleterre. — 5. *Barrages en rivière.* — Différents systèmes de barrages mobiles; leur mode d'établissement, leur prix de revient; leur efficacité; description des installations les plus récentes.

Section V. — Chemins de fer.

1. *Chemins de fer économiques.* — Largeur de voie; conditions de rampes et de courbes; raccordements, transbordements; résultats obtenus. — 2. *Machines motrices pour tramways.* — Moteurs à vapeur, à eau chaude, à air comprimé; machines adhérentes, machines attelées; coefficients de traction. — 3. *Améliorations matérielles à apporter dans le service des voyageurs.* — Wagons, leur chauffage; sleeping-cars; communication entre les voitures; service des bagages. — 4. *Perfectionnement de la voie.* — Substitution des rails d'acier aux rails de fer; traverses métalliques; changements de voie. — 5. *Emploi des fortes rampes.* — Rail central; machines fixes; systèmes funiculaires; principaux résultats obtenus; freins; contre-vapeur.

Section VI. — Navigation fluviale et maritime.

1. *Les machines Compound dans la navigation maritime.* — Leurs avantages; leur système de distribution; conséquences de leur emploi; condenseurs à surface; détériorations résultant de l'emploi de l'eau de condensation. — 2. *Résistance des carènes.* — Transformations successives des profils; observations récentes; règles qu'on en peut déduire; limites du recul. — 3. *Halage des bateaux.* — Remorquage direct; chaînes noyées; halages sur berges par attelages ou machines routières; résistance à la traction suivant la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vitesse et suivant la section des canaux. — 4. *Embarcations de sauvetage.* — Conditions à remplir ; derniers perfectionnements ; développement et organisation des sociétés de sauvetage ; porte-amarres et autres moyens de communication. — 5. *Le roulis et le tangage.* — Expériences sur le roulis et le tangage ; appareils d'observation et d'enregistrement ; appropriation des coques aux différentes circonstances à la mer ; moyens proposés pour combattre le roulis.

Section VII. — Constructions publiques et particulières.

1. *L'eau dans les villes ; alimentation et distribution.* — Quantité d'eau nécessaire ; son choix ; eau de rivière ; filtration ; installation des usines hydrauliques ; eaux de sources ; aqueducs et réservoirs ; leur construction ; conduites de distribution. — 2. *Les égouts.* — Leur utilité ; leurs modes de construction ; leur assainissement ; emploi des eaux d'égout pour l'agriculture. — 3. *Ventilation des édifices.* — Conditions diverses du problème ; ventilation par aspiration ou par refoulement, par cheminées ou par machines ; quantités d'air nécessaires ; connexité entre le chauffage et la ventilation ; exemples d'installations récentes. — 4. *Perforation mécanique des galeries et tunnels.* — Perforateurs à percussion ; résultats obtenus ; perforateurs à rotation ; exemples d'application ; utilisation des forces naturelles ; dépense par mètre d'avancement. — 5. *Fondation des grands ouvrages.* — Fondations en rivières et à la mer ; de l'emploi de l'air comprimé ; influence de la pression sous le rapport de l'hygiène ; moyens de la combattre.

Section VIII. — Physique et chimie industrielles.

1. *Utilisation du froid artificiel.* — Production industrielle du froid ; sa distribution par les liquides ou par les gaz ; procédés divers en présence ; applications principales ; le froid dans les industries chimiques ; conservation et aménagement des denrées alimentaires. — 2. *Éclairage des grands ateliers.* — Production industrielle de la lumière électrique ; travail dépensé ; utilisation à l'éclairage des grands vaisseaux ; résultats économiques dans les ateliers ; divisibilité de la lumière électrique. — 3. *Télégraphes pneumatiques.* — Conditions particulières auxquelles ils permettent de satisfaire ; description des appareils ; exemples tirés des grands services organisés. — 4. *Emplois industriels des matières explosibles.* — La dynamite comparée aux autres matières ; précautions à prendre pour leur fabrication, leur transport et leur conservation ; leurs applications à l'exécution des grands travaux publics ; résultats économiques. — 5. *Fours gazogènes.* — Principe de leur mode d'action ; leurs applications aux usines métallurgiques, à la fabrication du gaz, aux fours de verrerie et de céramique, à la production de la vapeur ; analyse des gaz de la combustion ; résultats économiques constatés.

Section IX. — Industries diverses.

1. *Les machines substituées aux travaux domestiques.* — Machines à coudre ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leur influence sur l'industrie des vêtements ; leurs résultats économiques ; moteurs applicables aux machines à coudre ; machines à tricoter; machines à broder. — 2. *La fabrication du papier au point de vue de la pénurie des chiffons.* — La paille et le bois: proportions croissantes de leur introduction ; succédanés divers; usines de pâtes à papier ; transport de pâtes; état actuel de la fabrication. — 3. *Progrès récents de la filature et du tissage.* — Prépondérance des métiers continus dans la filature; développement de cette industrie aux États-Unis; ateliers de tissage mécanique; arrêt automatique des machines en cas de rupture ou de mariage de fils. — 4. *Les ciments; leur fabrication et leur emploi.* — Le ciment de Portland comparé aux produits de nouvelles fabrications; résistance des ciments dans les constructions hydrauliques; blocs à la mer; essais comparatifs des ciments; statistique de cette industrie. — 5. *Caractères des matières textiles.* — Conditions auxquelles devraient satisfaire de nouvelles matières textiles pour être applicables à la confection des tissus ; le jute, le formium tenax; propriétés de leurs fibres; importance croissante de leur exploitation; caractères des tissus qu'ils permettent de fabriquer; liaison entre ce problème et celui des matières premières pour la papeterie.

LISTE GÉNÉRALE DES MEMBRES DU CONGRÈS.

MM. Abernethy (James), vice-président de la Société des ingénieurs civils de Londres, Delahay street, Westminster, London.
Achard, ingénieur, rue de Provence, 60.
Agnès (Antony), à Choisy-le-Roi (Seine).
Albaret (Auguste), constructeur, à Liancourt (Oise).
Allart (Achille), rue de la Pompe, 3.
Alonso, ingénieur (Espagne).
Amundsen (A.), lieutenant du corps des ponts et chaussées, délégué de la Suède.
André (Gaspard-Louis), boulevard de Port-Royal, 83.
Aramburn (Fernando), membre de l'*Institute of meschanic engineers*, à Madrid (Espagne).
Armengaud aîné (J.-E.), ingénieur, rue Saint-Sébastien, 45.
Armengaud fils aîné (C.-E.), ingénieur civil, rue Saint-Sébastien, 45.
Armengaud jeune (Charles), ingénieur, rue de Clichy, 52.
Armengaud jeune (Jules-Alexis), ingénieur civil, boulevard de Strasbourg, 23.
Arson (Alexandre), rue de Bourgogne, 40.
Asselin (Eugène), chimiste, rue des Poissonniers, 17, à Saint-Denis.
Backer (de), rue de la Chaussée-d'Antin, 64.
Badois (Edmond), rue Blanche, 12.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Bailly (P.), agent général de la *Westinghouse continental Brake company*, à Paris.

Banderali (David), ingénieur civil, rue Labruyère, 7.

Bandholtz (Frédéric), chef de section au chemin de fer du Midi, allée Lafayette, 22, à Toulouse (Haute-Garonne).

Barilari (commandeur), inspecteur du génie civil italien.

Barlet, ingénieur en chef du chemin de fer de l'État, avenue de la Reine, 11, à Bruxelles (Belgique.)

Baron, inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, rue Madame, 64.

Barrault (Émile), ingénieur-conseil en matière de brevets d'invention, boulevard Saint-Martin, 17.

Battaille Straatmann (Jean), quai Moika, 93, à Saint-Pétersbourg (Russie).

Battarel (Pierre-Ernest), rue de Cambrai, 3, à la Villette.

Baudet (Émile), ingénieur-constructeur, rue du Rocher, 64.

Bazaine (Achille-Georges), rue de Bruxelles, 42.

Béliard (Georges-Alfred), directeur de l'atelier de M. Decauville, à Petit-Bourg, par Évry (Seine-et-Oise).

Bell (Paul-René-Natalis), avenue Trudaine, 16.

Belvalette, avenue des Champs-Élysées, 24.

Béral (Éloi-Bernard), ingénieur des mines.

Bergeron (Charles), ingénieur civil, rue de Penthièvre, 26.

Bergon, administrateur des lignes télégraphiques, rue Madame, 56.

Bernimolin, ingénieur, faubourg Hocheporte, 40, à Liège (Belgique).

Bertheault (William), directeur des forges de Montataire, à Montataire.

Bertin, ingénieur des constructions navales, à Cherbourg.

Betocchi (commandeur), inspecteur au corps du génie civil du royaume d'Italie.

Bidou (Léon-Auguste-Clément), à Sienne (Italie).

Binon (Joseph), ingénieur de l'École de Liège, à Stolberg, près Aix-la-Chapelle.

Bippat (Oscar), ingénieur des ponts et chaussées, à Épinal.

Biver (Hector), rue du Cherche-Midi, 21.

Blanleuil (Jean-Victor), entrepreneur de travaux publics, à Angoulême.

Blavier, inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques.

Blétry (Alphonse-Edmond), Office de brevets d'invention, rue des Filles-du-Calvaire, 6.

Blonay (Henry de), ingénieur consultant, à Lausanne (Suisse).

Blondeau (Paul-François), avenue des Amandiers, 10.

Bobin (Hippolyte), rue de Châteaudun, 42.

Boistel (L.-C.-G.), ingénieur civil, représentant de la maison Siemens, rue Picot, 8.

Bomches (Frédéric), via Belvedere, 180, à Trieste (Autriche).

Bongard (Frédéric), ingénieur civil.

Bontemps (Georges), rue de Lille, 11.

Boty (Alexandre).

Boudier (Édouard-Augustin).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Boulé (Auguste), ingénieur en chef des ponts et chaussées, rue Abbatucci, 23.
Bourdais (Jules), rue Laffitte, 51.
Bourdin (J.-J.-Amédée), métallurgiste, boulevard Bineau, 21.
Bourdon (Charles), constructeur, avenue Philippe-Auguste, 117.
Bourdon (Édouard), constructeur, rue du Faubourg-du-Temple, 74.
Bourdon (Eugène), constructeur-mécanicien, rue du Faubourg-du-Temple, 74.
Bourgougnon (Étienne), rue de la Victoire, 43.
Boutillier (C.), ingénieur en chef de la Compagnie du Midi, boulevard Haussmann, 134.
Bouvet (Auguste-Hippolyte), rue Fontaine-au-Roi, 17.
Brabant (Georges-Édouard), à Morenchies, par Cambrai (Nord).
Brichaut (Auguste), rue Saint-Paul, 9.
Bricogne (Charles), ingénieur au chemin de fer du Nord, rue du Faubourg-Poissonnière, 23.
Broch (Dr), de l'Université de Christiana (Norwège).
Brüll (Achille), ingénieur civil, rue Saint-Lazare, 6.
Brunlees, vice-président de l'*Institution of civil engineers*, Victoria street, 5, London.
Buffaud (B.), ingénieur-constructeur, à Lyon (Rhône).
Burat (A.), ingénieur, professeur à l'École centrale des arts et manufactures.
Caméré, ingénieur des ponts et chaussées, à Vernon (Eure).
Carié (Paul), ingénieur de la Société des forges et chantiers de la Méditerranée, rue Notre-Dame-des-Victoires, 28.
Carimantrand (Jules), rue de Constantinople, 14.
Carnot (Adolphe), ingénieur des mines, professeur à l'École des mines, rue Soufflot, 15.
Carré (Ferdinand-Philippe), constructeur, à la Nozaie, près Nemours (Seine-et-Oise).
Casalonga, ingénieur civil, rue des Halles, 15.
Cassagnes (Gilbert), directeur des *Annales industrielles*, rue Lafayette, 18.
Chabrier (Ernest), rue Saint-Lazare, 89 (avenue du Coq, 4).
Chaize (L.-El.), administrateur délégué de la Compagnie des bateaux-omnibus, route de Versailles, 125.
Chambrelent (Jules), ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Chandelor (Joseph), ingénieur, rue Bassenge, 14, à Liège (Belgique).
Chandelor (Olivier), ingénieur, rue d'Archis, 14, à Liège (Belgique).
Chanoit (François), ingénieur civil, à Villeneuve-Saint-Georges (Seine-et-Oise).
Charnage.
Charpentier, ingénieur civil, boulevard de Clichy, 8.
Charton, ingénieur civil, rue de Tivoli, 22.
Chatard (Alfred), rue de Berlin, 40.
Chateau (Théodore), chimiste, rue Saint-Denis, 12, à Aubervilliers.
Chatelain, ingénieur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Chatoney (Jules), inspecteur général des ponts et chaussées, boulevard Haussmann, 115.
Chatran (T.-J.-M.), chimiste, rue Saint-Denis, 12, à Aubervilliers (Seine).
Chevalier (Émile), constructeur, quai de Grenelle, 61.
Chobrzynski (J.-P.-C.), boulevard de Magenta, 137.
Claparède (Frédéric-Moyse), à Saint-Denis (Seine).
Claparède fils (Frédéric), à Saint-Denis (Seine).
Clavenad (Claude), inspecteur des ponts et chaussées, à Cherbourg.
Clémandot (Louis), ingénieur civil, rue Brochant, 18, aux Batignolles.
Clervaux (Paul de), sous-directeur des aciéries de Firminy (Loire).
Closset (Victor), chaussée d'Haecht, 87, à Bruxelles (Belgique).
Colle (Simon), rue du Pressoir, 20, à Châteauroux (Indre).
Collignon, professeur à l'École des ponts et chaussées, boulevard Saint-Germain, 70.
Combes (Edward), ingénieur civil, à Sydney (Australie).
Cormier (Paul-Alexandre), rue Montaigne, 15.
Cornaille (Alfred), à Cambrai (Nord).
Cornuault (E.-L.-F.), métallurgiste, rue Louis-le-Grand, 6.
Cornut (Ernest), ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord, à Lille (Nord).
Corpet (Lucien), constructeur-mécanicien, avenue Philippe-Auguste, 117.
Cory (Gaetano), ingénieur civil, à Vérone (Italie).
Cossigny (Jules-François de), à Courcelles, commune de Cléry (Aude).
Couard (Joseph-Félix), inspecteur de la voie aux chemins de fer de Lyon, rue de Lyon, 20.
Couche, inspecteur général des mines, rue Bonaparte, 7.
Coullaut (Alfred-Louis-Joseph), à Fornos d'Algodres (Portugal).
Courras (Philippe), boulevard des Batignolles, 58.
Courtépée (Laurent), rue des Francs-Bourgeois, 31.
Courtès-Lapeyrat (Georges), rue du Bac, 90.
Courtier (Louis), rue de Dunkerque, 43.
Cousté (E.), boulevard Saint-Michel, 76.
Crespin (Arthur-Auguste), avenue Parmentier, 23.
Daguerre d'Ospital (L.), calle de Prado, 20, à Madrid (Espagne).
Dallot (Auguste), rue de Douai, 17.
Danvers (Henry), rue Taitbout, 16.
Daveluy (M.-Alfred-Alphonse), attaché au service central de la voie au chemin de fer de Lyon, rue Saint-Antoine, 207.
Davidson.
Debains (Alfred), ingénieur civil, à Saint-Remy-Clairefontaine (Seine-et-Oise).
Debauve (Alphonse), ingénieur des ponts et chaussées, à Pithiviers (Loiret).
Decauville aîné, constructeur, à Petit-Bourg (Seine-et-Oise).
Deghilage (Alexandre), quai Voltaire, 25.
Degousée (Edmond), rue de Chabrol, 35.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Delaporte (Georges), cité Rougemont, 4 *bis*.
Delebecque, rue de Douai, 6.
Della-Vos (Victor), directeur de l'École impériale technique de Moscou, à Moscou (Russie).
Delmas (Fernand), rue du Faubourg-Poissonnière, 110.
Delvau de Wandor.
Demimuid (René), architecte, boulevard Saint-Michel, 9.
Demoor (Léon), ingénieur à la Société linière de Saint-Léonard, à Liège (Belgique).
Denise (Lucien), passage Violet, 12.
Denize (François-Auguste), ingénieur de la fonderie de Fourchambault, à Fourchambault (Nièvre).
Denoyelle (Jean-Baptiste), rue de Constantinople, 24.
Depérais (Ch.), Société générale des alums, à Civita-Vecchia (Italie).
Deprez (Marcel), rue Cassini, 16.
Desgrange (Hubert), boulevard Haussmann, 135.
Desnos (Charles), ingénieur-conseil en matière de brevets d'invention, boulevard de Magenta, 11.
Desnoyers (Alfred), maître de forges, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, 36.
Deville (Anatole), rue de Lyon, 43.
Dienheim-Brochocki (Th. de), boulevard des Batignolles, 39, à Paris.
Dieudonné, ingénieur adjoint de la traction aux chemins de fer de l'Est, boulevard de Magenta, 138.
Doat (Henri), directeur de la Compagnie des eaux, rue Pagès, à Suresnes (Seine).
Douau (Maximilien), rue du Faubourg-Saint-Denis, 222.
Doumerc (Auguste), rue de Copenhague, 10.
Doury (Paul), rue de Compiègne, 2.
Dru (Léon-Victor-Edmond), rue Rochechouart, 59.
Dubois (Théophile), rue Bonaparte, 86.
Duclerc, vice-président du Sénat, boulevard Malesherbes, 97.
Dufaure (Gabriel), boulevard de la Madeleine, 17.
Dufay (Auguste), rue Neuve-Saint-Merri, 12.
Dufay (Eugène-Isidore), gérant de la sucrerie de Chevry-Cossigny, à Chevry-Cossigny, par Brie-Comte-Robert.
Dulac (Louis-Simon), rue des Boulets, 74, à Pantin.
Dupère (A.).
Dupont (Albert), rue Duperré, 19.
Dupuis (Edmond), rue de la Pompe, 4, à Passy.
Durand-Claye (Alfred), ingénieur des ponts et chaussées, rue Richelieu, 85.
Durant (Léon-Alexandre-Émile), sous-chef du bureau des études du matériel et de la traction du chemin de fer d'Orléans, rue Linné, 13.
Durieu.
Duval (Edmond), ingénieur en chef des ponts et chaussées, avenue Saint-François-Xavier, 8.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Duval (Nicolas), rue Neuve-Popincourt, 8.
Duvergier (A.), président de l'Association métallurgique du Rhône, à Lyon.
Eassie (William), Child's Hill Hampstead, N. W., à Londres (Angleterre).
Eiffel (Gustave), constructeur, à Levallois-Perret (Seine).
Ellicott (Henri-Temple), ingénieur des mines, rue Castiglione, 14, à Paris, et à Porto (Portugal).
Ellissen (Albert), rue Abbatucci, 21.
Elwell (Thomas), avenue Trudaine, 26.
Epstein (Jules-Eugène), rue de Trèves, 8, à Bruxelles (Belgique).
Ermel (Frédéric), cité des Fleurs, 54, aux Batignolles.
Fabre (E.-J.-J.-E.), rue Blanche, 97.
Famchon, gérant de la Compagnie des ciments Portland de Desvres.
Farcot (Joseph), constructeur, à Saint-Ouen (Seine).
Fauquet (Octave), filateur, à Oissel (Seine-Inférieure).
Faure-Beaulieu, filateur de laine, avenue Lebel, 8, à Vincennes.
Fellot (Jean), rue de Moscou, 46.
Fichet (Pierre-Anatole), rue de Clichy, 21.
Finet (Louis), boulevard Central, 33, à Bruxelles (Belgique).
Firminhac (Eugène), ingénieur attaché aux ateliers des constructions de Bellefroid et Levegey, à Liège (Belgique).
Flachat (Ivan), rue de Grenelle-Saint-Germain, 102.
Flourens (Gustave), ingénieur civil, à Lille (Nord).
Fonbonne (de), rue de Dunkerque, 20.
Fontaine (H.), rue Saint-Georges, 52.
Forquenot (Victor-Armand), rue de Provence, 34.
Fortin-Hermann (Louis), boulevard Montparnasse, 138.
Fournier (Victor), métallurgiste, boulevard de l'Empereur, 178.
Fraix (Félix), rue de Châteaudun, 42.
Franck (Léon), ingénieur civil, boulevard Haussmann, 62.
François (Joseph), à Seraing (Belgique).
Fréminville (de), directeur des constructions navales, professeur à l'École centrale des arts et manufactures.
Frey fils (André-Pierre), constructeur, rue Piat, 21, à Belleville.
Frichot, directeur de la Compagnie linière, à Pont-Remy (Somme).
Gaget (Jean-Baptiste), couverture et plomberie d'art, rue Gutemberg, 23, à Boulogne-sur-Seine.
Gallais (Pierre), hôtel de l'Univers, à Liège (Belgique).
Gallois (Charles), directeur de la sucrerie de Francières, par Pont-Sainte-Maxence.
Ganneron (Edmond), rue Boursault, 18, aux Batignolles.
Gargan (Louis-Xavier), président de la Chambre syndicale des mécaniciens, rue Perdonnet, 13.
Gariel (Charles), ingénieur des ponts et chaussées, rue des Martyrs, 41.
Garnier (H.-L.-A.), avenue Daumesnil, 127.
Geneste (Eugène), constructeur, rue du Chemin-Vert, 42.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Gérard (Aristide), ingénieur hydraulicien, rue Saint-Georges, 46.
Ghesquière-Diérickx, quai Henry IV, 34.
Gibault (Eugène), rue Truffault, 28.
Gignoux (Arthur-Joseph), rue Doudeauville, 98.
Gigot (Paul-Eugène), rue du Faubourg-Poissonnière, 59.
Gobert (Jean-Baptiste), ingénieur de la maison Eiffel et Cie, avenue de Villiers, 110.
Godfernaux (Émile), ingénieur chez M. Gouin, avenue de Clichy, 173.
Gody.
Goldschmidt (Philippe), IX. Liechtensteinstrasse, 11, à Vienne (Autriche).
Goldschmidt (Théodore de), Nibelungen-Gasse, 7, à Vienne (Autriche).
Gondolo (Antonio-Guido), contrôleur du matériel du chemin de fer de la Haute-Italie, à Antica, stazione per Monza, à Milan (Italie).
Gosserie (Émile).
Gottschalk (Alexandre), ingénieur en chef, directeur du matériel et de la traction aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, cité Rougemont, 10.
Grièges (Louis-Maurice de), sous-ingénieur de la traction des chemins de fer de l'Ouest, rue de Clichy, 11.
Grimshaw (Robert), ingénieur-mécanicien, 119, South Fourth St., à Philadelphie (États-Unis).
Grouvelle (Philippe-Jules), rue des Écoles, 26.
Guérin (Théodore), rue de Chabrol, 51.
Guérin de Litteau (Edgar), rue Blanche, 3.
Guéthard (Alfred), ingénieur civil, boulevard de Magenta, 137.
Guibal (Théophile), professeur à l'École des mines de Mons, rue des Groseilliers, 43, à Mons (Belgique).
Guichard (Jules), administrateur de la Compagnie du canal de Suez.
Guinotte, ingénieur aux charbonnages de Mariemont et Bascoup (Belgique).
Haddam (John-L.).
Hallopeau (P.-J.-Alfred), inspecteur principal, chef du service central du matériel du chemin de fer de P.-L.-M., répétiteur à l'École centrale, rue de Lyon, 3.
Hamelius (Édouard), rue de Larochefoucauld, 24.
Hamers, ingénieur civil, rue Morère, 13.
Hans (Martial), ingénieur principal des ponts et chaussées, à Namur (Belgique).
Hardy (Georges), X. Laxemburgenstrasse, 2, à Vienne (Autriche).
Harlé (Émile).
Heirsch (Robert), à Namur (Belgique).
Henin (J.), vice-président de l'Association charbonnière de Charleroy.
Herbet (Auguste), ingénieur aux forges de Tamaris, près Alais, rue Lafayette, 36.
Hermary (H.-A.-J.), agriculteur, à Moulle, par Saint-Ouen.
Herscher (Charles-Georges), constructeur, rue du Chemin-Vert, 42.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Hersent, rue de Naples, 4.

Hervé-Mangon, membre de l'Institut, professeur à l'Institut agronomique, rue Saint-Dominique-Saint-Germain, 3.

Hippisley (Alfred), deputy Commission of imperial maritime customs China.

Hirsch (Joseph), ingénieur des ponts et chaussées, boulevard Suchet, 63.

Hittorf, ingénieur.

Honoré (Frédéric), boulevard Saint-Germain, 238.

Horwath (Louis), inspecteur des chemins de fer de l'État hongrois, à Budapest.

Houbigant (Octave), boulevard Beaumarchais, 6.

Houssin (Jules-Clément), entrepreneur, à Marthon (Charente).

Huber (Alcide-Louis), ingénieur au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).

Huber (William), rue Miroménil, 76.

Huet (Paul-Jean), rue d'Hauteville, 36.

Husquin de Rhéville, secrétaire-archiviste de la Société des ingénieurs civils, cité Rougemont, 10.

Imbert, ingénieur, quai de Paris, 42, à Rouen.

Isaac (Fernand), ingénieur, à Wasmes (Hainaut, Belgique).

Isaac-Isaac, ingénieur, charbonnage de Monceaux-Fontaine, à Monceaux-sur-Sambre (Belgique).

Janzé (Maxime de), rue d'Amsterdam, 27.

Jaspard (André), ingénieur, rue de l'Ouest, 37, à Liège (Belgique).

Jaunet (Léon), rue Pajol, 10.

Jeanson (Charles-Marie-Auguste), rue de Seine, 69.

Jeantaud (Charles), fabricant de voitures, rue du Temple, 135.

Jensen (J.), professeur à l'École technique de Trondjen, délégué de la Norwège.

Jequier (Henri-Jean), rue d'Enfer, 41.

Jones Hodgson, rue du Bloc, à Arras (Pas-de-Calais).

Jonte (Émile-Frédéric), directeur des forges de la Franche-Comté.

Jordan (Samson), professeur de métallurgie à l'École centrale.

Junien (Marius), rue Nadizdinkia, 12, à Odessa (Russie).

Kapteyn, ingénieur de la *Westinghouse continental Brake company*, Palace Chambers Saint-Stephens, London.

Kern (Émile-Jean-Rodolphe), Westminster Chambers, Victoria street, 4, à Londres (Angleterre).

Kousnetzoff, ingénieur des mines en Russie.

Kraft (Victor), ingénieur des ponts et chaussées.

Kreglinger, rue Marie-de-Bourgogne, 36, à Bruxelles (Belgique).

Krémer (Philippe), constructeur, rue de Bourgogne, 50.

Kronenberg (Ladislas), à Varsovie (Pologne).

Laboulaye (Ch.), secrétaire de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, rue Madame, 60.

Lancel (Auguste-Jules), ingénieur de la voie, à Tergnier (Aisne).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Langelin (J.-B.), ingénieur en chef, adjoint au directeur du chemin de fer du Midi, à Paris.

Landry (Louis-Pierre), boulevard Contrescarpe, 32 *bis*.

Lanier (Georges-Gabriel), boulevard de Strasbourg, 42.

Lantrac (Eugène-Adolphe), avenue Joséphine, 39.

Lara Ordonez (A. de), à Marchienne-au-Pont (Belgique).

Larrue (Louis), rue du Cirque, 7.

Larsen (Georges-Daniel), Office Tramways, 7, Paultrey, London. E. C. (Angleterre).

Launoy (Louis-Ernest), rue du Canal-Saint-Martin, 18.

Laurens (Camille), rue Taitbout, 82.

Lavallée (Georges), ingénieur des ponts et chaussées.

Lavalley (A.), ancien président de la Société des ingénieurs civils, rue Murillo, 18.

Lax (Jules), ingénieur des ponts et chaussées.

Lebel (Gaston-Jules), directeur de la tuilerie de Montchanin-les-Mines (Saône-et-Loire).

Leblanc (Félix), professeur à l'École centrale, vérificateur du gaz de la ville de Paris, rue de la Vieille-Estrapade, 9.

Le Boulengé (Paul-Émile), major d'artillerie belge, à Liège (Belgique).

Le Brun, rue de Belzunce, 6.

Le Cler (Achille), directeur de la Société des polders de Bouin (Vendée).

Le Deuil (Stéphane), constructeur, rue Méchain, 13.

Le Gavrian (Paul-Floride), boulevard de la Liberté, 133, à Lille (Nord).

Le Granché (Gustave), rue de Maubeuge.

Legrand (Charles), ingénieur en chef de la Société des chemins de fer de l'État belge, rue Locht, 103, à Bruxelles (Belgique).

Lemercier (Gabriel), ingénieur des ponts et chaussées, avenue de Messine, 10.

Lemmi (Emilio), ingénieur, délégué des ingénieurs civils de Florence et de Pise.

Léon (Antoine), ingénieur principal du matériel du chemin de fer de Lyon, à Paris.

Lepany (Georges), rue Vivienne, 3.

Lequeux (Paul-Victor), rue d'Assas, 24.

Lesguillier (Jules), directeur des chemins de fer de l'État.

Lespermont (L.-J.-Amédée), boulevard de Sébastopol, 9.

Level (Émile), boulevard Péreire, 100.

Leverbe, rue Pierre-Levée, 10.

Lévi-Alvarès (Albert), rue Miroménil, 94.

Lindeqviot (G.), capitaine du corps des ponts et chaussées, délégué de la Suède.

Lippmann (Édouard), entrepreneur de sondages, rue de Chabrol, 51.

Lockert (Louis-Victor), ingénieur, boulevard Voltaire, 48.

Loiseau (Désiré), raffineur, rue de l'Ourcq, 57.

Lombard-Gérin (Pierre), rue de l'Arbre-Sec, 18, à Lyon (Rhône).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Loransky, ingénieur des mines en Russie.
Lucas (Ch.), architecte, boulevard Denain, 8.
Lyon (Max), ingénieur diplômé à la division des ponts et chaussées de l'École polytechnique suisse, à Zurich (Suisse).
Maire (Armand), rue de la Bienfaisance, 10.
Malachewski, à Cracovie.
Malerba Guerreri (Carmelo), ingénieur, à Catania (Italie).
Malézieux (Émile), ingénieur en chef des ponts et chaussées, rue du Bac, 108.
Mallet (Anatole), rue de Larochefoucauld, 30.
Mallet (Paul), boulevard de la Villette, 54.
Mallié (Jules), avenue des Amandiers, 7.
Manrique (François), général de brigade d'artillerie espagnole, Madrid.
Marché (E.-Ernest), ingénieur attaché aux chemins de fer du Nord de l'Espagne, rue Blanche, 53.
Mardelet (Charles), ingénieur, rue du Faubourg-Saint-Denis, 160.
Marié (Georges), quai Malaquais, 15.
Marin, colonel du génie (Espagne).
Marsaux (Anatole), rue Taitbout, 80.
Martin (Auguste), fabricant d'émaux, avenue de Paris, 275, à Saint-Denis.
Martin (Charles), directeur d'une fabrique de produits pharmaceutiques, avenue Victoria, 21.
Martinez (V.-Alonso), ingénieur-agronome.
Marx (Léopold), inspecteur général des ponts et chaussées, chaussée de la Muette, 4, à Passy.
Mathieu (Henri), rue Las-Cases, 26.
Maure (Edmond), avenue Percier, 10.
Mazurkiewikz (L.-C.), rue de Choiseul, 15.
Meeûs (J.-P.-L.-F.), directeur du *Moniteur industriel*, à Bruxelles.
Mékarski (Louis), avenue de Clichy, 96.
Mesdach (P.-C.-M.), rue Saint-Paul, 28.
Mesnard (Auguste), rue de l'Université, 183.
Meyer (Adolphe), avenue d'Essling, 18.
Michaud (Paul), ingénieur des ponts et chaussées, à Lyon.
Molin (Georges de), avenue de Belle-Roche, 1, à Lausanne (Suisse).
Mondollot (Auguste), constructeur, rue du Château-d'Eau, 72.
Monnier (Pierre-J.-C.), ex-mécanicien principal.
Monnot (Paul-Charles), rue Saint-Placide, 60.
Morandière (Jules), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.
Moreau (Auguste-François), boulevard Voltaire, 113.
Morel, ingénieur civil, à Montreuil (Seine).
Morelle (Albert-Adhémard), boulevard de Magenta, 141.
Moreno, ingénieur (Espagne).
Morin (le général), directeur du Conservatoire des arts et métiers.
Mors (Louis), rue Saint-Martin, 4 *bis*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Mouchelet (Émile), rue Clapeyron, 19.
Mouchez, membre de l'Institut et du Bureau des longitudes, à l'Observatoire.
Mulat (Pierre-Alexandre), aux verreries de Fournier (Nord).
Muller (Adrien), à Jemmapes-lès-Liège (Belgique).
Muller (Émile), professeur à l'École centrale, rue des Martyrs, 19.
Nagant (François), ingénieur, à Roux, près Charleroi (Belgique).
Nousse (Ernest), à Cercanceaux, près Souppes (Seine-et-Marne).
Noyer (Alexandre), boulevard de la Gare, 41, à Ivry.
Oeschger (Louis-Gabriel), négociant en métaux, rue Saint-Paul, 28.
Orsat (Louis-Hengist), rue de la Victoire, 29.
Passy (G. de), ingénieur des ponts et chaussées en retraite.
Paul-Dubos (Antoine), rue de Clichy, 67.
Péligot (Henri), rue Saint-Lazare, 43.
Périssé (J.-Sylvain), rue Boursault, 59.
Petiet (Marie-André), rue du Faubourg-Poissonnière, 110.
Petit (Lucien), rue Jeanne-d'Arc, 67, à Rouen (Seine-Inférieure).
Petsche (Achille), ingénieur des ponts et chaussées et ingénieur en chef de l'entretien de la Compagnie de l'Est, à Nogent-sur-Marne.
Piat (Albert-Charles), rue Saint-Maur, 85, 87 et 94.
Piet (Jules), appareils de chauffage et de ventilation, rue de Chabrol, 33.
Pifre (Marie-Abel), rue d'Assas, 24.
Pihet fils (Auguste), constructeur de machines, rue Neuve-Popincourt, 8.
Pinet fils (Jules), ancien constructeur, à Abilly (Indre-et-Loire).
Piquet (Alphonse), plaza de Isabel, 5, à Madrid (Espagne).
Pochet, ingénieur des ponts et chaussées.
Poillon (Louis-Marie), constructeur, boulevard Saint-Germain, 78.
Polain (Jules), ingénieur civil, à Liège.
Poliakoff, ingénieur des ponts et chaussées de Russie, à Saint-Pétersbourg.
Pollet (Henri), à Alcanices, province de Zamora (Espagne).
Polonceau (Ernest-Gustave), directeur du matériel et de la traction de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État.
Poncelet (Antoine), rue Monsigny, 2.
Ponsard (A.-J.-J.-A.), rue de Constantinople, 2.
Pontzen (Ernest), rue Neuve-des-Mathurins, 43.
Possoz (Antoine), chimiste, rue du Dôme, 9.
Poupard, ingénieur à la Compagnie Fives-Lille, rue Pauquet, 21.
Préaudeau (Albert de), ingénieur des ponts et chaussées.
Prilipp (Philippe-Louis), rue de Paris, 129, à Saint-Denis (Seine).
Prompt (Alexandre), ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Pronnier (Charles), quai Voltaire, 23.
Quillacq (Auguste de), ingénieur-constructeur de machines, à Anzin.
Ravasse (Eugène), place Lafayette, 112.
Regnard (L.-P.-Antoine), rue Béranger, 6.
Regnault (Paul), ingénieur des ponts et chaussées, à Bordeaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Rego-Macedo (O.-G. do), délégué du Brésil.
Revy (Jules-Jean-Hope), villa Camphille, Road Croydon, à Londres.
Rey (Louis-P.-F.), ingénieur, rue d'Auteuil, 52.
Reyjal (Gustave-Emile), avenue Niel, 95.
Ribourt (Léon-Eugène), ingénieur, rue Le Peletier, 29.
Richard (Jean-Louis), rue Billault, 31.
Richon (Georges), avenue Joséphine, 44.
Rochette (Jérôme de la), cours du Midi, 11, à Lyon (Rhône).
Roland (H.), ingénieur, délégué de la Société industrielle de Rouen.
Roques (Adrien-Jacques), ingénieur de la Compagnie du Midi.
Roussel (Ernest), ingénieur-chimiste, rue Notre-Dame, 88, à Malines (Belgique).
Rudler (Henri), boulevard du Midi, à Cahors (Lot).
Runeberg (Robert), ingénieur.
Rycerski (Félix-L.-A. de), ingénieur des chemins de fer de Varsovie-Vienne-Bromberg, 29, Schiller strasse, à Bocum (Westphalie).
Sadoine (E.), directeur général de la Société John Cockerill, à Seraing (Belgique).
Saint-James (Charles), inspecteur de la voie au chemin de fer du Nord, à Tergnier (Aisne).
Saint-Yves (Armand), ingénieur des ponts et chaussées, à Rennes.
Salis (comte de), ingénieur civil, à Beauvais.
Salomon (Georges), boulevard Malesherbes, 30.
Salomon (Louis), rue Pajol, 22.
Santos (Jose-Emilio de), commissaire délégué de l'Espagne à l'Exposition universelle de 1878.
Savalle (Désiré), constructeur, avenue du Bois-de-Boulogne, 64.
Scal (B.-Benoni), ingénieur civil.
Schevendner (Alexandre), rue Sainte-Catherine, 68, à Odessa (Russie).
Sepulchre (Armand-Joseph), ingénieur-directeur des hauts fourneaux d'Aulnoye, à Aulnoye-lès-Berlaimont (Nord).
Sergueff (Nicolas), rue de Constantinople, 17.
Serres (A. Wierfflinski de), directeur de la construction de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État, à Vienne.
Seyrig (Théophile), avenue de Wagram, 147.
Sieber, rue Trézel, 1, aux Batignolles.
Siemens (Charles-William), président de l'*Iron and Steel Institute*, à Londres.
Simon (Édouard), directeur de filature, rue Meslay, 32.
Singly (de), ingénieur civil, rue Philippe-de-Girard, 17.
Somzée (L.-H.-M.), rue Royale, 217, à Bruxelles (Belgique).
Stainier (Émile), secrétaire de l'Association charbonnière de Charleroy.
Stilmant, constructeur de freins, rue de Rome, 129.
Stoltz, ingénieur, délégué de la Norwège.
Stolz (Louis), ingénieur, rue d'Uzès, 8.
Störmer (P.), ingénieur civil, délégué de la Norwège, rue de Strasbourg, 8.
Surell, ancien directeur des chemins de fer du Midi.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Taillard (Ernest), rue Laffitte, 27.
Taskin (Léopold), ingénieur, à Jemeppe, près Liège (Belgique).
Taverdon (Auguste-Ludovic), ingénieur.
Terrier (Paul), rue de Provence, 56.
Tessié du Motay, ingénieur.
Testud de Beauregard (F.-A.), ingénieur.
Thibault (Louis-Marie), fabricant de papiers, à Troyes (Aube).
Thirion (Antoine-Romain), constructeur-mécanicien, rue de Vaugirard, 147.
Thirion (Charles), ingénieur civil, boulevard Beaumarchais, 95.
Thomas (Jules-Émilion), boulevard Central, 17, à Bruxelles (Belgique).
Thomasset, boulevard Montparnasse, 25.
Thursfield.
Toro (E.-Concha-J.), ingénieur, délégué du Chili.
Tournade de Noaillat, rue Gozlin, 31.
Trélat (E.), professeur au Conservatoire des arts et métiers, directeur de l'École spéciale d'architecture, rue d'Enfer, 17.
Tresca (Alfred), ingénieur, rue Saint-Martin, 292.
Tresca (Henri), sous-directeur du Conservatoire des arts et métiers, président de la Société des ingénieurs civils de France.
Turgan, publiciste, boulevard d'Auteuil, 7, à Boulogne (Seine).
Turquetil (Jules), fabricant de papiers peints.
Tyler (Le capitaine Henri-W.), Angleterre.
Vallot (G.-M.-Henri), place des Perchamps, 2, à Auteuil.
Van Aubel, ingénieur à la papeterie royale hollandaise.
Varlet (Émile-Joseph), quai Saint-Antoine, 32, à Lyon (Rhône).
Vauthier, place Bréda, 13.
Vée (Léonce-Émile), ingénieur-expert près les tribunaux, rue de Rome, 61.
Véron-Duverger, directeur général des Chemins de fer au Ministère des travaux publics.
Vicart (Jean-Baptiste), inspecteur général des ponts et chaussées.
Vidard (Jean-Baptiste), inspecteur du matériel et de la traction aux chemins de fer de l'Ouest, rue Nollet, 73, aux Batignolles.
Villiers du Terrage (E. de), ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Vinçotte, cité Trévise, 5.
Violet (Adolphe-Charles-Henri), directeur des usines, à Belvoye, près Dôle (Jura).
Vlasto (Ernest), rue Fontaine-Saint-Georges, 30.
Warocqué, membre de la Chambre des représentants de Belgique, président de la Commission belge à l'Exposition universelle de 1878.
Watel (Louis).
Watson (William), à Boston (États-Unis).
Weens (Jules), ingénieur du chemin de fer de l'État, à Bruxelles (Belgique).
West (Auguste-Émile), chef des travaux au laboratoire d'essais à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, rue Bonaparte, 13.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Westinghouse, président de la *Westinghouse continental Brake company*, rue de la Victoire, 60, à Paris.

Wischnegradski, directeur de l'École polytechnique de Saint-Pétersbourg.

Wissocq (Alfred-Horace de), ingénieur de l'atelier central du chemin de fer du Nord, rue Flachat.

Wittenauer (Georges), ingénieur, Luxembourg.

Worms de Romilly, ingénieur des mines, rue Bergère, 22.

Zbyzewski (Ladislas), rue Saint-Dominique, 190.

COMPOSITION DU BUREAU DU CONGRÈS.

Président :

M. Henri Tresca, membre de l'Institut, sous-directeur du Conservatoire des arts et métiers, président de la Société des ingénieurs civils de France.

Vice-présidents :

MM. Auguste Boulé, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Charles-William Siemens, président de l'*Iron and Steel Institute*.

Warocqué, membre de la Chambre des représentants de Belgique, président de la Commission belge à l'Exposition universelle de 1878.

Commandeur Betocchi, inspecteur du génie civil en Italie.

Secrétaires :

MM. Jules-Alexis Armengaud jeune, ingénieur civil, ancien élève de l'École polytechnique.

E.-Ernest Marché, ingénieur attaché aux chemins de fer du Nord de l'Espagne.

Trésorier :

M. Jules Charton, ingénieur de la construction aux chemins de fer du Midi.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ORDRE DES TRAVAUX.

Les séances du Congrès seront tenues à dix heures du matin, du 5 au 14 août inclusivement, au Palais du Trocadéro.

Des conférences publiques auront lieu chaque jour, pendant la même période, à deux heures de l'après-midi.

SECTION I. — Mines et métallurgie.

Secrétaire : M. Périssé.

Lundi 5 août.

L'art du sondage : Progrès et résultats. — M. Lippmann, *Rapporteur.*
Transports souterrains et au jour, par chaînes flottantes. — M. Brüll, *Rapporteur.*

SECTION II. — Agriculture et génie rural.

Secrétaire : M. Chabrier.

Mardi 6 août.

Labourage à vapeur. — MM. Debains et Decauville, *Rapporteurs.*
Machines servant aux récoltes.

SECTION III. — Machines.

Secrétaire : M. Testud de Beauregard.

Mercredi 7 août.

Sociétés de surveillance des appareils à vapeur. — M. Cornut, *Rapporteur.*
Unification dans les dimensions des organes des machines. — M. Casalonga, *Rapporteur.*

SECTION IV. — Routes, rivières et canaux.

Secrétaire : M. de Préaudeau.

Jeudi 8 août.

Barrages mobiles en rivière. — M. de Préaudeau, *Rapporteur.*
Procédés nouveaux de montage des ponts métalliques. — M. Seyrig, *Rapporteur.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION V. — Chemins de fer.

Secrétaire : M. Ach. Bazaine.

Vendredi 9 août.

Freins continus pour chemins de fer. — M. Marié, *Rapporteur.*
Machines pour tramways. — M. Mallet (Anatole), *Rapporteur.*
Chemins de fer économiques sur routes. — M. Level, *Rapporteur.*

SECTION VI. — Navigation fluviale et maritime.

Secrétaire : M. Ern. Marché.

Samedi 10 août.

Communication à travers le Pas-de-Calais. — M. Abernethy, *Rapporteur.*
Le touage sur chaîne noyée. — M. Imbert, *Rapporteur.*

SECTION VII. — Constructions publiques et particulières.

Secrétaire : M. Clavenad.

Lundi 12 août.

Assainissement des villes. — M. Durand-Claye (Alfred), *Rapporteur.*
Ventilation des édifices; acoustique. — M. Bourdais, *Rapporteur.*
Filtration naturelle de l'eau dans les villes. — M. de Passy, *Rapporteur.*

SECTION VIII. — Physique et chimie industrielles.

Secrétaire : M. Orsat.

Mardi 13 août.

Transformation du travail mécanique en chaleur; machines frigorifiques. — M. Armengaud jeune (Jules), *Rapporteur.*
Chauffage par appareils gazogènes et analyse des gaz. — MM. Fichet et Périssé, *Rapporteurs.*

SECTION IX. — Industries diverses.

Secrétaire : M. Chatard.

Mercredi 14 août.

Les nouvelles pâtes à papier et leur fabrication. — M. Chatard, *Rapporteur.*
Moteurs domestiques. — M. Fontaine, *Rapporteur.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SÉANCE D'OUVERTURE, LE LUNDI 5 AOÛT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. TRESCA, PUIS DE M. W. SIEMENS.

Ordre du jour : 1re SECTION. — MINES ET MÉTALLURGIE [1].

SOMMAIRE. — ALLOCUTION DE M. TRESCA, PRÉSIDENT DU CONGRÈS. — L'ART DU SONDAGE : Mémoire de M. Lippmann ; discussion : MM. Brüll, Périssé, pour M. Chatelain absent ; Lippmann, Taillard. — TRANSPORTS SOUTERRAINS ET AU JOUR PAR CHAÎNES FLOTTANTES : Mémoire de M. A. Brüll ; Observations de M. Mékarsky.

La séance est ouverte à dix heures un quart.

M. TRESCA occupe le fauteuil de la présidence et prononce l'allocution suivante :

Messieurs, au moment même où le jury international des récompenses vient de terminer son examen des œuvres exposées et où chaque mérite a été l'objet d'une investigation sérieuse, nous pouvons affirmer l'importance des progrès accomplis depuis le concours de 1867, dans toutes les branches des connaissances humaines et particulièrement dans celles de ces connaissances qui touchent aux travaux publics, au nombre desquels les bâtiments mêmes de l'Exposition doivent être, dès à présent, comptés comme une œuvre parfaitement réussie.

Vous avez voulu que l'appréciation particulière de chaque mérite fût suivie de réunions dans lesquelles les principales questions du génie civil fussent considérées à un point de vue plus général, qu'elles y fissent l'objet de discussions contradictoires dans lesquelles chacun de nous vînt faire connaître les conditions qui ont amené ces travaux immenses de mines, de mécaniques, de constructions, de science et d'industrie, dont il semblerait que notre époque, entre toutes les autres, soit destinée à assurer l'importance et les bienfaits.

En quelques jours, vous êtes parvenus, en faisant appel aux lumières de tous les ingénieurs présents à Paris, à préparer un Congrès qui embrasse les diverses spécialités de notre profession, et des hommes dévoués se sont

[1] L'ordre du jour de la première section a fait l'objet d'une séance supplémentaire, le samedi 10 août, dans l'après-midi. — Voir plus loin, p. 61.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rencontrés qui ont improvisé des rapports sommaires pour fixer les points principaux que vous vous êtes proposé de soumettre à la discussion.

L'organisation du Congrès est ainsi préparée ; son but n'est pas de fixer des décisions, mais de rapprocher les informations les plus intéressantes sur des sujets d'intérêt général ou de plus grande actualité.

Neuf séances de discussion auront lieu ; cinq sujets de conférences ont, en outre, été approuvés. Sans doute cela est bien peu pour embrasser les vastes questions du génie civil qui s'imposent à toutes les nationalités ; mais si, comme nous n'en saurions douter, vous mettez au service de ces questions l'autorité qui vous appartient et la connaissance des faits qui est la base de tous vos projets, vous aurez créé entre vous des liens durables qui seront de nature à faciliter, dans l'avenir, l'élaboration des plus grands ouvrages.

Il n'est pas dans les habitudes de l'ingénieur d'apprécier les résultats avant de les avoir bien discutés. Nous attendrons donc que vos réunions soient closes pour en résumer les tendances et les aspirations, et nous nous bornerons, quant à présent, à déclarer que le Congrès du Génie civil est ouvert. (Applaudissements.)

Vous nous permettrez de souhaiter la bienvenue à ceux de nos collègues de l'étranger et des départements qui n'ont pas craint de se déranger pour nous apporter leur précieux concours ; et, après avoir ainsi accompli, avec la plus grande simplicité possible, l'obligation qui nous incombait envers eux, nous n'aurons plus qu'à rester attentif à vos travaux, à en suivre avec intérêt le développement, et à indiquer, jour par jour, les différents Mémoires qui nous seront parvenus,

La section qui doit s'occuper des mines et de la métallurgie, et pour laquelle deux questions ont été étudiées, vient de désigner pour la présider M. William Siemens, l'éminent métallurgiste que vous connaissez tous et qui voudra bien diriger la discussion. (Applaudissements.)

J'invite à prendre place au bureau, comme vice-président et comme assesseurs, MM. Laurens, Gargan, général Manrique, l'un des membres de votre Comité d'organisation, et M. Périssé, comme secrétaire.

J'ajouterai que, pour vous entendre plus facilement sur la composition des bureaux et préparer le travail des séances suivantes, il serait bon de profiter de ce que notre après-midi est libre pour que les différentes sections veuillent bien se réunir aujourd'hui même, à deux heures, au pavillon de Flore, où des locaux convenables seront mis à leur disposition.

Dans ces réunions de section, vous pourrez vous entendre plus utilement sur l'ordre des discussions à préparer pour les jours suivants et sur le choix de ceux d'entre vous qui auront à présider les séances. (Marques d'assentiment.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. W. Siemens prend place au fauteuil de la présidence, aux applaudissements de l'assemblée.

M. W. Siemens, *président*. Messieurs, en vous remerciant de l'honneur qui m'est fait de présider la première séance de cet important Congrès, je crains bien de n'être pas à la hauteur de la tâche que vous me confiez. Je ferai de mon mieux; mais je réclame toute votre indulgence à cause de la difficulté que je puis avoir à m'exprimer en langue française. (Applaudissements.)

La parole est à M. Lippmann, qui a bien voulu se charger d'exposer l'état actuel de l'art des sondages.

MÉMOIRE SUR L'ART DU SONDAGE,

PAR M. LIPPMANN,

INGÉNIEUR CIVIL.

M. Lippmann. Messieurs, après l'éloquente allocution que vous venez d'entendre, après la parole si autorisée de notre illustre Président, je suis effrayé de la tâche qui m'incombe : car je n'ai aucun titre à l'honneur qui m'est fait d'avoir été désigné pour venir exposer la première question technique, devant votre savante assemblée, réunie aujourd'hui en Congrès du Génie civil. Je ne le dois qu'à ma spécialité, qui, dans le groupement fait par votre Comité d'organisation, m'a fait classer dans la première section des mines et de la métallurgie; et aussi à ce que je puis appeler l'ordre naturel, en vertu duquel, dans les ouvrages traitant de l'une ou de l'autre de ces deux grandes industries, les sondages font toujours l'objet du premier chapitre.

Dans cet exposé, que je m'efforcerai de faire aussi bref que possible, sachant combien tous vos instants sont précieux, je ne perdrai pas de vue que je ne m'adresse qu'à des ingénieurs, ayant tous été plus ou moins directement appelés à suivre un certain nombre de travaux de ce genre; je n'entrerai donc pas dans des détails pratiques qui leur sont aussi familiers qu'à moi; et pour conserver scrupuleusement l'esprit de généralité, d'impartialité, qui doit présider à la discussion ouverte par le Congrès, j'éviterai avec le plus grand soin les allusions, les personnalités et les considérations professionnelles.

Ceci posé, je crois devoir tracer ici, en quelques lignes, le programme, le sommaire de la question que j'ai à développer devant vous :

Nous examinerons d'abord, pour en discuter le pour et le contre, les divers procédés de sondages qui ont été imaginés depuis l'origine de cet art; non pas que je veuille vous en faire l'historique complet, car il me faudrait peut-être bien remonter trop loin, jusqu'à Moïse, créant le premier puits artésien, en enfonçant sa baguette, au pied d'un rocher, où l'aspect d'une végétation un peu active lui avait révélé l'existence probable d'une nappe souterraine. Je ne dois parler que des systèmes qui ont survécu ou qui viennent de naître, et qui peuvent ou doivent encore aujourd'hui trouver souvent leur utilisation : tels sont le système à la corde ou système chinois, le système à sonde creuse avec in-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jection d'eau, et le forage au diamant noir; et après avoir établi que chacun d'eux ne peut pas être employé partout, à toutes profondeurs ni à tous diamètres, j'aborderai le sondage à la tige rigide, qui est bien réellement le seul dont l'application soit entièrement générale. J'aurai alors à faire ressortir devant vous ses grands progrès, tant dans la disposition et la manœuvre de l'outillage, que dans les applications de la sonde. Enfin, je dirai quelques mots de la dynamite, ce nouvel et puissant auxiliaire qui vient d'être si heureusement mis entre les mains du sondeur.

Sondage à la corde ou sondage chinois. — Tout le monde sait que le procédé consiste à broyer la roche au moyen d'une masse contondante ou mouton, en fer aciéré à sa base, et munie, à sa partie supérieure, d'une cuvette dans laquelle se loge une partie des boues ou détritus produits par la désagrégation du terrain que l'outil traverse. Un anneau sert à suspendre le trépan à une corde qui a son autre extrémité fixée, au jour, à un long levier en bascule. Le matériel de sondage est complété par un moulinet en bois sur lequel s'enroule et se déroule la corde du mouton, pour le remonter au sol ou le redescendre au fond. Un ou plusieurs hommes, suivant le poids du mouton, manœuvrent la bascule soit avec les pieds, soit à bras, soit encore, dans les chantiers bien organisés, à l'aide d'un moteur quelconque qui servira aussi à l'enroulement du câble après la batterie.

Est-il rien de plus simple qu'une telle installation? Pourquoi alors, puisqu'on peut citer de nombreuses réussites, le sondeur ne s'acharne-t-il pas à donner à ce système tout le perfectionnement désirable pour en permettre partout l'application? C'est parce que les réussites n'ont été et ne sont obtenues que dans des contrées où l'homogénéité, la solidité des roches, le peu d'inclinaison des couches, l'absence de passages éboulueux, etc., ne sollicitent pas la déviation de l'outil foreur, ne produisent pas son coinçage, et n'obligent pas à garnir de tubes les parois du forage; parce que, à côté des résultats obtenus, on ne parle pas des insuccès qui font souvent abandonner le forage, dans lequel l'outil engagé et les sommes dépensées ne représenteraient pas une valeur comparable aux frais qu'il y aurait à faire pour arriver à désobstruer le trou de sonde; parce qu'il n'y a pas un sondeur, jusqu'à Jobard et Lechatelier, les plus infatigables partisans du système, qui n'ait eu l'idée de reprendre les essais tentés par ses devanciers, et qui ne soit arrivé à reconnaître l'obligation d'avoir, à côté de la sonde à la corde, une sonde rigide avec ses accessoires et l'aménagement que sa manœuvre rend nécessaire, soit pour dégager l'outil coincé, soit pour retirer le câble brisé, soit pour traverser à la tarière les passages argileux, soit pour extraire des témoins, etc.

Certes, vous avez tous été frappés bien souvent des lenteurs qu'occasionne, surtout quand la manœuvre se fait sans l'emploi d'une machine à vapeur ou d'un moteur quelconque, l'emploi de la sonde rigide, qu'il faut, dans certains cas, descendre et remonter plusieurs fois par jour, tige par tige; et tout de suite l'idée vous est venue de remédier à un travail aussi impatientant, sinon par la corde, dont les inconvénients vous sont connus, mais par l'emploi de chaînes Galle ou autres, de tiges articulées, etc. Tout cela a été tenté et n'a pas abouti,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

parce que, sans entrer pour le moment dans plus de détails, il y avait à compter avec des installations compliquées, et surtout avec les accidents par rupture qui avaient une gravité et présentaient des difficultés de réparation qu'on se figure bien, quand on se représente le trou de sonde rempli, sur une partie de la hauteur, par un enchevêtrement qui ne laisse aucun passage à des outils de sauvetage.

Cependant on est arrivé à imaginer un système à l'aide duquel on peut prendre un assez grand approfondissement, sans avoir à exécuter toutes ces longues manœuvres de sonde qui se succèdent après chaque battue, c'est-à-dire la sortie de l'outil foreur pour faire place à la cuiller de nettoyage qu'on remonte pour redescendre ensuite le trépan; ce procédé est connu sous le nom de *système Fauvelle* ou *système à sonde creuse*.

Système à sonde creuse. — Ici l'appareil consiste en un outil foreur, trépan ou tarière, fixé au pied d'un tube en fer creux, à emmanchement à vis, composé de divers tronçons adaptés les uns au bout des autres pour former toute la hauteur du forage; la tête de la sonde est disposée de manière à en permettre la rotation, elle est creuse aussi et munie d'un ajutage qui la met en communication avec le tuyau d'une pompe foulante. On obtient l'approfondissement, comme avec la tige rigide, soit par percussion, soit par rotation, et en faisant fonctionner simultanément la pompe, l'eau injectée par l'intérieur de la sonde remonte extérieurement en entraînant avec elle les détritus qui viennent se déposer à la surface, en permettant ainsi à l'outil de travailler toujours sur un fond net. On comprend l'avantage énorme qu'on doit trouver dans ce procédé, qui permet un travail presque continu, car on n'a plus à manœuvrer la sonde que de temps en temps, uniquement pour vérifier l'état de l'outil : mais pourquoi, après avoir donné de si beaux résultats, notamment à Perpignan et dans ses environs, ce système ne s'est-il pas généralisé; pourquoi? Parce que d'abord on n'a pas toujours à sa disposition la grande quantité d'eau qu'il nécessite et qui croît évidemment avec le diamètre à donner au forage; parce que dans l'exécution d'un puits artésien, par exemple, l'eau introduite empêche de surveiller les oscillations qui se produisent dans le niveau d'eau du forage, et qui sont les indices de la rencontre de la nappe cherchée, qu'on risque alors de perdre à tout jamais en la traversant et la masquant par un tubage; parce qu'enfin il est rare que, dans un sondage, on ne rencontre pas, plus ou moins près de la surface, une première nappe d'eau qui sera d'autant plus absorbante qu'elle était plus puissante; alors, tout ou partie de l'eau injectée se perd à ce passage, en abandonnant tout ou partie des détritus entraînés qui s'accumulent à cet endroit et retiennent la sonde prisonnière.

Sondage au diamant noir. — J'arrive maintenant à la perforation par le diamant noir dont vous avez tous, Messieurs, entendu vanter les exploits. Mais avant d'aller plus loin, je suis heureux de saisir l'occasion qui se présente de parler de ce système devant un auditoire composé de savants venus de tous les points du globe, pour rétablir, une fois et pour toujours, la véritable paternité de cette invention qui disparaît complètement derrière le nom de per-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sonnes ou de sociétés résidant en Amérique, en Allemagne, en Angleterre, en France, etc. Vous n'ignorez pas que c'est à Leschot qu'en revient tout le mérite, et je me sens d'autant plus à l'aise pour faire cette revendication qu'elle ne comporte aucune idée de patriotisme, car Leschot était Suisse. Il était attaché à la maison Vitali-Picard, qui s'occupait alors du percement du Simplon, et, en assistant à l'essai de perforateurs mécaniques à percussion, commandés pour cette entreprise à Paris, il se souvint d'avoir vu utiliser à Genève, sa ville natale, le diamant noir pour la taille des pierres précieuses, et il eut l'idée de faire le perforateur que vous connaissez; il en avait tout de suite si bien compris l'utilisation pour les sondages, que, dans la prise de son brevet, il insista particulièrement sur cette application. Il est mort en Italie, au moment, paraît-il, où on venait lui annoncer qu'un premier sondage de 300 mètres venait d'être exécuté très rapidement avec l'emploi de son procédé. Vous me pardonnerez cette digression, Messieurs, car elle n'est qu'un simple hommage rendu à la mémoire d'un camarade, mort sans avoir tiré le moindre profit d'une découverte qui aurait laissé à sa famille un brillant héritage, si, par insouciance de la fortune, il n'en avait, en quelque sorte, dès l'origine, abandonné l'exploitation à qui voulait la prendre.

Il ne m'est pas donné de m'étendre très longuement sur les dispositions mêmes des appareils employés pour l'exécution des sondages, car pour des raisons tout à fait inexplicables, les sociétés qui exploitent ce procédé l'enveloppent du plus profond mystère. A l'Exposition, nous ne voyons que de nombreux et magnifiques témoins extraits des trous de sonde, mais on ne peut ni consulter des dessins, ni obtenir des renseignements sérieux; les publications ne parlent que de la rapidité remarquable obtenue, pour l'approfondissement, dans plusieurs forages; enfin les ateliers sont si hermétiquement clos, et l'entrée en est si formellement et si indistinctement refusée à tous, que dans maintes localités on les appelle les baraques des sorciers. Je n'ai pas à rechercher ici quels sont les motifs d'une telle prudence, je me contente de supposer qu'elle est due à la crainte de trouver des imitateurs qui copieraient soit la disposition générale de l'installation, soit le mode adopté pour le sertissage des diamants dans la couronne d'acier formant la base de la sonde, — car ce sont évidemment là les deux seules particularités du système. Pour la première, je ne fais, veuillez le remarquer, que de simples conjectures, il me semble qu'elle doit avoir la plus grande analogie avec la disposition nécessaire pour le forage à la sonde creuse, car la façon continue des témoins n'est possible qu'à la condition de maintenir toujours bien net de tout détritus l'espace annulaire dans lequel fonctionne la couronne diamantée; et à ma connaissance, il n'y a pas ici d'autre moyen à employer que l'injection d'eau sous pression à l'aide d'une pompe foulante. Quant au sertissage, j'ignore si ces sociétés possèdent un secret qui leur assure la conservation des diamants, dont la perte constitue l'un des éléments les plus élevés de la dépense; mais, s'il en est ainsi, elles n'ont rien à redouter, car le plagiat trouverait à cet égard tout ce qui lui est nécessaire dans l'exposition de Belgique, où M. Taverdon, habile ingénieur des charbonnages du Horloz, nous soumet, avec toutes les explications désirables, les très intéressants appareils qu'il a imaginés, parmi lesquels

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des perforatrices par rotation dont la mèche est, suivant les roches à percer, en acier, en fonte blanche, ou en acier avec pointes de diamant noir. Il a étudié, avec la plus grande intelligence, les meilleures positions à donner aux pointes de carbone, suivant qu'on veut obtenir de petits trous de mine, ou opérer à plus grande section dans les sondages, et les ingénieuses dispositions qu'il a adoptées pour le sertissage garantissent contre les chances de perdre les diamants: pour donner une idée de la perfection du résultat obtenu ici, il me suffira de dire qu'il arrive à substituer les pointes de carbone aux dents d'une scie à ruban, pour débiter, en lames minces, avec un trait de scie d'un demi-millimètre d'épaisseur, des cubes de malachite, des pierres précieuses, etc.

Après avoir manifesté ma propre et sincère admiration pour les résultats obtenus par l'emploi du diamant noir, tant au point de vue de la rapidité du forage proprement dit que de la beauté des témoins extraits, je dois aussi faire connaître les motifs qui, d'après moi, empêchent et empêcheront de plus en plus la généralisation de ce système. C'est d'abord l'élévation du prix du forage, qui, je crois, n'est pas moindre de 400 francs par mètre à partir du sol, et s'il est dû à la valeur de la matière employée, il ne fera que croître, car la grande consommation de cette pierre ne pourra qu'en faire hausser le cours; c'est ensuite, comme l'a dit lui-même, à l'un des Congrès de l'industrie minérale à Douai, l'un des exploitants du système, établi à Leipzig, l'impuissance complète du procédé en présence de certaines roches, notamment les poudingues ou conglomérats, les argiles, etc.; ce sont enfin aussi d'une manière générale, si mes hypothèses sont justes, les motifs que j'ai déjà donnés tout à l'heure pour la sonde creuse, qui doit avoir, dans ses détails de fonctionnement, la plus grande analogie avec la sonde au diamant noir.

J'ai fini d'examiner chacun des systèmes spéciaux séparément, mais en les prenant maintenant ensemble, je suis encore obligé d'ajouter qu'aucun d'eux ne me paraît pouvoir être adopté, même dans les cas plus ou moins particuliers qui leur sont propices, quand on arrive à sortir des petits diamètres; ce qui maintenant est la tendance la plus générale, car on préfère donner aux sondages des diamètres de 50, 60 ou 70 centimètres qui, avec les procédés perfectionnés dont on dispose actuellement, n'arrivent pas à coûter beaucoup plus cher que ceux de plus petites sections, et peuvent être utilement conservés pour une foule de destinations sur lesquelles il n'est certainement pas nécessaire d'insister ici.

Nous avons été souvent accusés d'un exclusivisme exagéré, en prônant la généralisation des applications de la sonde rigide; mais j'espère avoir déjà réussi, en vous exposant les cas d'impuissance des autres procédés, à vous convaincre des avantages immenses que ce système a sur tous les autres. Les hommes habiles qui nous ont précédés dans cette carrière: les Flachat, les Degousée, les Mulot, les Ch. Laurent, qui sont restés nos maîtres à tous, se sont toujours prêtés aux nouvelles expériences qui leur étaient demandées à l'apparition d'un nouveau procédé, et, comme nous, ils ont su reconnaître le parti utile qu'on pouvait en tirer en restreignant leur travail dans un cercle très étroit, en dehors duquel ils échouaient complètement; car, Messieurs, lorsqu'on parle de *sondages*, on veut désigner, la plupart du temps, un travail de recherches, de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

reconnaissance, dans lequel les circonstances peuvent se modifier à tous les instants; il faut donc, dans ce cas, avoir un appareil qui ait en quelque sorte tout prévu, et qui puisse être sûr de finir le travail commencé. Quand, à l'aide de la sonde rigide, dont le manche solide vous permet de conduire l'outil où et comme vous voulez, vous aurez scruté avec la plus grande attention la partie que vous avez choisie pour sujet d'études sur ce vaste corps plein de vie qu'on appelle la terre, alors, comme le chirurgien, vous saurez faire un utile choix de l'instrument spécial que vous avez à appliquer pour mener à bien votre opération, et vous n'aurez plus par la suite, dans les cas analogues, à faire du *sondage* proprement dit, le travail ne sera plus que du *forage*. Vous saisissez parfaitement cette distinction et vous comprendrez pourquoi les maîtres que j'ai cités plus haut ont toujours persévéré, et pourquoi, comme eux, nous persévérons dans l'utilisation presque exclusive de la sonde rigide.

Vous n'avez pas été sans vous demander maintes fois comment cette industrie, dont les applications s'étendent jusqu'aux limites les plus reculées de l'univers, était toujours restée comme un monopole réservé à la France. Ne cherchez pas encore ailleurs la raison de ce fait: nos devanciers, à l'aide de la sonde rigide, n'ont peut-être pas toujours obtenu le résultat désiré, quand la nature le leur refusait, mais ils ont toujours pu achever consciencieusement la recherche qui leur était demandée. C'est pour cela qu'on s'adressait à eux, en France, de tous les points du globe, et leurs successeurs, jaloux de conserver pour leur pays le privilège d'une aussi belle industrie, se sont efforcés de donner à l'outillage du sondeur les utiles perfectionnements dont je vais vous demander la permission de vous entretenir maintenant, si vous voulez bien me continuer votre bienveillante attention.

Sondages à la tige rigide. — Votre compétence à tous sur le fonctionnement de ce système me dispense, comme je l'ai dit au début, d'entrer dans les détails minutieux que le sujet comporte. Cependant il en est un dont je crois devoir vous entretenir, parce qu'il est en quelque sorte fondamental, et de nature à soulever ici une discussion qui pourra avoir pour effet de nous mettre tous d'accord sur une question souvent mise en avant, sans avoir été résolue complètement jusqu'à ce jour: je veux parler de la matière à laquelle il convient de donner la préférence pour la constitution de la tige de sonde. Je suis bien convaincu que mon auditoire est partagé en deux camps distincts; les uns sont pour le bois, les autres pour le fer; et puisque j'ai la parole, je vous demanderai la permission de donner tout de suite mon opinion à ce sujet: je serai fier si je parviens ainsi du premier coup à convaincre ceux qui se préparent à être mes contradicteurs, tout en les assurant d'avance que je n'ai pas le moindre parti pris pour reconnaître, si elle est démontrée, l'opportunité d'avoir à utiliser, même dans des cas isolés, les tiges en bois. L'ingénieur saxon Kind a fait une légende sur leur origine: un charpentier laisse tomber son mètre dans un forage presque plein d'eau; l'ingénieur, directeur du travail, se dépite d'avoir à retirer du trou un outil qu'il croyait en métal. « *Ne vous désolez pas*, lui dit l'ouvrier, *mon mètre est en bois, il va revenir sur l'eau.* » En le voyant reparaître, Kind dit à l'ingénieur :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« *Mais nos tiges aussi reviendraient d'elles-mêmes si elles étaient en bois.* » Ce qui fut dit fut fait, et le bois fut substitué au fer pour le corps des tiges de sonde. Cependant, des expériences que chacun peut répéter prouvent que les faits sont parfaitement en contradiction avec la conclusion de cette légende, car une planche descendue à 100 ou 150 mètres dans l'eau, c'est-à-dire sous une pression de 10, 15 atmosphères, subit une transformation moléculaire qui, outre le poids de l'eau imbibée, augmente considérablement sa densité; et j'ai vu de tels morceaux de bois, après avoir été immergés une seule fois pendant quelques minutes, conserver, après plusieurs mois d'exposition à l'air et au soleil, une pesanteur telle qu'ils plongeaient dans l'eau comme une pierre; un fétu de paille remonté de 400 à 500 mètres de profondeur, et séché pendant plusieurs jours, se précipitait encore, au fond d'un baquet plein d'eau, comme une pointe de fer. De là, il est facile de tirer une autre conséquence : c'est que, en augmentant la pesanteur spécifique, le corps ainsi plongé doit éprouver une réduction dans ses dimensions extérieures. Or, quel que soit le système de tiges que l'on adopte, il faut toujours que les emmanchements servant à les assembler les unes avec les autres soient en fer, et que ce fer soit fixé sur le bois par des bandes, fourches, ou autres dispositions boulonnées ou rivées. Vous voyez alors tout de suite la cessation du contact du bois et du fer sous l'effet de la pression, et alors le porte-à-faux, le jeu qui va se produire dans les boulons ou rivets et occasionner leur cisaillement, la dislocation des assemblages, etc. En outre, il ne faut pas perdre de vue que dans tous les sondages on a eu souvent à produire sur la sonde des efforts de torsion considérables que le bois ne pourra pas supporter; enfin il faut aussi prendre en considération l'altération que doivent subir plus ou moins rapidement, par l'exposition à l'air, les bois qui ont été plongés dans l'eau; ce qui nécessitera un entretien et des réparations qu'on n'a pas à craindre avec l'emploi du fer. La seule manière peut-être d'utiliser le bois pour les tiges de sonde consisterait, suivant moi, à suivre le procédé de M. Van Dijk, ingénieur en chef des mines, procédé que nous voyons exposé dans les colonies des Pays-Bas, avec un très intéressant et très ingénieux appareil servant à l'exécution des grands sondages aux Indes néerlandaises, appareil dont j'aurai l'occasion de parler plus loin. M. Van Dijk conserve la tige de fer, à laquelle il ne donne que juste la section convenable pour l'effort de traction auquel elle est soumise, et il l'enveloppe, sur toute la longueur, d'un prisme polygonal formé de deux fourrures en bois de sapin. De cette manière il peut user de toutes les ressources que lui procure le fer, et la garniture de bois produit le double effet de détruire complètement la flexion et le fouettement des tiges, et de diminuer notablement le poids de la sonde par l'augmentation du volume plongeant dans l'eau.

Doit-on du reste, autant qu'on le fait, se préoccuper du poids de la tige de sonde? Non, car avec les appareils à chute libre dont nous allons parler maintenant, et qui constituent le plus grand perfectionnement que notre époque ait apporté dans l'industrie du sondage, la tige de sonde tout entière se trouve équilibrée, et la dépense de force, pour opérer le battage au trépan à 800, 900 et 1,000 mètres, n'est pas plus grande que pour battre à 100 mètres; on n'a à compter avec le plus grand effort à faire par rapport

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au poids de la sonde que lorsqu'il s'agit de remonter au jour l'outil qui a travaillé au fond du trou, et heureusement cette manœuvre n'entre que pour très peu, en général, dans la période active du travail eu égard à celle du battage.

Vous connaissez tous, Messieurs, la coulisse ou glissière d'Œynhausen, appelée aussi coulisse d'équilibre, parce qu'elle permettait de faire fonctionner la sonde par percussion en équilibrant telle longueur de tiges qu'on jugeait convenable. Son apparition donna immédiatement l'idée d'aller encore au delà du résultat déjà remarquable apporté par cette innovation, en obtenant seulement la chute, sur le fond, de la partie tout à fait inférieure de la sonde; car ce qui importait c'était d'éviter les grandes vibrations des tiges qui amenaient leur rupture fréquente, leur fouettement contre les parois, qui occasionnaient les éboulements et entraînaient à de nombreux et dispendieux tubages. Mais malgré l'ardeur avec laquelle cette question fut travaillée alors par tous les sondeurs, on resta de longues années sans rien trouver. Il manquait le point d'appui contre lequel il fallait faire buter et ouvrir le déclic qui devait lâcher le trépan après l'avoir soulevé de la hauteur voulue.

Ce fut Kind qui, le premier, vers 1850, résolut cette difficulté: il prit l'eau même du forage comme point d'appui. Ce système encore en usage, et dont nous retrouvons le principe, avec de légères modifications de détails, dans l'exposition de M. Huchet, se comprend facilement en prenant comme point de départ la coulisse d'Œynhausen. Imaginez la partie supérieure de la glissière, adaptée à la tige de sonde, portant les axes de rotation de deux crochets verticaux qui viennent saisir la tête du trépan reposant sur le fond, quand la sonde est descendue au bas de sa course. Deux petites tiges de fer s'articulent à l'extrémité supérieure de chaque crochet et s'arc-boutent l'une contre l'autre pour s'articuler ensemble à une autre petite tige verticale dont le haut est fixé solidairement à un disque, en tôle et cuir, occupant toute la section du trou de sonde. Ce disque n'est tenu que par les tringles en question, et, au moyen d'une ouverture centrale, il peut glisser légèrement le long de la tige de sonde. On voit alors qu'en soulevant la sonde, la résistance de l'eau, agissant sur le disque en sens inverse du mouvement d'ascension, tend à le faire retarder, c'est-à-dire comprime les articulations qui maintiennent ainsi les crochets serrés contre le trépan qui monte; mais quand le levier à bascule, auquel la sonde est suspendue, est arrivé au bout de son amplitude d'oscillation qui correspond à la hauteur de chute calculée pour le trépan, il va commencer à descendre, et immédiatement la résistance de l'eau, agissant en sens inverse, fera tirer sur les petites tiges qui laisseront échapper le trépan en ouvrant les crochets.

J'ai tenu à rappeler en quelques mots le fonctionnement de cet appareil, parce qu'il est le premier et qu'il me facilitera beaucoup la description des autres.

Peu après, vers 1854, M. Gault, l'un de nos plus habiles coopérateurs, eut l'idée de prendre le fond même du forage pour point d'appui, et le déclic s'obtint au moment de l'introduction de la partie supérieure des deux crochets verticaux dans une sorte d'anneau enveloppant la glissière et maintenu, à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la hauteur voulue pour la chute à donner, par une tige reposant sur le fond du forage.

En voyant marcher le système de Kind, on était frappé de ce fait qu'au lieu d'imprimer au levier de suspension de la sonde un mouvement pur et simple d'oscillation, comme le comporte la théorie de la résistance de l'eau pour le fonctionnement du disque, il faisait frapper avec violence la queue du levier sur un buttoir au moment où la sonde arrivait au haut de sa course. On a dû en conclure que l'action de l'eau dans un trou irrégulier, ayant parfois un bien plus grand diamètre que celui du disque, n'était pas suffisante pour vaincre l'adhérence de la tête du trépan sur les mentonnets des crochets, et que ce choc avait pour but d'imprimer une certaine force vive aux parties mobiles de l'appareil, c'est-à-dire à la tête du trépan qui se soulevait simultanément avec le disque, ce qui produisait du même coup l'ouverture des crochets et la chute du trépan.

Cette idée a été immédiatement saisie par Saint-Just Dru, qui a construit la première coulisse à chute libre, fonctionnant véritablement et franchement par le choc, et que nous retrouvons en petit modèle dans l'exposition de M. Léon Dru. Les deux crochets qui saisissent le trépan se croisent ici comme une paire de ciseaux; ils ont un axe unique de rotation dont les deux extrémités sont portées, par les deux flasques de la partie supérieure de la glissière, dans deux ouvertures ayant la forme, à peu près, d'ellipses à grand axe vertical. La glissière porte, à la partie supérieure, deux faces inclinées en forme de V très évasé. Pendant que le trépan monte, saisi par les mentonnets des deux crochets, leur axe repose sur le fond de l'ellipse, et les parties supérieures de ces crochets sont en contact chacune avec l'une des branches du V. Le levier de suspension arrive au haut de sa course en frappant sur un buttoir, l'axe saute dans ses ellipses, les pointes supérieures des crochets glissent sur les faces obliques en s'écartant pour rendre le trépan libre.

Nous retrouvons l'application du choc à la production du déclic chez M. Dehulster, qui se sert d'un étrier à bascule et à contrepoids pour obtenir l'accrochage et la chute du trépan à l'aide d'un taquet fixé à angle droit sur cet étrier. Cet étrier est à rotation autour d'un axe excentré par rapport à celui du trépan; pendant la descente de la sonde, il occupe, par ses dimensions, une position inclinée un peu au-dessous de l'horizontale; le taquet est écarté par la tête du trépan qu'il cale sous son mentonnet quand l'étrier retombe, aussitôt après, dans sa première position, et le trépan saisi ainsi remonte ensuite avec la sonde, jusqu'au moment où le choc produit la bascule de l'étrier et fait retomber le trépan sur le fond.

Un appareil de chute libre digne d'appeler tout spécialement notre attention, parce que celui-là fonctionne réellement et uniquement par l'effet de la résistance de l'eau sur un disque, est représenté, seulement par des dessins, dans l'exposition des Indes néerlandaises; il a été imaginé par M. Van Dijk, que j'ai déjà nommé. J'ai été à même de le voir fonctionner dans les ateliers où il a été construit d'après les plans et indications fournis par cet éminent ingénieur, et je puis affirmer qu'il est impossible de voir une plus ingénieuse combinaison. Malheureusement, le nombre des organes qui la composent est trop

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grand, bien que formant un tout jouant avec la plus grande simplicité, pour qu'il soit possible d'en faire une description compréhensible sans l'accompagner d'un croquis ou sans la suivre sur le dessin lui-même. Je me contenterai de dire que M. Van Dijk, ayant aussi compris que dans la chute libre de Kind, l'action de l'eau sur le disque était presque impuissante à vaincre l'adhérence des crochets contre les mentonnets de la tête du trépan, ne fait ici jouer à son disque que le rôle d'un guide à glissement doux qui, pendant l'ascension de la sonde, maintient un crochet unique dans la position verticale qu'il doit avoir pour remonter le trépan, et aussitôt que la sonde commence à descendre, il abandonne le crochet qui bascule de lui-même pour produire la chute du trépan.

Nous voyons également en Hongrie un habile ingénieur, M. Sigmondi, qui vient d'exécuter, à Budapest, un magnifique sondage artésien de 970 mètres de profondeur, exposer, parmi les modèles des outils dont il s'est servi, un appareil à chute libre fonctionnant aussi par la résistance de l'eau sur un disque qui agit un peu comme le précédent; à l'aide d'un verrou vertical qu'il porte, il maintient pendant l'ascension de la sonde la tête du trépan prisonnière dans une encoche, et au moment de la descente le verrou se soulève, s'ouvre pour laisser tomber l'outil.

Je dois mentionner ici un appareil produisant la chute libre du trépan par pression hydraulique; je n'ai encore aucun renseignement sur le fonctionnement de ce système qui paraît tout à fait nouveau et des plus intéressants; mais si, comme je crois l'avoir remarqué, j'ai l'avantage de compter son auteur parmi mes auditeurs les plus attentifs, il ne se refusera pas, j'en suis sûr, à faire à votre honorable assemblée une petite communication sur ce sujet, en même temps qu'il voudra bien nous prêter le concours de son expérience dans les questions qui pourront être soulevées à la suite de cet exposé.

Dans l'album présenté par la Compagnie des mines de Lens, se trouve dessiné un instrument qui est fort employé, paraît-il, dans les sondages du Nord et du Pas-de-Calais, sous le nom de coulisse Charles-François: l'idée en est ingénieuse et simple, car c'est la transformation de la coulisse d'OEynhausen en coulisse de chute libre, en disposant au haut de la glissière supérieure une encoche dans laquelle se loge, par un mouvement à baïonnette, la clavette formant la tête du trépan. On le soulève ainsi, et il suffit de détourner un peu brusquement la sonde pour que la clavette quitte l'encoche et que le trépan tombe. Il faut pourtant dire que, sans vouloir enlever à M. Charles-François le mérite d'une invention, cette disposition est connue et utilisée depuis longtemps, et elle se trouve déjà décrite dans le *Guide du sondeur*, édition de 1861, comme ayant été créée par un ingénieur des chemins de fer autrichiens.

Tous ces divers appareils imaginés pour obtenir la chute libre vous démontrent, Messieurs, combien cette question intéresse l'art du sondeur, qui trouve dans son emploi non seulement, comme je l'ai déjà dit, un très grand avantage au point de vue de la diminution des accidents de sonde, mais aussi pour la rapidité de l'approfondissement, car il lui donne la faculté d'accélérer autant qu'il le veut la vitesse du battage.

Tous ces systèmes ont fait leur preuve et réussissent, je dirai presque aussi

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bien les uns que les autres, dans les sondages ordinaires; mais dans les applications à de très grandes profondeurs, je doute que le choc arrive à transmettre son effet assez promptement pour qu'on puisse être sûr de produire la chute à chaque coup, surtout avec la grande rapidité du battage; et je crois encore qu'il ne peut être utilisé, au delà de certaines limites, dans les forages à section plus ou moins grande; car le poids du trépan augmente, bien entendu, proportionnellement à l'accroissement du diamètre, et l'arrêt brusque d'une masse puissante animée d'une grande vitesse produirait sûrement un très fâcheux effet sur la tige de sonde. Les disques flottants fonctionneraient bien à toutes profondeurs, mais dans les grandes sections il me semble qu'il doit y avoir une impossibilité matérielle de les construire solidement sans arriver à leur donner un poids qui résistera à la réaction de l'eau. Le seul système qui ait jusqu'alors été expérimenté avec le plus grand succès à de très grandes profondeurs et dans les plus grands diamètres, est le système à déclic avec point d'appui sur le fond même du forage; je trouverai tout à l'heure l'occasion de dire un mot à cet égard.

Après vous avoir aussi longtemps tenus sur les divers modes d'obtenir la chute libre, je ne veux pas maintenant vous promener à travers l'arsenal du sondeur, pour appeler votre attention sur telle ou telle modification, apportée par les uns ou les autres à la construction ou à la disposition des instruments, plus ou moins classiques, dont on se sert pour le forage, le curage, l'extraction des témoins, l'élargissement des parois, etc.; une journée tout entière ne suffirait pas pour vous en rappeler le but et le fonctionnement, surtout si, avides de tout connaître, vous désiriez avoir également une description, même sommaire, des procédés et des instruments à mettre en œuvre dans les accidents multiples et variés contre lesquels le sondeur est si souvent en lutte.

Ce serait alors vous faire la lecture d'un véritable traité pratique, et telle n'est pas ma mission aujourd'hui : je dois m'attacher, dans l'exposé que je développe, à aborder principalement les sujets sur lesquels il n'y a pas tout à fait concordance entre les hommes de l'art, pour que les différentes manières de voir soient opposées à la mienne et qu'il naisse de la discussion, si possible, des règles dont chacun puisse tirer profit. Tout de suite se présente alors l'occasion de vous parler des *tubages* employés soit pour s'opposer à l'éboulement des parois du trou de sonde, soit pour servir de colonne ascensionnelle aux eaux d'un puits artésien. Je ne traiterai pas du choix à faire de la matière, qui est presque toujours la tôle pour la première, et la tôle, le cuivre ou le bois pour les seconds. Je ne vous décrirai pas non plus les procédés plus ou moins variés qui sont en usage pour assembler les uns avec les autres, à mesure qu'on les descend dans le forage, les divers tronçons de 2, 3, 4 ou 6 mètres qui vont former une seule et même colonne rigide de la longueur nécessaire.

Je prends immédiatement la question au point où les procédés sont tout à fait divergents; et pour mieux l'exposer, je suppose un sondage en cours d'exécution : il a d'abord traversé des roches assez solides pour que les parois n'aient pas besoin d'être soutenues, mais arrivé à 50 mètres de profondeur, il entre dans des couches plus ou moins meubles qui remplissent le fond du trou

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à mesure qu'on le nettoie : quelle épaisseur aura ce passage ébouleux? Supposons-la connue par des travaux analogues faits dans le voisinage, elle est de 10 mètres; et au-dessous on doit trouver un banc solide. Il faut descendre un tube; ne lui donnerons-nous que 11 à 12 mètres de longueur totale pour ne garnir le forage que sur la hauteur même du passage ébouleux? Ou le feronsnous de 60 mètres de long pour qu'il monte jusqu'à la surface? Ma question peut paraître bizarre, car si on peut poursuivre le travail avec un tube de 11 à 12 mètres, il n'y a pas à hésiter à le faire, plutôt que de dépenser de gaieté de cœur une somme six fois plus forte. Eh bien! Messieurs, c'est là une grave question sur laquelle les sondeurs sont en très grand désaccord; les uns conseilleront le tubage en *colonne perdue*, c'est-à-dire abandonné dans le forage, les autres préféreront le tubage montant jusqu'au sol. Je suis de ces derniers et voici mes raisons :

J'ai supposé la couche ébouleuse de 10 mètres d'épaisseur; dès que je l'attaque, je dois placer le tubage qui descendra ensuite, à mesure de l'approfondissement, jusque sur la roche solide qui vient après; mais, comme il arrive très souvent, soit par l'effet d'une ondulation, soit par un tout autre phénomène géologique, la couche solide sur laquelle je comptais se trouve ici beaucoup plus loin ou même n'existe plus, je pourrai donc me trouver avec un tubage trop court et il me faudra ou tenter à grand'peine de retirer la colonne perdue, s'il en est temps encore, pour l'allonger, et je laisserai le trou se recombler pendant ce temps; ou me décider à descendre un autre tube d'un plus petit diamètre, pour qu'il passe dans le précédent, et quelle longueur lui donnerai-je cette fois pour n'être pas encore pris au dépourvu?

Mais admettons que les choses se soient passées comme on l'avait prévu et que la colonne perdue soit bien assise sur un banc solide; on continue le forage pendant 5 ou 6 mètres et on retombe dans une nouvelle couche ébouleuse. Avec une colonne pleine qu'on tient par la tête, on peut la soulever légèrement pour procéder à l'élargissage du trou à travers le banc dur et la faire descendre, en la prolongeant, pour aller tuber toute la nouvelle couche ébouleuse, quelle que soit son épaisseur; tandis qu'avec la colonne perdue, il faut en redescendre une nouvelle qui aura, entre autres, l'inconvénient de diminuer le diamètre du trou de sonde, inconvénient sérieux dans les sondages de recherches où la réduction du diamètre peut être cause de l'abandon du sondage avant qu'on ait atteint le but. Et quand nous traversons ces couches ébouleuses épaisses, à travers lesquelles, par suite du frottement, nous ne pouvons descendre les tuyaux qu'en exerçant de fortes pressions sur la tête, en même temps qu'un outil foreur dégage le pied, est-il bien commode d'aller frapper sur la colonne perdue à quelques cent mètres de la surface en laissant le passage libre à la tarière? Et quand une tige se brise, quand un trépan tombe, même quand on descend journellement la sonde, n'y a-t-il pas chance de détériorer les tôles de ce tube télescopique? Et cela pourquoi? Pour économiser toutes les longueurs de tôle que vous allez avoir en double, en triple, en quadruple, suivant que les circonstances vous obligent, même en employant les colonnes pleines, à placer 2, 3, 4 tubages l'un dans l'autre! Mais vous n'économiserez rien du tout! Vous vous créez des difficultés, vous augmentez

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les chances d'accident, vous perdez votre diamètre, et je vais même plus loin, vos tubes, enfouis à tout jamais dans la terre, constituent une dépense que, la plupart du temps, vous réduirez très sensiblement si leur extrémité supérieure monte jusqu'au sol. Car distinguons le cas où, le sondage terminé, il n'y aura plus qu'à le combler et celui où, au contraire, il faudra le conserver soigneusement. Dans le premier, en utilisant les appareils *ad hoc*, vous arriverez à extraire successivement tous les tubages dans l'ordre inverse de leur mise en place, c'est-à-dire en commençant par le plus petit diamètre qui est au centre de tout l'ensemble; dans le second, vous n'aurez qu'à laisser ce même et seul tube central, et vous pourrez retirer tous ceux extérieurs qui n'ont plus aucune raison d'être. Si même le sondage a été exécuté sur une certaine hauteur de terrain solide à partir du sol, vous pourrez encore reprendre du tube central toute la portion correspondante à ce passage, car il existe des instruments dont vous voyez de nombreux spécimens à l'Exposition, à l'aide desquels on arrive à opérer la section d'un tube, dans un forage, avec la même netteté, et je puis dire avec la même facilité que si on la faisait avec la lime dans un étau ou avec le crochet sur un tour. Il est superflu de dire que les tubes retirés d'un sondage n'exigent que très peu de réparation pour pouvoir être utilisés ailleurs.

Un mot maintenant, Messieurs, sur une autre phase de la question des tubages; je veux parler du captage des eaux dans un forage artésien.

Lorsqu'une contrée est assez favorisée de la nature pour se prêter à ces recherches si utiles et si intéressantes, il est rare que la sonde, en pénétrant à travers les couches sédimentaires alternativement perméables et imperméables qui constituent son sous-sol, ne fasse pas jaillir successivement plusieurs nappes; et, selon toutes probabilités, comme du reste la pratique le démontre dans la plupart des cas, les plus profondes, ayant leur point d'origine généralement à une altitude plus élevée, posséderont une force ascensionnelle plus grande, et par suite un débit relatif de plus en plus considérable. Dans un tel état de choses, y a-t-il avantage à disposer les tubages de manière à laisser couler au sol la somme ou le mélange du produit de chacune des nappes rencontrées, abstraction faite, bien entendu, des influences qui pourront en résulter sur la qualité de l'eau qu'on recueillera? Non! et, contrairement à l'opinion de nombre d'entre nous, je soutiens qu'en présence de la configuration géologique la plus générale dont je parlais tout à l'heure, il faut capter seulement et avec le plus grand soin la nappe inférieure, qui débitera à elle seule plus que toutes les autres ajoutées à elle-même; j'ai peut-être l'air de venir soutenir ici un paradoxe, mais quelques mots me suffiront pour vous expliquer et vous faire comprendre ma manière de voir.

Il est bien reconnu qu'une nappe souterraine est absorbante, et il est même prouvé par la pratique que sa puissance d'absorption est au moins égale à sa puissance même de débit, c'est-à-dire que si dans un puits vous pouvez tirer 500 litres d'eau par minute sans faire baisser le niveau, le niveau ne s'élèvera pas si, au contraire, vous y introduisez constamment 500 et quelques litres d'eau par minute. Supposons que dans un forage nous trouvions une première nappe d'infiltration, puis une source jaillissante : en les laissant en communi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cation, la seconde va s'absorber en partie dans la première, et on n'aura tout le débit de la nappe artésienne qu'après avoir masqué la première couche aquifère par un tube bien étanche qui servira de colonne d'ascension à la deuxième. Mais les choses se passeraient de même si, au lieu d'être stagnante, la première nappe avait été elle-même jaillissante, car nous nous trouvons toujours, pour l'une et pour l'autre, en présence du principe des vases communicants, et il n'y a entre ces deux manières d'être d'une nappe qu'une question de dénivellation du sol : une nappe stagnante maintient ici son niveau à 4 mètres en contre-bas du sol, sur un point voisin elle sera jaillissante si pour y arriver on a à descendre $4^{m},50$ de rampe. Si donc nous laissons deux nappes artésiennes communiquer ensemble, la première, moins puissante, absorbera de la deuxième un volume d'eau supérieur à celui qu'elle débitait au sol quand elle coulait seule. La première débitait 100 litres, la deuxième en débiterait seule 150 litres; nous n'aurons en totalité au sol que 125 litres. Trouvons une troisième source pouvant débiter seule 300 litres; elle perdra 175 litres dans la deuxième; son contingent ne sera donc plus que de 125 litres, et le puits ne me donnera en totalité que 250 litres au lieu de 300 litres.

Mais je veux vous convaincre plutôt en vous citant l'expérience concluante suivante, qui vient d'être faite il y a peu de temps. Une grande administration avait à faire exécuter un puits artésien dans une localité où il en a été fait déjà plusieurs; M. Belgrand, directeur du service des eaux et égouts de Paris, membre de l'Institut, que la science vient d'avoir le malheur de perdre tout récemment, avait été consulté et s'était prononcé pour le captage unique de la nappe la plus profonde; on adopta ce procédé : le forage traversa trois premières nappes, qui furent complètement annulées, et la quatrième, atteinte à 170 mètres de profondeur, donna un jaillissement, au sol, de plus de 4,000 litres d'eau par minute; tandis qu'un autre puits, exécuté à quelques pas de celui-ci, exactement au même niveau, poussé à une profondeur scrupuleusement égale, et ayant rencontré les quatre mêmes nappes qu'on laissa communiquer entre elles, n'avait donné qu'un débit de 1,000 litres par minute.

Certes, l'idéal de la réussite dans des cas analogues serait la réalisation du projet si souvent mis en avant et tenté, de capter, dans un même puits, chaque nappe isolément, par des tubages étanches, la nappe inférieure s'écoulant par l'intérieur du tube central, et toutes les autres, dans les espaces annulaires concentriques, obtenus par le décroissement successif du diamètre des tubes ascensionnels. Malheureusement on ne pourrait le faire qu'en donnant au forage des dimensions telles que le vide entre chaque colonne puisse permettre le passage des outils de curage, pour opérer le désensablement de la nappe, s'il devient nécessaire; et il faudrait aussi que les couches imperméables, séparant les nappes, fussent bien épaisses et excessivement plastiques, pour produire elles-mêmes l'isolement indispensable, car il serait presque impossible de l'obtenir à l'aide des procédés généralement et facilement mis en usage pour le captage d'une seule nappe.

Forages à grand diamètre. — Je ne vous ai entretenus jusqu'ici, Messieurs, que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des sondages et forages à petite section, et je crains de m'être arrêté trop longtemps sur cette division de la question, pour oser vous demander encore quelques minutes de bienveillance. Mais, heureusement, j'ai pour moi l'intérêt même du sujet qu'il me reste à traiter, intérêt qui découle de la nouveauté du système, de l'immense progrès qu'il représente et de ses applications si heureuses à la grande industrie des mines. Je veux parler des forages à grands diamètres, c'est-à-dire du fonçage des puits de mine, à l'aide de la sonde.

L'idée de foncer les puits de mine à l'aide de la sonde est due à Mulot, et remonte presque à l'époque, récente encore, de la découverte du prolongement de notre grand bassin houiller dans le Nord et le Pas-de-Calais. L'outillage dont il se servit, bien que très défectueux, lui permit cependant de mener à bonne fin son forage, et l'échec que subit cette première tentative est dû uniquement à la malheureuse idée qu'il eut d'employer le bois pour la construction de son cuvelage. Kind, qui reprit plus tard la question, aurait éprouvé le même sort, si l'illustre ingénieur belge, M. Chaudron, dont le nom est aujourd'hui le plus populaire dans l'industrie universelle des mines, n'était venu lui apporter le concours de son ingénieux cuvelage.

Je n'entends pas non plus ici émettre la prétention d'avoir à vous exposer les conditions dans lesquelles se font ces travaux, ni de vous apprendre les immenses avantages qu'ils procurent tant au point de vue de l'économie que de la plus grande rapidité d'exécution; je dois me borner à vous présenter, pour les soumettre à votre appréciation, les différences qui existent dans les procédés spéciaux utilisés pour le forage et le cuvelage.

Pour le forage, nous ne nous trouvons ici en face que de deux systèmes, celui qu'on peut appeler par *sections divisées* ou par agrandissements successifs, et celui présenté sous le nom de méthode *à pleine section*.

Dans le premier, le travail se fait en deux ou trois passes suivant le diamètre à obtenir : un trépan de $1^m,40$ environ de diamètre fait un avant-puits d'une certaine profondeur, qui est successivement élargi à $2^m,50$, puis à $4^m,30$, à l'aide de trépans de dimensions convenables, portant dans le milieu un guide correspondant au diamètre du trépan qui a fait la passe précédente. Je crois que, depuis peu, dans la plupart des cas, le forage entier est fait avec deux diamètres seulement.

Dans le second système, le forage est fait du premier coup au grand diamètre de $4^m,30$.

Comme je l'ai fait ici jusqu'à présent, je vais immédiatement exposer les raisons qui me font donner la préférence au deuxième système :

D'abord il me semble qu'en augmentant le poids du trépan avec le diamètre de la surface qu'il s'agit de pulvériser, on doit arriver à obtenir au moins une même vitesse d'approfondissement dans la grande et dans la petite section, et qu'alors la deuxième et la troisième passe du premier système sont du temps bien perdu. Je ne vois donc pas pourquoi, disposant de la force nécessaire à la manœuvre du grand trépan et surtout en donnant à son taillant une forme convenable, on n'arriverait pas, par la pleine section, à faire le forage proprement dit, aussi vite que celui de l'avant-trou, réduit à $1^m,40$ de diamètre.

Et pour la manœuvre complémentaire, le curage, y a-t-il avantage à opérer

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par sections divisées? Je ne le crois pas non plus; car à la pleine section on aura à faire manœuvrer la cuiller à soupape, de capacité convenable, autant, mais pas plus, qu'on ne le fait pour le forage de la première passe. Mais, dans les agrandissements, le trépan attaque la roche dégagée sur deux faces, les morceaux tombent au fond de l'avant-trou où il faut redescendre chaque fois avec la cuiller pour curer le forage. Je sais bien que la capacité de l'avant-trou est telle qu'on peut le laisser se combler sur une certaine hauteur, c'est-à-dire faire un assez long trajet d'élargissement, sans se préoccuper du curage; mais ne perdons pas de vue aussi que, dans la deuxième et la troisième passe. la roche n'est pas broyée; elle se détache en blocs qu'il ne faut pas trop accumuler, car ils ne se prennent pas ainsi dans la cuiller, et il devient presque continuellement indispensable de recourir de nouveau au plus petit trépan pour aller les pulvériser.

Je n'ai pas besoin d'insister davantage pour faire comprendre les lenteurs qui doivent résulter d'une telle manière de procéder, et appeler l'attention sur les grandes difficultés qui se produisent, quand on a affaire à des morceaux de grande dureté. — En outre, si certains passages opposent des obstacles sérieux à l'approfondissement, en y revenant à deux ou trois reprises on aura à les vaincre deux ou trois fois. Si on traverse des pendages très inclinés, un petit trépan déviera plutôt qu'un grand, à large assiette, et les outils élargisseurs, guidés par l'avant-puits et sollicités par la grande inclinaison, auront chance de faire sortir le grand puits de la verticalité. Jusqu'à preuve du contraire, j'ai donc raison de croire qu'il y a avantage, à tous égards, à attaquer à pleine section.

Il y a encore à cela un autre motif, c'est qu'avec ce procédé on peut faire profiter le travail de forage à grands diamètres de tous les avantages qu'on tire, dans les petits sondages, de l'emploi du système à chute libre; car on peut ici seulement prendre sur le fond le point d'appui nécessaire au fonctionnement du déclic. — L'expérience en est faite, du reste, je l'ai déjà dit tout à l'heure, et on en obtient les meilleurs résultats; il est extrêmement intéressant de voir la régularité, la douceur, le silence même avec lesquels se meut et travaille un trépan de 25,000 kilogrammes, soulevé de 40 à 50 centimètres, dix à quinze fois par minute, pour retomber de tout son poids sur le fond qu'il réduit en poussière.

Quant au cuvelage imaginé par M. Chaudron, je croyais que la disposition de sa base en forme de *stuffing-box*, qui s'appelle la boîte à mousse, était si simple, si ingénieuse et avait donné depuis près de vingt ans de si remarquables résultats qu'il n'y avait rien de meilleur à chercher. — Je me suis trompé, on a voulu trouver mieux, car à côté de la grande et belle exposition Kind-Chaudron, nous voyons dans celle de M. Somsée, de Liége, le modèle d'un nouveau système d'assemblage des tronçons de cuvelage, à l'aide de tores en caoutchouc; et la soudure du premier anneau du fond avec la paroi se fait également par l'écrasement d'une semblable couronne de caoutchouc. Mais mon opinion n'est nullement favorable à ce nouveau procédé, car, sans m'appesantir sur le peu de confiance que me donne, jusqu'à présent, l'emploi du caoutchouc pour des joints de cette dimension, sous 200 ou 300 mètres de profondeur d'eau, j'observe que, pour obtenir l'obturation de la base, il faut donner à la partie

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du fond, sur laquelle va reposer ce cuvelage, une disposition en tronc de cône renversé, qu'il me semble bien difficile de faire convenablement et avec certitude, même avec l'aide d'un trépan de forme spéciale.

Je ne veux pas quitter cette question sans dire cependant que, tout en reconnaissant la perfection du système de cuvelage de M. Chaudron, je crois qu'il est possible, et même avantageux à tous égards, de supprimer la colonne d'équilibre dont l'usage me paraît plutôt nuisible qu'utile; et que son procédé, pour remplir de béton l'espace annulaire compris entre le cuvelage et les terrains, n'est ni aussi pratique ni aussi sûr qu'un autre, déjà expérimenté avec succès, qui consiste à opérer le bétonnage par une coulée continue.

Emploi de la dynamite. — Il ne me reste plus, Messieurs, que peu de mots à vous dire pour rendre hommage à ce produit presque né d'hier, la dynamite, qui, dans les cas difficiles, est d'un si grand secours pour le sondeur: un morceau d'acier est-il au fond du trou, récalcitrant aux efforts qu'on a faits pour le retirer avec une tarière, une pince, etc., quelques grammes de cette substance l'ont vite réduit en fragments assez petits pour qu'ils puissent être empâtés dans de l'argile, et remontés dans les cuillers à soupape comme d'autres détritus de roche. Un outil est-il coincé dans le fond, une cartouche de cet explosif va l'ébranler ou creuser latéralement autour de lui, et son dégagement est obtenu. Mais c'est surtout comme outil élargisseur qu'il rend de bien grands services; un tube est arrêté sur un banc de grès de quelques mètres seulement d'épaisseur, au-dessous de lui une couche schisteuse exige qu'on prolonge le tubage en lui faisant franchir l'obstacle sur lequel il repose; les outils élargisseurs s'émoussent, s'usent, se brisent ou n'agissent qu'avec une lenteur désespérante, à cause de la dureté excessive de la roche; la dynamite, en quelques heures, aura ouvert le passage, et son action est tellement locale que le pied du tube, à peine soulevé au-dessus de la cartouche, n'éprouvera pas la moindre déformation.

Même pour le forage proprement dit, lorsque les trépans arrivent sur des bancs très durs, dans lesquels l'approfondissement est à peine de quelques centimètres par jour, après avoir opéré le curage avec soin, de manière à avoir un fond bien net et bien propre, à l'aide de la dynamite, on produit le fendillement, l'étonnement de la roche, qui se prête alors à un broyage plus rapide.

Ici se termine, Messieurs, l'exposé que j'avais à vous faire; je vous dois des remerciements pour l'indulgence que vous m'avez témoignée en me prêtant une attention aussi longue et aussi soutenue. J'ai peur même d'en avoir abusé en me permettant de vous exposer, chaque fois, mon opinion personnelle sur les questions soumises à votre jugement; mais j'ai pensé bien faire ainsi pour abréger la discussion que je serai fier d'avoir provoquée, et de laquelle il sortira, j'en suis sûr, un haut enseignement sur la voie de progrès et de perfectionnement à faire suivre à l'art du sondage. (Applaudissements.)

DISCUSSION.

M. LE PRÉSIDENT. La question des sondages est de la plus grande importance pour l'ingénieur des mines. Nous venons d'entendre un rapport très complet et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

très soigneusement élaboré par un homme d'une grande compétence dans la matière; j'espère que MM. les ingénieurs ici présents, et qui ont prêté tant d'attention à ce sujet, nous fourniront des éclaircissements relativement à certains points sur lesquels nous ne sommes peut-être pas tout à fait d'accord.

M. Brüll. Je voudrais présenter à l'assemblée quelques observations sur la dernière partie de la communication de M. Lippmann relative à l'emploi de la dynamite dans les sondages.

Je dirai d'abord que j'ai eu occasion, dans ces derniers temps, sur les conseils amicaux de M. Lippmann lui-même, d'employer la dynamite dans un des cas qu'il vient de signaler, c'est-à-dire pour briser des fragments d'outils restés au fond du trou de sonde.

Je l'ai appliquée également pour ameublir le fond des sondages et rendre les forages plus rapides lorsque les roches étaient devenues trop dures pour l'outillage un peu insuffisant dont je disposais.

Je voudrais citer aussi quelques exemples dans lesquels la dynamite a rendu des services pour l'utilisation des forages. Je veux parler de l'exploitation des puits à pétrole de la Pensylvanie. Tels de ces puits, après avoir débité pendant un ou plusieurs mois de grandes quantités d'huile, avaient vu diminuer leur débit, ou même avaient tari complètement. On a envoyé sur le fond du trou un et quelquefois 2 kilogrammes de dynamite, dont l'explosion y a produit de nouvelles crevasses qui ont permis au débit de se continuer.

En Hollande, un propriétaire, ayant creusé un forage artésien, est arrivé, à la profondeur de 25 ou 28 mètres, sur une roche extrêmement dure qu'il semblait qu'on ne pût pas traverser. Il a employé la dynamite, et, par l'application de cette substance, on a pu, non seulement traverser ce fond de roche, mais atteindre la couche aquifère par des fentes suffisantes pour que le puits commençât immédiatement à débiter.

Une autre application de la dynamite, qui a été passée sous silence par M. Lippmann, a été faite dans ces dernières années par la Compagnie américaine à laquelle il faisait allusion, et qui exploite le procédé Leschot de perforation au diamant noir. Cette application très originale, et sur laquelle, malheureusement, les détails manquent encore, aurait donné, en tous cas, des résultats remarquables dans le creusement d'un puits de 4 mètres de diamètre. Mais on ne sait pas si ce procédé a pu être employé dans d'autres occasions.

Pour ouvrir ce puits dans des terrains consistants, à l'aide d'un perforateur à diamant noir capable de percer des trous de 40 à 50 millimètres, on a foré une quinzaine ou une vingtaine de ces trous dans la section circulaire de 4 mètres, et chacun jusqu'à la profondeur de 80 ou 100 mètres: on faisait, pour obtenir ces forages, travailler quatre ou cinq outils à la fois, que l'on déplaçait à l'aide de chariots, comme font les mécaniciens pour leurs outils, en passant d'une ligne à la ligne suivante.

Puis on a commencé à faire jouer la mine dans les trous, et pour cela on les a remplis de sable, en laissant seulement un mètre à un mètre et demi de vide; on a disposé au fond un bourrage fait d'un tampon d'argile, et, par-dessus, on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

a employé la substance explosive. Ce n'était pas, je crois, de la dynamite, mais une matière d'un autre genre, à base de nitroglycérine, et qu'on appelle de la dualine. Peu importe d'ailleurs. On l'a fait détoner d'un seul coup dans tous les trous, à l'aide d'un appareil électrique. On a enlevé ainsi la roche sur toute la section du puits, sur $1^{m},20$ de profondeur environ.

Pendant que l'on forait à 80 mètres au-dessous du sol, on n'avait pas besoin d'épuiser l'eau qui pouvait se présenter. La nécessité de faire ce travail dans le puits, c'est-à-dire d'en assécher le fond, ne s'est présentée qu'à partir du moment où l'on a commencé à battre des mines dans la partie aquifère.

Après avoir ainsi enlevé un premier mètre de roche au fond du puits, on dégageait les trous du sable qui les remplissait, sur une nouvelle longueur de un mètre, et on chargeait de nouveau les mines.

Par ce moyen on a atteint une profondeur de 80 mètres, à partir de laquelle, avec les mêmes perforateurs au diamant noir, établis dans le fond du puits, ou dont on aura peut-être rallongé les tiges pour opérer de la surface, on a pu forer encore 80 mètres de trous.

Il est certaines choses que je suis obligé de deviner dans les travaux faits par cette Compagnie, parce que, ainsi que l'indiquait M. Lippmann, elle les entoure du plus grand secret, et ce n'est que par des notes que j'ai lues dans les journaux ou par des explications que j'ai entendues dans des réunions, que j'ai pu apprendre ces quelques détails.

Le puits en question aurait été foncé avec une très grande rapidité; il y a des jours où l'on en a percé 8, 10, 12, 15 mètres dans une seule journée, de sorte qu'on aura perforé dans une semaine 400 à 500 mètres de trous de mine; et avec les moyens ordinaires, en employant deux mineurs ou quatre au plus, ce même travail aurait demandé bien des mois.

A propos de l'application des explosifs puissants aux forages et aux sondages, je vous demanderai la permission de dire un mot d'une découverte encore récente de M. Nobel, le chimiste suédois auquel on doit la dynamite.

M. Nobel, dans ces derniers temps, a produit un nouvel explosif à base de nitroglycérine, qui serait encore plus précieux pour l'emploi spécial dont nous nous occupons que la nitroglycérine et la dynamite. Je veux parler de la dynamite gomme ou gélatine explosive.

On le nomme gomme ou gélatine parce qu'il a l'apparence de ces corps, et vous pouvez voir dans l'Exposition, galerie des machines françaises, à la classe 50, dans l'exposition de la Société générale de fabrication de la dynamite, des spécimens, non explosifs, de gélatine explosive et ayant l'apparence de pâte de jujube.

Ce produit serait une combinaison — non pas un simple mélange — de 7 à 8 p. o/o de pyroxile, coton-poudre, ou collodion soluble, et de 92 p. o/o de nitroglycérine. Lorsque, dans certaines conditions de température ou à l'aide de certains dissolvants, on vient à mettre en présence et à mélanger 7 à 8 parties de coton-poudre et 92 de nitroglycérine, le tout se prend en pâte et on obtient cette gomme.

Cette gomme est d'abord un peu plus puissante que la nitroglycérine pure, non pas que les 7 ou 8 p. o/o de coton-poudre soient plus forts que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la quantité de nitroglycérine qu'ils remplacent, mais parce que la nitroglycérine, par sa combustion parfaite, laisse par équivalent un équivalent d'oxygène non utilisé, tandis que la petite fraction de coton-poudre qu'on ajoute vient apporter en hydrogène et en carbone le combustible convenable pour utiliser cet oxygène. De là, plus de chaleur produite et plus de force.

Nous obtenons donc là un corps plus puissant que la nitroglycérine, laquelle ne peut s'employer facilement à cause de ses dangers à l'état liquide.

Or, il est utile de savoir que la dynamite présente, par rapport à la nitroglycérine, au point de vue de la force théorique, une infériorité très considérable, sur laquelle, peut-être, l'attention des ingénieurs n'a pas été suffisamment appelée.

On s'imagine volontiers, parce que la dynamite renferme 75 p. o/o d'huile explosive unie à 25 p. o/o de silice, qu'elle doit présenter à peu près les trois quarts de la force de la nitroglycérine; il n'en est rien.

M. Berthelot, en effet, nous a enseigné que l'effet absolu de l'explosif était généralement proportionnel : 1° à la quantité de gaz développé, et 2° à la quantité de chaleur que ces gaz peuvent recevoir. Or, la dynamite, renfermant seulement trois quarts de nitroglycérine, produira donc d'abord les trois quarts de la quantité de gaz que donnerait un poids égal de nitroglycérine. D'un autre côté, elle produira les trois quarts de la chaleur qu'aurait produite la nitroglycérine pure. Cette chaleur étant appliquée à échauffer les 250 grammes de silice d'une part, et les 750 grammes de gaz d'autre part, on voit que les gaz, résultant de la combustion d'un kilogramme de dynamite, recevront seulement, en supposant que le coefficient de la chaleur soit le même pour la silice et les gaz comprimés, — et l'on admet qu'il serait à peu près le même, — les trois quarts des trois quarts de la chaleur que s'assimileraient les gaz résultant d'un kilogramme de nitroglycérine.

L'effet produit sera donc, théoriquement, pour la dynamite $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$ de celui de la nitroglycérine, et comme le cube de 3 divisé par le cube de 4 donne moins de moitié, il en résulte qu'un kilogramme de dynamite est moins fort, théoriquement, de plus de moitié qu'un kilogramme de nitroglycérine.

Donc, le nouvel explosif a de grandes chances d'être deux fois plus fort que la dynamite; le nouveau produit donnerait des effets deux fois plus grands que la dynamite; c'est ce que les expériences démontreront, car le produit est encore nouveau : il n'y a pas deux mois qu'on le manie dans les mines et dans les entreprises de travaux publics. On dit en effet que, dans beaucoup de cas, ce produit donne des effets deux fois plus forts que la dynamite, qui est déjà bien puissante.

Ce sera donc une nouvelle ressource pour briser les outils dans les trous de mine ou les produits à extraire. Mais, pour utiliser ce corps, il ne faudra pas compter sur ses qualités brisantes, il n'est pas plus brisant que la dynamite, c'est-à-dire qu'il ne vaudra pas mieux qu'elle à l'air libre; il faudra autant que possible qu'il y ait bourrage, et les sondeurs ne sont pas en peine de s'en procurer un excellent; il leur suffit, en général, de laisser l'eau dans le trou de sonde pour avoir le meilleur des bourrages. (Applaudissements.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Périssé. Messieurs, un de nos collègues, M. Chatelain, ingénieur, a le regret de ne pouvoir être au milieu de vous aujourd'hui; il est malade, et il a écrit au secrétaire du comité de votre première section une lettre pour lui faire part d'une observation qu'il aurait voulu présenter, cette observation devant répondre à un passage du rapport très remarquable de M. Lippmann.

M. Lippmann a préconisé, pour le perforage des puits, le percement, tout de suite, à grande section. M. Chatelain n'est pas de cet avis; il pense qu'il vaut mieux percer d'abord le puits central à $1^m,40$, $1^m,50$ ou 2 mètres de diamètre, et puis compléter la grande section, ainsi que M. Lippmann l'a indiqué, en agrandissant jusqu'au grand diamètre qui atteint aujourd'hui 4 mètres, 5 mètres et jusqu'à 6 mètres en Angleterre.

M. Chatelain dit qu'il y a deux avantages au percement du puits central, suivi ensuite d'un élargissement; le premier de ces avantages serait le suivant : on obtient une plus grande rapidité d'exécution. Ainsi M. Chatelain écrit que sa société ne met jamais plus de huit mois pour faire 100 mètres de puits perforé à $4^m,40$ de diamètre dans le calcaire, y compris le forage du puits central, et il semble dire que, par le système à grande section, il faut un temps beaucoup plus long.

Un autre avantage qu'il signale, c'est que le système qu'il préconise permet de traverser des bancs de silex, des bancs durs qu'il a rencontrés ayant jusqu'à 8 et 10 mètres d'épaisseur; il pense qu'avec le système à deux puits, un puits central et un grand ensuite, il est plus facile de traverser ces bancs durs. Voilà les deux avantages qu'il attribue à son système. En son absence, et dans l'intérêt même de la discussion, j'ai cru devoir vous en faire part. (Approbation.)

M. Lippmann. Je regrette que notre collègue, M. Chatelain, ne soit pas présent à la séance pour pouvoir développer les observations qu'il a envoyées par lettre. M. Chatelain soutient que le système par sections divisées, par agrandissements successifs, est plus rapide que le système à pleine section. Il ne peut en parler que par induction, l'expérience contradictoire n'a pas encore été faite; car, pour qu'elle puisse être faite consciencieusement et avec parfaite connaissance de cause, il faudrait mettre les deux systèmes exactement en présence l'un de l'autre, dans les mêmes conditions géologiques. Mais M. Chatelain, ce me semble, soutient une thèse qui, devant des ingénieurs, doit être combattue énergiquement. Comment admettre qu'un trépan de $1^m,40$ de section, qui pèsera 4,000 kilogrammes, pour attaquer cette section, produira un effet qui, forcé de s'ajouter après cela aux agrandissements, à $2^m,50$, à $4^m,50$ ou 6 mètres, durera moins de temps qu'en faisant travailler immédiatement un trépan de $4^m,40$ qui attaquera la grande section et qui pourra avoir un poids proportionnel à la section qu'il a à attaquer? Il y a là, ce me semble, un calcul bien simple à faire, et jusqu'à ce que l'expérience contradictoire ait eu lieu, nous devons réserver notre opinion.

D'un autre côté, j'admets très bien que dans les passages de calcaire très dur, de silex, la section divisée se prête mieux que la pleine section à l'approfondissement; car vous savez tous que quand il s'agit d'attaquer une roche

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en carrière, on commence toujours par la dégager sur deux faces, une face horizontale, une face verticale. Par le système de M. Chaudron on l'obtient; mais par le système à grande section nous l'obtenons également : nous avons un trépan qui fera du même coup l'avant-trou et abattra les côtés. Je prétends, jusqu'à preuve contraire, que si les deux systèmes étaient en présence l'un de l'autre dans le même terrain, dans les mêmes conditions géologiques, le système à pleine section a toutes raisons pour forer plus rapidement, surtout parce que dans le forage par agrandissement successif, vous avez chaque fois, au moment de l'élargissement, à aller reforer, ou plutôt à rebroyer les morceaux qui se détachent des corniches que vous avez laissées autour de votre forage ; vous avez à aller les rechercher au fond du forage, vous les y rebroyez pour les remonter à la surface. Je soutiens qu'il y a là une perte d'effet utile et de temps entièrement défavorable au système par sections diverses.

Un Membre. Comme prix de revient, à quel système donnez-vous la préférence ?

M. Lippmann. Au système à pleine section, parce que je le crois plus expéditif, jusqu'à expérience établissant le contraire.

M. le Président. Cela dépend du caractère de la roche; si elle est dure?

M. Lippmann. Nécessairement et dans une circonstance qui m'est connue personnellement, le système à section divisée ne devrait pas donner de très bons résultats. Je parle d'un forage de puits à grande section qui se fait en Allemagne. On a eu à traverser dans l'étage crétacé une roche calcaire, siliceuse, d'une telle dureté que la petite sonde d'exploration n'y avait fait que 7 à 8 centimètres d'approfondissement par jour, et que le grand trépan ne ferait que 12 à 15 centimètres par jour.

Mais ce calcaire siliceux très dur qu'on a eu à traverser sur 50 ou 60 mètres d'épaisseur est caverneux, sillonné de fissures telles que, au dire même des ingénieurs allemands, loin d'y faire 100 mètres en huit mois, comme le prétend M. Chatelain, le trépan King-Chaudron, avec sa lame droite, aurait éprouvé les plus grandes difficultés, sinon même une impossibilité absolue, à fonctionner surtout pour les élargissements; tandis que, grâce à sa large assiette et à l'emploi de la chute libre, le trépan du système à pleine section a constamment une marche régulière et facile. L'occasion s'en présentant, je signale que de ces fissures est sortie une nappe jaillissante extrêmement puissante, phénomène assez rare à constater en plein étage crétacé, et qui fait de ce forage un colossal puits artésien de $4^{m},30$ de diamètre, en attendant que cuvelé il devienne un grand puits d'extraction de la houille.

M. Taillard. Dans l'exposé qu'on vient de faire, on a oublié de parler de l'application du procédé mis en usage pour le forage des galeries sous-marines. Cette question est très importante, je désire qu'elle soit mise à l'ordre du jour de l'examen qui sera fait en sections. Il y a plusieurs procédés qui sont exposés. C'est une question capitale aujourd'hui.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Lippmann. Je n'avais à m'occuper que des sondages et non de la perforation en général.

M. Taillard. L'application des procédés de sondage au forage des galeries sous-marines me paraît devoir être étudiée. C'est une grave question et je pense qu'il est utile de la mettre à l'ordre du jour pour qu'elle soit discutée en section.

Un Membre. Samedi, il y aura une communication à cet égard.

M. le Président. Quelqu'un demande-t-il la parole? Si personne ne la demande, je la donnerai à M. Brüll pour une communication sur le roulage des produits des mines à l'aide des chaînes flottantes.

MÉMOIRE

SUR

LES TRANSPORTS SOUTERRAINS ET AU JOUR PAR CHAÎNES FLOTTANTES [1],

PAR M. A. BRÜLL,

INGÉNIEUR CIVIL.

M. Brüll. Messieurs, c'est en Angleterre que les moyens mécaniques de transport du charbon dans les mines ont été adoptés le plus anciennement et ont reçu le plus d'applications.

Le roulage par chevaux coûte cher et permet difficilement de très fortes productions. Aussi, le développement des extractions, la cherté croissante des chevaux et de la main-d'œuvre ont-ils amené l'introduction du roulage mécanique; et comme la régularité d'allures des gisements et la solidité des terrains encaissants permettaient l'établissement de voies de chemins de fer droites et durables, on n'a rencontré que peu de difficultés dans cette substitution.

En particulier, dans le district houiller de Burnley, comté de Lancashire, on emploie depuis quarante ans le système de la chaîne sans fin.

Les couches exploitées sont minces et s'étendent à plat ou sous de faibles inclinaisons sur de très grandes étendues. On les exploite, soit par puits et galeries, soit en vallées partant du jour. Les chaînes sans fin sont employées, tant pour amener le charbon au bas des puits que pour exploiter les vallées; elles servent aussi au jour pour conduire les berlines de mine jusqu'au point de livraison des charbons.

Les voies de mine sont le plus souvent percées dans la couche elle-même et n'ont que 80 centimètres à $1^{m},20$ de hauteur. Elles sont si basses, que les ouvriers, pour se rendre à leur travail, à de grandes distances, éprouveraient une grande fatigue; et voici le moyen simple et ingénieux qu'on a imaginé pour y circuler rapidement et sans trop de peine.

Le mineur place sur les rails une petite plate-forme carrée, en menuiserie, d'environ 50 centimètres de côté, portant sur ses côtés latéraux quatre roulettes qui posent sur les cornières en fonte qui constituent les rails; il s'age-

[1] Voir sur ce sujet, p. 65, la communication de M. Guinotte à la séance supplémentaire du samedi 10 août.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nouille à l'arrière de la planche et s'accroupit en posant les mains à l'avant. Les jambes sont en dehors et servent à propulser le wagonnet en prenant appui sur le sol ou sur les traverses. On fait, par ce moyen, un kilomètre en quatre ou cinq minutes.

C'est dans ces galeries très basses, tracées en ligne droite dans la couche, en direction et en montant suivant l'inclinaison, que sont établies les tractions par chaînes.

Il y a toujours deux voies, et elles ont d'ordinaire 56 centimètres de largeur; l'entre-voie n'est que de 225 millimètres, de sorte que la largeur totale des galeries n'est que de $1^{m},85$. La circulation des ouvriers se fait ordinairement dans une galerie parallèle percée à une dizaine de mètres de la première et utilisée pour l'aérage, et quelquefois aussi sur une troisième voie établie dans la galerie de roulage, qui devient alors plus large.

Les rails pèsent 14 kilogrammes par mètre. Chaque rail a $1^{m},82$ de longueur et porte six trous pour le fixer, à l'aide de clous, sur trois traverses. Mais, sur deux traverses par rail, on en supprime une quand les wagonnets sont légers, de sorte que les traverses sont écartées de $1^{m},83$ d'axe en axe. Chaque traverse reçoit les quatre files de rails.

Depuis quelques années on préfère aux rails en fonte des rails cornières et des rails à patin en fer, pesant de 7 à 12 kilogrammes par mètre, et assemblés par des éclisses. On emploie même des rails Bessemer et on pose les voies avec plus de soin lorsqu'il y a de fortes inclinaisons, des berlines d'un plus fort modèle et un travail plus fatigant.

Mais c'est encore le vieux rail cornière en fonte qui domine. Les voies sont très peu entretenues. Les rails durent quinze ou vingt ans et on en voit de plus vieux, creusés de 3 à 4 millimètres par l'usé à l'endroit où passent les roues à jante mince.

Les berlines sont le plus souvent en tôle, de la contenance de 150 kilogrammes de houille, du poids de $112^{k},5$, du prix de 32 francs environ. Les dimensions de ces wagons sont : longueur 60 centimètres, largeur 60 centimètres, profondeur 48 centimètres; hauteur au-dessus du rail, 70 centimètres.

On emploie aussi des berlines de bois ferrées, de même contenance. Dans ces derniers temps, on a fait des berlines en fer et des berlines en bois de 300 kilogrammes et de 450 kilogrammes de contenance.

On place les wagons à une distance l'un de l'autre de 10 à 30 mètres. Le plus souvent on n'attache pas d'importance à la régularité de l'espacement. Il est quelquefois de 40 à 50 mètres; la chaîne frotte alors sur le sol, coupe les traverses et s'use. Pour éviter ces inconvénients, on pose sur les traverses des fourrures en bois ou des pièces de fonte, ou bien l'on établit dans l'axe de la voie des morceaux de vieux rails sur lesquels vient glisser la chaîne et que la boue lubrifie suffisamment. D'autres fois les wagonnets sont trop près l'un de l'autre et trois ou quatre se touchent. Mais dans quelques exploitations, on tient plus à la régularité de l'espacement et on l'obtient assez facilement

La chaîne est une chaîne ordinaire, à maillons non renforcés, en fer de 12 à 23 millimètres de diamètre. Elle repose sur les wagonnets et passe dans une fourchette forgée sur l'une des traverses de la ceinture en fer plat qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

entoure la partie inférieure de la berline. Quand celle-ci est en bois, la fourchette prend la forme d'une ferrure plate, boulonnée sur l'une des faces transversales de la caisse.

Pour faciliter l'accrochage automatique des berlines, M. Landless, ingénieur consultant à Burnley, a imaginé une fourche à quatre dents qui permet à la chaîne de tomber toujours d'elle-même en prise, malgré les légères déviations transversales des berlines et de la chaîne.

La chaîne, portée sur toute la ligne des berlines pleines et sur toute la ligne des berlines vides, s'enroule aux deux extrémités de l'alignement sur deux poulies horizontales de 915 millimètres de diamètre. L'une est simplement une poulie de renvoie et la chaîne l'embrasse seulement sur un demi-tour. L'autre est la poulie motrice et la chaîne y fait deux tours et demi ou trois tours et demi. De plus, des barres verticales d'acier, d'assez forte section, garnissent le pourtour de cette poulie, de façon à produire une adhérence suffisante pour l'entraînement de la chaîne.

Les poulies sont à un niveau un peu plus élevé que le dessus des berlines. Celles-ci passent dessous au départ et à l'arrivée. Pour que la chaîne se détache sûrement des fourchettes à l'arrivée et afin d'éviter que la chaîne à cet endroit ne soulève la berline, on y établit une armature en fer rond disposée de manière à retenir la berline sur le rail.

Le moteur le plus ordinairement employé est une machine à vapeur à un ou deux cylindres verticaux de 320 millimètres de diamètre et 610 millimètres de course. La machine est généralement installée au jour. Elle commande la poulie motrice par une transmission à engrenages lorsque celle-ci est en dehors de la mine. Si elle est au fond, on y transmet le mouvement à l'aide d'une chaîne formant courroie verticale. Les puits ne sont pas en général très profonds.

Au point de départ de la ligne, les berlines pleines sont engagées sous la chaîne par un ouvrier envoyeur. Elles passent librement sous la poulie, suivent une pente douce et viennent le plus souvent s'accrocher seules à la chaîne. Si la chaîne ne vient pas loger une de ses mailles entre les branches de la fourche, l'ouvrier va soulever la chaîne et la mettre en place. Quand le wagon a atteint un piquet marquant l'espacement normal, on en engage un autre. Au fond on emploie un signal à sonnette pour indiquer les distances.

Les wagons vides sont livrés par la chaîne sur un parquet de taques de fonte et enlevés par un receveur.

Au point d'arrivée, la manœuvre inverse se fait de même par deux ouvriers.

Un fil de fer, tendu tout le long de la voie, permet de faire les signaux au mécanicien de tous les points du parcours; quelquefois on emploie des signaux télégraphiques.

La vitesse varie ordinairement entre 2 et 6 kilomètres à l'heure.

A partir de l'orifice des puits ou des descenderies, les voies sont établies au jour et le plus souvent tracées en ligne droite vers le but à atteindre. Le sol est en général assez accidenté. S'il ne se présente pas d'obstacles trop difficiles, on se borne à rectifier par des terrassements insignifiants les inégalités du terrain et l'on pose les voies. S'il y a quelque route, chemin de fer ou

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

canal à traverser, on fait passer le chemin par-dessus ou par-dessous, soit à l'aide de ponts ou d'estacades d'une grande légèreté, soit en s'enfonçant en galerie aux abords de l'obstacle et se relevant ensuite de l'autre côté. Les fortes inclinaisons que l'on admet et la faible section nécessaire au passage des berlines rendent ces travaux fort peu importants.

Si le tracé suivant un seul plan vertical traverse, soit des terrains dont on ne peut disposer, soit des pentes trop abruptes, on le modifie suivant deux ou trois directions faisant entre elles un angle quelconque.

Si, dans une ligne de ce genre, installée, soit au fond, soit au jour, on veut prélever en chemin tout ou partie du charbon qui passe, on installe simplement en ce point, un peu au-dessus de la ligne de la chaîne, une roulette en fonte, sur laquelle on pose la chaîne lorsqu'on veut retirer des wagonnets. La voie des chariots pleins est interrompue sur quelques mètres et on établit un plancher de plaques de fonte. Toutes les berlines pleines quittent la chaîne ainsi soulevée quelques mètres avant le galet et arrivent doucement sur les taques. Là, les unes sont poussées vers la suite de la voie qui doit être un peu en pente, et reprennent la chaîne pour continuer leur route, tandis que celles qu'on veut retirer sont tournées sur les plaques et remplacées par des berlines vides.

Le même moyen est employé pour livrer du charbon à la chaîne sur un point quelconque de son parcours.

Si le tracé comporte un changement de direction, on le produit, soit au moyen de courbes très douces, en relevant le rail intérieur pour combattre l'action latérale de la chaîne, soit au moyen d'un coude brusque qui peut alors présenter un angle quelconque, même un angle aigu.

Dans ce cas on peut, ou bien terminer en ce point la chaîne et en établir une seconde qui reçoit son mouvement d'une seconde poulie calée sur le même arbre que la poulie de la première chaîne, ou bien infléchir les deux brins de la chaîne sur deux poulies de renvoi horizontales posées un peu au-dessus du niveau supérieur des berlines.

A ces angles on peut intercepter les deux voies et poser un plancher de fonte. Il faut alors deux hommes pour faire passer les wagons pleins et les wagons vides d'une section sur l'autre en les tournant sur le plancher.

Mais on peut aussi se dispenser de couper les voies, relier les deux alignements par une courbe de 4 à 5 mètres de rayon. Il faut alors ménager sur chaque voie une légère pente dans le sens du mouvement, de sorte que les berlines, quittant la chaîne quelques mètres avant la poulie, parcourent la courbe et reprennent l'autre chaîne d'elles-mêmes. On se contente alors de poster à cette station un surveillant qui peut être occupé de quelque autre travail.

Un embranchement est très facile à organiser; il suffit de poser une poulie sur laquelle un des brins fait un tour ou deux. L'arbre vertical de cette poulie devient moteur à son tour, et, par une seconde poulie qu'on peut embrayer ou débrayer à volonté, commande la chaîne de l'embranchement. Par le moyen qui vient d'être décrit, on fait passer sur l'embranchement les berlines qu'on veut retenir et on laisse continuer aux autres la ligne principale, ou bien encore on reçoit sur celle-ci les charbons venant de l'embranchement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On peut aussi amorcer une chaîne flottante à quelque distance du point d'arrivée d'une autre chaîne, à l'aide d'arbres de couche et de transmission par engrenages ou par chaînes-courroies.

Les pentes et les rampes sont souvent de 1 sur 6. On va quelquefois jusqu'à 1 sur 4, et on voit dans la houillère de Rowley une descente de 70 mètres de long, à la pente de 1 sur 3.

Au bas de ces pentes, la chaîne tend à se soulever et on y pose quelquefois une poulie de 60 centimètres de diamètre reposant par son poids sur la chaîne.

On peut compter les wagons pleins au passage, par des dispositions faciles à concevoir.

Les applications de la chaîne sans fin à Burnley sont très variées. Il y a, à ce jour, plus de 120 kilomètres de ces voies. Les unes montent le charbon exploité en vallée, sur des longueurs de 1,200, 1,500 et 1,800 mètres, ou bien le descendent, suivant le pendage des veines, sur des distances non moins grandes. Ces chaînes font mouvoir d'autres chaînes transversales, à droite et à gauche, suivant l'allongement des couches et à divers niveaux.

Au jour, les voies à chaînes sans fin conduisent les charbons, soit en ligne droite, soit avec les angles nécessaires aux gares de chargement des chemins de fer, aux ports d'embarquement des canaux, ou aux dépôts de vente sur les routes. Le chargement des wagons, des bateaux ou des charrettes se fait par des basculeurs auxquels la chaîne livre les berlines.

Sur le parcours, on prélève les charbons destinés à la consommation des usines du pays traversé. C'est de la même manière qu'on alimente les criblages, les fours à coke, les chaudières des machines d'extraction, de ventilation et d'épuisement.

C'est encore avec les chaînes flottantes qu'on conduit les terres extraites de la mine et qu'on peut même les déplacer au besoin en cas d'encombrement.

On s'en sert aussi pour envoyer dans la mine les bois, matériaux et approvisionnements nécessaires.

Tous ces transports fonctionnent sans accidents et même avec la plus grande aisance. Il atteignent facilement un tonnage journalier de 500 à 600 tonnes. Il est frappant de voir ces petits chariots, égrenés en chapelet dans la campagne, circulant seuls, en apparence, par monts et par vaux, marchant doucement et d'une allure régulière, sans s'accélérer en descendant, sans se relentir dans les montées, disparaissant sous le sol dès qu'il se présente un obstacle, pour émerger quelques mètres plus loin, en desservant dans toute la contrée les besoins les plus divers avec une égale facilité.

La dépense de premier établissement est, moyennement, d'une vingtaine de mille francs par kilomètre, pour la voie, la chaîne, les poulies, les machines et les berlines, mais en dehors des galeries, des ponts et des tranchées et remblais.

Les prix de revient des transports sont naturellement très bas : ils varient, suivant le tracé et le profil de la voie, de 4 à 16 centimes par tonne transportée à 1 kilomètre. Quand le profil descend, dans son ensemble, de plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de 6 p. o/o, le système devient automoteur, et si la pente moyenne est plus grande, on peut encore recueillir aisément le travail mécanique disponible, soit pour exécuter d'autres transports, soit même pour d'autres applications.

En 1867, une commission d'ingénieurs fut chargée par l'Institut des ingénieurs des mines du nord de l'Angleterre d'étudier les principaux procédés de transport mécanique employés dans les mines anglaises, et cette commission examina en particulier les chaînes sans fin de Burnley.

Il y avait à cette époque plus de 65 kilomètres de voies de cette espèce dans le district. La commission fit porter son étude principalement sur les trois houillères de Hapton-Valley, de Gannow et de Rowley. Elle installa des employés dans ces mines pour dessiner tous les appareils et recueillir les détails du fonctionnement. Dans son rapport à l'Institut la commission produisit tous les dessins et tous les chiffres, tous les résultats des expériences de traction auxquelles elle s'était livrée, et ce rapport fut imprimé dans les comptes rendus de l'exercice 1867-1868.

L'intéressant rapport de la commission se termine par une comparaison entre les cinq procédés de roulage souterrain sur lesquels a porté son examen, et cette conclusion se formule comme suit :

« En ce qui concerne les dépenses d'entretien et de fonctionnement, la chaîne sans fin peut être appliquée, à peu d'exceptions près, à toutes les conditions de tracé, avec une économie plus grande qu'aucun autre des moyens examinés.

« Ces exceptions sont les suivantes, savoir :

« 1° Les cas où l'on a besoin d'un grand nombre d'embranchements ;

« 2° Ceux où la voie n'est inclinée que dans une seule direction et présente une ou plusieurs courbes raides ;

« 3° Ceux où l'inclinaison dépassant 1/12 ou 1/8, il faut établir des stations d'embranchement.

« La commission est amenée à cette conclusion par ce fait que, pour chacun des trois principaux éléments de la dépense : puissance motrice, entretien des chaînes ou câbles et main-d'œuvre, la chaîne sans fin a l'avantage sur tous les autres procédés.

« Le côté désavantageux dus ystème de la chaîne sans fin, c'est que, dans un transport souterrain, chaque courbe exige la présence d'un homme ou d'un gamin, mais les frais de main-d'œuvre extraordinaires qui en résultent sont encore plus que compensés par l'économie réalisée dans le travail moteur. »

Les mines de Burnley ont été visitées par un grand nombre d'ingénieurs anglais et étrangers, et le procédé de la chaîne sans fin a reçu diverses applications dans le district de Manchester, dans le Staffordshire, dans le Chesshire, et plus tard en Belgique et en France, dans le Nord, le Pas-de-Calais, à Fillols (Pyrénées-Orientales) et à Gardonne (Bouches-du-Rhône).

En 1869, les sociétés charbonnières de Mariemont et de Bascoup, près Charleroi (Hainaut), envoyaient en Angleterre leur personnel d'ingénieurs afin d'étudier entre autres choses la question du traînage souterrain. MM. A.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Briart et J. Weiler visitèrent le district de Burnley et à leur retour ils publièrent la traduction française du rapport anglais dans le bulletin de 1871 de la société des anciens élèves de l'École spéciale d'industrie et des mines du Hainaut.

A la suite de cette visite, le procédé de la chaîne sans fin fut introduit aux mines de Mariemont et de Bascoup, où il est aujourd'hui d'un emploi général sous le nom de chaîne flottante.

Un plan en relief de ces travaux, avec notices et figures explicatives, figurait à l'Exposition universelle de Vienne de 1873. Le charbonnage de Mariemont exploitait par cinq puits 18,300 hectolitres de charbon par jour; le charbonnage de Bascoup extrayait 11,000 hectolitres par trois fosses et commençait l'exploitation à une quatrième fosse.

On s'était proposé, dans chacune des concessions, de réunir tous les charbons extraits en un seul centre de triage, de chargement et d'expédition.

Ce résultat a été atteint par l'établissement de deux réseaux importants de chemins à chaînes flottantes réunissant les divers sièges d'exploitation entre eux et avec l'établissement central.

Le premier réseau a 8,120 mètres de long et présente des inclinaisons de 10.15, 17 p. o/o et même 21 p. o/o. Il se compose d'une voie principale de 4,200 mètres en deux sections et de cinq embranchements.

Le second réseau est formé de deux voies principales et de deux embranchements, et présente un développement de 2,160 mètres, en terrain peu accidenté.

Ces lignes croisent plusieurs chemins, traversent obliquement un chemin de fer en remblai, par un tunnel à section circulaire de 107 mètres de longueur, et rencontrent aussi les maisons ouvrières et leurs jardins sous lesquels elles passent par un tunnel de 272 mètres.

Le premier réseau est actionné par deux machines à vapeur de 40 et de 80 chevaux; les quatre lignes du réseau de Bascoup sont desservies par un moteur unique.

L'application du système anglais aux charbonnages de Mariemont et de Bascoup était de beaucoup la plus importante de toutes celles qu'on avait faites jusque-là sur le continent; elle dépassait même, sous ce rapport, tout ce qui pouvait se voir en Angleterre.

Mais MM. Briart et Weyler ont de plus obtenu du système de la chaîne flottante, pour le roulage souterrain, des résultats nouveaux.

Voulant installer le roulage mécanique dans la mine sans y établir de moteur et sans transmettre la force du jour, ils ont réussi à le rendre automoteur en utilisant, pour produire les transports horizontaux de tout un étage, la descente des charbons et des terres le long de plans inclinés appropriés jusqu'à un niveau inférieur. Ils ont calculé que le travail produit par chaque mètre de descente permettait de faire le roulage horizontal sur plus de 20 mètres aller et retour, de sorte qu'il suffit d'envoyer les charbons aux puits de 80 à 100 mètres au-dessous de l'étage en exploitation pour assurer l'enlèvement de tous les charbons à dépiler jusqu'aux limites d'exploitation de l'étage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La descente par chaîne flottante des berlines pleines sur le plan incliné allant à la fosse sert d'abord à la remonte des berlines vides, puis fait tourner la poulie de tête du plan incliné, qui sert de moteur à tout un système de chaînes flottantes desservant l'étage à exploiter.

Ce système a été établi dans une des fosses de Mariemont et dans deux fosses de Bascoup.

Le système de la chaîne flottante a reçu depuis quelques années d'importantes applications à Anzin, à Liévin et à Ferfay; ces installations ont été visitées en 1876 par le Congrès de Douai de la société de l'industrie minérale, et nous extrayons du compte rendu de ce Congrès les renseignements très sommaires qui vont suivre.

La compagnie d'Anzin emploie une chaîne flottante au roulage en vallée dans la fosse Réussite à l'étage de 516 mètres. Cette fosse est creusée dans la partie méridionale du bassin houiller où se montrent de nombreux ressauts et des plats assez rapprochés. Au lieu de percer à plusieurs niveaux plusieurs galeries à travers bancs, on résolut de suivre dans la principale couche les plissements des terrains. On installa dans la mine une machine à vapeur de 25 chevaux et sa chaudière.

La vallée est une galerie creusée en descendant dans la couche suivant la plus grande pente et qui doit être poussée jusqu'à 900 mètres environ, avec une pente moyenne de 12 p. o/o. Elle a $2^{m},50$ de large et $1^{m},80$ de haut.

Tous les 100 mètres environ, on ouvre de chaque côté des galeries horizontales suivant la direction de la couche; les champs compris entre ces galeries sont exploités successivement, et leurs produits sont amenés à la vallée pour être remontés jusqu'au niveau de 516 mètres.

Les voies ont une largeur de 60 centimètres; l'entre-voie est de 70 centimètres. Les rails, du type Vignole, sont éclissés et pèsent 10 kilogrammes par mètre courant.

La chaîne est en fer nerveux de 26 millimètres de diamètre et pèse $13^{k},500$ par mètre. La poulie motrice est à empreintes et elle a un diamètre de $1^{m},30$. Au point de croisement avec les voies de fond des diverses relevées, la chaîne est éloignée du sol par une poulie et deux galets à une hauteur suffisante pour le passage et la manœuvre des berlines venant des relevées.

L'espacement des berlines est de 12 mètres. Les berlines sont en tôle et pèsent 245 kilogrammes. Elles contiennent 450 kilogrammes de houille.

Le percement de la vallée continue et la poulie inférieure de la chaîne flottante fournit la force nécessaire à l'élévation des berlines chargées à l'avancement.

La vitesse de marche est de 29 centimètres, ce qui correspond à l'arrivée de 87 berlines par heure à la tête de la vallée. On peut aisément arriver à un débit de 100 berlines, soit 45 tonnes à l'heure.

On peut voir tous les détails de cette installation à l'Exposition de la Compagnie d'Anzin, au Champ de Mars, annexe de la classe 50.

M. Lisbet a établi des traînages à chaîne flottante, mus par l'air comprimé, dans la fosse n° 1 des mines de Liévin (Pas-de-Calais), à 345 mètres de profondeur. Ces traînages desservent deux vallées qui atteindront chacune 1 kilo-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mètre de longueur. L'inclinaison moyenne est de 6 degrés, mais elle s'élève jusqu'à 12 degrés ($0^m,2125$ par mètre).

La chaîne est en fer rond de 16 millimètres de diamètre et pèse 9 kilogrammes par mètre. Elle a été essayée à raison de 25 kilogrammes de traction par millimètre carré de section, puis calibrée. Les poulies d'entraînement sont à noix et ont $1^m,05$ de diamètre, mais elles s'usent vite et usent aussi les maillons, de sorte qu'on revient au système des barreaux d'acier du Lancashire.

Les berlines, de 5 hectolitres de contenance, sont espacées régulièrement de 20 mètres. La vitesse est de 66 centimètres, ce qui donne un débit de 120 berlines à l'heure (environ 54 tonnes), qui pourra être accru quand il en sera besoin. La machine motrice est installée dans la mine; elle a un cylindre de 30 centimètres de diamètre et 60 centimètres de course, et fait de 60 à 80 tours par minute; elle fonctionne avec de l'air comprimé venant d'un compresseur Sommellier installé au jour.

L'installation des deux roulages mécaniques a permis de supprimer environ 70 chevaux et tout le personnel correspondant.

A la mine de Ferfay (Pas-de-Calais), M. Alfred Évrard, que de longues études sur les transports de l'industrie et des mines mettaient mieux que personne à même de faire un choix judicieux entre les divers systèmes usités, a récemmment appliqué la chaîne flottante au traînage dans la fosse n° 3.

Un trop long ajournement de l'approfondissement de cette fosse menaçait de diminuer la production. On était obligé d'exploiter en vallée des couches de 13 degrés d'inclinaison; la traction mécanique s'imposait, pour ainsi dire.

M. Évrard, ne voulant établir ni chaudière ni machine à vapeur au fond, n'ayant pas d'installation pour comprimer de l'air, résolut de transmettre le mouvement d'une machine à vapeur, placée à l'orifice du puits, à la profondeur de 243 mètres, à l'aide d'un câble sans fin.

Le roulage a lieu sur une voie horizontale de 518 mètres de long, formée d'un alignement et de deux courbes de 800 mètres de rayon, et sur une vallée de 200 mètres de longueur et de 22 à 24 p. 0/0 de pente. La section libre de ces galeries de roulage présente $2^m,40$ de largeur à la base et $2^m,20$ au sommet, et une hauteur de 2 mètres. Les voies ont 60 centimètres de largeur et l'entre-voie est de 30 centimètres.

Les rails sont en fer, du type Vignole; ils pèsent 9 kilogrammes par mètre. Les berlines sont, les unes en bois, de 4 hectolitres 1/2 de contenance, les autres en tôle, de 5 hectolitres.

La chaîne est en fer de 22 millimètres et pèse 9 kilogrammes par mètre. Elle a été calculée pour un travail normal de 4 kilogrammes et pour un travail accidentel ne devant jamais dépasser 8 kilogrammes 1/2 par millimètre carré de section. La chaîne est calibrée et agit sur des poulies à empreintes.

L'espacement des berlines varie, en pratique, de 10 à 20 mètres moyennement et sort même quelquefois de ces limites.

La vitesse ordinaire est de 50 centimètres par seconde, ce qui donne de 90 à 180 berlines à l'heure. On pourrait augmenter cette vitesse et atteindre un débit de 79 à 80 tonnes par heure.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les signaux sont transmis du bas du puits au jour par l'électricité, et un fil de fer régnant tout le long des voies permet de donner des signaux au bas du puits de tous les points du parcours.

La machine à vapeur établie au jour donne le mouvement à une poulie Fowler. Le câble de transmission se détache de cette poulie, passe sur une poulie d'inflexion verticale installée à l'orifice du puits, descend dans le compartiment d'aérage, s'infléchit au bas du puits sur une autre poulie verticale, gagne de là une seconde poulie Fowler, calée sur l'arbre vertical moteur de la chaîne flottante, et revient par des moyens analogues jusqu'à la poulie Fowler. Ce câble est de plus tendu à l'aide d'un chariot pesant, roulant sur des rails inclinés dans une petite galerie spéciale. La vitesse du câble de transmission est de 77 centimètres et sa longueur est de 700 mètres.

L'installation entière a coûté 62,000 francs, dont 14,000 en agrandissements et rectifications de galeries. La mise en train a eu lieu le 8 mai 1876 sans la plus légère surprise, et on a pu immédiatement marcher avec toute la régularité désirable.

On peut voir à l'Exposition, dans l'annexe de la classe 50, un modèle en relief de cette intéressante application.

Ayant ainsi exposé les conditions générales et l'établissement des roulages à chaînes flottantes du district de Burnley, et décrit sommairement les principales installations faites en Belgique et en France d'après le même système, nous nous permettrons de dire quelques mots d'une application importante de ce mode de transport à l'exploitation d'une mine de fer en Algérie.

Il est vrai que la chaîne flottante d'Aïn-Sedma n'est encore qu'en projet, mais les conditions du problème qui se pose font ressortir si nettement les avantages du système, en montrent si bien toutes les ressources, permettent si facilement d'en prévoir les résultats, qu'il nous a semblé qu'un rapide examen de cette installation compléterait utilement cette étude et achèverait de recommander la chaîne flottante à l'attention de tous les ingénieurs qui auraient à résoudre quelque problème difficile de transport industriel.

La mine d'Aïn-Sedma est située dans le cercle de Collo, province de Constantine. Si, partant du port de Collo, on suit le rivage, vers l'ouest, pendant un trajet de 8 milles, on trouve, à 1 mille avant d'arriver au cap Bougaroni, la baie de l'Oued-Tamanar. Le cap Bougaroni est l'extrémité d'une chaîne de montagnes boisées, qui court du sud-ouest au nord-est, et la baie reçoit la rivière de Tamanar, émissaire général des nombreux torrents qui coulent dans les ravins de la montagne; Aïn-Sedma se trouve à 6 kilomètres, à vol d'oiseau, de la baie de Tamanar, et à l'altitude de 700 mètres.

Après cinq années de recherches, on a découvert, moyennant une dépense en travaux de plus de 300,000 francs, des gisements de fer oxydulé très riche et très pur; en dehors des minerais exploitables à ciel ouvert, on a mis en évidence l'existence d'amas souterrains assez importants, et la concession d'Aïn-Sedma a été récemment instituée.

Quelques-uns des gîtes découverts ont été étudiés à l'aide de sondages de puits et de galeries, de façon à permettre l'évaluation assez certaine du cube de minerais qui pourra en être extrait.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le résultat actuel de ces recherches, qui se continuent d'ailleurs en ce moment, et qui, de bien longtemps encore, ne manqueront pas d'aliment, prouve dès à présent l'existence d'une valeur de plus de 7 millions de francs de minerai, au prix de vente, et assure pour dix ans au moins une exploitation active et régulière.

Mais on ne saurait entreprendre l'exploitation de ces richesses minérales qu'à la condition de trouver des moyens de transport suffisamment économiques. Les minerais peuvent être embarqués dans la baie de Tamanar, qui présente aux navires un abri suffisant, mais la hauteur à descendre est de 700 mètres; douze ravins profonds doivent être traversés et les versants en sont souvent rapides.

Les moyens ordinaires ne peuvent résoudre la difficulté. Un chemin de fer à pentes de 25 millimètres par mètre prendrait un développement de plus de 30 kilomètres, coûterait peut-être 1,500,000 francs, somme hors de proportion avec les sacrifices que la situation comporte.

De plus, l'exploitation en serait très onéreuse et ne laisserait pas de bénéfice à l'extraction du minerai.

On a pensé tout d'abord à construire un chemin de fer à voie de un mètre, dans la vallée principale, et à envoyer le minerai au chemin de fer par des plans inclinés automoteurs, ou par des câbles aériens. Ces solutions ont été étudiées avec soin, et on a reconnu qu'elles seraient trop coûteuses de construction et d'exploitation.

Il en est de même pour un chemin de fer du système Riggenbach, qui a été également étudié. On peut mettre les gisements en communication avec la mer par une ligne de 7,400 mètres environ, dont 4,400 mètres à pentes de 10 et 12 p. o/o avec crémaillère centrale, et 3,000 mètres à pentes de 30 millimètres à simple adhérence.

Enfin on a également renoncé à employer, pour relier les gisements à la mer, le système des câbles aériens, qui peut rendre cependant de grands services, pour transporter 60 à 80 tonnes par jour, à petite distance, mais qui, pour de grandes distances et pour des tonnages importants, comme sont ceux des mines de fer en général, conduisent à de fortes dépenses, à un prix de transport élevé et à un service assez irrégulier et incertain.

C'est après avoir examiné ces diverses solutions que nous nous sommes arrêté à l'idée d'un chemin de fer à chaîne flottante. Voici quelles en sont les principales conditions d'établissement. La ligne prend naissance au débouché de la principale galerie de la mine, à l'altitude de $706^{m},650$, et aboutit au bord de la baie, à l'altitude de $8^{m},870$. Elle rachète ainsi dans son ensemble une différence de niveau de $697^{m},780$, et sa longueur totale est de 7,160 mètres, ce qui donne une pente moyenne de 9 3/4 p. o/o. Mais comme il y a $415^{m},55$ de paliers et $1,411^{m},82$ de rampes ou contre-pentes, pour une hauteur totale de $143^{m},292$, la chute est de $841^{m},072$ sur $5,332^{m},63$, ce qui donnerait une pente moyenne de 15.8 p. o/o. Les pentes et rampes ont été d'ailleurs limitées au maximum de 20 p. o/o. Il a fallu, pour cela, franchir les torrents à une assez grande hauteur, sur des estacades et des ponts fort légers, et traverser les faîtes par des galeries quelquefois assez longues.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En plan, il a été impossible d'aller tout à fait droit du point de départ au point d'arrivée; on aurait été conduit à des inclinaisons tout à fait excessives de 40 et 50 p. o/o. Le tracé se compose de dix alignements de 202 à 2,114 mètres de longueur, formant ensemble le développement total de 7,160 mètres.

Si l'on avait monté sur les divers alignements des chaînes se commandant l'une l'autre, on serait arrivé à des tensions énormes exigeant l'emploi de fers de très gros calibres, ce qui aurait entraîné une énorme dépense et une grande difficulté de maniement. On a donc décomposé le parcours total en six sections, dont deux sont formées d'une seule ligne droite; trois autres sont formées de deux alignements, et la dernière en contient quatre.

Les chaînes des sections successives sont indépendantes. Celles d'une même section se commandent l'une l'autre.

Les voies ont 55 centimètres de largeur, et l'entre-voie est de 30 centimètres. Les rails sont en métal Bessemer et pèsent 6 kilogrammes le mètre; ils sont éclissés.

Les berlines sont en bois et de la contenance de 500 kilogrammes de minerai, mais ne recevront, du moins au début, qu'un chargement de 400 kilogrammes.

Leurs dimensions sont très faibles, en raison de la grande densité du fer oxydulé. Elles ont 90 centimètres de longueur intérieure, 52 centimètres de largeur et 52 centimètres de hauteur. Leur hauteur au-dessus du rail est de 87 centimètres. Elles pèsent 175 kilogrammes. Leur espacement normal sera de 25 mètres.

Des formules très simples permettent de calculer en chaque point la tension de la chaîne. Ces formules montrent :

Que les tensions sont les plus fortes aux points les plus hauts, mais qu'en dehors de cette influence, elles augmentent pour la ligne des berlines pleines et diminuent pour la ligne des berlines vides proportionnellement à la distance comptée à partir de l'extrémité amont de la section;

Que le travail disponible sur la poulie d'amont de chaque section ne dépend pas du profil de la ligne, mais seulement de sa longueur et de la différence de niveau des extrémités.

On a calculé à l'aide de ces formules la tension maxima sur chaque section. On s'est rendu compte aussi de la tension la plus faible, afin de ne pas laisser ce minimum s'abaisser au-dessous d'une certaine valeur pour laquelle la chaîne commencerait à frotter sur les traverses.

C'est d'après les tensions maxima, et en admettant que chaque millimètre carré de fer supportât un effort de 5 kilogrammes qu'ont été calculés les calibres des diverses chaînes. Le diamètre du fer varie de 18 à 24 millimètres. Le poids total des chaînes nécessaires s'élève à 160,000 kilogrammes.

Le profil en long, supposé formé de lignes droites, les unes horizontales, les autres en pente pour les berlines pleines ou en rampe pour ces mêmes berlines, il a fallu raccorder ces lignes droites par des courbes appropriées tant aux sommets que dans les points bas. Il était à craindre, en effet, que la chaîne qui affecte entre deux berlines la forme d'une chaînette ne touchât

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les traverses aux sommets et n'abandonnât, au contraire, ses appuis dans les points bas. Le premier fait aurait l'inconvénient d'user la chaîne et de couper les traverses par le frottement; le second présenterait des dangers plus graves, car les berlines, si elles venaient à quitter la chaîne, se rassembleraient dans les points bas, d'où elles sortiraient difficilement.

Toutes ces courbes de raccordement vertical ont été calculées en ayant égard aux tensions de la chaîne aux divers points.

Les voies ne sont pas coupées aux coudes. Les alignements sont raccordés par des courbes d'au moins 6 mètres de rayon. Des pentes sont ménagées sur l'une et l'autre voie dans le sens de la marche, de façon que la berline, au point où la chaîne l'abandonne, soit sollicitée par la pesanteur à gagner seule le point où la chaîne suivante la reprend.

On a supposé, malgré cela, qu'il faudrait deux ouvriers à chacun des angles pour assurer le passage des berlines d'une ligne droite sur la suivante. Mais il n'est pas douteux que, dès qu'on aura pris l'habitude de ce mode d'exploitation et dès que l'expérience aura permis de disposer ces raccordements de la façon la plus favorable, les deux ouvriers pourront être remplacés par un seul surveillant qui n'aura presque rien à faire.

La vitesse de marche normale sera d'environ 83 centimètres, ou 50 mètres à la minute, ou 3 kilomètres à l'heure. On pourra ainsi transporter deux berlines ou 800 kilogrammes de minerai par minute, soit 48 tonnes à l'heure.

La poulie d'amont de chaque section de la ligne est pourvue d'un frein à bande qui permettra de régler la vitesse. Les poulies sont, d'ailleurs, du type du Lancashire. Le travail disponible sur les six poulies sera théoriquement de 90 chevaux environ.

Le devis du chemin de fer d'Aïn-Sedma, y compris 800 berlines, s'élève à 400,000 francs, et le prix de transport ne dépassera pas 75 centimes par tonne pour tout le parcours.

On voit que la chaîne flottante donne une solution assez satisfaisante du problème posé. C'est le seul mode de transport qui n'exige ni locomotive, ni machine fixe, malgré les nombreuses contre-pentes (représentant ensemble 143 mètres de hauteur verticale). C'est celui qui donne la moindre dépense d'établissement et le prix de revient le plus avantageux.

On voit, d'après l'exposé qui précède, que ce qui caractérise surtout le système de la chaîne flottante, c'est, d'abord, la continuité du débit, puis la solidarité de toutes les berlines, et enfin le mode d'attache des berlines à la chaîne.

La continuité permet de faire circuler un tonnage considérable avec de petites berlines, c'est-à-dire sur des rails de faible section, dans des galeries étroites et très basses, sur des viaducs légers et de grande portée, et sans transbordement du point d'abatage au lieu de livraison.

Elle permet aussi d'obtenir ce grand tonnage avec une très faible vitesse, et par suite sur des voies peu entretenues et imparfaitement réglées, comme le sont forcément celles de beaucoup de mines à terrains peu solides. Cette faible vitesse évite les déraillements et autres accidents, ménage l'usé du matériel fixe et roulant.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La solidarité permet l'emploi de très fortes pentes et produit l'économie du travail moteur sur les profils accidentés. Non seulement les berlines vides sont reliées aux pleines, mais les berlines qui descendent entraînent par la chaîne celles qui montent, de sorte qu'étant donnée l'altitude des deux extrémités de la ligne, le tracé peut subir entre elles toutes les dénivellations sans que la dépense de travail en soit plus grande qu'avec une inclinaison uniforme. Il peut même y avoir sur le parcours un point plus élevé que le point de départ et le point d'arrivée.

Le mode d'attache est simple, rapide et sûr. Il supporte la chaîne sur tout son parcours et dispense de l'emploi des galets, qui donnent lieu en général à de grandes difficultés de graissage et d'entretien. Il est à peu près automatique et permet d'engager et d'enlever des berlines très aisément et sans arrêt en tout point du parcours. La seule sujétion qu'il impose, c'est de ne laisser dans le profil aucun point où la chaîne tende à se soulever de dessus la berline.

On peut reprocher au système de la chaîne flottante l'obligation qu'il impose d'éviter les courbes dans le tracé en plan. Mais on a vu que les courbes de 800 à 1,000 mètres pouvaient être employées, et on a pu juger aussi combien il était facile de relier entre eux plusieurs alignements, même avec transmission automatique des berlines, de l'un à l'autre, dans les deux sens.

Nous conclurons donc en recommandant le système de la chaîne flottante pour le roulage des produits des mines, et principalement pour les tracés accidentés, au fond et au jour. L'emploi de ce système est possible dans un grand nombre de situations : il produira une augmentation de production, une diminution de prix de revient, une plus grande régularité, une entière sécurité; il permettra même, dans bien des cas, de tirer parti de richesses dont l'exploitation ne serait pas économiquement possible par d'autres procédés. (Applaudissements.)

M. Mékarski. J'aurais bien voulu que M. Brüll nous eût dit quel était le prix de revient de la chaîne flottante, comme usage, dans les mines de Mariemont, où elle remplace, nous a-t-il dit, je crois, une force de 70 chevaux.

M. le Président. Le moment est arrivé de terminer la séance, mais les membres qui le voudront, auront l'occasion de discuter la communication de M. Brüll, cette après-midi, à deux heures, au pavillon de Flore, où les sections, je l'espère, se réuniront.

Du reste, le travail de M. Brüll sera imprimé et mis dans les mains des membres du Congrès.

La séance est levée à une heure moins un quart.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SUITE DES TRAVAUX DE LA 1re SECTION

(MINES ET MÉTLLAURGIE).

SÉANCE SUPPLÉMENTAIRE DU SAMEDI 10 AOÛT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BURAT,

PROFESSEUR À L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES.

Sommaire. — Communication de M. L. Taskin sur un Procédé pour le percement des galeries. — Communication de M. Guinotte sur les Transports par chaînes flottantes. — Discussion : MM. Mékarski, Guinotte, Tresca, de Quillacq.

La séance est ouverte à trois heures trente minutes.

M. Amédée Burat occupe le fauteuil de la présidence, assisté de MM. le général Manrique, Degousée.

M. le Président. Je commencerai la séance en donnant la parole à M. Taskin, qui désire nous fournir quelques détails sur un procédé nouveau qu'il a proposé pour le percement des galeries.

MÉMOIRE

SUR UN PROCÉDÉ POUR LE PERCEMENT DES GALERIES,

PAR M. L. TASKIN,

INGÉNIEUR, À JEMEPPE (LIÈGE).

M. Léopold Taskin. Messieurs, à l'occasion de la très importante communication faite par M. Lippmann sur l'art du sondage, dans la première séance du Congrès, M. Taillard a appelé l'attention de l'assemblée sur la question pleine d'actualité de l'application de l'air comprimé au fonçage des galeries horizontales sous-marines.

Les plans et l'appareil exposés par moi dans la section belge, l'étude spéciale que j'ai faite de la question, m'ont déterminé à faire connaître au Con-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grès les principes généraux sur lesquels se fonde l'application que je propose de l'air comprimé au fonçage des galeries horizontales, par des moyens analogues à ceux qui servent à établir les puits de mine ou les piles de pont.

Je serai bref, Messieurs, et je renverrai pour les détails à la brochure que j'ai publiée concernant les plans et le modèle exposés par moi au Champ de Mars.

L'étude à laquelle je me suis livré de l'établissement des voies souterraines est justifiée par plusieurs considérations, au nombre desquelles il importe de compter : les rapports toujours croissants entre certains réseaux de chemins de fer établis sur des rives opposées, la difficulté de raccorder les rives au moyen de ponts, sans entraver la navigation, et enfin la nécessité de créer au travers des grandes villes des moyens de communication plus directs et plus rapides, sans gêner davantage la circulation déjà trop encombrée.

Malheureusement les nécessités locales réclament impérieusement que ces voies soient établies presque toujours à de faibles profondeurs, dans des zones de terrain récent, peu consistant, souvent mouvant et aquifère. C'est le cas des alluvions qui forment le lit d'un fleuve. Indiquer la solution satisfaisant à ces conditions défavorables, c'est-à-dire offrir le moyen pratique d'établir des galeries dans des terrains quels qu'ils soient, voire même dans le lit ou sur le lit d'un fleuve, sans avoir à se préoccuper de la nature aquifère ou ébouleuse du milieu à traverser, tel est le but de ma communication.

L'emploi de l'air comprimé a permis de rendre les travaux de fonçage verticaux tout à fait indépendants de la nature du sol, à tel point que, dans l'appréciation des moyens d'action, on ne tient plus compte que de la hauteur ou de la profondeur du niveau sous lequel le travail s'effectue.

Mon appareil se compose, comme tous ceux utilisés pour les fonçages verticaux, de trois parties principales : 1° le *sas à air;* 2° la *chambre de travail* ou *bouclier* (par analogie avec le bouclier employé par Brunel lors du percement du tunnel sous la Tamise); et 3° le *tubage.*

Le sas à air est fixe et établi à l'entrée de la galerie.

Le bouclier, au contraire, est mobile; il suit toujours la fouille et avance progressivement avec elle.

Le tubage relie constamment les deux parties précédentes et s'allonge par tronçons successifs à mesure de l'avancement du bouclier.

On le voit, c'est la disposition générale, mais tournée horizontalement, utilisée pour le fonçage des puits. Seulement, dans le cas d'un fonçage horizontal, le fond de la fouille se présentera verticalement. C'est là la différence essentielle qui caractérise les deux modes de fonçage : dans les fonçages verticaux, le front de la fouille restera à découvert sans inconvénient; tandis que dans les fonçages horizontaux, objet de nos études, le front de la fouille ne peut rester découvert, sous peine de voir l'air comprimé s'échapper par les interstices du terrain et de rendre impossible le refoulement des eaux, et par conséquent l'accès dans la chambre de travail. On comprend dès lors l'obligation où l'on se trouve de fermer de ce côté la chambre de travail, obligation qui constitue la grosse difficulté du fonçage, puisqu'en même temps qu'elle a pour objet de masquer le terrain, elle empêche l'accès nécessaire pour opérer la fouille.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le mode de fermeture que je propose et qui constitue le caractère spécial de mon appareil satisfait à la fois à ces deux conditions contradictoires.

Pour atteindre le but, j'ai divisé le fond du bouclier en deux segments : l'un, supérieur, est fixé à l'extrémité de la partie antérieure; l'autre, inférieur, est disposé parallèlement ou obliquement au premier, mais plus en arrière et de telle sorte que le niveau de celui-ci est supérieur au niveau du premier segment.

Il est aisé de comprendre que cette fermeture hydraulique empêche à la fois l'air de s'échapper de l'intérieur et l'eau de faire irruption, et, en même temps, conserve, du dedans au dehors, un accès suffisant pour opérer, par sondage, le broyage et le déblai de la roche.

Ainsi se trouva appliquée au cas spécial des fonçages horizontaux la méthode générale suivie pour le fonçage des puits, piles de pont, etc.

Je crois utile d'indiquer ici les dispositions pratiques que l'appareil a reçues en vue d'une application au percement d'un tunnel sous un fleuve.

Le bouclier est formé d'une cuirasse en tôle, rivée sur des anneaux en fer; il a la forme de la galerie, cylindrique ou autre. Il est complètement ouvert dans la partie postérieure où s'emboîte le revêtement ou tubage de la galerie. La partie antérieure est close par la fermeture hydraulique, décrite plus haut, base du système.

Le bouclier est mobile et se meut suivant l'axe, à l'aide d'une série de presses hydrauliques. Ces presses sont fixées à la paroi suivant une circonférence et prennent leur point d'appui en arrière contre le rebord du revêtement.

A l'avant, le bouclier est armé d'un trépan dont la tige repose sur deux chaises fixées au centre de l'appareil, l'une à la paroi du fond, l'autre sur un sommier transversal.

Le trépan porte un seul bras articulé, lequel, étant brisé, peut rentrer dans l'intérieur de l'appareil, et, étant tendu lorsqu'il est dehors, atteint une circonférence correspondant au diamètre extérieur du bouclier. Ce bras est en outre hérissé de pointes aciérées pour lui permettre de mordre sur la surface de la roche à broyer.

Pour atteindre son but, le trépan est animé d'un double mouvement : l'un de rotation, l'autre de compression; il reçoit le premier au moyen de la machine rotative suspendue au plafond du bouclier; le second mouvement est obtenu à l'aide d'une pression hydraulique, fournie sur un piston placé au bout de la tige et se mouvant dans un cylindre qui se trouve au centre de l'appareil. La pression sur le piston est obtenue au moyen d'une petite pompe hydraulique indépendante et marchant à la main. Dans le cas où il s'agirait de traverser une roche d'une dureté telle qu'on ne pût l'entamer par simple rotation, il est évident que l'on agira alors par percussion, ce qui n'apportera qu'une simple modification à l'outillage mécanique qui active le trépan.

La machine rotative est activée au moyen de l'air comprimé de l'appareil. Pour cela, il suffit d'ouvrir le modérateur : l'air qui l'entoure entre directement dans les cylindres, agit sur les pistons et se rend dans l'atmosphère par une longue colonne de décharge suspendue au ciel de la galerie et débouchant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans le puits d'accession. La pression effective sur les pistons sera donc celle à laquelle on est soumis dans l'appareil lui-même.

L'enlèvement des déblais produits par le broyage de la roche se pratique au moyen d'une chaîne à godets qui les ramasse au fond de l'excavation et les amène dans l'intérieur de l'appareil. De là, ils tombent sur une toile sans fin qui les conduit à quelque distance pour les jeter ensuite dans des wagonnets où ils sont enfin élevés à la surface, en passant par le sas à air. Cette chaîne à godets, de même que la toile sans fin, reçoit son mouvement au moyen de transmissions appliquées à la machine motrice du trépan.

J'ai hâte de finir, Messieurs, et je me borne, avant de conclure, à renvoyer à ma brochure où se trouvent décrites les opérations suivantes :

1° Les manœuvres de l'appareil ;
2° Les manœuvres du bouclier ;
3° L'allongement du tubage ;
4° La réparation du trépan ;
5° L'organisation des chantiers de fonçage ;
6° L'établissement d'un chantier de rive ;
7° Le passage d'une couche non aquifère ;
8° Le passage d'une couche aquifère ;
9° L'installation d'un chantier double au milieu de l'eau ;
10° Jonction de deux tronçons.

Conclusions. — Tel est le système, tel est l'appareil, telles sont les diverses manœuvres d'exécution. Tout est de la plus grande simplicité. La disposition des appareils, de même que les manœuvres, ne présente aucune difficulté sérieuse d'exécution ni aucune innovation dont on puisse seulement mettre en doute la certitude de réussite. Pris à part, chaque élément a été appliqué maintes fois dans des circonstances plus défavorables. Le bouclier mobile est connu, la manière de former et d'assembler le tubage est connue, l'air comprimé s'emploie tous les jours!

D'ailleurs, les éléments de la question peuvent, dans tous les cas, s'apprécier préalablement par le calcul ; rien n'échappe à l'analyse, rien ne reste soumis à l'imprévu.

A part la fouille et le revêtement, qu'on ne peut éviter dans aucun cas, puisqu'ils constituent le travail lui-même, le système n'exige que des frais d'outillage insignifiants, tant pour l'installation que pour l'exécution des travaux.

Basé sur l'emploi de l'air comprimé, l'appareil reste tout à fait indépendant de la nature aquifère et mouvante du terrain. L'installation peut avoir lieu dans un milieu quelconque et à la profondeur minima qu'exige la plus grande économie des autres travaux, dont le tunnel proprement dit n'est souvent qu'une annexe accessoire.

L'établissement des tunnels devient donc tout à fait pratique, et la grave question de la création des voies souterraines, question qui s'impose chaque

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jour davantage pour souder plus directement les grands réseaux de chemins de fer à travers un fleuve ou une grande ville, a reçu, croyons-nous, sa solution vraiment économique.

Reste la question de profondeur.

L'emploi de l'air comprimé, qui est en quelque sorte l'âme du système, sera justifié dans les limites de profondeur et de pression compatibles avec les nécessités de la vie animale. Il a été possible, en maintes circonstances, de travailler sans trop de danger dans un milieu comprimé à deux et demie et même trois atmosphères, c'est-à-dire de 25 à 30 mètres en dessous de l'étiage de l'eau. Mais déjà, dans ces limites, le passage est possible sous les plus grands fleuves du monde, voire même sous certains bras de mer, tout en laissant un étiage suffisant pour la traversée des plus grands navires [1].

La Manche, entre Calais et Douvres, ne dépasse cette profondeur que sur un tiers au plus de sa largeur. Il suffirait de former sur le restant un enrochement en forme de remblai, d'une vingtaine de mètres au plus de hauteur, pour rendre le projet également applicable à ce cas tout à fait spécial et extrême.

Quoi qu'il en soit, le système n'offrirait-il d'ailleurs que la possibilité de traverser les fleuves que nous citons ci-dessus, son champ d'exploitation resterait toujours assez vaste pour attendre que, le progrès aidant, on parvienne à satisfaire ensuite aux dernières exigences.

M. le Président. Je donne la parole à M. Guinotte pour une communication sur les transports par chaînes flottantes, qu'il n'a pu faire à la séance de lundi dernier.

COMMUNICATION

SUR LES TRANSPORTS PAR CHAÎNES FLOTTANTES,

PAR M. GUINOTTE,

INGÉNIEUR AUX CHARBONNAGES DE MARIEMONT ET BASCOUP (BELGIQUE).

M. Guinotte. Messieurs, M. Brüll, rapporteur de la question des transports par chaînes flottantes, a bien voulu citer avec éloges les installations de Belgique et mentionner celles des charbonnages de Mariemont et de Bascoup.

Cette communication avait lieu lundi dernier, à la première séance du Congrès, et il ne s'y trouvait que peu d'ingénieurs étrangers. C'est pourquoi votre Comité organisateur a cru qu'il serait opportun de reprendre cette question si importante pour l'exploitation des mines. Quelques membres m'ayant assuré que des explications complémentaires au sujet des traînages de Mariemont et Bascoup intéresseraient une grande partie d'entre nous, j'ai offert de les donner aujourd'hui. Vous voudrez bien, Messieurs, excuser le décousu de ma communication en raison du peu de temps dont j'ai pu disposer pour la préparer.

[1] L'Escaut, devant Anvers, ne mesure que 8 mètres, au maximum 17 mètres de profondeur; la Tamise, à Londres, 7 mètres; la Mersey, à Liverpool, 15 mètres; les rivières de l'Est et de l'Hudson, à New-York, respectivement 12 et 18 mètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le transport par chaînes flottantes est appliqué depuis longtemps dans le district de Burnley du Lancashire. Mais des circonstances spéciales, tant d'intérêt commercial que d'intérêt d'économie d'exploitation, ont amené les charbonnages de Mariemont et Bascoup à appliquer le système sur une très vaste échelle et à résoudre ainsi des difficultés tout autres que celles pour lesquelles il était en usage jusque-là.

Dans cet exposé, nous devons distinguer les transports à la surface et les transports souterrains.

Je vous entretiendrai d'abord de la surface.

Les charbonnages de Mariemont et Bascoup sont deux sociétés distinctes, dont les intérêts sont séparés, bien qu'elles soient régies par une même direction. C'est pourquoi les installations constituent deux groupes différents et complètement indépendants.

La concession de Mariemont est exploitée actuellement par cinq sièges, et un sixième est en préparation. Le sol est très accidenté, les différences de niveau sont considérables et la surface est sillonnée de routes et de chemins de fer.

Ces sièges étaient reliés, l'un au canal de Bruxelles, un autre au chemin de fer de l'État belge, et les trois derniers seuls pouvaient emprunter leurs moyens de transport simultanément à la voie navigable et à la voie ferrée.

Cette situation présentait de graves inconvénients. Les mines exploitées donnent des produits différents entre eux comme qualité et surtout comme composition; par conséquent, suivant les circonstances de l'exploitation, les produits de tel ou tel siège étaient beaucoup plus satisfaisants que ceux de tel autre, et, au point de vue de la vente, il en résultait des difficultés sans nombre.

D'autre part, la voie ferrée partant du siège Saint-Arthur et aboutissant à Bascoup en passant par les sièges de l'Étoile et de Sainte-Henriette, soit directement, soit par raccordement, est exploitée par les compagnies de Mariemont et Bascoup à raison d'une convention spéciale avec l'État belge. Cette ligne comprend un plan incliné de 9 centimètres par mètre entre les sièges de Saint-Arthur et l'Étoile, et il est aisé de comprendre qu'elle était d'une exploitation très difficile et très coûteuse, étant donnée la quantité considérable des produits qu'elle devait transporter à l'une et à l'autre de ses extrémités.

Il y avait donc, d'un côté, nécessité absolue de créer une nouvelle voie ferrée, qui se raccordât à tous les sièges indistinctement et à la voie du canal.

D'un autre côté, utilité des plus grandes à réunir et à mélanger entre eux les produits des différents sièges, de manière à constituer des produits plus réguliers et convenant mieux aux consommateurs.

La construction d'une nouvelle voie ferrée ne donnait pas la solution du second point et présentait en outre des difficultés énormes. Elle eût exigé une dépense très élevée et son exploitation serait restée très coûteuse encore.

Au contraire le traînage par chaînes flottantes, en centralisant l'expédition des produits de tous les sièges, en permettant, pour ainsi dire, le groupement de ceux-ci, et par suite le mélange de leurs produits, satisfaisait à toutes les données des problèmes et nous offrait une solution d'autant meilleure que la conception en était plus simple.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La concession de Bascoup est exploitée par quatre sièges, dont trois déjà anciens et un nouveau, plein d'avenir, mais dont la production actuelle est encore restreinte. Ce nouveau siège n'étant pas relié au système général des transports, nous n'avons pas à nous en occuper pour le moment.

Ici, le sol est sensiblement de niveau; ces installations se trouvent sur un plateau qui domine la contrée.

Les difficultés n'étaient pas les mêmes qu'à Mariemont, aussi les sièges pouvaient-ils expédier leurs produits par eau et par terre. Mais les considérations commerciales développées pour Mariemont subsistaient pour Bascoup, et un autre motif important devait nous conduire à y adopter également le transport par chaînes flottantes.

Les produits de la compagnie de Bascoup ne sont pas les mêmes que ceux de Mariemont; ils sont livrés à d'autres consommateurs, et la plus grande partie doit être triée pour former plusieurs catégories spéciales.

Des expériences préalables nous avaient montré l'avantage considérable que présenterait le remplacement du triage à la main par le triage mécanique.

L'installation des grilles mécaniques à chacun des sièges aurait nécessité des dépenses plus considérables et une main-d'œuvre plus élevée que la réunion de tous nos produits en un seul atelier des triages et chargements qui nous permettrait encore une fois d'obtenir une régularité beaucoup plus parfaite dans nos expéditions.

A Bascoup également, l'emploi de ce mode de transport s'imposait donc de lui-même.

Si nous considérons le groupe de Mariemont, nous voyons que les produits des trois sièges sont d'abord réunis sur une plate-forme de réception près la Réunion, et une autre voie les transporte à l'atelier central où viennent également aboutir les tronçons de Sainte-Henriette, de l'Étoile et bientôt des Carnières.

Ce groupe comprend comme développement:

Saint-Arthur à la Réunion	920 mètres.
Abel à la Réunion	598
La Réunion à l'atelier de triage et de chargement	1,190
Étoile à l'atelier de triage et de chargement	455
Carnières à l'atelier de triage et de chargement	850
Magasins et ateliers à l'atelier de triage et de chargement	479
Les voies de Sainte-Henriette du dépôt des terres et quelques voies secondaires	810
TOTAL	5,302

Le groupe de Bascoup comprend :

Sainte-Catherine au triage et chargement	926 mètres.
Puits n° 4 au triage et chargement	537
Puits n° 3 au triage et chargement	60
Magasins et ateliers au triage et chargement	360
Voies du dépôt des terres et quelques voies secondaires	450
TOTAL	2,333

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Soit, pour les deux groupes réunis, un développement total de 7,635 mètres, c'est-à-dire près de 8 kilomètres.

Il est intéressant de rechercher quelles quantités on peut transporter sur des voies ainsi établies. Nous nous bornerons à examiner les tronçons dont le travail est le plus grand et qui est évidemment celui de la Réunion à Sainte-Henriette, c'est-à-dire à l'atelier central de triage et de chargement, dont le développement est d'environ 1,200 mètres et dont le profil est des plus accidentés.

Cette voie transporte journellement 1,200 tonnes de charbon et plus de 600 tonnes de terre au dépôt qui se trouve près de l'atelier de triage. Pour arriver à ce débit, *en suivant le trait*, dont la production est fort irrégulière d'une heure à l'autre de la journée, il y a des moments où cette chaîne doit rendre à destination 250 tonnes par heure, soit plus de 500 berlines. Ce travail se fait avec la plus grande facilité.

En effet, cette chaîne marche à la vitesse énorme de 2 mètres par seconde et, en espaçant les chariots de 12 mètres, elle peut donc débiter 10 berlines par minute ou 600 berlines à l'heure.

Nous pensons qu'au point de vue des quantités transportées, aucun autre traînage n'atteint les limites ci-dessus.

Je ne vous entretiendrai pas, Messieurs, des difficultés d'exécution que nous avons rencontrées pour réaliser le projet ci-dessus. Il a fallu percer de nombreux tunnels, et l'un d'eux traverse obliquement, sur une longueur de 107 mètres, un remblai de chemin de fer qui avait à peine dix ans de date. Cet examen m'entraînerait trop loin et j'aborde immédiatement les traînages souterrains.

Le traînage mécanique au fond des mines présente des avantages considérables, et je pense qu'il serait appliqué d'une façon générale si l'on n'était arrêté par la difficulté d'obtenir la force motrice.

Nous l'avons appliqué en premier lieu en transmettant la force motrice, du jour au fond, au moyen d'un câble sans fin mis en mouvement par une poulie à mâchoires mobiles du système Fowler. Cette installation fonctionne encore aujourd'hui à la passe Mel et nous donne de bons résultats.

Pour éviter l'emploi des câbles, qui constituent une dépense dont il y a lieu de tenir compte, nous avons employé également des machines motrices au fond. Mais dans des terrains aussi peu résistants que les nôtres, où il faut éviter les grandes excavations, on se trouve conduit pour ces moteurs et pour leurs générateurs à des dispositions peu avantageuses; et il est impossible de donner à ces appareils, dans le fond, les soins qu'ils exigent.

En un mot, ces machines sont d'un emploi fort incommode et les générateurs peuvent devenir une source de dangers. Cette solution n'est donc pas non plus entièrement satisfaisante.

L'emploi de l'air comprimé, des moteurs à gaz, des moteurs hydrauliques, etc., offre d'autres inconvénients et surtout n'est rien moins qu'économique.

C'est après avoir constaté ces difficultés sérieuses que M. Briant, ingénieur en chef de l'exploitation de nos sociétés, imagina de profiter de la descente des charbons le long des plans inclinés pour provoquer le traînage sur les voies horizontales. Dans ce cas, la chambre d'accrochage se trouve à un niveau inférieur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à l'étage d'exploitation, et la descente des produits, entre les deux niveaux, le long des plans inclinés, produit la force motrice nécessaire au traînage horizontal. C'est donc la machine d'extraction qui, en dernier ressort, devient le moteur du traînage, puisqu'elle enlève les produits à une profondeur plus grande que celle à laquelle ils ont été extraits. Cette solution originale et si simple écarte l'emploi des moteurs spéciaux. Il importe peu que la machine d'extraction ait à faire un travail un peu plus grand, surtout quand les machines sont, comme c'est le cas pour nous, à détente variable, avec équilibre constant entre la puissance et la résistance.

Ce système fut inauguré en 1873 au puits Saint-Arthur, de Mariemont. Depuis lors nous l'avons appliqué aux puits Sainte-Catherine et n° 5 de Bascoup. Je n'hésite pas à déclarer que je le considère comme supérieur à tous les autres procédés et qu'il n'a présenté dans la pratique aucun des inconvénients que beaucoup d'ingénieurs redoutaient à l'origine.

Des trois installations ci-dessus, la plus perfectionnée est celle du n° 5 de Bascoup, mais la plus importante est celle de Saint-Arthur, de Mariemont, et comme nous avons en vue des résultats pratiques, c'est au sujet de cette dernière que je vous communiquerai quelques chiffres.

Le niveau de l'étage en exploitation est de 386 mètres et la chambre d'accrochage est à 476 mètres. La hauteur verticale de descente des chariots est de 90 mètres.

En appelant :

a, la charge d'un chariot;

e, son poids mort;

f, le poids de chaîne que supporte chaque chariot, tant vide que plein;

z, le coefficient de résistance au roulement, la formule $(2e + 2f + a)lz = a$ permet de déterminer la valeur l, donnant la distance horizontale qui peut être parcourue pour chaque mètre de descente verticale.

En adoptant pour z la valeur 0.02 (généralement admise en Angleterre et qui, d'après nos expériences, serait trop élevée), nous trouvons pour l, avec notre matériel, de 15 à 20 mètres, suivant les dimensions de la chaîne à employer.

Dans le cas de Saint-Arthur, le traînage pourrait donc être établi sur une longueur de 90×15, ou 1,350 à 1,800 mètres.

Le développement total actuel du traînage de ce siège est de 1,380 mètres, mais la force dont on dispose est trop considérable, car le frein placé dans la poulie du plan incliné doit être constamment maintenu serré.

Ce plan incliné débite journellement 500 tonneaux de charbon; les chariots sont espacés de 12 en 12 mètres sur ce plan incliné et la voie principale de transport horizontal. La vitesse n'est donc pas très grande, ce qui est favorable à la régularité du mouvement. Autrement dit, pour obtenir cette régularité il y a tout avantage, pour un même débit, à rapprocher les chariots et à diminuer la vitesse, l'addition en haut ou l'enlèvement en bas d'un chariot ayant alors moins d'influence sur les conditions de marche du système.

Avant l'installation du traînage sur chaînes, il y avait au fond, à cette fosse, 35 chevaux. Aujourd'hui, il n'y en a plus que 10.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Réunissant le traînage sur chaînes et le transport par chevaux, c'est-à-dire, abstraction faite du transport par hommes qui n'a pas subi de modifications, il résulte de nos observations que le traînage nous coûtait auparavant 51 centimes par tonne, tandis qu'aujourd'hui il ne coûte plus que 27 centimes, soit une différence ou économie de 24 centimes par tonne, dont il y a lieu de déduire cependant l'amortissement et l'usure des chaînes, poulies, etc.

Ces derniers éléments ne peuvent être établis bien définitivement encore. En effet, voilà 5 ans que ces installations fonctionnent et nous estimons que des chaînes, établies dans de bonnes conditions, fourniront des durées de 10, 15 et 20 ans. Provisoirement, nous avons établi des comptes de prévision, et nous chargeons de ce chef nos prix de revient de 1 à 2 centimes, suivant les installations, coefficients basés sur l'hypothèse d'une durée moyenne de 10 ans.

L'économie reste donc considérable.

Les installations de traînage mécanique souterrain comprennent actuellement à Mariemont :

Au puits	Saint-Arthur	1,380 mètres.
	Abel	980
	TOTAL	2,360

A Bascoup :

Au puits	n° 3	350 mètres.
	Sainte-Catherine	3,950
	n° 5	572
	TOTAL	4,872

Soit, pour les deux concessions réunies, un développement de 7,232 mètres.

Si nous ajoutons à ce chiffre le traînage à la surface, nous arrivons à un total de 14,867 mètres, soit 15 kilomètres de traînage par chaînes flottantes à doubles voies, c'est-à-dire 30 kilomètres de chaînes constamment en mouvement!

Les chaînes employées à Mariemont et à Bascoup présentent des diamètres variant de 16 à 30 millimètres. Je crois utile de vous signaler que nous avons reconnu qu'il était fort avantageux de ne pas faire supporter à ces chaînes plus de 4 kilogrammes par millimètre carré, tout en ne faisant usage que de fers de qualité extra. Dans ces conditions, l'usure est presque insensible; mais elle augmente rapidement quand on augmente le coefficient de résistance, et nous estimons qu'une chaîne qui supporte 6 à 7 kilogrammes dure quatre ou cinq fois moins longtemps que celle qui n'en supporte que 4.

A ce même point de vue, il est également fort important d'éviter le plus possible les renvois de mouvement.

L'usure de la chaîne est proportionnelle au nombre de fois que chacun de ses maillons passe sur la poulie, et inversement proportionnelle par conséquent à la distance qui espace les parties extrêmes d'un tronçon.

Cette usure n'a lieu, en effet, que par la rotation des maillons les uns par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rapport aux autres lorsqu'ils passent de la ligne droite à la ligne circulaire de la poulie et lorsqu'ils quittent celle-ci pour reprendre la poulie. Autrement dit, avec une même vitesse et toutes choses égales d'ailleurs, l'usure, c'est-à-dire le remplacement de la chaîne, n'est pas plus coûteux pour un long trajet que pour un plus court.

Les chaînes de Mariemont et Bascoup sont toutes des chaînes calibrées et les poulies employées sont des poulies à griffes *extensibles*. C'est après un grand nombre d'essais que nous nous sommes arrêtés à ce matériel.

Je dois enfin discuter un reproche qui a souvent été adressé à notre système de transport et que je crois sans fondement.

On pense que le trajet à faire par les berlines étant considérablement augmenté, leur entretien doit être beaucoup plus dispendieux. Il n'en est rien. Ce n'est pas, en effet, le transport régulier, doux, sans secousses, qui détruit le matériel; ce sont presque uniquement les chocs violents auxquels ils sont exposés dans le fond.

Je ne puis donner ici, comme preuve à l'appui, le coût de cette extraction à Mariemont et Bascoup avant et après les installations. Elles ont coïncidé en effet avec une transformation complète de tout ce matériel qui est beaucoup plus perfectionné aujourd'hui que jadis. Toujours est-il qu'actuellement le coût de l'entretien du matériel est de 30 p. o/o environ inférieur à ce qu'il était avant l'établissement du traînage.

Je terminerai, Messieurs, ce qui concerne cette question, en vous disant que l'emploi du traînage par chaînes flottantes, tant au fond qu'au jour, nous a permis de supprimer 140 chevaux.

Ce résultat augmente encore beaucoup d'importance, si l'on songe que les chevaux exigent des conducteurs, des gardes d'écurie, etc. etc., et que par suite cette suppression laisse environ 150 hommes disponibles, employés beaucoup plus avantageusement à l'extraction du charbon.

Dans nos contrées où, dans les temps prospères, la production est limitée par le nombre de bras, ce résultat à lui seul justifie l'emploi des procédés mécaniques partout où ils peuvent remplacer la main-d'œuvre. (Applaudissements.)

M. le Président. Nous remercions M. Guinotte de cette intéressante communication.

Je donne la parole à M. Mékarski.

DISCUSSION.

M. Mékarski. Je ne viens pas, Messieurs, contester les avantages du système de traînage mécanique sur lequel se sont étendus MM. Brüll et Guinotte. Il n'est pas douteux que ce procédé ne soit un moyen précieux de remplacer la traction animale dans les exploitations souterraines, principalement lorsque la faible hauteur des couches conduit à établir des galeries très basses où les animaux ne pourraient circuler, comme aussi lorsque, l'extraction se faisant au moyen de wagonnets de très petites dimensions, il y a lieu d'en rendre la cir-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

culation à peu près continue. La chaîne flottante remplit évidemment fort bien cette condition.

Toutefois, M. Brüll m'a paru formuler une conclusion bien absolue en disant, à la fin de son intéressant exposé, que tout autre mode de traction serait, dans les mines, d'un emploi très difficile sinon tout à fait impossible. Je crois qu'en exprimant cette opinion, il n'a pas tenu un compte suffisant des travaux faits pour arriver, dans une autre direction, à un résultat satisfaisant, que l'on peut aujourd'hui affirmer être complètement atteint.

Les avantages de la chaîne flottante ont comme contre-partie quelques inconvénients sur lesquels on ne saurait, sans parti pris, fermer les yeux.

C'est d'abord la nécessité d'étendre les galeries en largeur pour l'établissement d'une double voie et même de créer des galeries latérales pour la circulation des ouvriers qui ne pourraient sans danger suivre la voie, sur laquelle les wagonnets se meuvent en quelque sorte automatiquement.

Il faut aussi que l'exploitation de toutes les parties du réseau desservi par la chaîne s'effectue avec une régularité mécanique, pour conserver l'équilibre du fonctionnement. Les divers chantiers d'abatage sont ainsi rendus dépendants les uns des autres, ce qui ne peut manquer, dans la pratique, de créer certaines difficultés.

Il est permis d'ailleurs de se demander si l'établissement d'un réseau étendu, avec tous les accessoires qu'il comporte, n'entraîne pas une dépense assez élevée et s'il ne serait pas, non seulement plus commode, mais même plus économique, d'avoir quelques engins de traction indépendants pouvant desservir alternativement les différents chantiers et se porter d'un point à un autre suivant les besoins.

M. Guinotte nous a fait savoir tout à l'heure que l'application de la chaîne flottante dans les charbonnages de Mariemont avait remplacé 140 chevaux. Me permettra-t-il de lui demander quelle est la somme qui a été dépensée à cet effet, en la rapportant, s'il le veut bien, au cheval remplacé?

M. Guinotte. La question de M. Mékarski s'applique-t-elle à l'installation du fond ou à celle du jour?

M. Mékarski. A celle du fond seulement.

M. Guinotte. On peut en calculer les frais d'après ceci: que, pour la fosse Saint-Arthur, où le développement de la chaîne est de 1,380 mètres, la dépense a été d'environ 25,000 francs, en ne comprenant bien entendu dans ce chiffre que les frais afférents spécialement à la chaîne, mais non la voie qui eût été également nécessaire pour le traînage par chevaux.

M. Mékarski. Et le moteur?

M. Guinotte. Il n'y a pas de moteur spécial, la force nécessaire étant fournie, comme je l'ai exposé, par la descente des wagons pleins, sur un plan incliné, à un niveau inférieur d'où les produits sont remontés au jour par la machine d'extraction.

M. Mékarski. Dans ce cas il faut faire entrer en compte le supplément de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

profondeur du puits et l'augmentation de travail de la machine d'extraction. C'est sur cet ensemble de frais découlant de l'établissement du traînage mécanique qu'il serait utile d'être fixé.

M. Guinotte. La chose ne serait pas difficile, mais ce que je puis affirmer sans examen, c'est que le prix de la traction descend au dessous de 3 centimes par tonne.

M. Tresca. Je ferai observer à M. Mékarski qu'une discussion ne peut ici s'établir utilement sous cette forme de détail. Je le prie donc de se borner à nous présenter les observations qu'il croit utiles, en renonçant à des interrogations directes qui risquent de conduire trop loin.

M. Mékarski. Je m'empresse de déférer à la demande de notre honorable Président et, complétant mes observations précédentes, j'ajoute que, si l'on peut dire, à l'avantage de la chaîne flottante, qu'elle constitue un train continu, il faut reconnaître que le conducteur de ce train est assez mal placé pour en surveiller et en assurer la marche. Si quelque accident se produit, un déraillement par exemple, il n'en a connaissance qu'après un temps plus ou moins long, pendant lequel les wagonnets peuvent s'entasser les uns sur les autres et obstruer la galerie. En outre, si, par ce motif ou par tout autre, la chaîne est arrêtée sur un point du parcours, la circulation dans tout le réseau se trouve supprimée.

Je répète donc que, sans être l'adversaire de ce système, on aurait, dans bien des cas, de fort bonnes raisons pour préférer de petites locomotives, et que l'on n'eût sans doute pas cherché à perfectionner autant le fonctionnement des câbles, si les difficultés inhérentes à l'emploi des machines à vapeur n'avaient paru interdire l'introduction dans les mines d'engins auxquels on n'avait pas réussi jusqu'à présent à appliquer pratiquement un autre moteur.

On avait bien songé à lui substituer l'air comprimé dès que les travaux de M. Triger eurent fait voir le parti qu'on pouvait tirer de cet agent pour l'exécution de certains travaux, mais on s'était heurté à une série de difficultés qui n'avaient pu être résolues d'une façon satisfaisante. Je me propose de vous faire voir que ces difficultés n'existent plus.

La principale résidait dans la valeur dynamique assez faible que représente un approvisionnement d'air comprimé.

Effectivement, lorsqu'on produit un travail extérieur en faisant agir sur un piston par détente une certaine quantité d'air emmagasinée dans un réservoir, cet air se refroidit, c'est-à-dire consomme une partie de son calorique spécifique, si on ne lui en fournit pas d'autre en ce moment. La limite de refroidissement à laquelle il convient de s'arrêter mesure la somme de travail que l'on peut obtenir, si l'on fait abstraction de la chaleur cédée par les enveloppes qui agissent à l'inverse de ce qui se passe dans les machines à vapeur.

La chaleur spécifique à considérer ici est celle *à volume constant*, puisque le calorique dépensé est égal à ce qu'il faudrait fournir à l'air détendu pour le ramener à la température initiale, en conservant le volume final. Ce coefficient étant de 0.17, il s'ensuit que, par kilogramme d'air détendu et par degré de variation de température, on ne peut théoriquement produire que $0,17 \times 424$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

= 72 kilogrammètres. Si l'on admet que le refroidissement ne doive pas dépasser 50 degrés, la température initiale étant de 15 degrés, le travail fourni par une quantité d'air comprimé équivalente à un mètre cube d'air à la pression atmosphérique est :

$$1{,}293 \times \frac{273}{273+15} \times 50 \times 72 = 4{,}320 \text{ kilogrammètres.}$$

En sorte que, même en emmagasinant l'air sous une pression initiale de 30 atmosphères et en en dépensant 25, on ne retirerait théoriquement que $25 \times 4{,}320 = 108{,}000$ kilogrammètres par mètre cube de contenance du réservoir. Il faudrait ainsi un réservoir de 2 mètres cubes et demi pour fournir la force d'un cheval pendant une heure.

Je m'empresse de rappeler que le rayonnement intérieur des enveloppes améliorerait notablement ce résultat ; on voit toutefois combien on resterait loin des conditions pratiques si l'on n'avait pas recours à quelque artifice pour empêcher le refroidissement.

Le moyen auquel j'ai songé, et dont le concours de quelques amis m'a permis de vérifier l'efficacité, est de combiner l'air, avant de le faire agir, avec une certaine proportion de vapeur dont le calorique latent se trouve, pendant la détente, partiellement utilisé pour limiter à peu de chose l'abaissement de température.

Le travail peut dès lors être calculé avec une approximation suffisante au moyen des formules basées sur la loi de Mariotte, et il est facile de voir que la valeur en est considérablement augmentée.

Si l'on admet par exemple que l'air soit employé à la pression de 5 atmosphères, saturé de vapeur d'eau à la température de 100 degrés, un kilogramme d'air fournit $0^{m3},264$ de fluide moteur dont le travail théorique sur un piston, avec détente au tiers de la course, est de $0.264 \times 5 \times 10{,}330\,(1+L3)$, soit environ 25,000 kilogrammètres.

Dans ces conditions, l'air comprimé devient évidemment susceptible d'applications tout à fait industrielles.

Si l'on déduit du chiffre précédent le travail négatif de la contre-pression atmosphérique et les résistances passives des organes évaluées à 25 p. 0/0, il reste net 12,500 kilogrammètres utilisables à la jante des roues motrices d'une locomotive, c'est-à-dire à peu près ce qu'il faut dépenser par tonne kilométrique sur une voie de mine.

Or, en emmagasinant l'air dans un réservoir, à la pression de 30 atmosphères, on accumule par mètre cube, à la température de 15 degrés, 36 kilogrammes d'air sur lesquels on peut en dépenser 30 sans que la pression descende au dessous de 5 atmosphères. On voit donc qu'une petite locomotive pourvue d'un réservoir de 1,500 litres seulement de capacité peut transporter un train de 10 tonnes à une distance de 4 kilomètres et demi.

Cette machine a été construite et figure actuellement au Champ de Mars, dans la classe 50. Elle n'a pas plus de $1^{m},10$ de largeur et $1^{m},55$ de hauteur, de façon à circuler aisément dans des galeries étroites et assez basses. Sa longueur totale est de $2^{m},80$.

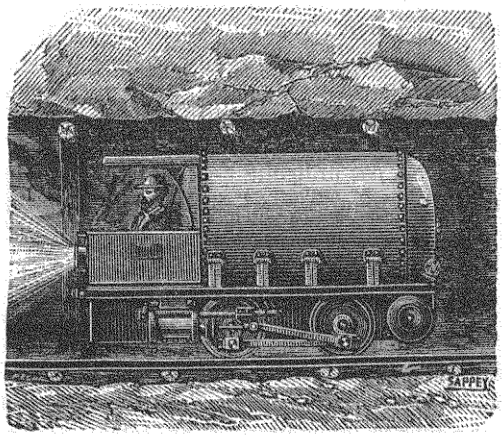
Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'intervention de la vapeur d'eau ne nécessite d'ailleurs aucunement l'adjonction d'un générateur à foyer, dont la présence serait pour la machine, dans le cas présent, une cause d'exclusion. Il y a seulement à placer sur le parcours de l'air un réservoir de petite dimension, contenant de l'eau dont la température initiale est fixée suivant la proportion pour laquelle la vapeur doit entrer dans le mélange et le poids suivant celui de l'approvisionnement d'air à dépenser. Cette eau se refroidit à mesure que l'air se dépense, et les choses sont réglées de façon qu'à chaque instant la température de l'eau, et par conséquent la pression de vapeur, soit dans le même rapport avec la pression de l'air.

Après chaque course, on renouvelle l'approvisionnement d'air en abouchant la machine avec des réservoirs fixes, alimentés par un compresseur, et, simultanément, on réchauffe l'eau du second réservoir en y faisant arriver la vapeur fournie par un générateur qui peut être installé au jour comme le compresseur.

Quant à la production industrielle et économique de l'air comprimé à une pression aussi élevée, elle ne peut aujourd'hui être mise en doute. Un appareil du type, spécialement étudié par nous à cet effet, fonctionne depuis l'ouverture de l'Exposition dans la galerie des machines, classe 50, et chacun peut s'assurer qu'il remplit parfaitement son objet, avec un rendement qui n'est pas inférieur à 0.85. (La figure ci-dessous représente la locomotive minière du type dont parle M. Mékarski.)

LOCOMOTIVE DE MINES. — APPROVISIONNEMENT D'AIR COMPRIMÉ : 50 KILOGRAMMES.



Dépense d'air comprimé, sur une voie résistant à 1/80 : 1 kilog. par tonne kilométrique, en palier.
Poids de la machine en charge : 2,300 kilogrammes.

Je ne crois pas utile d'entrer dans de longs détails sur les dispositions particulières employées dans cet appareil, dont quelques-unes, notamment le fractionnement du travail entre deux cylindres, ont été appliquées précédem-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment dans un but analogue. J'appellerai seulement votre attention sur la simplicité et l'efficacité des moyens employés pour prévenir l'échauffement qui ne dépasse guère 50 degrés.

Le débit de cette machine étant de 65 kilogrammes d'air à l'heure, à la vitesse de 60 tours, et la force motrice qu'elle exige dans ces conditions n'atteignant pas 10 chevaux, il s'ensuit que 1 kilogramme d'air comprimé représente environ 15 p. 0/0 de la dépense de combustible de la machine motrice qui actionne le compresseur, par cheval et par heure. En employant, pour cet usage, même d'assez mauvaises machines, on aura le kilogramme d'air pour 400 à 500 grammes de charbon, c'est-à-dire que la petite locomotive à air dépensera ce poids de combustible par tonne kilométrique.

Le plus souvent cette dépense sera négligeable et il ne restera à considérer que les frais de personnel et d'entretien des appareils, lesquels ne s'élèveront guère à plus de 15 francs par jour et par locomotive pouvant faire douze courses par jour, soit 1 fr. 25 cent. par course pour 45 tonnes kilométriques, ou moins de 3 centimes par tonne kilométrique.

Je pense, Messieurs, que ces explications vous convaincront de la possibilité de faire usage, dans les mines, d'un système de traction mécanique qui, par bien des motifs, me paraît mériter la préférence, lorsqu'on ne se trouve pas dans les conditions toutes spéciales où la chaîne flottante a pris naissance.

M. le Président. Il eût été intéressant, Monsieur Mékarski, de terminer votre exposé par des indications analogues à celles que vous réclamiez, en commençant, de M. Guinotte, sur les frais d'installation auxquels conduirait l'emploi de vos locomotives. Ce qui préoccupe en effet dans ce système, c'est moins la consommation du charbon et les frais journaliers que le prix d'établissement. Si, par exemple, vous vouliez bien nous faire le devis d'une installation analogue à celle dont nous a parlé M. Guinotte, pour une exploitation de 1,000 à 1,500 mètres, nous serions mieux en mesure de nous faire une opinion.

M. Mékarski. Je ne fais pas difficulté de répondre à cette question. Je prie seulement M. Guinotte de me dire quel est le tonnage moyen extrait chaque jour de la galerie prise pour exemple ?

M. Guinotte. 500 tonnes de charbon et 250 tonnes de terre; en tout 750 tonnes.

M. Mékarski. Cela fait donc, pour 1,350 mètres, un trafic journalier de 1,000 tonnes kilométriques dans le sens de l'extraction. Le retour à vide peut être ajouté pour 250 tonnes kilométriques, au total : 1,250 tonnes kilométriques. Chaque locomotive à air pouvant faire douze courses par jour et 45 tonnes kilométriques par course, il faudrait au plus trois locomotives et une force motrice d'environ 20 chevaux. Le prix de ce matériel ne dépasserait pas 50,000 francs, en ne laissant en dehors aucun accessoire.

M. le Président. N'exagérez-vous pas le nombre des locomotives ?

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Mékarski. Je ne le pense pas, si la traction en charge n'est pas facilitée par le profil de la galerie. S'il en était ainsi et que l'on n'eût qu'à remonter le matériel vide, l'importance de l'installation serait beaucoup moindre.

Je ferai d'ailleurs observer qu'on est, dans ce système, bien mieux à l'abri des chômages qu'avec la chaîne, car il est plus facile d'avoir une machine de réserve que de doubler la chaîne.

A l'appui de mes évaluations, je puis invoquer le témoignage du constructeur distingué dans les ateliers duquel a été faite la petite locomotive dont je viens de vous entretenir. M. de Quillacq, que je vois à côté de M. le Président, ne verra pas sans doute d'inconvénient à vous dire à quel prix il peut établir cette machine.

M. de Quillacq. La locomotive peut être établie pour le prix de 8,000 francs. Avec la machine de compression, comprenant son moteur, des réservoirs d'accumulation de capacité suffisante et la robinetterie spéciale, la dépense s'élèverait à 25,000 francs.

M. Mékarski. Et une installation double ne coûterait évidemment pas deux fois autant.

M. Guinotte annonçait tout à l'heure que l'on a dépensé 25,000 francs pour l'établissement de la chaîne seulement, non compris la force motrice, les appareils de réserve, l'approfondissement du puits. Je crois donc que la comparaison complète ne serait pas en faveur de la chaîne.

Puisque j'ai repris la parole, j'en profiterai pour donner quelques explications sur un point dont je craindrais qu'on ne se fît une idée inexacte, la manière dont peut s'opérer au fond de la mine le rechargement du réchauffeur de la locomotive. Il serait effectivement assez difficile d'amener de la vapeur sous pression suffisante à une profondeur souvent considérable, sans donner à la conduite un certain diamètre qui pourrait en rendre incommode l'installation dans le puits. Pour éviter cet écueil, il suffira de placer dans la mine, à la gare de chargement, un réservoir d'eau communiquant, d'une façon permanente, avec la chaudière installée au jour, et pourvue d'un appareil automatique empêchant l'eau de condensation qui s'y rassemblera de dépasser un certain niveau. Dans ces conditions, il y aura vers ce réservoir un écoulement constant de vapeur qui y maintiendra une température à peu près égale à celle du générateur. Lorsque la locomotive viendra se charger, la vapeur lui sera fournie, non pas directement par la conduite, mais par le réservoir qui jouera ainsi le rôle d'accumulateur de calorique sans qu'il y ait besoin de foyer.

Quant à la quantité de vapeur à fournir, on peut s'assurer qu'elle sera des plus minimes, environ 6 kilogrammes par chargement, c'est-à-dire par heure, s'il n'y a qu'une locomotive à alimenter. Il suffira, pour cela, d'un tuyau de $0^m,015$ à $0^m,020$, convenablement entouré d'une chemise isolante.

Je vous remercie, Messieurs, d'avoir bien voulu me prêter si longtemps votre attention et je serais heureux que les travaux dont je vous ai entretenus vous eussent paru la mériter. (Applaudissements.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. le Président. Je remercie, au nom du Congrès, les personnes qui ont bien voulu nous faire les communications que nous venons d'entendre.

Comme je crois que l'attention de l'assemblée est un peu fatiguée par cette longue séance et qu'il ne nous serait pas possible de poursuivre aujourd'hui nos travaux, je déclare la séance levée.

La séance est levée à cinq heures cinq minutes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SÉANCE DU MARDI 6 AOÛT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. HERVÉ-MANGON,

MEMBRE DE L'INSTITUT, PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

Ordre du jour : 2e Section. — Agriculture et génie rural.

Sommaire. — Discours de M. Hervé-Mangon, président. — Labourage à vapeur : Mémoire de M. Decauville présenté par M. le comte de Salis; discussion : MM. Debains, Ganneron, le comte de Salis, de Cossigny. — Discours de M. Hervé-Mangon sur les machines agricoles.

La séance est ouverte à dix heures un quart.

M. Hervé-Mangon occupe le fauteuil de la présidence.

Il a pour assesseurs : MM. Warocqué, Chabrier, vice-présidents; MM. Tisserand, Siemens, et M. de Salis, secrétaire.

M. Tresca, président du Congrès, assiste à la séance.

M. Hervé-Mangon, *président :*

Messieurs, je dois, avant tout, remercier le Comité d'organisation du Congrès de m'avoir fait l'honneur de m'appeler à la présidence de cette réunion. Mais à chaque honneur répond un devoir, et le devoir, pour moi, est en ce moment de répondre à certaines questions que j'entends souvent depuis quelques mois et que quelques-uns d'entre vous se sont peut-être fait à eux-mêmes, sans y avoir réfléchi davantage.

Pourquoi, se demandent beaucoup de personnes, une section d'agriculture dans un Congrès de Génie civil? Les ingénieurs sont insatiables, disent les uns, ils veulent donc tout accaparer et ne laisser à personne une place au soleil? L'agriculture est vraiment bien envahissante, disent les autres, elle entre partout et vient prendre une journée au Congrès du Génie civil où on ne s'attendait pas à la rencontrer.

Messieurs, la science est la source de tout progrès : voilà pourquoi les membres du Congrès du Génie civil, qui forment la grande et noble armée de la science appliquée, tendent aujourd'hui la main à l'agriculture, et voilà pourquoi l'agriculture, qui doit grandir encore, vient siéger ici et veut s'unir à vous.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Oui, Messieurs, c'est avec raison que l'École centrale des arts et manufactures a introduit depuis quelques années, dans le cadre déjà si vaste de son enseignement, l'étude de l'agriculture scientifique. C'est avec raison que le génie rural tient une large place dans les programmes de l'Institut national agronomique; c'est avec raison que l'on a fondé au Conservatoire des arts et métiers un cours de travaux agricoles et de génie rural; c'est avec raison que l'École des ponts et chaussées enseigne depuis longtemps aux ingénieurs de l'État les applications de leur art à la mécanique agricole et aux travaux d'irrigation, de drainage et de dessèchement. Il y a trente ans que j'invoque cette union des ingénieurs et des agriculteurs, cette union féconde et bienfaisante que vous réalisez aujourd'hui.

Je ne suis pas de ceux qui reprochent à cette magnifique Exposition de 1878 d'avoir rapproché, mélangé, confondu, si l'on veut, l'agriculture et l'industrie proprement dite; car je suis persuadé qu'il est utile que les ingénieurs et les agriculteurs soient forcés de se voir, de se rencontrer, de se heurter peut-être, pour apprendre à se connaître, à s'apprécier et à se porter un mutuel appui.

C'est à mes yeux un signe des temps de voir le génie civil et l'agriculture inaugurer ensemble ce magnifique palais de la parole libre et indépendante, l'œuvre la plus belle et la plus noble de ce monde de merveilles que la France doit au talent et à la persévérance de notre excellent, de notre illustre commissaire général, M. J.-B. Krantz. (Applaudissements.)

M. le Président. Je prie M. le Secrétaire de lire le rapport de M. Decauville, qui s'est malheureusement trouvé dans l'impossibilité de se rendre parmi nous aujourd'hui.

MÉMOIRE SUR LA CULTURE À VAPEUR,

PAR M. DECAUVILLE AÎNÉ,

AGRICULTEUR ET CONSTRUCTEUR, À PETIT-BOURG.

M. le comte de Salis, *lisant* :

La question de la culture à la vapeur est une de celles qui méritent le plus d'attirer l'attention d'un Congrès international du Génie civil, car le prix de plus en plus élevé de la main-d'œuvre et son insubordination, en obligeant depuis quelques années l'agriculture de tous les pays à employer des machines perfectionnées qui remplacent la main-d'œuvre avec une rare perfection et souvent même avec une grande économie, ont exigé de l'agriculteur des connaissances spéciales de mécanique, et cette situation s'accentue tellement qu'après avoir vu des ingénieurs devenir de très bons agriculteurs, il y a lieu de se demander si bientôt le diplôme d'ingénieur ne sera pas indispensable pour tous ceux qui voudront se livrer à l'agriculture. C'est, du reste, à cette nouvelle exigence du progrès moderne que vient répondre la création d'une chaire d'agriculture à l'École centrale.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les appareils de culture à la vapeur sont, parmi toutes les machines agricoles, celles qui réclament le plus de connaissances spéciales en raison de la puissance même du moteur et de la diversité des instruments qu'il a à faire fonctionner.

C'est au commencement de ce siècle que le génie pratique des Anglais fut attiré par ce problème, de remplacer par la vapeur les animaux de trait qui peuvent être employés plus utilement à produire de la viande et des engrais.

Le major Prats en 1810, John Heathcoat en 1833, Mac Roe en 1839, Hanman en 1849 et lord Willoughby en 1851 ont tous consacré leur temps et leur argent à chercher la solution de ce problème qui devait enfin se trouver résolu de la façon la plus satisfaisante par John Fowler en 1852.

Pendant cette même période, la France ne restait pas inactive, et plusieurs constructeurs se sont occupés des machines à labourer à la vapeur; mais, peu encouragés au début par l'opinion publique, ils n'ont pu continuer des essais très ingénieux pour la plupart, mais trop coûteux pour être poursuivis sans le secours des capitaux considérables qui affluent si facilement dans les ateliers des mécaniciens anglais.

C'est de cette façon qu'en 1852 une association fut formée entre un mécanicien anglais, John Fowler, un fermier écossais, David Greig, et un *solicitor* ou avoué, Addison, pour exploiter l'idée de l'appareil à labourer que John Fowler avait imaginé.

L'atelier que l'on installa à Leeds (Yorkshire) n'occupait tout d'abord que quelques ouvriers, et c'est l'année suivante, au concours de la Société royale d'agriculture d'Angleterre, à Gloucester, que la jeune Société John Fowler et Cie montra le premier emploi de la machine à vapeur au travail de la terre.

Pour cet appareil, John Fowler reçut la grande médaille d'or de la Société.

Depuis cette époque, toutes les façons de culture purent être données par ce moyen, et l'on vit successivement fonctionner la défonceuse, le scarificateur, la herse, et enfin le rouleau; dont l'usage n'était pas réclamé par la culture anglaise et dont le premier fut construit pour préparer les ensemencements de betteraves en France, en 1873.

Le succès de MM. John Fowler et Cie ne fit qu'augmenter sans interruption chaque année; et vingt-cinq ans après la fondation de leurs ateliers, au mois de janvier 1877, *trois mille locomotives* avaient été livrées par eux pour le labourage à la vapeur dans toutes les parties du monde, et leurs ateliers de Leeds occupaient *quatorze cents ouvriers*.

Un succès aussi rapide ne pouvait manquer d'attirer de nombreux concurrents; mais la perfection de leur outillage leur a permis de rester toujours les premiers parmi les constructeurs d'appareils de labourage à la vapeur, et cette situation s'est tellement accentuée dans les dernières années, qu'ils vendent aujourd'hui leurs charrues aux autres constructeurs de locomotives de labourage.

On ne peut pas dire que le labourage à la vapeur présente une économie considérable comme dépense de travail par hectare, mais les résultats sont tellement différents, qu'il est impossible d'établir une comparaison bien exacte entre les labours par les chevaux ou les bœufs et les labours par la vapeur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le prix de revient de la culture mécanique est nécessairement très variable suivant le combustible qui est employé et suivant la manière de calculer l'usure et l'amortissement des appareils.

Voici, cependant, comment il paraît logique d'établir la dépense d'un appareil double de 10 chevaux, comme ceux qui fonctionnent à Petit-Bourg depuis 1868.

L'équipe se compose de deux chauffeurs conduisant chacun une locomotive, d'un laboureur dirigeant la charrue et d'un charretier pour approvisionner les machines d'eau et de charbon. Ce n'est que pour les labours profonds qu'il est nécessaire d'ajouter un manœuvre pour aider à faire basculer la charrue à chaque bout du champ; il y a donc au maximum cinq hommes qui sont employés, et le travail fait par journée de dix heures peut s'élever en moyenne à :

	1 hectare fouillé à.....	50 centimètres.
ou	2 hectares et demi labourés à.....	30
ou	5 hectares labourés à.....	20
ou	12 hectares cultivés à.....	12
ou	20 hectares hersés.	
ou	24 hectares roulés.	

Les dépenses sont :

L'intérêt à 5 p. 0/0 de l'appareil double, composé de deux locomotives de 10 chevaux avec charrue, cultivateur, herse, rouleau, tonneaux à eau, en tout 50,000 francs, soit 2,500 fr. par an ou pour 200 jours de travail, par jour.....			12f 50c
L'amortissement du même matériel à raison de 10 p. 0/0, soit 5,000 francs, ou par jour.....			25 00
Usure, casse, etc., 2,500 francs, ou par jour.....			12 50
Deux câbles de 1,200 francs chaque, durant 200 jours, par jour.....			12 00
Huile, chiffons, bois d'allumage, 625 francs par an, chaque jour.....			3 15
Charbon, 1,000 kilogrammes briquettes d'Anzin à 34 francs la tonne rendue au magasin.....			34 00
Eau, 10 mètres cubes à 15 centimes.....			1 50
Main-d'œuvre...	2 chauffeurs à 5 fr... 10f 1 laboureur à 5 fr... 5		15 00
Transport d'eau et charbon...	2 chevaux..... 12f 1 charretier..... 4		16 00
			131 65

Par conséquent les prix de revient, en comprenant intérêt, amortissement et toutes les dépenses en général, reviennent par hectare :

Pour le défonçage à 50 centimètres, à.....	131f 65c
(Ce travail ne peut s'exécuter à aucun prix par les bœufs ou les chevaux.)	
Pour le labour à 30 centimètres, à.....	52f 66c
Pour le labour à 20 centimètres, à.....	26 33
Pour la cultivation ou déchaumage, à.....	10 88
Pour le hersage, à.....	6 58
Pour le roulage, à.....	5 48

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quelques-uns de ces travaux, comme le défonçage, ne peuvent être exécutés par des bœufs ou des chevaux, car il y a impossibilité d'atteler 30 chevaux ou 30 bœufs sur le même instrument; d'autres, comme le roulage, diffèrent essentiellement du travail obtenu par les animaux, car, dans cette opération faite à la vapeur, le rouleau, entraîné à la vitesse d'un cheval au trot, agit par percussion, tandis que, traîné par les chevaux ou les bœufs, il n'agit que par son poids.

On remarquera que la dépense principale, dans ce prix de revient, consiste dans l'intérêt et l'amortissement qui figurent pour 37 fr. 50 cent. par jour. Il est certain que, maintenant que l'éclairage électrique, système Albaret, permet de continuer les travaux de culture pendant la nuit, la dépense d'amortissement pourrait être sensiblement diminuée en travaillant nuit et jour, ou tout au moins compenserait la dépense de l'appareil électrique.

Quant aux appareils à une seule machine, tels que le système Howard, dit « *Round-about* », ou plus récemment le système fort ingénieux de M. Debains qui emploie la locomobile de la ferme comme moteur, il est certain qu'ils demandent l'emploi d'une mise de fonds beaucoup moins importante, mais il est indiscutable que le grand développement de câble tout autour du champ à labourer par ces deux systèmes sera une cause de frais sensiblement plus élevés que dans le système Fowler à deux machines. L'appareil Howard, de même que l'appareil Debains, doivent donc être considérés, non comme un système complet de culture à la vapeur, mais comme complément d'appareils de culture pour venir en aide aux agriculteurs qui se trouveront en retard dans leurs travaux.

L'avantage capital du labourage à la vapeur est de permettre de donner à la terre les façons dans le temps le plus propice, sans s'occuper de la trop grande sécheresse ni de la trop grande humidité. Il ne faut pourtant pas oublier cette maxime d'Olivier de Serres : « Il vaut mieux faire le fol que de labourer par le mol; » et encore cette faute serait-elle commise qu'elle serait de peu d'importance lorsque l'on peut exécuter ensuite le hersage à la vapeur, opération tellement énergique que l'on devrait plutôt l'appeler la *pulvérisation du sol à la vapeur*.

Un autre avantage de ce système de culture est d'éviter le piétinement des chevaux ou des bœufs sur le sous-sol qu'il rend en quelque sorte imperméable. Un statisticien anglais a calculé qu'en labourant un champ, les chevaux appuyaient sept cent cinquante mille fois le pied sur un hectare; c'est donc soixante-quinze pas par mètre carré qui sont évités.

Le labourage à la vapeur a également l'avantage d'employer un très petit nombre d'ouvriers et de permettre par conséquent de les mieux choisir et de les mieux payer.

Au moment de la dernière Exposition, en 1867, il y avait quinze ans que les Anglais labouraient à la vapeur, et cette application était déjà faite sur près de 300 fermes; en France, il y avait bien eu quelques tentatives, mais elles n'avaient pas réussi.

A la suite du concours international de Petit-Bourg en 1867, le mouvement commença en France, mais bien lentement, car en 1878 il n'y a que 14 fermes labourant à la vapeur, et en Angleterre il y en a plus de 1,000.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette période de 1867 à 1878 a donc été marquée dans ce dernier pays par un développement incessant, puisque le nombre des fermes labourant à la vapeur a augmenté de 700.

En recherchant les causes de notre infériorité sous ce rapport, on est arrivé à l'attribuer à un grave inconvénient qui, plus encore que la question d'une mise importante de capital, devait empêcher la propagation rapide de ce système : c'est la suppression des chevaux et des bœufs pour la culture de la terre, alors qu'il en faudra en grand nombre pour rentrer la récolte des betteraves.

En Angleterre, où la culture à la vapeur paraît être arrivée à son maximum de développement, on doit remarquer que les produits de la terre sont surtout les céréales, les fourrages et fort peu de racines; il est donc toujours facile de rentrer les récoltes avec un petit nombre de bœufs ou de chevaux.

En France, où la culture de la betterave a pris une extension considérable, la situation est tout à fait différente; au lieu d'avoir à sortir des champs, à une époque généralement favorisée par le beau temps, des récoltes de céréales qui dépassent rarement en grains et paille 7,000 à 8,000 kilogrammes par hectare, on se trouve à l'automne en présence de récoltes de betteraves s'élevant en moyenne à 35,000 ou 40,000 kilogrammes, mais arrivant quelquefois, comme en 1875, à 60,000 et 70,000 kilogrammes, et encore faut-il remarquer que la saison pluvieuse étant surtout favorable aux betteraves, plus la récolte est abondante, et plus il y a de difficulté pour la sortir des champs.

Dans de telles circonstances, celui qui, en appliquant la culture à la vapeur, supprime la plus grande partie de ses chevaux et bœufs, peut être très embarrassé, et, si l'humidité persiste, sa situation devient extrêmement critique. C'est ce qui est arrivé en décembre 1875 à M. Decauville aîné, qui ne put se tirer d'embarras qu'en créant son porteur tout en fer; et le débardage des betteraves pouvant aujourd'hui s'exécuter mécaniquement, on peut dire que, grâce aux chemins de fer portatifs, le labourage à la vapeur devra désormais se propager aussi rapidement en France qu'en Angleterre.

Ce mouvement vient du reste de commencer, et un agriculteur fabricant de sucre, M. Pelletier, à Villers-en-Prayères (Aisne), vient d'acheter un appareil double de Fowler de 14 chevaux en même temps qu'un kilomètre de voie portative.

Depuis 1867 jusqu'en 1878, les appareils de culture à la vapeur n'ont pu recevoir que des perfectionnements de détail, et le système à deux machines a été, en effet, reconnu comme le seul travaillant vraiment économiquement. On ne peut lui reprocher qu'un défaut, c'est d'exiger une mise de fonds considérable.

Il y a cependant deux applications nouvelles de l'appareil à deux machines qui méritent d'être signalées. Ce sont :

1° La charrue à labourer les pierres;

2° La charrue pour labourer en bateau.

Le premier de ces instruments fait partie de tout un ensemble de culture à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la vapeur qui a été étudié en vue des défrichements gigantesques que le duc de Sutherland fait exécuter dans ses immenses domaines de l'Écosse.

Le sol à défricher, couvert de bruyères et de bouleaux nains, est rempli de pierres excessivement nombreuses. Des défrichements partiels opérés à bras d'homme avaient prouvé que ce sol, mis en culture, donnait des récoltes d'avoine très satisfaisantes. Le duc de Sutherland voulut entreprendre le défrichement en grand, et de concert avec M. D. Greig, ingénieur et l'un des chefs de la maison Fowler, il étudia une charrue pouvant labourer les champs de pierres.

Cette charrue est à bascule et ne trace qu'un sillon à la fois; un versoir en acier très trapu retourne d'abord les bruyères et la couche de terre végétale quand il y en a. Derrière le versoir, vient un énorme croc en acier qui descend à 60 ou 70 centimètres dans le sol. Tiré par une locomotive de 14 chevaux, il désagrège les pierres et les fait remonter à la surface. Si la pierre est trop grosse, elle arrête la charrue, et, après avoir été dégagée par des terrassiers, elle est entourée d'une chaîne et tirée hors du champ par le câble de la machine.

Après la charrue on fait passer sur le champ bouleversé un traîneau sur lequel des ouvriers chargent les pierres.

Ce traîneau est tiré alternativement comme la charrue par l'une ou l'autre des locomotives et est vidé mécaniquement en bordure du chemin de la machine.

Si c'est un bois de bouleaux qu'il faut enlever, on attache 10 ou 12 arbres ensemble, et le câble les arrache et les traîne jusqu'en bordure. Après l'enlèvement des roches, on procède à un vigoureux chaulage au moyen d'un grand traîneau ou bateau en fer qui est tiré d'une machine à l'autre et glisse sur le sol. Huit hommes montés sur ce traîneau jettent la chaux à droite et à gauche.

Il ne reste plus ensuite qu'à mélanger la chaux et la terre au moyen d'un nouvel outil appelé « *disker* » et à procéder à un drainage au moyen de tuyaux ordinaires en poterie.

La lande est devenue un champ fertile, et lorsque les roches sont devenues des chemins et des fermes, la transformation est complète et fait honneur à ceux qui ont eu la hardiesse d'une telle conception.

Le labourage à la vapeur en bateau est une autre preuve de ce qu'il suffit aujourd'hui de signaler une difficulté pour qu'elle soit immédiatement surmontée par les ingénieurs.

De toutes les Guyanes, la Guyane anglaise était une des plus insalubres en raison des marécages qui la couvraient en grande partie, et, grâce au drainage, elle possède aujourd'hui un climat très supportable pour les Européens; mais comme les drainages ont été faits à ciel ouvert par de larges tranchées ou canaux qui se reproduisent presque tous les 100 mètres, il résultait une grande difficulté pour la circulation des locomotives routières, lorsque M. William Russell, un des principaux planteurs de Demerara, voulut appliquer la culture à la vapeur pour les champs de cannes à sucre.

La maison Fowler envoya un de ses ingénieurs étudier la question sur place,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et voici ce qu'on imagina : Puisque les routes étaient des canaux, il fallait faire circuler les locomotives routières sur ces canaux, et par conséquent les monter sur des bateaux, ce qui fut fait; mais comme il est plus économique de labourer un champ de 400 mètres de longueur qu'un de 100 mètres, il fallut imaginer des ponts volants qui pussent permettre à la charrue de labourer quatre champs de 100 mètres à la suite l'un de l'autre.

La machine est donc montée sur le bateau et fait mouvoir non seulement le treuil de la charrue, mais une série de cabestans pour pouvoir franchir même les endroits où l'eau a disparu momentanément. Lorsque ce cas se présente, on porte une ancre à 100 mètres en avant sur la berge, et le bateau, en se halant sur ce câble, avance en glissant sur la boue. La machine est également munie d'une petite grue à potence qui lui sert à sortir de terre et faire tourner à chaque bout du champ le cultivateur tournant, dont l'emploi est très fréquent.

Après avoir exposé l'état actuel de la question et décrit les derniers perfectionnements des appareils de culture à la vapeur, il nous reste à signaler l'insuccès général de toutes les tentatives qui ont été faites en France pour entreprendre le labourage à la vapeur à façon; je crois que ces échecs successifs doivent être attribués à trois causes :

1° Frais de direction trop élevés, ces sociétés n'ayant généralement qu'un appareil et organisant une direction qui pourrait suffire à dix appareils;

2° Déplacements trop fréquents du matériel, ces sociétés n'ayant pas pu, avant d'acheter leurs appareils, faire assez de marchés pour s'assurer le travail nécessaire pour payer l'intérêt et l'amortissement du capital;

3° Mauvais établissement du prix de revient des labours par les agriculteurs du pays, qui l'estiment beaucoup au-dessous de leur valeur et refusent de payer les prix demandés.

Les sociétés de labourage à la vapeur organisées en Angleterre sont dans une situation bien différente. Elles sont fort nombreuses, et, parmi elles, on compte la Compagnie du Northumberland qui possède vingt appareils doubles, système Fowler, c'est-à-dire quarante machines, et une autre compagnie dont M. Hayes, de Grantham, est le directeur, et qui possède seize appareils doubles, du même système, c'est-à-dire trente-deux machines.

On calcule que l'ensemble des sociétés de labourage à la vapeur en Angleterre cultive plus de 24,000 hectares annuellement.

Il y a bien eu quelques insuccès, mais fort rares, et la cause en a été, comme en France, la mauvaise administration ou l'oubli de la précaution de s'assurer à l'avance une clientèle suffisante.

Quant aux moyens de hâter le développement du labourage à la vapeur en France, on peut juger d'après l'exposé ci-dessus qu'il n'est pas très facile de les indiquer.

Un ingénieur éminent, M. Hervé-Mangon, a traité à fond la question du labourage à la vapeur dans son remarquable *Traité du génie rural*, et il fait observer que « cette question est appelée à jouer un grand rôle dans la situation économique de la France; car, si l'on tient compte que la dépense des la-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bours entre pour une forte proportion dans les frais de production de toutes les plantes cultivées, et que la bonne préparation du sol exerce la plus grande influence sur l'abondance et la qualité des récoltes, on comprendra que toute économie réalisée ou toute amélioration obtenue sur l'exécution du labourage se traduit, pour un grand pays agricole comme le nôtre, par des centaines de millions de bénéfices annuels.

« La culture par la vapeur, en diminuant le travail des animaux de trait, permet d'en supprimer une partie, et ce résultat serait considérable au point de vue des intérêts généraux du pays, car les animaux de travail devenus inutiles sont nécessairement remplacés par un nombre correspondant de bêtes de rente ou d'engrais. Chaque kilogramme de charbon brûlé dans la machine représente un poids de foin plus ou moins considérable que les chevaux ou les bœufs de travail ne consomment pas et dont peuvent profiter les vaches à lait, les bœufs à l'engrais et les moutons. L'agriculteur peut ainsi transformer en viande ou autres produits animaux les fourrages qu'il est ordinairement obligé de transformer en travail mécanique; il réalise ainsi un profit plus grand et augmente d'autant la quantité de viande livrée à la consommation générale. »

Ce tableau si brillant qui nous est fait par M. Hervé-Mangon, de la France faisant toute sa culture à la vapeur, c'est à vous, Messieurs les ingénieurs, à nous aider à le réaliser.

Rappelez-vous les objections que l'on faisait il y a trente ans aux machines à battre et à tous les autres appareils mécaniques dont l'usage est maintenant général.

Faisons surtout appel à tous ceux qui s'occupent spécialement de génie rural, qu'ils ne se découragent pas en prêchant cette nouvelle croisade, et surtout qu'ils n'oublient pas que notre principal ennemi, c'est la routine, défaut essentiellement agricole et tellement bien enraciné que la charrue à vapeur elle-même a beaucoup de peine à l'arracher. (Applaudissements.)

DISCUSSION.

M. Debains. Messieurs, je viens vous demander de compléter, à un point de vue différent de celui que vous venez d'entendre, les études sur la question si intéressante du labourage à vapeur et qui doit prendre, dans notre pays comme dans les pays étrangers, une très grande place, une place prépondérante dans la question de l'agriculture relative à l'amélioration du sol.

La question posée par le Congrès est l'étude de la culture à vapeur, de l'état actuel de la question et des moyens à employer pour hâter son développement.

C'est au point de vue mécanique, au point de vue des résultats à obtenir et du but à atteindre dans les appareils à construire, que je vais étudier la question. S'il m'avait été donné un temps un peu plus long pour vous apporter ici le résultat d'expériences nombreuses faites depuis plusieurs années, et s'il m'avait été permis de terminer des travaux qui ne sont pas aujourd'hui complètement finis, j'aurais pu vous apporter des renseignements plus com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plets. Mais je ne veux apporter à cette tribune que des renseignements positifs. Je ne veux pas non plus avancer des assertions à la légère.

Je vous demande donc la permission d'étudier dans l'appareil à vapeur trois points de vue différents : le moteur et la transmission de la force du moteur à l'outil ; l'outil et, en troisième lieu, le prix de revient du travail.

Le sol. — Comment doit être appliqué le moteur et quelle est la nature du moteur qu'on doit appliquer au labourage à vapeur? La première solution est la plus naturelle; elle a séduit bien des gens : c'est d'appliquer le moteur directement à l'outil, nécessairement le cas étant donné où ce moteur se transporte lui-même sur un champ, une locomotive routière, par exemple. Mais on a vite reconnu que ce moteur ne répondait pas à la véritable solution du problème. En effet, il ne paraît pas rationnel de faire traîner une charrue dans une longueur de 400 à 600 mètres, d'une force de 5,000 à 6,000 kilogrammes, par un appareil pesant 6,000 ou 7,000 kilogrammes. De plus, si la terre est d'une qualité, d'une consistance un peu forte, lorsque le temps sera humide, il deviendra impossible de faire ce travail, la machine pourra se détériorer, et le transport de la machine exigera un effort qui ne sera pas en rapport avec le travail produit.

Une seule étude a été faite dans ce cas : c'est avec la piocheuse Kientzi. On a fait fonctionner cette machine dans les derniers temps de l'empire. Elle a travaillé assez bien, mais elle n'a pas donné cependant, au point de vue du travail de la terre, les résultats qu'on attendait.

Ce n'est pas encore de ce côté qu'il faut chercher la solution du problème.

La seconde solution consiste à placer un appareil moteur à chaque extrémité des champs qu'on veut labourer et de faire mouvoir chacun de ces moteurs alternativement à quantité égale de coupe, dans la largeur des bandes, pendant que l'autre appareil, à l'aide du câble, attire la charrue.

Cette seconde solution, qui paraît adoptée en Angleterre, a donné d'excellents résultats, au point de vue du travail produit, plus, je crois, qu'au point de vue de l'économie du travail; car il y a quelque chose d'irrationnel, lorsqu'on a à faire travailler un champ de 500 à 600 mètres, d'avoir la complication de l'appareil lui-même pour le déplacement de la machine, déplacement qui n'est qu'à 2 ou 3 mètres, tandis que le travail produit par la traction de la charrue est à 500 ou 600 mètres.

Il y a aussi dans cette machine un inconvénient qui consiste dans son poids très considérable, qui a nécessité, dans beaucoup d'exploitations, l'emploi de chemins spéciaux sur lesquels ces machines peuvent se mouvoir. L'installation de chemins spéciaux est une installation très ingénieuse; elle facilite beaucoup le travail, mais elle n'est pas toujours applicable dans les pays où les champs sont assez divisés et les routes sinueuses, où l'on ne peut pas circuler comme dans les grandes exploitations où les champs qu'on a à labourer présentent une surface presque rectangulaire.

Enfin, lorsque le temps est très humide, la machine a des efforts considérables à faire s'il n'y a pas une route spéciale pour son déplacement. Il y a un patinement qui exige une très grande force, et ce patinement peut avoir quel-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quefois l'inconvénient très grand de retarder le travail. Je dois dire que, dans certaines grandes exploitations qui emploient les locomotives routières, on n'a réalisé que le dixième du travail qu'on aurait dû faire, également à cause de cet inconvénient, et que même, dans certaines de ces exploitations, on a été obligé d'employer le câble pour tirer les machines de l'espèce de fossé qu'elles avaient formé, et cette opération présente quelquefois de grandes difficultés. Cependant il faut reconnaître que le travail qu'on fait avec les machines routières est un travail parfait, et que, dans certains cas particuliers, elles présentent jusqu'à présent les plus grands avantages au point de vue du labourage à vapeur.

Cette solution de l'emploi de deux machines placées aux deux extrémités du champ, cette solution peut être aussi obtenue au moyen de deux machines ordinaires non routières, soit des locomobiles de fermes, qui, à l'aide d'un troisième petit treuil, peuvent se haler sur un point fixe fixé par une ancre à 100 ou 150 mètres en avant de la machine. Cette ancre peut être placée avec facilité le matin avant que la machine ne soit en pression. Mais dans ce cas, vous avez encore, comme dans le système précédent, cet inconvénient d'avoir deux machines, deux mécaniciens; et l'une des deux machines qui ne produit pas de travail utile pendant que l'autre tire la charrue. Ces inconvénients ont vivement préoccupé les constructeurs, qui se sont appliqués à chercher une solution. Ils en ont trouvé une qui paraissait être beaucoup plus ingénieuse, et devoir donner des conditions économiques bien meilleures. Cette solution consistait à employer deux machines d'une force moindre, pouvant, à l'aide de câbles attachés sur la charrue, utiliser leur double force pour traîner cette charrue, et travailler ainsi concurremment. Cette solution, très ingénieuse, n'était malheureusement pas pratique, et je ne conseille à personne de s'engager dans cette voie. Il y a là de graves inconvénients, d'abord une grande complication dans l'appareil d'enroulement du câble, qui nécessite deux câbles et tout un système de renvoi très considérable qui complique et alourdit beaucoup les machines. En outre, quelle que soit la manière dont on construit ces machines, on ne peut arriver à les faire marcher toujours à la même vitesse, de telle sorte que, au lieu d'utiliser deux machines, on n'en utilise véritablement qu'une seule, l'un des câbles étant mou, tandis que l'autre traîne tout le poids de la charrue.

La troisième solution consiste à avoir une machine, routière ou non, placée sur l'un des côtés du champ; sur l'autre côté est une ancre de renvoi automotrice et deux ou trois tambours de treuils, servant à enrouler le câble qui passe en avant de la machine, puis sur une poulie fixe placée à 100 mètres environ de cette machine sur un côté du champ, puis sur une autre poulie placée sur un autre côté du champ, enfin sur l'ancre automotrice, et venant s'attacher à la charrue. Vous avez donc de ce côté un câble qui entoure une partie du champ, et fait un enroulement de 200 mètres plus considérable que la longueur même du champ; et, de l'autre côté, sur la même machine, un autre treuil pouvant tirer directement la charrue de l'ancre de renvoi à la machine.

Dans cette solution, vous voyez que vous avez, d'un côté, un câble embrassant une partie du champ, et, de l'autre, une traction directe; de sorte que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vous avez d'une part les avantages du système à deux machines et de l'autre une traction directe, avec une usure de câble, une dépense de force et des frottements un peu plus considérables: dépense et frottements que nous étudierons tout à l'heure quand nous nous occuperons du prix de revient.

Il y a aussi un autre système qui paraît abandonné de son inventeur lui-même, quoiqu'il m'ait, en particulier, donné de très bons résultats. Il consiste à placer une machine fixe à un coin du champ, et, de l'autre côté, deux ancres automotrices, ce qui permettait à la charrue de marcher entre ces deux ancres, qui se rapprochaient petit à petit de la machine fixe. Mais dans ce travail on était obligé d'avoir deux câbles roulants et deux câbles traînants, et plusieurs points d'attache qui pouvaient, dans les temps humides, se rapprocher et se défaire, demandaient un placement assez long, et qui, lorsque le champ était d'une très grande longueur, exigeaient des déplacements trop fréquents. Cependant avec ce système, bien employé, pratiqué par des ouvriers habiles, on pouvait encore arriver à faire un travail assez considérable, et le prix de revient n'aurait pas été très élevé, peut-être moins élevé qu'avec l'appareil Fowler, si le coût des déplacements n'était pas venu augmenter sensiblement ce prix de revient. Quant au système dont nous venons de parler, comportant une seule machine placée sur un côté du champ avec ancre de renvoi, je crois que dans ces conditions il vaut mieux employer une machine locomobile de ferme tout ordinaire, et faire haler avec un troisième treuil placé sur un point fixe à l'avant de la machine, parce qu'il y a toujours nécessité d'avoir un point d'appui pour l'ancre de renvoi et le déplacement des poulies mobiles. Il y a, dans ce cas, à étudier, sur le parcours du câble, les frottements qui se produisent dans le travail indirect, d'abord sur la première poulie de renvoi, puis sur l'autre poulie, puis sur l'ancre automotrice.

Après avoir fait des études très complètes et qui durent depuis plusieurs mois, je me suis rendu compte que le travail débité par la machine, lorsqu'elle tire la charrue par ce grand développement de câbles, n'était pas d'un demi-cheval supérieur au travail exigé par la traction directe de la machine, et que ce travail est alternatif, qu'il n'a lieu que la moitié du temps; il en résulte que le travail nécessité par ces enroulements, qui paraissent effrayer beaucoup de gens, ne dépasse pas 10 à 12 kilogrammètres, c'est-à-dire de 40 à 50 centimes.

Du reste, au point de vue de ce système et de la dépense de temps qu'entraîne le placement de ces œuvres chaque matin, cette dépense de temps représente, avec des ouvriers bien exercés, une demi-heure à peu près, c'est-à-dire un vingtième du temps total, ou 3 francs pour la dépense journalière en argent, qui est de 60 francs. Enfin l'usure du câble, c'est-à-dire des 500 mètres de câble nécessités en plus de la traction directe, peut coûter environ 2 francs par jour. De telle sorte que la dépense qu'entraîne l'emploi de ce système serait d'à peu près 6 ou 7 francs par jour. Reste à savoir encore quelle est la dépense résultant de l'usure, du frottement et de la force employée par les enroulements du câble, comparée à la dépense d'une seconde machine et à l'usure et au frottement d'une seconde machine. Eh bien! si vous examinez chacun des organes de cette seconde machine travail-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lant, les coussinets, les arbres, les chaînes de l'ancre, l'usure et l'amortissement de cette machine, vous arrivez à une somme à peu près égale et même supérieure à celle que je viens de vous indiquer. Si donc on veut bien examiner cette question et faire des expériences plus complètes, expériences que j'appelle de tous mes vœux, on se rendra probablement compte de la différence qui peut exister entre la dépense nécessitée par le prolongement du câble et la dépense d'une seconde machine. On a l'avantage aussi de ne pas avoir besoin d'un second mécanicien; les mécaniciens sont aujourd'hui des gens rares et difficiles à trouver, surtout pour conduire des machines qui demandent des soins et qui, toujours exposées à la pluie et aux intempéries de toutes sortes, doivent être confiées à des ouvriers très habiles et très cher payés.

Enfin, en employant les locomobiles ordinaires de ferme, vous avez l'avantage de vous servir de machines qui existent aujourd'hui dans la plupart des exploitations. Peut-être, en France particulièrement, les locomobiles employées étant de 6 chevaux, sont-elles un peu faibles pour le labourage. Mais les constructeurs de locomobiles eux-mêmes m'ont affirmé que chaque jour on tendait davantage à construire pour l'agriculture des locomobiles de 8 à 10 chevaux, parce que l'on avait reconnu qu'en employant des machines plus puissantes, on avait une consommation moindre, une usure moins considérable, et la possibilité de dominer le travail, ce qui est excessivement important, dans les travaux de battage en particulier.

Enfin la locomobile de ferme est une machine aujourd'hui très connue; les types en sont très variés, et on en construit de beaucoup de dispositions différentes, tant en France qu'à l'étranger. On peut donc choisir, dans chaque localité, la machine locomobile du pays, pour laquelle on peut faire les réparations de la manière la plus facile.

La question du moteur étudiée, je parcourrai très rapidement la question de l'outil, qui a été, selon moi, beaucoup trop peu étudiée jusqu'à présent. Doit-on employer la charrue? Telle est la première question qui se présente. Les Anglais pensent, eux, que l'on peut remplacer la charrue par l'instrument qu'ils appellent le *cultivateur* et qu'ils emploient aujourd'hui sur une très grande échelle; instrument qui a le très grand avantage de pouvoir pivoter sur lui-même, et d'être d'une manœuvre bien plus facile que la charrue à bascule employée jusqu'à présent. En France, je crois que nous aimons mieux employer la charrue à versoir, et je crois que la nature de notre climat et de nos terres justifie cette préférence, surtout dans les pays où l'on a besoin de mettre plus de terrain à l'air pour qu'il subisse les influences atmosphériques, les influences soit de la gelée, soit de la pluie, soit du soleil. Le versoir donne chez nous de meilleurs résultats. C'est donc du côté de la charrue qu'en France nous devons porter toutes nos études et tous nos efforts.

La charrue dont on fait usage jusqu'à présent pour le labourage à vapeur est la charrue à bascule. Elle a d'un côté un certain nombre de corps de charrue, puis deux roues qui portent sur le sol, et, de l'autre côté, placés symétriquement, un même nombre de corps de charrue qui doivent, à l'extrémité du champ, basculer sur les roues et reprendre les sillons, en agissant comme une charrue ordinaire qui tournerait.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'emploi de cette charrue présente, au point de vue mécanique, un très sérieux inconvénient: c'est que tout le poids des corps de charrue qui ne travaillent pas vient peser sur les roues et leur infliger un travail parfaitement inutile, et qui ne laisse pas d'être très considérable lorsque les terrains sont humides. En outre, le maniement de cette charrue, par les temps humides et dans la plupart des terres, exige deux et quelquefois trois hommes, et demande un temps assez considérable pour qu'on vienne replacer le câble qui ne travaille pas, et qui, étant placé sur la charrue, sert à la faire talonner.

Je crois qu'il y a une solution bien meilleure à ce problème du travail de l'outil, que la charrue à bascule : Ce serait la charrue à câbles; aux deux extrémités seraient attachés les câbles, et cette charrue pourrait se manœuvrer dans le câble lui-même, à l'aide d'instruments puissants qui remplaceraient la main de l'homme, et qui permettraient d'effectuer ce travail avec une grande rapidité.

Mais comme cette question de la charrue demande des études particulières, il faudrait dépenser bien du temps et de l'argent pour arriver à la solution de ce problème, et jusqu'à présent, les capitaux n'ont pas l'air d'affluer beaucoup vers la question du labourage à vapeur.

Cette question de l'outil, indiquée plutôt qu'étudiée, plutôt que résolue, je dirai deux mots sur la question du prix de revient.

Cette question est extrêmement difficile à établir. Je ne pourrai, dans ce cas, que donner des résultats personnels; que des expériences soient faites sur ce prix de revient afin qu'il vienne éclairer le public, et permettre de se rendre compte de la somme de travail produite par hectare et de la dépense faite.

Les dépenses varient beaucoup selon la nature du pays.

Avec l'appareil double de Dombasle, d'après les chiffres de M. Decauville que je considère comme exacts et qui ont été donnés avec une très grande impartialité, — je dis cela, sans avoir le désir de faire le moins du monde l'article pour cet appareil, — d'après ces chiffres, la dépense serait de 100 à 1/10 francs par jour pour l'appareil à 12 chevaux. Sa consommation est de 800 à 1,000 kilogrammes de charbon, ce qui ferait 5 kilogrammes par force de cheval et par heure, dépense que je regarde comme n'étant pas extraordinaire, en admettant même que la machine ne fasse pas un travail beaucoup plus considérable que celui indiqué avec 10 ou 15 chevaux.

La consommation par hectare serait de 130 kilogrammes de charbon, pour un travail de 15 à 20 centimètres. C'est un chiffre assez considérable pour les pays où, comme en Égypte, le charbon est à un prix élevé.

La dépense de charbon est de 150 à 180 kilogrammes pour un travail profond de 15 à 20 centimètres, à 4 hectares par jour.

La consommation du charbon est de 85 à 90 kilogrammes, si on emploie les locomobiles anglaises, machines faciles à conduire et qui sont très simples au point de vue de la dépense du charbon, mais qui sont loin de donner des résultats aussi satisfaisants qu'elles le pourraient.

En étudiant la question, on pourrait cependant réduire de beaucoup la dépense du charbon par hectare. La dépense de 2 à 3 kilogrammes par cheval

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et par heure sur le terrain n'est pas excessive parce qu'on n'est pas dans les conditions les meilleures pour charger la machine, pour régler la dépense, comme lorsqu'on a une machine placée à l'intérieur.

J'ai fait aussi des travaux pour me rendre compte de la dépense du labourage à vapeur comparée à la dépense faite avec des moteurs animés, et je suis arrivé à ceci, dans l'état actuel de la question, c'est que quand c'est un labourage de 18 à 20 centimètres, le labourage à vapeur donne des résultats, se rapprochant le plus, qui sont à peu près l'équivalent du travail avec les moteurs animés, le charbon non compté. Avec des machines puissantes on peut faire un labour de 40 à 50 centimètres. Mais s'il s'agit d'un labour léger pour lequel on doit employer un instrument moins puissant, on trouve que la dépense est infiniment moindre que la dépense d'attelage.

Dans les terres fortes, là où l'on a à trancher de 40 à 50 centimètres, où il faut un labour travaillé, on obtient, pour les plantes à racines par exemple, pour les luzernes, des résultats bien supérieurs, avec la machine à vapeur, à ceux qu'on obtiendrait avec la culture par chevaux.

Je ne veux pas entrer dans de plus longs développements afin de ne pas fatiguer l'assemblée et je résumerai la question du labourage à vapeur en appelant tout spécialement la sollicitude du génie civil sur cette importante question de la culture à vapeur qui ne peut pas maintenant être aussi fortement développée qu'on doit le souhaiter à cause des difficultés que présente la main-d'œuvre, en disant que le labourage à vapeur prendra tout son développement lorsqu'on s'appliquera à faire des appareils en rapport avec les besoins de la contrée, avec la nature du sol, avec les ressources du cultivateur, lorsqu'on étudiera les différents points de vue de son application, lorsqu'on sera arrivé à avoir des appareils très différents, selon chaque pays. J'ajoute que tant que vous n'aurez pas obtenu pour ce genre de culture des résultats économiques, vous risquez de ne pas le voir adopter sur une vaste échelle.

La question est complexe. Elle ne consiste pas à dire : tel ou tel système vaut mieux que l'autre; celui-ci a donné des résultats meilleurs que celui-là. Il s'agit de savoir s'il peut être appliqué à tel ou tel pays, s'il est en rapport avec les ressources de ce pays, avec les moyens qu'on a dans chaque pays, pour faire les réparations qui peuvent devenir nécessaires. Quand la question sera étudiée à un point de vue spécial, que les agriculteurs seront poussés dans cette voie par le génie rural, on aura fait faire un grand pas à la question de la culture à la vapeur, qui deviendra la première question dans notre pays comme dans les pays voisins. (Applaudissements.)

M. le Président. M. Ganneron a la parole.

M. Ganneron. Vous n'attendez pas de moi, Messieurs, que je fasse une critique du labourage à vapeur. Cette critique ne saurait être certainement dans la pensée de celui qui, il y a vingt ans, frappé de la nécessité d'appliquer les machines à l'agriculture, comme on les appliquait aux besoins de l'industrie, consacrait, dès lors, sa fortune et son existence aux progrès du matériel agricole, aux associations créées en faveur de ses convictions, et qui osa bientôt rêver l'introduction, en France, de la vapeur à la culture des champs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

De tous les appareils que j'ai vus alors, un seul a survécu, au moins comme le plus pratique, c'est celui de Fowler, qui avait déjà donné les meilleurs résultats à cette époque.

Nous devons féliciter M. Decauville de sa persévérance. Mais s'il est satisfait de ce qu'il a fait, pourquoi le serait-il tout seul ? Pourquoi d'autres ne le seraient-ils pas ? Si ses conditions d'installation, quelque dispendieuses qu'elles soient, sont suffisamment rémunératrices, pourquoi ne seraient-ils pas dans les mêmes conditions et même dans des conditions meilleures? Il n'y a certainement pas qu'une sorte de culture. La culture de la betterave n'est pas générale. Il y a des pays de céréales. Si on applique le labourage à vapeur dans les conditions où il est possible de l'appliquer, dès aujourd'hui, j'en suis convaincu, des centaines d'appareils fonctionneraient dans nos fermes comme chez M. Decauville.

Pour atteindre ce but, il faut procéder autrement qu'on ne l'a fait jusqu'à ce jour. Nous voici dans la bonne voie, tâchons de n'en pas sortir.

Il était nécessaire d'organiser une école des machines à vapeur. Cette école, la voilà, me semble-t-il, installée sur la ferme de Petit-Bourg. Là, vous trouverez tous les conseils nécessaires à ce que vous voudrez entreprendre comme travaux perfectionnés.

Il ne faut pas oublier, il est bon de rappeler peut-être les causes de l'insuccès de ces expériences assez nombreuses qui ont été faites en France. C'est qu'on n'a pas procédé comme on aurait dû le faire. Ainsi, par exemple, à une certaine époque, je me rappelle avoir vu introduire dix charrues Fowler à la fois; mais comment ces charrues ont-elles été introduites? A quelles mains ont-elles été confiées ? Dans quelle culture ont-elles été placées? On ne s'en est pas inquiété. On demandait une charrue à vapeur, et cette charrue, qui était à la disposition de tout le monde, on l'envoyait. Le propriétaire, satisfait d'avoir chez lui une charrue à vapeur, ne s'inquiétait pas des sacrifices à faire pour la faire fonctionner. Il est certain que nous ne saurons peut-être jamais comment il l'employait. Cela a jeté certainement un grand discrédit sur la culture à vapeur. Il faut, je crois, le dire bien haut et que nous sachions aujourd'hui que nous ne sommes pas dans les mêmes conditions qu'autrefois.

Il est certain qu'il faut pour résoudre cette question le concours des capitaux. C'est ce qui a manqué également aux essais qui ont été faits jusqu'à ce jour. Pour le système Fowler, comme cela arrive pour les autres, c'est l'expérience qui a assuré sa prépondérance dont on vient de vous rapporter les résultats heureux et certains.

Eh bien! suivons : le capital arrive, il faut que l'on sache bien, et c'est une chose que vous devez répéter encore, que l'introduction de la vapeur dans les champs n'est plus une utopie et qu'elle a pour l'avenir les nécessités.

Aujourd'hui vous pouvez répondre au manque de bras, à la cherté de la main-d'œuvre, par l'introduction des instruments perfectionnés de culture.

J'ai fini... Si vous considérez toutes les questions complexes dont nous sommes entourés, vous pouvez admettre, je crois, que l'on ne s'arrêtera pas là et qu'il faudra le concours des machines à vapeur pour les champs.

Vous venez d'entendre les conclusions du précédent orateur. Si je les avais

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

connues, j'aurais pu renoncer à prendre la parole, car je ne puis que les approuver.

Oui, la question est complexe; il faut l'étudier, comme l'ont fait les Anglais, avec une persévérance qui n'est bonne que pour décourager, je l'avoue. Mais il faut avoir un point de départ et il faut voir quelles seraient les terribles conséquences de l'avenir, si nous nous laissions surprendre.

J'ai vu en Angleterre des appareils de labourage à vapeur dont il n'est plus question aujourd'hui et dont on riait beaucoup, tels que l'appareil Nitchkock, — je ne sais si je me rappelle exactement le nom; — on riait beaucoup de voir dans les champs une locomotive traînant tous les appareils de culture. Eh bien! tout cela a disparu aujourd'hui; mais si l'on s'était découragé après une ruineuse expérience, où serait aujourd'hui l'appareil Fowler? Il serait où est la charrue Kientsi, que nous verrons peut-être reprendre un jour, car elle a sa raison d'être, et elle a eu son moment de succès. On vient de vous dire à quels travaux importants on l'avait employée en Hollande; et moi-même je puis vous parler savamment de ce pauvre appareil. Il n'était pas certainement dans des conditions suffisantes; il n'avait pas derrière lui un capital assez fort pour avoir un moteur convenable, une surface de chauffe en rapport avec les besoins pour faire toutes les différentes expériences de pioche. Et cependant il a paru dans les concours, et dans certaines conditions, avec des jurys internationaux, la charrue Fowler étant là; on a jugé à propos de le récompenser. Ce n'est pas une raison, parce qu'il n'existe plus aujourd'hui, pour que la question des piocheuses (que je ne vois représentées ici par aucun appareil) ne soit pas prise de nouveau en considération. Oui, il faut reprendre cette grande question du labourage à vapeur et l'étudier à tous les points de vue; il faut se garder de s'attacher à un appareil unique; il faut chercher des appareils convenables pour les grandes cultures, et aussi, surtout, pour les petites cultures. Je crois que, si l'on persévère dans cette voie, on arrivera certainement au succès que nous désirons et dont nous faisons aujourd'hui une si heureuse expérience à Petit-Bourg. (Applaudissements.)

M. le Président. La parole est à M. le comte de Salis.

M. le comte de Salis. Messieurs, je ne crois pas être importun en demandant la permission de vous adresser quelques mots. Comme nous l'ont très bien dit M. Debains et M. Ganneron, la question est extrêmement complexe, et je voudrais insister sur certains points qui n'ont été pour ainsi dire qu'indiqués, soit par M. Debains, soit par M. Decauville, soit par M. Ganneron. L'un de ces points est celui-ci: je voudrais voir disparaître le mot de « labourage à vapeur », parce que la question est beaucoup plus vaste. En réalité, c'est de la culture à la vapeur qu'il est question, et c'est le point de vue qui doit rester dominant dans les discussions et dans les préoccupations qui conduiront aux améliorations futures, et dans les enseignements qui permettront d'apprécier ce qui se passe aujourd'hui. C'est, je crois, le grand avantage qui résulte de l'emploi des locomotives pour la traction des différents appareils, qui promet d'arriver, avec les procédés de culture à vapeur, à un système complet de préparation du sol, qui conduit à une amélioration immense et à l'augmenta-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion du produit des récoltes, ce qui est, en définitive, le but final de toute exploitation agricole. Avec la charrue à vapeur et les appareils variés qui s'ensuivent, vous pouvez faire les travaux les plus grands et je voudrais insister là-dessus. M. Debains a très justement appelé l'attention du Congrès sur les appareils de culture proprement dits, dont on s'est jusqu'ici très peu occupé, pour se consacrer uniquement à l'étude du moteur qui a, lui aussi, sa très grande importance. Eh bien! ces appareils de culture sont très variés. On vous a parlé des charrues proprement dites, et M. Debains a fait observer que le *cultivateur* leur était préféré en Angleterre. Je le comprends très bien, parce que, toutes les fois qu'il s'agit de faire des travaux pour les céréales, le cultivateur peut être avantageux. Mais en France aussi, cet outil peut être extrêmement utile, et c'est un des points qui donnent de très grands produits en matière de culture à vapeur. Vous pouvez vous servir du cultivateur tournant, immédiatement après la moisson pour le labourage d'automne, quand tous les ouvriers agricoles font défaut dans la campagne. Avec cet appareil de culture à vapeur, installé, je le répète, derrière les moissonneuses, et qui se trouve tout monté, vous pouvez, à l'aide de cinq ou six hommes au plus, des hommes spéciaux qui ne pourraient être employés à un autre travail, obtenir avec rapidité une culture dérobée; vous pouvez gagner une récolte de plus par an ; c'est un des grands avantages de la culture à vapeur, et vous vous débarrassez en même temps de toutes les herbes parasites qui grainent quand on laisse les chaumes sur place.

Je voudrais insister aussi sur le très grand intérêt que peut avoir la culture à vapeur pour l'amélioration des sols pauvres sur lesquels il faut faire des labours légers. Vous avez des appareils qui déforment le sol sans le retourner. Vous arrivez à un ameublissement profond de la terre, et vous soumettez aux variations atmosphériques une couche arable très profonde sans amener à la surface des portions de sol incultes et difficiles à féconder. Par conséquent, il y a là encore une amélioration dans le produit.

Quant à la question du moteur, elle est complètement liée à celle de l'étendue des terres à cultiver. D'après les recherches que j'ai faites et les renseignements très nombreux que je possède, je crois que l'appareil à deux moteurs est très préférable quand il s'agit de grandes exploitations. Mais les personnes qui veulent employer ces appareils dans des conditions qui ne leur sont pas favorables, sont certaines d'arriver à des insuccès, et c'est là une des causes des échecs qu'a rappelés M. Ganneron. Il faut d'abord avoir une étendue de terre de 250 à 300 hectares pour pouvoir utiliser convenablement cet immense matériel. Mais, avec ces appareils, vous êtes sûrs de donner toutes les façons possibles à la terre, et cela avec une très grande facilité.

M. Debains a parlé encore de la consommation de charbon. Je voudrais en dire quelques mots. Les machines livrées par MM. Fowler sont nominalement de 10 ou 12 chevaux, je crois, mais elles sont extrêmement puissantes, et il est facile de porter leur travail à 20 ou 25 chevaux, ce qui diminuerait par conséquent d'une façon considérable le nombre de kilogrammes de charbon consommés par cheval et par heure. Je n'ai pas besoin d'insister, devant une réunion d'ingénieurs, sur le très grand avantage qu'on a, pour faire exécuter

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un travail donné, à posséder des moteurs très puissants et supérieurs au travail normal qu'on en doit attendre. Cela permet de vaincre les difficultés inattendues. Vous rencontrez souvent, dans le labourage, des portions de terrain un peu plus dures à labourer, vous avez de petites côtes à monter; à ces moments-là, si vous avez des mécaniciens habiles et soigneux, ils sont en pression et ont un léger excédent de vapeur. Par conséquent ils arrivent à franchir ces obstacles en imprimant à la charrue un mouvement régulier, ce qui est très avantageux. Toutes les parties du sol se trouvent ainsi ameublies exactement dans les mêmes conditions.

Permettez-moi maintenant de vous entretenir d'un point important et qui a soulevé beaucoup de contradictions de la part de certaines personnes: je veux parler du câble. Ce câble s'use, et sa durée est équivalente, en général, à cent jours de travail effectif. Mais, avec beaucoup de précautions, on peut en prolonger la durée et en même temps faciliter le travail de la machine. Il faut faire en sorte d'épargner au câble des frottements sur le sol, car c'est cela surtout qui l'use: si le câble s'use, ce n'est pas par la traction de la machine, ni même par son enroulement sur la poulie à gorge; c'est surtout par le frottement continuel sur le sol, particulièrement quand vous avez affaire à un sol siliceux ou granitique. Évidemment il en résulte une usure très considérable. Au moyen d'artifices qu'il est bien facile de prévoir, on peut très aisément prolonger la durée du câble; on en a plusieurs de rechange et, quand il y en a un qui est un peu fatigué, on l'emploie pour des travaux légers de hersage ou de labourage. Mais il ne faut pas non plus espérer qu'on prolongera beaucoup la durée des câbles par les épissures que l'on fait quand ils se cassent, parce que l'usure est à peu près égale partout, et que le câble se rompt alors à côté de l'épissure.

Tels sont, Messieurs, les principaux renseignements que je voulais donner au Congrès. (Applaudissements.)

M. Ganneron. Je demande à M. le Président la permission de dire quelques mots à l'occasion d'une des assertions qui viennent d'être produites relativement à la force des machines. Je crois que l'observation que je désire faire sera bien à sa place dans une réunion d'ingénieurs.

Quand donc saurons-nous exactement quelle est la force d'une machine locomobile? N'y a-t-il pas lieu, à cet égard, d'émettre un vœu pour que la désignation de la force des machines soit uniforme, internationale? On vient de nous dire que la force d'une machine, qui est nominalement de 10 chevaux, pourrait être portée à 25 chevaux. Mais alors il faut dire que c'est une machine de 25 chevaux!

M. le Président. C'est la question de l'unification du cheval-vapeur, qui sera traitée demain.

M. Ganneron. Peut-être serait-il bon que l'assemblée, qui demain ne sera peut-être pas composée des mêmes membres que celle-ci, émît un vœu à cet égard.

M. le Président. Je crois que tout le monde est d'accord là-dessus.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La parole est à M. Debains.

M. Debains. M. de Salis vient de dire que la force réelle des machines est plus considérable que leur force nominale. Mais, Messieurs, dans les observations que j'ai présentées, je n'ai étudié que la question de la consommation de charbon par hectare. De cette façon, par conséquent, tout se trouve nivelé et régularisé. Qu'est-ce que fait la force? J'ai donc dit que je croyais que les machines Fowler, en général, dépensaient plus de charbon par hectare que les autres appareils; mais c'est une assertion qui peut être contestée, et je demande que des études soient faites sur ce point.

Quant à la question de l'usure des câbles, je crois que M. de Salis pourra effrayer très sensiblement les personnes qui s'occupent de labourage à vapeur, en avançant qu'un câble ne doit durer que cent jours. Pour moi, je pense que, toutes les fois qu'on ne fait pas travailler le câble à l'extension, et qu'on ne lui demande pas une force supérieure à celle qu'il peut développer, il peut, même dans les terrains siliceux, fournir deux cents à deux cent cinquante jours de travail.

M. le Président. La parole est à M. de Cossigny.

M. de Cossigny. Je n'apporte, Messieurs, aucun document nouveau sur la question qui vient d'être si bien traitée devant vous. Je désire faire une simple observation pour insister sur quelques considérations qui déjà ont été touchées, mais légèrement, par les préopinants. Cette observation se rapporte à l'utilité de l'emploi de machines pouvant labourer, de machines de toute espèce, mais un peu restreintes et appropriées à la petite culture.

Il faut remarquer qu'en France la propriété est généralement et sensiblement plus divisée qu'en Angleterre; c'est dans ce dernier pays surtout que les machines à vapeur sont employées avec succès à la culture des champs.

Certainement, je suis grand admirateur des grands appareils qui fonctionnent le mieux aujourd'hui et de leur introduction dans la culture. Mais il ne faut pas se dissimuler que dans un certain nombre de provinces de France les propriétés sont extrêmement divisées; que les grandes fermes sont, dans certains endroits, presque l'exception, et que les divisions, dans beaucoup de parties de la France, tendent à devenir de plus en plus considérables. Dans certains départements, presque tous les propriétaires sont de petits cultivateurs qui n'ont pour ainsi dire que des parcelles, et alors même que leur propriété acquiert une certaine importance, elle se compose d'un certain nombre de parcelles qui ne sont pas toujours contiguës. Je pourrais citer des départements où presque tous les champs se composent de langues de terre qui, comme maximum, n'ont pas plus de 3 mètres de largeur, qui ne sont pas généralement des rectangles, qui ont la forme d'un arc de cercle et dont les groupes présentent souvent la forme de l'S.

Il est évident qu'un appareil à vapeur avec câble serait impuissant à fonctionner dans des propriétés de ce genre. Je voulais donc dire que tout en étudiant les appareils et en les perfectionnant, en multipliant les améliorations susceptibles d'en assurer l'application, il est très désirable que l'attention des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

constructeurs, se portant sur ces machines, rende la culture à vapeur plus accessible à la petite propriété.

Pour les machines à battre dont on a parlé, il y aurait un progrès immense à faire. Il consisterait à rendre toutes ces machines portatives, pouvant être facilement déplacées, facilement mises en action par un manège, également transportables, ou par une locomotive dont le transport lui-même serait facile.

Il s'est formé des entreprises de battage, et il y a des personnes qui, ayant une machine, la transportent dans toutes les propriétés successivement; mais quand il s'agit du battage des gerbes, qu'on ne peut plus sortir des champs, qu'il faut se réunir sur un point donné, l'application de la machine présente des inconvénients.

Pour les piocheuses dont on a dit quelques mots, je demanderai aussi qu'elles soient perfectionnées, c'est-à-dire qu'elles puissent fonctionner partout.

Il me paraîtrait d'un grand avantage pour la France qu'on pût trouver un système qui ne nécessitât pas de très grands engins et pût fonctionner même dans un espace restreint. Cela n'empêcherait pas la machine de fonctionner dans de grandes propriétés. Il reste à cet égard une lacune qui me paraît très intéressante à combler. (Applaudissements.)

M. Hervé-Mangon, *président*. L'ordre du jour est épuisé; mais puisque vous voulez bien me le permettre, j'ajouterai quelques mots aux communications intéressantes que vous venez d'entendre; je vous demanderai votre indulgence, car je ne pensais pas prendre la parole aujourd'hui et je ne mettrai peut-être pas beaucoup d'ordre dans ce que je vais avoir l'honneur de vous dire.

Je ferai d'abord quelques remarques au sujet des questions qui ont été soulevées par les orateurs précédents, et d'abord à l'occasion du rapporteur, M. Decauville, dont nous regrettons l'absence.

Il existe déjà beaucoup de machines Fowler; 3,000 appareils complets de labourage ont été exécutés depuis l'origine de la création de ce système.

Je ne voudrais pas présenter ce chiffre, sans une observation, à des ingénieurs, parce que les ingénieurs ont l'habitude de faire des moyennes et ne manqueraient pas de dire que 3,000 machines construites en vingt-cinq ans ne donnent qu'une moyenne de 120 machines par an, chiffre peu important comme construction. Je dois donc ajouter, pour montrer le véritable état de la question, que, chez M. Fowler, on fabrique et on vend aujourd'hui 5 appareils complets de labourage par semaine.

D'un autre côté, M. de Salis nous a dit, en très excellents termes, qu'il n'aimait pas le mot de labourage à vapeur, qu'il préférait le mot « la culture à vapeur ». Je suis de son avis et je fais même un amendement à son expression. Je ne voudrais pas que l'on dise : labourage à vapeur, culture à vapeur; je voudrais qu'on s'habituât à dire : « La culture par force mécanique. » Ce vœu m'amène à combler une lacune laissée dans les communications faites à cette séance.

Il y a un appareil de labourage à vapeur, — je me trompe moi-même et j'emploie encore cette expression de labourage à vapeur, je vous en demande

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pardon; — il y a, dis-je, un appareil pour le labourage par les forces mécaniques dont il n'a pas été question, je veux parler du système de M. Fisken.

Ce système est peu connu en France. Il ne figure à l'Exposition que par de petits modèles. Cependant il est véritablement pratique et je l'ai vu fonctionner remarquablement bien en Angleterre.

Le système Fisken constitue une application remarquable des transmissions télodynamiques. Le câble est très léger, animé d'une grande vitesse et peut porter la force dans des champs éloignés de 2 ou 3 kilomètres du moteur lui-même. La puissance d'une chute d'eau, au fond de la vallée, peut ainsi se transporter au sommet des coteaux voisins. Un mécanisme ingénieux, qui fait le plus grand honneur à M. Fisken, recueille au passage la force qui court dans le câble de transmission et l'applique au mouvement de la charrue et des autres instruments de culture.

On a dit, et c'est incontestable, que le labourage à vapeur est plus parfait et donne de meilleures récoltes que les autres labourages.

Il a pour cela plusieurs raisons, je dirai la principale :

Il y a quelques années, j'étais, en Angleterre, dans une grande ferme où on labourait à la vapeur; un vieux laboureur qui labourait encore en tenant les mancherons et qui regardait d'un œil jaloux le labourage à la vapeur, s'approcha de moi et me dit : « Savez-vous, Monsieur, ce qu'il va nous faire ce diable de labourage à la vapeur? Il va nous faire manger par tous les lièvres des environs. » Le bonhomme avait raison, le meilleur moyen d'attirer les lièvres chez soi, c'est de labourer les terres fortes à la vapeur. L'accusation du même praticien indiquait parfaitement, dans sa forme originale, le grand avantage du labourage à la vapeur. Les lièvres, chacun le sait, aiment particulièrement les sols bien secs. Leur opinion est ici d'un grand poids : s'ils viennent sur les terres labourées à la vapeur, c'est qu'elles sont les mieux assainies.

Mais pourquoi ces terres sont-elles les mieux assainies? Cela tient à ce que, dans le labourage à vapeur, l'appareil ne travaille pas comme dans le labourage avec attelage de chevaux ou de bœufs; quand nous labourons avec un attelage de bœufs ou de chevaux, il ne faut pas oublier qu'une partie des animaux marchent dans la raie et qu'à chaque pas qu'ils font, ils compriment énergiquement le sol.

Un bœuf fait 20 kilomètres dans la journée, à chaque pas il avance de 80 centimètres, il fait donc 25,000 pas dans la journée et pose par conséquent un pied 100,000 fois par jour. La surface comprimée à chaque posée d'un pied est de près d'un décimètre carré.

Calculez, Messieurs, la surface considérable qui est foulée chaque jour par le poids d'un animal de 400 à 500 kilogrammes, tombant à chaque pas de quelques centimètres de hauteur.

On vous a dit que le choix, entre tel ou tel système, était une question d'expérience, qu'il fallait étudier la machine suivant le pays, suivant ses besoins, suivant son régime économique. Ces questions sont difficiles, et c'est pour cela que nous appelons l'attention du Congrès du Génie civil sur le labourage à vapeur, dont le développement exige nécessairement le concours des ingénieurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Je ne saurais vous parler, Messieurs, en ce moment, des travaux de constructions navales, de drainage, d'irrigation, de desséchements, qui appartiennent au génie naval, cette branche du génie civil. Je ne peux pas faire passer sous vos yeux le tableau des progrès immenses à réaliser et de l'avenir réservé aux jeunes ingénieurs qui s'en occupent : permettez-moi seulement un mot encore sur la mécanique agricole, puisque ses applications sont à l'ordre du jour.

Il faut remonter bien loin, Messieurs, pour apprécier le rôle de la mécanique agricole dans les sociétés. Chacun de ses progrès élève et améliore le sort de l'homme sur la terre.

En utilisant la force du bœuf et du cheval, à l'aide de la charrue, la mécanique agricole a plus que quadruplé le nombre d'hommes qui peuvent vivre riches et heureux dans une même contrée.

Il faudrait 60,000 hommes pour moudre à bras le blé consommé en France seulement, si les moulins mécaniques n'existaient pas. Telle était, à peu près, en effet, dans l'ancienne Rome, la proportion des esclaves enchaînés aux meules. L'esclavage souillerait peut-être encore l'Europe entière si la mécanique agricole n'avait enseigné l'usage des chutes d'eau pour faire tourner les meules. (Applaudissements.)

Mais ne nous arrêtons pas à ces anciennes conquêtes que l'habitude nous fait oublier d'admirer assez, et regardons les progrès accomplis sous nos yeux. La culture à bras d'un hectare de vigne exige 450,000 à 500,000 coups de houe. Chaque litre de vin commun représente 80 coups de pioche du pauvre vigneron. Le litre de vin fin représente 15 ou 20 fois plus de travail; dans ce petit verre de vin se trouvent condensés peut-être les efforts de 50 ou 60 coups de houe. Mais peu à peu, l'Exposition nous le prouve, les charrues vigneronnes remplacent ce rude travail à bras, et bientôt, n'en doutons pas, le vigneron, jusqu'ici courbé sur la terre, pourra se redresser complètement en bénissant la mécanique agricole. (Applaudissements.)

Il y a moins de quarante ans, le blé mangé en France était battu au fléau. Pour obtenir 100 kilogrammes de grains, il fallait donner 18,000 coups de fléau. Le blé d'une bouchée de pain représentait 5 à 6 coups de fléau. C'était un rude métier que celui de batteur de gerbes, et le pauvre ouvrier qui avait passé l'hiver au milieu de la poussière de la grange, en sortait souvent avec des maux d'yeux et des affections de la gorge plus ou moins graves. Les machines à battre ont presque supprimé maintenant ce rude labeur et les constructeurs de ces machines peuvent s'enorgueillir avec raison d'avoir prévenu plus d'ophtalmies et de bronchites que tous les médecins n'en ont jamais guéri. Voilà encore un bienfait réalisé en quelques années par la mécanique agricole.

Nous assistons au début d'un autre progrès encore plus important. A chaque automne, les fièvres, les rhumatismes désolent nos campagnes. Ce sont les tristes conséquences du travail véritablement excessif de la moisson. Grâce aux faucheuses et aux moissonneuses, les chevaux nous éviteront bientôt ces pénibles travaux, comme ils nous évitent depuis longtemps le travail du labourage. Le cultivateur, affranchi de la plupart des maladies d'automne, verra sa santé générale s'améliorer et la vie moyenne augmenter encore dans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nos campagnes. Le jour est proche où toutes nos moissons seront faites à la mécanique, le cultivateur bénira une fois de plus la mécanique agricole, et le vieux monde remerciera la République américaine de nous avoir donné les faucheuses et les moissonneuses.

On répète souvent en France que les machines agricoles perfectionnées ne conviennent qu'aux pays de grande propriété, comme l'Angleterre. Cette opinion est heureusement démentie par les faits. Les machines perfectionnées ne sont point le privilège des riches cultivateurs. Elles serviront à tous. Le génie de la petite propriété, qui est le génie de la démocratie française, saura bien approprier à ses besoins les inventions nouvelles.

Oui, Messieurs, soyez-en certains, grâce aux progrès des idées, aux progrès de la mécanique, l'âge d'acier, dont nous voyons l'aurore, vaudra mieux que l'âge de fer où nous avons vécu et mieux aussi que l'âge d'or lui-même dont parle la tradition. (Applaudissements.)

La séance est levée à midi.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SÉANCE DU MERCREDI 7 AOÛT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL MORIN,

DIRECTEUR DU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

Ordre du jour : 3e Section. — Machines.

Sommaire. — Sociétés de surveillance des appareils à vapeur : Rapport de M. Cornut; discussion : MM. Testud de Beauregard, Thomasset. — Unification dans les dimensions des organes de machines : Mémoire de M. Casalonga. — De l'unité du cheval-vapeur : Mémoire de M. E. Bourdon; discussion : MM. Casalonga, Paul Le Gavrian.

La séance est ouverte à dix heures un quart.

Le bureau est composé de MM. le général Morin, président; Davidson, Pihet, Gargan, assesseurs, et Testud de Beauregard, secrétaire.

M. le Président. La parole est à M. Cornut, pour nous entretenir des résultats obtenus par les associations de surveillance des appareils à vapeur.

RAPPORT SUR LES ASSOCIATIONS DE SURVEILLANCE DES APPAREILS À VAPEUR,

PAR M. E. CORNUT,

INGÉNIEUR EN CHEF DE L'ASSOCIATION DES PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS À VAPEUR DU NORD.

M. Cornut. Messieurs, je n'ai pas l'intention de vous faire un véritable rapport, mais dans une simple conversation de vous parler de nos associations. Vous savez que les associations de propriétaires d'appareils à vapeur se proposent un double but : le premier, de prévenir les accidents, les explosions de générateurs à vapeur, et le second, d'aider les membres des associations à réaliser des économies dans la production et dans l'emploi de la vapeur. Le premier de ces buts, je n'ai pas besoin d'insister à cet égard, est de beaucoup le plus important, puisque, en somme, il représente un but d'utilité publique, la protection de la vie humaine. Avant d'entrer dans les détails des services des associations, il faut choisir un point de repère, et le seul que nous

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

puissions prendre dans une question de cette nature est évidemment de rechercher par les statistiques quel est le nombre des explosions et quelles en sont les conséquences. L'Administration des mines en France a publié deux tableaux en 1875 et en 1878; le premier tableau des explosions, publié en 1875, comporte tous les accidents arrivés depuis l'année 1868 jusqu'en 1872, c'est-à-dire pendant cinq ans. Le second tableau, qui vient de paraître au 30 juin 1878, présente, au contraire, les explosions des années 1873 à 1876, soit pour une période de quatre années. Si nous examinons les chiffres qui nous sont donnés par ces statistiques, nous trouverons quelques révélations des plus intéressantes. D'abord, le nombre des explosions, par an, pour la première période de 1868 à 1872, a été de 75, soit de 15 par an; pour la seconde période, au contraire, celle de 1873 à 1876, le nombre des explosions est de 97 en quatre ans, soit 24 par an. Ainsi, Messieurs, dans la première période, nous avons une moyenne annuelle de 15; dans la seconde, nous avons une moyenne de 24, soit une augmentation de 60 p. o/o. Je vous avoue que ce chiffre est un peu effrayant. Ne vaut-il pas mieux croire que cela ne tient qu'à un certain nombre de circonstances des plus regrettables, qui, pendant cette période de quatre ans, ont fait augmenter d'une façon aussi considérable le nombre des explosions? Je ne veux pas me prononcer à ce sujet; néanmoins, il n'est pas douteux que, comme l'industrie manufacturière a pris, en France, depuis vingt-cinq ans, une extension des plus considérables, il n'est pas douteux, dis-je, que plus nous allons, plus le nombre des explosions de chaudières va tendre à augmenter.

Si, maintenant, nous laissons de côté le nombre des explosions pour en rechercher les causes, voici ce que nous trouverons dans les statistiques françaises. On a divisé les explosions en différentes catégories: la catégorie n° 1 comprend les explosions de chaudières arrivées par des causes qui ne peuvent être évitées que par les visites et les inspections intérieures des générateurs. Je vous donnerai tout à l'heure quelques explications sur ce que nous appelons les visites intérieures des générateurs. Ces causes sont: les vices de construction, les mauvaises réparations, le mauvais état des tôles, les corrosions, les cassures de la tôle, des rivets à la mâture, le mauvais nettoyage. Dans la première période, c'est-à-dire de 1868 à 1872, cette catégorie de défauts a présenté un total de 33, ce qui représente, sur le nombre total des explosions, 44 p. o/o; pour la seconde période, le nombre en a été de 47, soit une proportion de 48.4 p. o/o.

La seconde catégorie des défauts qui sont relevés dans les statistiques concerne toutes les causes d'explosion qui sont du ressort de l'incapacité, de l'insuffisance des personnes chargées du fonctionnement des générateurs, c'est-à-dire des chauffeurs, des mécaniciens, et, disons-le aussi, souvent des directeurs d'établissements. Cette seconde catégorie a représenté une quantité de défauts qui, pour la première période, donnerait une proportion de 42.6 p. o/o, et, pour la seconde période, de 42.2 p. o/o. Enfin, dans la troisième catégorie se trouvent tous les accidents de chaudières qui proviennent de causes ou fortuites ou inconnues. Ce nombre est de 13.3 p. o/o pour la première période, et de 9.3 o/o pour la seconde. Vous voyez, d'après

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ces chiffres, qu'il y a, en somme, très peu de différence entre les deux périodes, si l'on considère les proportions pour cent. Ceci vous montre également, et je l'indique avec une certaine satisfaction, que le nombre des accidents de chaudières qui proviennent de causes inconnues tend à diminuer et que, au lieu de 13 p. o/o que nous avions dans la première période, nous n'en avons plus que 9 p. o/o aujourd'hui. Il est certain que cette statistique met en évidence un fait qui est malheureusement trop peu connu. Si nous faisons la somme des pour cent des deux premières causes d'explosions, nous avons évidemment les explosions dont les causes sont connues, d'où la conclusion qu'on peut les éviter, et il ne restera plus alors, pour rechercher les causes inconnues d'explosions, que la dernière période, c'est-à-dire les 9 ou 13 p. o/o. Ce fait est très important à noter, on ne saurait trop le dire; tous ceux qui ont été voir les chaudières en s'y introduisant, en faisant l'office de ramoneurs, au besoin, sont bien vite arrivés à cette conséquence : c'est qu'en somme, les raisons plus ou moins fantastiques qu'on a données à certains moments pour expliquer les explosions de chaudières ne peuvent, du moins, en expliquer qu'un très petit nombre, et ce petit nombre, vous le voyez, est à peine de 9 p. o/o pour la France.

Si nous arrivons à la statistique anglaise, vous allez voir que, dans ce pays, il y a une bien plus petite différence entre la proportion d'explosions dues à des causes connues et celles dues à des causes inconnues. M. Marten, ingénieur en chef de la *Midland Steam Boilers*, a publié une statistique des dix années 1866 à 1875 ; le nombre des explosions a été de 642, qu'il a divisées, en prenant les mêmes catégories que pour les statistiques françaises, de la façon suivante : dans la première catégorie, il y a 422 explosions qui ne pouvaient être évitées que par les visites intérieures ; ce chiffre représente 65.7 p. o/o. de toutes les explosions anglaises ; dans la seconde catégorie, il y en a 197, soit 30.7 p. o/o du nombre total des explosions. En Angleterre, on a divisé la troisième catégorie en deux, ce qui me paraît plus logique. Je vous ai dit en effet qu'en France, on avait mis dans une même catégorie les explosions dues à des causes fortuites et imprévues. Or, une cause fortuite, pour vous citer un exemple, c'est cet accident arrivé à une locomotive qui vient dérailler juste à l'entrée d'un tunnel, dont la cheminée est enlevée par la maçonnerie du tunnel, ce qui a amené la rupture d'une partie du corps cylindrique de la locomotive. Aussi, en Angleterre, on a fait la division : les causes fortuites représentent 1 1/2 p. o/o des explosions, tandis que les causes indéterminées ne représentent plus que 3.9 p. o/o, c'est-à-dire, en nombre rond, 4 p. o/o. En Angleterre, grâce, il faut le reconnaître, à ce qu'un de ses ingénieurs les plus éminents, M. William Fairbairn, a pensé, dès 1856, à fonder une association répandue aujourd'hui d'une façon générale, dans tout le royaume de la Grande-Bretagne, on est arrivé à connaître à peu près toutes les causes des explosions, sauf 4 p. o/o.

Ces faits posés doivent nous servir de base pour l'étude que nous avons à faire des moyens destinés à prévenir les explosions.

En France, vous le savez, on a l'habitude de prendre assez facilement, et avec raison du reste, tous ces renseignements dans les statistiques officielles,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Je crois néanmoins devoir faire une observation avant d'aller plus loin. C'est que le nombre des explosions dont j'ai parlé, pour la France, aurait une plus grande valeur si nous connaissions le nombre de toutes les chaudières qui existent dans les usines. Ce nombre est inconnu parce que la déclaration demandée par la loi n'est pas toujours faite par les industriels.

J'arrive à l'étude des procédés à employer pour éviter les accidents. La première question qui est soulevée est l'étude du règlement français.

La chaudière à vapeur a été soumise à des législations qui ont varié. Actuellement, l'usage des chaudières se trouve réglementé par le décret du 25 janvier 1865. Quelles sont les précautions indiquées par ce décret?

Lorsque vous examinez ce décret de 1865, vous trouvez aux articles 5, 6, et 7 tout ce qui concerne les appareils de sûreté, c'est-à-dire les conditions dans lesquelles toutes les chaudières doivent être construites et les appareils dont elles doivent être munies pour pouvoir fonctionner et par conséquent éviter la plus grande partie des accidents de la seconde catégorie.

Je dois faire remarquer tout de suite, Messieurs, avant de donner l'état des appareils de sûreté dans la région du Nord, que, depuis le 22 mai 1843, le manomètre, les deux soupapes et deux appareils à niveau d'eau sont obligatoires. Or, depuis 1843 jusqu'en 1878, il y a trente-cinq ans, et vous allez voir dans quel état on a trouvé, au bout de trente-cinq ans d'existence de la loi, les appareils de sûreté dans un pays qui est le plus industriel de France. J'ajoute que depuis quinze ans, parmi les deux appareils à niveau d'eau, on a spécifié l'obligation du niveau d'eau à tube de verre.

La première année de fonctionnement de l'association du Nord, on a fait une statistique des appareils de sûreté, les seuls qui pouvaient permettre d'éviter, en France, la plus grande partie des 42 p. o/o d'accidents, prescrits par une loi qui remonte à trente-cinq ans, et voici quels sont les renseignements que cette inspection a fournis sur l'inexécution de la loi. Dans la première année, pour les manomètres, on reconnut 43 p. o/o des manomètres qui n'étaient pas en état, parce qu'ils avançaient de 2 ou 3 atmosphères, parce qu'ils ne marquaient plus, parce qu'en un mot ils n'étaient pas dans les conditions nécessaires pour leur bon fonctionnement.

Pour les soupapes de sûreté, on trouve seulement 33 p. o/o de soupapes en état.

En ce qui touche le niveau d'eau à tube de verre, qui, lui, n'avait que douze ans de législation, on trouve seulement 29 p. o/o de chaudières qui sont munies d'un niveau d'eau à tube de verre, en bon état de fonctionnement.

Enfin, Messieurs, parmi le nombre de chaudières qui ont été inspectées, on en comptait 65 p. o/o qui n'avaient qu'un seul indicateur à niveau d'eau. Mais, un fait curieux, c'est que depuis le décret de 1865, le sifflet d'alarme, appareil obligatoire avec la loi de 1843, ne l'est plus. Le sifflet d'alarme est le seul appareil de sûreté qui était à peu près en état, 79 p. o/o, et ceci ne m'étonne pas, parce que les industriels accepteraient volontiers de ne pas avoir de niveau d'eau en état et ils ne se passeraient que difficilement du sifflet d'alarme, parce qu'il prévient le chauffeur par son bruit, et, ce qui est bien

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

important aussi, parce qu'il prévient tous ceux qui entourent la batterie que la chaudière commence à manquer d'eau et qu'il faut à l'instant s'occuper de son alimentation.

Nous avons à prouver que les associations peuvent rendre des services.

Au bout de cinq ans d'exercice, quelle a été l'influence de cette association sur l'état des appareils de sûreté? Je vais vous donner des chiffres du cinquième exercice se terminant au mois de juillet 1878.

Pour le manomètre, nous en avons trouvé 94.63 p. o/o en bon état; pour les soupapes de sûreté, 88.87; pour les indicateurs à tube de verre, 79.62; et enfin pour le sifflet d'alarme, toujours le premier, 94.36.

Vous voyez que, par des conseils, les associations peuvent arriver à faire comprendre l'intérêt véritable de l'industriel, qui consiste à se soumettre volontairement à la législation; car il ne s'agit, bien entendu, que d'associations donnant des conseils pour amener les industriels à se soumettre aux règles prescrites par la loi. Évidemment, dans ces conditions, on arrive à éviter une grande partie des accidents provenant du manque d'eau, de l'exagération de la pression qui forme la presque totalité des explosions de la seconde série.

Si nous poursuivons l'étude de la législation française, nous devons nous demander si elle a prévu quelque prescription réglementaire pour la première série d'explosions, qui est de 48 p. o/o pour la France et de 65 p. o/o pour l'Angleterre, des explosions qui ne peuvent être évitées que par une visite intérieure.

Il n'y a rien dans la législation française. Qu'est-ce qu'une visite intérieure? Vous l'avez tous deviné. Elle consiste à envoyer un homme du métier, dont c'est la spécialité, visiter la chaudière sous toutes ses faces, à l'intérieur comme à l'extérieur, inspecter l'état des tôles, des communications, de tout ce qui forme en un mot les générateurs, et par conséquent se rendre compte si, à des points déterminés, les chaudières ne présentent pas d'avaries dangereuses; car, en résumé, il ne faut pas oublier que toutes les chaudières, quels que soient leur système, la qualité des matériaux, l'habileté du constructeur qui les a construites, toutes, sans exception, doivent périr à la longue et sont soumises, par les effets de leur fonctionnement, à une série de maladies. Quant à ces maladies, je ne puis vous en donner ici l'explication.

Si quelques-uns d'entre vous, Messieurs, veulent se rendre à l'Exposition des associations, ils pourront constater tous les défauts dont, après plusieurs années, les associations ont pu se rendre compte dans leurs visites; ils pourraient voir des tôles qui, la veille, marchaient à 5 atmosphères, être écrasées le lendemain par un coup de feu. Ils pourraient voir aussi les cassures complètes des clouures verticales d'un bouilleur.

Dans les visites intérieures, il faut encore s'assurer du nettoyage et s'il n'y a pas de couches d'incrustation.

Ces couches varient de quelques millimètres à 15, 20, 25 centimètres d'épaisseur. C'est la réunion de ces défauts, qui tiennent à la qualité des tôles, à l'influence des eaux d'alimentation, à la marche de la chaudière, qui forment toutes les maladies.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aucune de ces maladies n'est absolument dangereuse. Il n'y a de danger que si vous les laissez sans remède, si elles peuvent continuer à s'aggraver jusqu'à ce qu'un beau jour la chaudière éclate.

J'ai dit quelques-unes des circonstances qui pouvaient amener des explosions, et quelles étaient les conditions de sécurité qu'on devait adopter, afin d'empêcher les accidents de chaudières de la première catégorie. Il suffit de les faire visiter par des hommes du métier. Si, en France, l'importance de ces visites est discutée, il n'en est pas de même en Angleterre.

En 1870 et 1871, le Gouvernement anglais a ordonné une enquête générale sur les causes d'explosions et sur les moyens de les éviter. Cette enquête a été faite par des hommes éminents. Je citerai M. William Fairbairn, homme d'une capacité hors ligne au point de vue scientifique et pratique, et qui a rendu d'immenses services à son pays. Il prétendait qu'il ferait cesser les explosions si les industriels voulaient se soumettre à des visites dans leurs usines. M. R. Robertson, inspecteur des bateaux à vapeur, est d'avis que les visites doivent être obligatoires, mais qu'elles doivent être faites par les associations particulières.

M. Winols, ancien président de la Société des ingénieurs de Londres, déclare que les visites devraient être faites par des associations libres.

Dès 1865, la Commission centrale de Paris avait nommé une sous-commission pour étudier les modifications à apporter à l'ordonnance de 1843, et cette sous-commission, dans son rapport, disait :

« Des visites fréquentes, minutieuses, tant de l'extérieur que de l'intérieur des chaudières, sont, avec une bonne alimentation, une conduite prudente du feu, les conditions essentielles de sécurité. Toutes ces conditions satisfaites, le danger d'explosion est à peu près nul. »

Je pourrais multiplier ces citations.

M. Grüner, inspecteur général des mines, écrivait au président de l'Association parisienne que la Commission centrale des machines à vapeur et le Corps des mines regardaient comme une condition de sécurité les visites intérieures.

Aussi, en présence de ces conclusions d'hommes éminents, ne faut-il pas s'étonner que beaucoup de pays étrangers aient déjà introduit dans leur législation la visite intérieure obligatoire? En Hollande, les visites sont faites par des ingénieurs des mines. Il en est de même en Suisse, en Prusse, en Allemagne, dans le duché de Bade, etc., à moins qu'un industriel ne fasse partie d'une association reconnue par l'État; dans ce cas, le service est fait par l'association.

Je ne donnerai pas la liste des associations qui existent dans ces différents pays. Toutefois il ne m'est pas permis de vous cacher que la France n'occupe pas le premier rang. En Angleterre, par exemple, les associations réunissent 50,000 chaudières; en Allemagne, 12,291; en Autriche, 3,308; en France, 2,400. En Belgique, il n'y en a que 1,500; en Suisse, 1,100. Nous ne sommes pas tout à fait les derniers de la liste, mais il est pourtant certain que si on s'en rapportait au nombre des chaudières visitées par rapport au nombre de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

celles qui existent dans les autres pays, au lieu de nous trouver les troisièmes avant-derniers, je crois que nous serions les derniers.

Cette visite intérieure, dont je viens de parler, faite par les associations, a-t-elle produit des résultats ?

Je vous ai exposé tout à l'heure toute la série des défauts que nous avons constatés au cours des visites que nous avons faites pendant cinq ans. Vous pouvez les voir vous-mêmes, Messieurs, et constater, non pas des accidents complets d'explosion, si vous voulez, mais des accidents soit partiels, soit généraux, que les visites intérieures ont fait éviter.

En Angleterre, du reste, ce point peut être établi par des statistiques. Tandis qu'en Angleterre on compte une explosion par 2,000 générateurs, la proportion descend, dans les sociétés de surveillance des appareils à vapeur, à une explosion pour 6,500 à 6,800 générateurs. C'est donc environ les deux tiers des explosions qui se trouvent évitées dans le service des associations.

Dans la seconde classe des explosions dont j'ai parlé, j'ai dit que l'ignorance, l'incurie, le défaut de connaissances des chauffeurs étaient la principale cause. Instruire les chauffeurs et les mécaniciens est certainement un des meilleurs procédés pour éviter les accidents et pour assurer le parfait fonctionnement des appareils de sûreté. C'est dans ce but que les associations ont pris soin de faire afficher la loi dans tous les locaux, d'y joindre des instructions, et de donner différents détails sur la conduite et le fonctionnement des appareils de sûreté. C'est aussi dans cet ordre d'idées que les ingénieurs des associations, quand ils font la visite extérieure des appareils de sûreté, c'est-à-dire quand ils vont voir les chaudières en fonctionnement, donnent sur les lieux mêmes, devant les appareils, toutes les explications nécessaires aux chauffeurs pour bien entretenir ces appareils, pour bien conduire le feu au point de vue économique, et pour le maintien de la sécurité dans les meilleures conditions possibles.

Mais ce n'est pas tout, et les associations ont voulu aller plus loin ; elles ont créé, à l'initiative d'une société qui restera toujours un modèle pour nous et peut-être pour le monde entier, à l'initiation de la Société industrielle de Mulhouse, des concours de chauffeurs. Ces concours se font dans une usine en marche régulière et normale, en présence des ingénieurs des associations qui sont là pour donner aux candidats tous les conseils nécessaires. De plus, un autre procédé d'instruction, qui est extrêmement utile lorsque l'on a à sa disposition un musée, comme l'ont presque toutes ces associations, ce sont des cours de chauffeurs où il nous est permis, en leur montrant les pièces et en leur faisant toucher du doigt les défauts dont nous leur parlons, d'être sûrs de nous faire comprendre. Ces cours existent déjà dans beaucoup de villes, pour le Nord spécialement : à Lille et à Roubaix, par exemple. Tourcoing et Armentières en auront cette année.

Parmi les autres prescriptions législatives dont la non-observation peut être encore cause d'accidents, il en existe une assez difficile à définir, et qui pourtant peut, dans certains cas, éviter beaucoup de malheurs : je veux parler de l'essai hydraulique, fait par les ingénieurs des mines, lorsque les chaudières ont été arrêtées trop longtemps, pendant plusieurs années par exemple, ou

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soumises à des réparations d'une certaine importance. Plusieurs fois il nous est arrivé d'engager des industriels qui reprenaient d'anciens établissements arrêtés depuis huit ou dix ans à faire opérer l'essai de leurs chaudières. Dernièrement encore, une chaudière devait être essayée à 10 kilogrammes pour être timbrée à 5; à $3^k,75$, un des bouilleurs a sauté.

Cet ordre d'idées, concernant les chaudières, étant à peu près épuisé, je dois vous rendre compte d'un autre service rendu par les associations, service qui a une très grande importance. Lorsqu'on parcourt la liste des explosions, on est frappé de ce fait qu'on en voit un grand nombre qui sont dues à la mauvaise qualité des métaux et à des défauts de construction. C'est, en effet, une idée qui avait semblé dominer dans l'industrie française depuis plusieurs années que, pour un générateur, il était toujours suffisant de mettre le minimum de prix possible; que l'on n'était jamais sûr d'avoir une qualité supérieure, même en la payant, et que, par conséquent, il valait bien mieux acheter à très bon marché. Je dois dire, Messieurs, que cette idée, qui avait cours parmi les industriels, était justifiée dans une certaine mesure, car la Commission centrale de Paris a dû s'émouvoir des plaintes de quelques ingénieurs des mines qui lui faisaient savoir qu'ils avaient plusieurs fois été obligés de reconnaître que des constructeurs, — ils constituent heureusement de très rares exceptions, il est vrai, — mais, enfin, il en existe de tels, — au lieu de livrer des tôles de la qualité bonne et promise, livraient des tôles de qualité inférieure. Je dois dire que, dans le Nord, il nous a été immédiatement très facile d'obvier à cet inconvénient, parce que, les maisons de construction ne demandant qu'une surveillance, il a été très aisé d'exercer la reconnaissance des tôles pour toute la construction des générateurs. Outre la reconnaissance des tôles, il y avait la question de qualité. Je crois, en effet, qu'au point de vue de la sécurité et de la convenance du travail des constructeurs, il y a un immense intérêt à avoir des tôles de chaudières de très bonne qualité.

Aussi avons-nous pu décider les industriels à remonter les prix des générateurs, qui sont payés actuellement dans le Nord, rien que pour la qualité de la tôle, environ 30 p. o/o plus cher qu'il y a dix ans.

J'arrive maintenant, Messieurs, à un autre point de vue : la responsabilité d'un industriel en cas d'explosions.

Que se passe-t-il quand un industriel a le malheur de voir une explosion se produire chez lui? Il ne faut pas s'y tromper, le décret de 1865 est venu imposer aux industriels une responsabilité considérable. Aussi M. Zuber, dans un rapport à la Société de Mulhouse, disait-il, tout en se félicitant de la liberté d'action laissée à l'industrie :

« Il convient de ne pas oublier que si, par le décret du 25 janvier 1865, la position est changée, ce décret imposera des soins et une attention doubles, et engagera davantage la responsabilité du propriétaire d'appareils à vapeur. »

En effet, Messieurs, il ne faut pas l'oublier, la responsabilité des industriels est absolue; lorsqu'un accident de générateur se produit, que la cause en soit

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

connue ou non, la jurisprudence est établie à cet égard par plusieurs arrêts de la Cour de cassation, entre autres par celui du 23 novembre 1867, portant que l'accident dû à un engin industriel, tel qu'une machine à vapeur qui fait explosion, est présumé être le résultat de la faute du propriétaire de cette machine, et que le propriétaire est, en conséquence, responsable des dommages que l'accident a pu causer à des tiers.

Outre cet arrêt, je pourrais vous en citer plusieurs autres, notamment un jugement qui vient d'être rendu à Lille. Un accident a eu lieu, il y a quelques années, chez un industriel qui d'ailleurs ne faisait pas partie de l'association. Quatre personnes furent tuées, cinq furent blessées. Des enquêtes ont été faites par les ingénieurs des mines. L'ingénieur des mines du service ordinaire avait conclu à la non-responsabilité de l'industriel, et indiqué la cause à laquelle était dû, selon lui, l'accident. L'ingénieur en chef des mines conclut également à la non-responsabilité, d'une façon plus formelle encore que l'ingénieur ordinaire; mais il ajoutait qu'à son avis l'accident n'était pas arrivé pour les causes indiquées par l'ingénieur ordinaire, mais bien pour telle autre raison.

L'industriel en question n'ayant pas pu s'arranger avec la famille d'une des victimes, l'affaire est venue devant le tribunal. L'avocat s'est contenté de plaider une chose toute simple, à savoir que, puisque l'on ne connaissait pas la cause de l'accident, puisque deux personnes chargées de représenter l'État venaient déclarer que son client n'était pas responsable, ce dernier, par conséquent, ne devait encourir aucune condamnation. Mais telle n'a pas été la jurisprudence du tribunal; tout en reconnaissant que la cause de l'explosion était inconnue et que l'industriel n'était pas l'auteur de l'accident, il l'a condamné à des dommages-intérêts.

Messieurs, je n'ai pas l'intention de traiter aujourd'hui la seconde partie de mon sujet, concernant l'économie de combustible. Je ne dois pas ignorer que, si on m'a demandé de faire une communication à l'assemblée, c'était surtout pour faire ressortir le but humanitaire des associations. C'est qu'en effet nous ne pouvons pas admettre que, comme le prétendent certaines personnes, que si un homme est tué, on le paye, et que tout est dit. Non, évidemment! Un homme tué laisse derrière lui des enfants, une femme, et, en dehors de la question d'argent, il reste encore une question toujours admise en France, la question de philanthropie. Plus l'industrie prend d'extension, plus nous voyons à chaque instant ces établissements s'élever et grandir, plus il est du devoir de l'industriel et aussi de l'ingénieur d'économiser des existences qui sont si utiles aux familles et qui intéressent même la grandeur du pays, qui plus tard peut trouver, dans l'ouvrier, un grand citoyen. (Applaudissements.)

DISCUSSION.

M. le Président. L'assemblée se joindra sans doute à moi pour remercier M. Cornut de la très intéressante communication qu'il vient de nous faire, et surtout des vues d'avenir qu'il vient de développer en exprimant l'espoir qu'on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

arrivera par la suite à des résultats satisfaisants pour l'art et pour l'humanité. (Adhésion.)

Avant de donner la parole à M. Casalonga et à M. Bourdon pour les rapports qu'il doivent présenter sur la question de l'unification des dimensions des organes des machines et de la détermination uniforme du cheval-vapeur, je dois demander si personne ne désire faire d'observations sur la communication soumise à l'assemblée par M. Cornut?

M. Testud de Beauregard. On vient de traiter devant vous, Messieurs, de la façon la plus autorisée, le sujet qui était en discussion.

Je ne ferai, moi, que vous entretenir quelques secondes pour appeler votre attention sur un fait.

M. Cornut a exposé tous les moyens qu'il est possible d'employer pour donner satisfaction aux idées humanitaires; mais, remarquez-le bien, à côté de ce premier exposé, aucune chose nouvelle ne vous a été montrée, aucun appareil préservateur ne vous a été présenté. Notez que, d'après ce qui vous a été dit, les causes d'un grand nombre d'explosions sont encore parfaitement inconnues, et ce sont justement ces explosions-là qui tueront des hommes, qui produiront des désastres. Comment s'est produit le sinistre? On n'en sait rien, et, de ces accidents-là, on ne vous en a pas parlé.

Certainement, c'est une chose excellente que d'avoir eu la pensée de mettre des hommes d'élite à la tête de sociétés de surveillance, pour faire visiter les appareils par ces hommes d'élite, et prévenir les accidents qui, remarquez-le bien, sont de ceux qui peuvent être prévus et ne dépendent pas du hasard. Assurément, c'est une très bonne idée; mais à côté de cela il y a autre chose, c'est ce qui est nouveau; il y a la science qui marche dans le sens de ces idées-là. Ne doit-on pas chercher à faire la lumière et à apporter quelque chose de neuf? Eh bien! remarquez ceci, Messieurs, dans ces appareils qu'on appelle appareils de sûreté, nous ne voyons que la pression de la vapeur agissant toujours et toujours; rien autre chose.

L'appareil de sûreté dont M. Cornut a bien voulu vous entretenir est la soupape d'alarme. M. Cornut vous a dit que c'était l'appareil sur lequel se portait le plus l'attention. Qu'est-ce que la soupape d'alarme? C'est le niveau d'eau, c'est la vapeur, c'est toujours la pression qui est indiquée par le manomètre.

Mais la chaleur productive, qui est la cause réelle, la chaleur qui détermine les explosions, qui crée l'état sphéroïdal, il n'en est pas question; personne ne s'en occupe. Je vous demande pardon d'appeler votre attention sur ce fait, mais nous devons progresser, avancer toujours, et qui nous fera avancer mieux que M. Cornut, quand il saura qu'il y a des appareils qui s'adressent à la chaleur, qui peuvent donner des indications certaines sur l'état des choses et non pas seulement sur les accidents. Ces appareils viendront dire la quantité de travail, de chaleur dépensée dans un temps donné, vous pourrez l'enregistrer; vous aurez un appareil électrique qui viendra écrire que tant de chaleur a été dépensée en tant de temps. N'est-ce pas une chose utile? Au point de vue des associations, la science ne peut-elle pas marcher de pair avec les faits?

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Par exemple, vous avez à côté du manomètre, non pas à la place, mais à côté, un tube d'une très petite grandeur; dans ce tube, mettez de la paraffine et un thermomètre qui vous dénoncera la quantité de chaleur contenue dans l'eau; vous placez plus haut un autre appareil semblable, qui doit vous donner un degré de chaleur égal à celui de l'eau. Remarquez-le, toutes les explosions dont on n'a pas su les causes, que M. Cornut n'a pas indiquées, sont celles-là, c'est l'état sphéroïdal, c'est l'eau ayant un degré donné et la vapeur un autre degré. Avec ces appareils, vous mesurez la chaleur immédiatement; les appareils enregistrent et disent: il a été dépensé tant de chaleur, tant de calorique.

Je pense qu'il était bon d'appeler sur ce point votre attention. Je crois avoir apporté ici une pensée nouvelle pour la solution d'une question que je considère comme essentielle au point de vue humanitaire, car ces appareils préviendront ce que M. Cornut a laissé dans l'ombre, c'est-à-dire les effets de chaleur qui produisent les explosions, qui déchirent les chaudières, et tuent sans qu'on puisse savoir ni pourquoi ni comment. C'est l'état sphéroïdal; cet état vous le signalerez, vous aurez des appareils préservatifs vous l'annonçant à l'avance, et permettant, si l'établissement doit sauter, de dire à l'homme qui conduit la machine : nous sommes dans un état dangereux, partons. Le dégât sera matériel, mais on aura sauvé la vie des hommes.

M. Thomasset. Messieurs, je vous demande pardon de prendre la parole après l'honorable préopinant, mais je ne voudrais pas vous laisser sous cette impression que j'ai ressentie pour mon compte: c'est que les associations des propriétaires d'appareils à vapeur étaient en face d'un inconnu très grave et qui pouvait paralyser leur action. Là n'est pas le cas. M. Cornut vous a expliqué tout ce qu'avait fait l'association des propriétaires d'appareils à vapeur, vous avez vu les grands avantages qu'on en retirait; s'il existe des causes d'explosion inconnues, ce ne peut être de la faute des associations. Qu'on demande à la science de les définir, je ne dis pas non, mais je crois devoir ajouter que le préopinant ne vous a pas dit quelles étaient ces causes. Il a affirmé, par exemple, que l'état sphéroïdal y jouait un très grand rôle. Je ne le suivrai pas sur ce terrain; cependant, je dirai qu'à mon sens, si l'état sphéroïdal vient jouer un rôle dans l'explosion des chaudières à vapeur, je ne saurais croire que l'on n'arrive jamais assez tôt pour prévenir l'accident. Qu'avons-nous, en effet, comme preuve? Les expériences de physique; or, dans ces expériences que nous pouvons saisir, qui sont du domaine de tous, du moment qu'on voudra faire de ces expériences, on est conduit à ceci : c'est que le fait qui, dans l'état sphéroïdal, produirait l'explosion serait instantané. Or, que deviendra un appareil précurseur? Je veux bien qu'il fasse partir une sonnerie, mais en même temps que la sonnerie partira, la chaudière aussi!

Par conséquent, j'en reviens à dire ceci : je ne conteste pas que la science doive marcher; tout au contraire, les associations sont là pour le prouver, mais je dis que les associations auraient peut-être tort à mon avis de se lancer, pour le moment du moins, dans un choix d'appareils à l'exclusion de tous les autres. On doit, avant tout, obliger tous les propriétaires à se renfermer dans les prescriptions de la loi, et ensuite venir dire à ces propriétaires :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à côté de ces indications, en voici d'autres qui résultent de l'expérience. Maintenant, que ces associations se développent, qu'elles fassent des progrès incontestables et incontestés, cela n'est pas douteux; mais pour le moment la marche des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, telle que vient de vous l'indiquer M. Cornut, est dans la véritable voie qu'elles doivent suivre pour produire les résultats les plus utiles.

M. LE PRÉSIDENT. Quelqu'un demande-t-il la parole? Personne ne la demandant, la discussion est close. Je prie M. Casalonga de donner au Congrès communication de son travail sur l'unification des séries de pas de vis et autres organes élémentaires de la construction.

MÉMOIRE

SUR L'UNIFICATION DANS LES ORGANES DE MACHINES,

PAR M. CASALONGA,

INGÉNIEUR CIVIL.

M. CASALONGA. Messieurs, un de nos confrères, praticien habile, ancien fabricant de boulons, et qui, vers 1862, avait publié un travail intéressant sur les filets de vis, les tarauds, etc., avait été désigné par la Chambre syndicale des mécaniciens pour traiter, devant vous, de l'uniformité à établir dans la construction des filets de vis, des écrous, et, par extension, jusqu'à d'autres organes de la construction mécanique.

Par un scrupule exagéré, et parce que, même après et avec une moindre compétence, nous avions nous-même effleuré ce sujet, il se défendit de pouvoir accepter cette mission, en insistant pour que nous fussions appelé à la remplir.

C'est ainsi que nous incombe l'honorable devoir de vous présenter cette question si utile à résoudre, mais si complexe, de l'*unification dans les dimensions des organes de machines.*

L'unification, Messieurs, au milieu des dissimilitudes géographiques, politiques, minéralogiques même, des divers pays industriels, est une espérance, comme tant d'autres, bien difficile à réaliser. Mais cette espérance est aussi une nécessité, et l'on se tourne et l'on marche vers elle comme vers un but lointain, mais désiré.

D'abord lente et pénible, la marche du progrès est devenue rapide et sûre. Grâce aux pas de géant mesurés par la science, grâce à la vapeur qui nous aide à manufacturer et à transporter rapidement au loin ces innombrables objets destinés aux besoins des hommes, grâce enfin à l'électricité, qui, bien plus rapidement et plus loin encore, transmet notre pensée, notre image, et aujourd'hui jusqu'à notre voix elle-même, les peuples de la terre se rapprochent; ils se consultent; ils échangent avec leurs idées les produits naturels de leur sol et ceux enfantés par leur génie. Ils se communiquent leurs désirs et font connaître naturellement leurs besoins, leurs ressources. Et c'est ainsi que, par cet échange continuel, on tend forcément à l'unification en toutes choses : unification des poids et mesures, des monnaies, des postes et des télégraphes,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de tous les moyens enfin que l'homme met en œuvre pour assurer et développer son existence industrielle.

Et, si nous osions regarder si haut que nous pourrions à peine entrevoir le sommet de cette nouvelle échelle de Jacob, nous pressentirions comme une unification des langues elles-mêmes, remontant ainsi le cours des âges, jusqu'à cette biblique dispersion de la tour de Babel où une seule langue était parlée.

Je vous prie, Messieurs, de bien vouloir me pardonner cette digression par laquelle j'arrive à l'historique de la question qui nous occupe.

Au commencement de ce siècle, un peuple voisin, un grand peuple! grâce à sa puissante marine et à la richesse de ses gisements miniers, grâce à son génie particulier, prit tout à coup une importance industrielle considérable.

La construction de ses machines, de ses outils, prit un grand essor, et avec elle se développa aussi la fabrication de ces détails de construction, de ces organes élémentaires qui concourent si indispensablement à l'assemblage des pièces d'un mécanisme quelconque.

Parmi les organes les plus élémentaires et aussi les plus essentiels, le premier, après la mèche ou foret et l'alésoir, est le *taraud* à l'aide duquel on fait le *coussinet*, lequel à son tour forme le *filet*, sur une tige destinée à réunir, à serrer fortement entre sa *tête* et l'*écrou* les diverses pièces à assembler.

Chaque constructeur, suivant sa fabrication, suivant même ses propres idées ou l'état de son outillage, employait, pour la confection de ses machines, des filets dont la conformation générale n'était pas la même que celle des filets employés par les autres constructeurs. Il s'ensuivit, dans le pays même et aussi sur le continent où ces machines s'étaient répandues, des inconvénients d'autant plus graves que la tige filetée est un organe de jonction extrêmement multiple, indispensable, et qu'il ne saurait s'accommoder d'une exactitude approchée.

La différence qui existe entre un filet et le suivant, si faible soit-elle, s'ajoute d'un pas à l'autre, à chaque tour, si bien qu'après un faible parcours du filet enveloppant sur le filet enveloppé, l'un des filets presse énergiquement sur l'autre. Tout mouvement cesse; et, si l'action extérieure persiste avec une énergie suffisante, les filets s'arrachent, si même la tige ne se casse, donnant lieu à une réparation d'autant plus laborieuse et dommageable que l'on sera loin de l'atelier.

Cet inconvénient acquit en Angleterre un tel degré d'intensité qu'un grand mécanicien de Manchester, Whitworth, après avoir étudié attentivement une série de pas de vis, en proposa l'adoption à une réunion d'ingénieurs qui s'empressèrent de la recommander. Cette série ne tarda pas à se généraliser sur tout le territoire britannique et bientôt même elle passa sur le continent où les machines anglaises étaient, à ce moment, livrées en grand nombre.

Mais chaque pays ne tarda pas à perfectionner, à développer son industrie mécanique. Les machines anglaises devinrent de moins en moins nombreuses en même temps que diminuait aussi le personnel anglais chargé de les conduire, de les entretenir, de les réparer. Si bien que l'on négligea d'aller chercher les organes élémentaires de construction à leur source; et il se produisit

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans chaque pays, par la confusion des divers pas, le même inconvénient qui était d'abord survenu en Angleterre.

Est-ce par caprice, par nécessité, ou par un désir presque encore légitime aujourd'hui, de s'affranchir de l'industrie étrangère que l'on ne s'en tint pas à la série Whitworth, dans certains pays continentaux, et notamment en France?

Non! On faisait, on fait encore aujourd'hui à la série Whitworth quelques critiques fondées. Ses pas, bien proportionnés, pour les diamètres moyens, sont trop forts pour les petits et les gros diamètres.

Mais une des critiques les plus importantes est que cette série est fondée sur le système duo-décimal des mesures anglaises; et que l'on ne peut pratiquement la convertir suivant le système métrique continental, car l'Europe entière, l'Amérique elle-même et d'autres contrées adoptent aujourd'hui ce système.

Les compagnies de chemins de fer, les premières en France, étudièrent et appliquèrent une série de pas. Mais la pratique aurait démontré qu'elle ne peut satisfaire à tous les cas de la construction. Sauf pour les petits diamètres, où la rampe est même un peu forte, le pas est trop faible. Il est en outre trop aigu, trop délicat et assez impropre au taraudage dans la fonte.

Dès avant 1858, les principaux constructeurs français avaient adopté une série analogue dont les éléments sont rapportés par M. Jullien, dans son traité des machines à vapeur.

Vers cette époque et en raison des inconvénients que chacun signalait, M. Armengaud aîné, qu'il faut toujours citer quand il s'agit de l'étude de questions industrielles, proposa une série uniforme, fondée sur l'application constante de la relation qui sert de base variable au système Whitworth et qui exprime que le pas est égal aux 0.08 du diamètre, plus un millimètre.

Cette série théorique, assez bien proportionnée pour les diamètres moyens et gros, conduit, pour quelques diamètres, à des fractions de millimètre; et, pour la presque totalité des pas, à des fractions plus difficiles encore à retenir. Pour les petits diamètres, la rampe est très élevée.

C'est ce qui fit proposer aussi par M. Denis Poulot, et vers le même temps (1862), une autre série, fort bien proportionnée, ayant des diamètres de tiges correspondant aux dimensions marchandes des fers, et des pas n'exigeant d'autres fractions du millimètre que le 1/4, la 1/2, les 3/4.

Cette série ne fut pas exécutée, quoique la marine française lui ait emprunté, pour ses arsenaux, plus d'un élément essentiel. Et plus tard, lorsque l'importante maison de Mulhouse, Ducommun-Steinlen et C^ie^ étudia, spécialement pour ses ateliers, une série de pas de vis, elle se rapprocha beaucoup de celle proposée par M. Poulot.

Une bonne série, employée par la maison suisse Reischauer, est celle de Bodmer. Mais là encore, comme dans une autre série plus robuste, proposée par Redtenbacher de Carslruhe, les pas ont des fractions de millimètre, difficiles à retenir.

Dans un travail publié en 1873, nous avons réuni les divers tableaux numériques des six principales séries que nous venons de mentionner, en même temps que, dans un autre tableau graphique, nous superposions, les unes aux autres, les lignes figuratives de chacune de ces séries.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

De la sorte on peut, au premier coup d'œil, voir les différences qui existent entre les diverses séries et distinguer celles qui se rapprochent le plus l'une de l'autre par le pas ou la rampe. Ainsi, en comparant les lignes des séries Poulot et Ducommun, on verrait que, dans les diamètres hauts et moyens, elles se rapprochent beaucoup entre elles et de la droite figurative de la série Armengaud. Ce rapprochement, qui a lieu sur une certaine étendue, prouve qu'en ces points et pour ce qui concerne le pas, on est déjà bien près de s'entendre.

Pour les petits diamètres, la série déjà trop forte de Whitworth serait encore surpassée par celle d'Armengaud aîné; Poulot, Ducommun et notamment Bodmer se tiennent au-dessous.

Le rapport qui existe entre le diamètre et le pas n'est pas la seule donnée essentielle qui entre dans le problème de la détermination d'une bonne série de pas de vis.

En effet, il faut considérer aussi l'angle formé par l'inclinaison des deux faces du filet, la profondeur de ce filet, ainsi que sa forme ou son profil.

De là, de nouveaux sujets de différences entre les séries même les plus rapprochées, pour ce qui concerne la rampe et les diamètres.

Avant d'examiner la question dans ces nouvelles parties, et pour compléter, aussi succinctement que possible, les renseignements qui précèdent, nous dirons quelques mots des autres travaux que des ingénieurs distingués ont faits sur cette matière.

Sellers, en Amérique, a établi une série très employée, qui se rapproche du reste de celle de Whitworth, sauf en ce qui concerne l'angle du saillant des filets, porté à 60 degrés, et la forme aussi bien que la profondeur de ce filet dont les arêtes intérieures et extérieures sont remplacées par des parties plates cylindriques.

Reuleaux, dans son remarquable ouvrage *le Constructeur*, propose en Allemagne une série avec des diamètres sans fractions de millimètre, mais avec des fractions allant jusqu'à la troisième décimale, dans les pas, lesquels sont en outre très forts comme dans la série de Redtenbacher de Carlsruhe.

Un remarquable travail, encore peu connu et que M. Tresca a bien voulu me communiquer, a été fait tout récemment par un ingénieur suisse, M. Thury, professeur à l'Université de Genève, au nom d'une commission technique chargée d'étudier la question au point de vue notamment des vis horlogères.

Des recherches nombreuses, une étude attentive, ont amené le savant rapporteur suisse à proposer huit combinaisons de séries, comprenant les plus petits diamètres se rapportant aux vis horlogères et jusqu'aux plus gros, où le filet triangulaire cesse d'être en usage parce que sa formation devient impraticable à la filière.

Dans toutes ces combinaisons, non seulement les pas ont des décimales quelconques, nombreuses, difficiles à retenir, mais tous les diamètres aussi.

L'auteur prévoit bien l'objection, mais il la trouve spécieuse, parce que, dit-il, les mesures simples sont inconciliables avec l'emploi des mesures usuelles des différents peuples.

Nous trouverions, nous, que l'objection est, au contraire, très sérieuse et que le motif indiqué est un obstacle contre lequel on doit diriger l'action com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mune, un obstacle devant lequel il convient de se placer comme s'il devait disparaître.

Les divers peuples n'ont plus, ou sont à la veille de ne plus avoir des mesures usuelles différentes, et ce sera l'un des bienfaits du siècle. Il n'y a plus à considérer aujourd'hui que deux systèmes de mesures, celui qui est établi sur des pieds et pouces anglais et celui fondé sur le mètre, inauguré par la France et appliqué à cette heure par presque toutes les nations civilisées.

En même temps donc que l'on examinera la question d'unification sur cette matière et avant même de faire cet examen, il nous paraît indispensable de poser en principe que, quelle que soit la série adoptée, elle devra exclusivement reposer sur le système métrique.

Et nous pensons que l'on devra ensuite poser, conséquemment, que l'on admettra des fractions simples du millimètre pour le pas sans aucune fraction de cette unité pour les diamètres, sauf pour les plus petits destinés à l'horlogerie.

Si la base du système est ainsi arrêtée, il ne restera plus à s'entendre que sur l'échelle de variation utile des diamètres, sur le rapport de chaque diamètre au pas, sur la profondeur, la forme du filet, et sur l'angle formé par l'inclinaison de ses faces.

Whitworth a adopté l'angle de 52 degrés et un filet formé par un triangle isocèle ayant pour base le pas et pour hauteur les 0.96 de ce pas, presque le pas lui-même. Mais les angles vifs intérieurs et extérieurs sont arrondis de telle façon que cette hauteur en saillie est raccourcie de 1/6 de chaque côté, et ramenée, par suite, aux 2/3 de sa valeur primitive, soit aux 0.64 du pas.

L'arrondi des angles du filet est extrêmement utile pour la solidité et la durée de ce filet, moins sensible alors aux chocs des corps durs et plus difficile à s'émousser. Dans la forme Whitworth, cet arrondi paraît trop prononcé, ce qui en rend un peu plus difficile l'exécution, principalement au tour.

Sellers a adopté un angle de 60 degrés, le profil du filet étant ainsi un triangle équilatéral auquel il a donné pour hauteur les 0.866 du pas.

Les arêtes vives sont, ainsi que nous venons de le dire, remplacées par des parties aplaties, diminuant chacune de 1/8 la hauteur du filet et la ramenant ainsi aux 3/4 de sa première valeur, ou, comme dans la série Whitworth, aux 0.65 du pas.

Cette forme de filet est obtenue par Sellers à l'aide d'un outillage spécial et avec une précision dont n'est pas susceptible le système à gros arrondis de Whitworth, qui produit difficilement, ainsi que le fait remarquer Reuleaux, l'identité entre deux vis fabriquées par deux constructeurs différents. Cependant et malgré son obtention au tour, spécialement plus facile que pour la forme arrondie, celle-ci s'obtient encore d'une manière assez satisfaisante par la filière et elle nous paraît préférable.

C'est du reste ce que, avec une plus grande autorité, ont successivement pensé MM. D. Poulot et Steinlen, ce dernier ingénieur associé à la maison Ducommun.

M. D. Poulot recommandait d'adopter l'angle de 60 degrés pour l'inclinaison des faces du filet, le profil étant alors un triangle équilatéral ayant le pas pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

base et conséquemment les 0.866 de ce pas pour hauteur, comme dans la série Sellers.

L'arrondi, beaucoup moins sensible que dans la forme Whitworth, enlevait pour ainsi dire seulement le *friand* et laissait plus de saillie au filet. Le centre de cet arrondi était placé à une distance du sommet égale à 1/10 de la hauteur. Cette série ne comprenait que 20 diamètres pour 17 pas.

La série Ducommun-Steinlen et Cie, transformée en 1872-1873, était beaucoup plus étendue tout en ne comprenant que 15 pas. Elle offrait 36 diamètres, sans aucune fraction du millimètre depuis 3 jusqu'à 80 millimètres; section équilatérale, c'est-à-dire angle au sommet de 60 degrés; hauteur du saillant égale aux 0.866 du pas; arrondis plus prononcés que dans la série Denis Poulot et moins que dans celle de Whitworth.

Cette série est une de celles dont on peut le plus s'approcher avec confiance, dans l'adoption d'une série internationale.

Fondée sur le système métrique, excluant les fractions du millimètre dans le diamètre des tiges, ne les admettant que par 1/4, 1/2, 3/4, dans les pas, et ayant, avec une notable étendue, le moindre nombre de pas, elle paraît propre, en tenant compte de l'autorité qui s'attache à une telle maison, à pouvoir donner satisfaction à toutes les conditions du problème.

Le seul changement que l'on voudrait peut-être conseiller serait de diminuer l'angle du filet, pour se rapprocher de celui de Whitworth.

Du reste, en s'en rapportant au travail si important de l'ingénieur génevois, déjà cité, ce changement serait déjà opéré. Et en même temps MM. Ducommun-Steinlen et Cie auraient ajouté à leur série les diamètres 11 et 13, reconnus utiles pour les petits travaux de mécanique, et retranché les diamètres intercalaires plus grands, 37, 42, 47, dont la nécessité n'aurait pas été démontrée.

La diminution dans l'angle ou filet, tout en conservant, comme base du triangle générateur, la valeur même du pas, oblige naturellement à augmenter la hauteur de ce triangle.

Cette hauteur, dans la nouvelle série Ducommun-Steinlen, serait égale à la base ou au pas lui-même, ce qui conduit à un triangle isocèle ayant 53°,8 à l'angle au sommet.

Après donc, en adoptant l'angle de 50 degrés, s'être écartés de l'angle de Whitworth (52°) et de celui qu'ils avaient eux-mêmes adopté (55°), MM. Ducommun et Cie sont revenus à un angle de 53°,8.

Ce changement, sans aucune modification du pas, sauf pour le diamètre de 5 millimètres, dont le pas a été porté de 75 cent. à 1 millimètre, a permis d'avoir un filet un peu plus saillant que celui de Whitworth, avec un égal arrondi des arêtes et une moindre tendance au desserrage.

Or, les progrès réalisés dans la construction mécanique, l'exactitude plus grande obtenue dans la fabrication de l'outillage, l'amélioration de qualité des métaux ouvrés, toutes ces conditions réunies s'accordent pour justifier l'adoption d'un pas moins élevé que celui de la série Whitworth, d'un angle très voisin de celui choisi pour cette série, et d'une saillie plus grande que celle adoptée par le grand mécanicien de Manchester.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous croyons pouvoir conclure, au point de vue technique, que la solution devra être recherchée aux environs des derniers résultats atteints, conformes aux considérations qui précèdent, et en formulant ainsi les propositions relatives à ce sujet :

1° Le système métrique sera la base exclusive de l'unité de mesure;

2° Les fractions du millimètre choisi comme unité inférieure métrique ne seront admises que pour les pas et dans un rapport simple, sauf quand il s'agira de vis horlogères;

3° Le pas, moins élevé que dans la série Whitworth, devra être choisi préférablement dans la série Ducommun-Steinlen et Cie de Mulhouse;

4° L'angle choisi pour l'inclinaison des faces du filet sera celui de 54 degrés, pouvant être mis en rapport avec une division métrique du cercle;

5° Le saillant très rapproché de celui de la série Ducommun;

6° Les arêtes d'angles non coupées en facettes, mais arrondies suivant la forme Whitworth et d'après les dimensions de la même série Ducommun.

Telles seraient, Messieurs, les considérations et proportions qui nous paraîtraient devoir servir de base à un système raisonné de filets de vis, en se limitant aux dimensions où la filière est en usage. Aller plus haut serait nous éloigner du cadre restreint que nous impose la nature de cette communication. Ce serait abuser trop longtemps de votre bienveillante attention.

Nous n'insisterons même pas sur l'utilité incontestable d'une telle unification, tellement elle nous paraît évidente, encore même que l'on imaginât des filières nouvelles, universelles ou autres, changeant le mode de filetage.

Cette unification n'est pas la seule, tant s'en faut, que nous voudrions voir réaliser. Tout organe appliqué à la mécanique générale et susceptible d'une grande division devrait avoir toutes ses parties classées d'après une série uniforme internationale.

Forets, mèches et alésoirs, tarauds, tourne-à-gauche et filières, rondelles, écrous et rivets, brides rondes et ovales, raccords de tuyaux de robinets, clefs de serrage, suivant leur destination, tous ces éléments sont parfaitement propres à être disposés en séries.

Des éléments plus complexes, tels que les assemblages par rivets et boulons, avec rondelles d'appui ou de sûreté interposées, les clavetages, les manchons, les poulies, les paliers, les chaises d'applique..., le sont aussi à un même degré.

Pour les organismes plus complexes encore, l'unification serait peut-être moins facile et moins utile; mais elle n'en serait pas moins désirable. Vouloir par exemple s'élever jusqu'à la détermination des cylindres d'une machine à vapeur d'un système déterminé, ou des conditions de marche et de proportionnalité des régulateurs, serait, croyons-nous, prématuré aujourd'hui; et l'on risquerait, en se mettant trop tôt en avant du progrès de la science et de la mécanique appliquées, d'être obligé de revenir en arrière.

Cependant l'unité est tellement désirable dans les moyens divers employés par les peuples civilisés que chacun la pratique chez lui avant de chercher à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'établir au loin. Les grandes maisons de construction ont des séries complètes de machines à vapeur, de machines-outils, de chaudières et même d'appareils divers, aussitôt que la construction peut en être reproduite par les demandes de la consommation.

Les forges ont leurs fers profilés, leur tubes étirés, leurs chaînes plus ou moins calibrées.

Les grandes compagnies de chemins de fer ont un matériel assez uniforme, avec pièces de rechange identiques.

Mais chaque forge, chaque compagnie de chemins de fer, de même que chaque maison de construction, a ses séries à elle, différentes de celles des autres forges, des autres compagnies de chemins de fer, des autres maisons de construction.

Dans le matériel de guerre de toute une nation, au contraire, par suite de l'unité de direction, l'uniformité est aujourd'hui parfaite. En n'importe quel lieu, la pièce quelconque d'une arme peut être remplacée par la pièce correspondante d'une autre arme semblable, et la même précision existe dans le munitionnement.

Il est bien visible que l'uniformité et le classement proportionnel des types économiseraient le temps consacré aux expériences, aux études, à la fabrication, et par cela même l'argent. En même temps, ils offrent la garantie des produits de choix dont la forme, la qualité, les conditions générales d'efficacité et de goût ont fait l'objet de constantes études, sanctionnées par une longue pratique.

L'uniformité dans les moyens employés par les hommes, hormis pour tout ce qui concerne le goût, l'art ou certains cas spéciaux, est un besoin de notre époque, un instrument nécessaire à la marche du progrès. Introduite dans les diverses branches de la science appliquée, elle en favoriserait l'étude expérimentale et faciliterait l'obtention des résultats pratiques.

Pour calculer le travail d'une machine à vapeur à détente sans condensateur, on rencontre dans des formulaires, et même dans des ouvrages classiques estimés, une formule :

$$T_m = Kn \times 2{,}222\, pv \left(1 + \text{log. hyp.}\, \frac{p}{p_1} - \frac{1{,}033}{p_1}\right)$$

où le résultat exprime la force en chevaux de 75 kilogrammètres, et dans d'autres formulaires très connus une formule toute différente :

$$T_m = V h K \left[1 + \log.\left(\frac{z}{z_0}\right) \times 2.3026 - \frac{h'}{h} \times \frac{z}{z_0}\right]$$

donnant le travail en grandes unités dynamiques de 1,000 kilogrammètres.

Pourquoi cette différence dans la forme quand le résultat final est le même?

Quand on veut calculer la force d'une dent de roue d'engrenage, on trouve : dans un ouvrage français une relation

$$PL = \frac{R b h^2}{6}$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et dans un ouvrage allemand une relation autre

$$Ct = 6\,\frac{P}{T}\left(\frac{l}{t}\right)\left(\frac{t}{p}\right)^2$$

Par une simple transformation, ces deux expressions peuvent être ramenées à une forme assez semblable l'une à l'autre. Cependant le pas dans l'une intervient directement, tandis qu'il ne figure pas dans l'autre. La *résistance* R y est en outre désignée par la *tension* T.

Pourtant ces deux relations conduisent à un résultat identique, la valeur réelle des quantités inscrites étant la même de part et d'autre.

Pourquoi alors cette diversité de forme, d'appellation, de représentation ?

Que l'on appelle *tension* l'action d'une force ou l'état moléculaire d'un corps, et qu'on la représente par T; ou qu'on l'appelle *résistance* et qu'on la représente par R, rien évidemment n'est changé au résultat; mais il n'en résulte pas moins une hésitation, un certain trouble dans l'esprit de celui qui, loin déjà des études classiques et pratiquant les applications de la science, subit un temps d'arrêt qu'il serait aisé d'éviter.

D'autres exemples pourraient être invoqués et nous pensons que là encore il y aurait place pour une étude sérieuse, analogue à cette réforme si grande et si utile que Guyton de Morveau osa naguère introduire, à sa gloire et à celle des savants français qui le secondèrent, dans la nomenclature chimique.

Par la combinaison des divers caractères des deux seuls alphabets romain et grec et par des annotations convenablement choisies, il paraîtrait possible que l'on pût faire en sorte qu'en présence d'une lettre ou d'un assemblage de lettres on en reconnût, à l'aspect d'une formule, la véritable représentation; de la même manière que l'on sait généralement que π représente le rapport de la circonférence au diamètre.

J'ai fini, Messieurs, avec le regret de n'avoir pu accomplir assez convenablement ma tâche, tout en ayant usé, sinon abusé, de votre bienveillante attention.

Le sujet qui nous a occupés un instant ensemble était bien digne, par son importance spéciale, d'exciter et de retenir vos réflexions. Il eût fallu certes qu'il vous fût présenté avec ce talent, cette sagacité que nous aurions rencontrés chez quelques-uns de ces habiles mécaniciens dont nous avons invoqué les travaux.

En emportant un vague souvenir de cette communication, vous voudrez sans doute vous rappeler qu'en toutes choses, les hommes pratiques ont l'habitude, après avoir *examiné*, *de conclure*. Il y a une chose utile à faire, faites-la. N'allez pas chercher le concours de l'État, trop surchargé déjà, pour réaliser une organisation que vous pouvez mener à bonne fin.

En vous associant dans ce but, en instituant une commission d'études, d'adoption, de concours, de vulgarisation, vous réaliserez en peu de temps, nous en avons la conviction, des désirs souvent exprimés.

Nouveau venu de la dernière heure, nous ne saurions oublier que nous avons l'unique honneur de parler comme membre associé de la Chambre syndicale des mécaniciens. Et qui mieux qu'elle pourrait prendre sous son patro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nage cette question de l'unification dans les dimensions des organes de machines, en recommandant d'abord à la construction mécanique une série uniforme de pas de vis? Ce devoir lui incombe. Elle aura à cœur de l'accepter, en s'associant les ingénieurs et les mécaniciens étrangers qui voudront bien participer à l'avènement de cette œuvre à la fois utile et internationale.

C'est par une initiative intelligente et hardie, par une persévérance à toute épreuve, que l'on peut vaincre les résistances passives d'une vieille routine et que s'accomplissent les grandes choses, dont les esprits timorés ou chagrins diraient volontiers qu'elles sont impossibles!

Les peuples, pour se rapprocher plus tôt, en faisant disparaître de notre terre sublunaire les derniers vestiges d'une barbarie sauvage, ont besoin de perfectionner, de simplifier leurs moyens de communication et d'échange. C'est un besoin, immense aujourd'hui, enfanté par la même loi du progrès, par cette expansion universelle de toutes les branches de l'activité humaine.

Et ces peuples, que les accidents passagers, mais terribles, jettent trop souvent encore, hélas! les uns contre les autres en des mêlées sanglantes, sur les champs meurtriers de la guerre, sont appelés, nous en avons la foi, à se mêler, laborieux et prospères, sur les champs paisibles de la paix, à l'abri des grandes œuvres du travail, ce vrai souverain de l'avenir, de l'avenir prochain! (Applaudissements.)

M. le Président. Quelqu'un demande-t-il la parole sur cette communication?

Personne ne demandant la parole, nous passons à la suite de l'ordre du jour, qui appelle la communication de M. E. Bourdon.

MÉMOIRE

SUR L'UNITÉ DU CHEVAL-VAPEUR,

PAR M. E. BOURDON FILS,

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR.

M. Bourdon. Messieurs, permettez-moi, en commençant, de m'excuser si je viens traiter devant vous, malgré ma faible autorité, une question aussi importante que celle du cheval-vapeur.

Je ne suis ici que le porte-parole de mes collègues de la Chambre syndicale des mécaniciens, qui ont voulu saisir l'occasion de ce Congrès pour connaître les avis de tous les ingénieurs compétents sur une question qui nous intéresse tous à différents points de vue. Je n'ai donc pas eu la prétention d'émettre des idées nouvelles : j'ai voulu simplement poser la question en indiquant les définitions et les méthodes en usage actuellement, et je vais le faire en termes aussi résumés que possible.

La question du cheval-vapeur peut être envisagée à deux points de vue différents, suivant que l'on considère les machines ou les générateurs à vapeur.

1° MACHINES À VAPEUR.

Dans les pays où l'usage des machines à vapeur s'est généralisé, on se sert,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour exprimer et comparer leur puissance dynamique, d'une unité désignée sous le nom de cheval-vapeur.

Cette unité a été indiquée par Watt lorsqu'il remplaça les manèges par sa nouvelle machine à vapeur. Les expériences qu'il fit à ce moment, avec des chevaux exceptionnellement forts, lui montrèrent que la quantité de travail qu'un cheval pouvait produire était de 33,000 livres anglaises élevées à 1 pied par minute ou, si l'on veut, 1 livre enlevée à 33,000 pieds en une minute, c'est-à-dire que le travail dynamique est le produit de l'effort exercé multiplié par le chemin parcouru par son point d'application.

On peut constater en passant que cette unité est sensiblement la même dans tous les pays, si on transforme les mesures étrangères en mesures françaises donnant des kilogrammètres, c'est-à-dire 1 kilogramme élevé à 1 mètre par seconde.

On a, en effet, pour les valeurs du cheval-vapeur, adopté :

Angleterre	76,041	kilogrammètres.
Autriche	76,119	
Allemagne	75,325	
France	75,000	

L'unité étant connue, on obtiendra l'expression en chevaux de la puissance d'une machine en divisant la quantité de travail développée sur le piston par la valeur du cheval dynamique; ainsi, en désignant par

D le diamètre du cylindre;

C la course;

N nombre de tours par minute,

E l'effort par unité de surface du piston; le travail développé par minute sera

$$\frac{\pi D^2}{4} \times 2CN \times E$$

et si E représente des kilogrammes, D des centimètres, C des mètres, la puissance en chevaux F sera

$$F = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \times \frac{2CN}{60} \times E}{76}$$

en adoptant la véritable valeur du cheval de Watt, c'est-à-dire 76 kilogrammètres. Le chiffre qui depuis a été adopté en France est 75 kilogrammètres.

Cheval effectif. — La formule précédente représente le travail brut développé sur les pistons; mais ce qu'il était important de connaître, c'était le travail utile, c'est-à-dire le travail brut diminué de toute la quantité de travail absorbée par les frottements et les résistances passives; si l'on appelle *e* l'effort sur le piston représentant ce travail, on pourra exprimer sa valeur en chevaux-vapeur avec la même formule qui a servi pour l'effort total E, et en faisant la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

différence entre ces deux travaux, on aura la valeur du travail utile en *chevaux effectifs*, c'est-à-dire F — *f*.

$$F - f = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \times \frac{2CN}{60} \times (E - e)}{76}$$

Cette valeur pourrait être immédiatement connue par un essai au frein de Prony.

Watt fit alors des expériences pour déterminer exactement dans ses machines les valeurs de E et *e* et le résultat obtenu montra que E étant égal à 9 livres par pouce carré ou $9^k,62245$, *e* avait pour valeur moyenne 2 livres ou $0^k,1405$, suivant les dimensions et l'état des machines, par conséquent E — *e* = 7 livres ou $0^k,4918$. Cette valeur substituée dans la formule donne

$$F = \frac{D^2 \times 0,785 \times \frac{2CN}{60} \times 0,4918}{76}$$

ou en simplifiant :

$$F = D^2CN \times \frac{0,08860}{228}, \quad \text{d'où} \quad F = \frac{D^2CN}{0,59} \ (a)$$

en exprimant D et C en mètres.

Cheval nominal. — Il importe de remarquer que dans la formule (*a*) qui donne la puissance nominale, la valeur de la pression ne figure plus isolément; c'est l'emploi de cette formule pour le calcul des machines dans la marine et dans la région du Nord, à Lille, par exemple, qui est le point de départ des confusions qui se produisent encore aujourd'hui. En effet, à mesure que les chaudières en usage fournissaient de la vapeur à des pressions de plus en plus élevées, la puissance des machines augmentait dans une notable proportion, car le terme *e* de la différence E—*e* ne varie que dans une très faible proportion à mesure que la pression sur le piston augmente, et pourtant la formule restait la même. Aussi, aujourd'hui le même *chiffre nominal* s'applique à des machines de forces très différentes et varie pour une même machine avec la pression et le degré de détente de la vapeur. Il y a là une situation regrettable et qu'il importe de voir réformer : ainsi, dans la marine, on peut constater que le cheval nominal représente, suivant les pressions employées, 100, 150, 200 et jusqu'à 300 kilogrammètres. De même, à Lille, des expériences ont montré que les machines verticales de Woolf développent facilement trois fois leur force nominale et même plus; et, en fait, les constructeurs du Nord ont admis le chiffre 3 comme rapport entre le travail indiqué sur le piston et le travail nominal.

$$\frac{Ti}{Tn} = 3$$

Cheval indiqué. — L'emploi de cette locution s'est généralisé en même temps que l'usage de l'indicateur de Watt, appareil trop connu pour qu'il soit néces-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

saire de le décrire. Les diagrammes qu'il fournit montrent toutes les phases de la distribution et permettent d'obtenir, soit par le calcul, soit avec un planimètre, la valeur en kilogrammes de la pression moyenne sur le piston, c'est-à-dire l'effort dont on dispose. Connaissant la vitesse du piston, on fera le produit de ces deux nombres et en divisant par 75, on aura le nombre de chevaux-vapeur indiqués. Il est bien évident que de cette façon on n'a pas tout à fait le travail effectif, mais il suffira pour l'obtenir de le multiplier par un coefficient de réduction, variable suivant la force et le système de la machine.

En Angleterre, les mêmes confusions se sont produites et les expressions cheval indiqué, cheval nominal, cheval effectif, sont en usage comme en France; dans l'amirauté anglaise, l'expression de la puissance nominale a prévalu : en effet, bien qu'elle n'indique pas le travail réel, elle présente l'avantage de pouvoir fixer la valeur commerciale de la machine, puisque, pour des machines ayant même nombre de tours, elle est proportionnelle au volume du cylindre et, par suite, au volume de tout le mécanisme. La formule employée (*admiralty rule*) s'écrit ainsi :

$$F = \frac{(\text{section du cylindre}) \times (\text{pression par pouce carré}) \times (\text{vitesse du piston par } 1')}{33{,}000}$$

Dans cette formule, la pression est prise invariablement égale à 7 livres et la vitesse conforme à celle indiquée par Watt pour ses machines, et on ne tient aucun compte ni des pressions ni des vitesses isolées.

VITESSE DE RÉGIME DES MACHINES DE WATT.

4	p. 0p.	296
4	6p.	204
5	0p.	210
5	6p.	216
6	0p.	228
6	6p.	226
7	0p.	231
7	6p.	236
8	0p.	240

Et la puissance indiquée (*indicated horse power*) IHP est $F_1 = 2\frac{APRS}{33{,}000}$, formule dans laquelle on a :

A = section du piston en pouces carrés;

P = pression moyenne en livres par pouce carré;

S = course du piston en pieds;

R = nombre de tours par minute.

En résumé, l'évaluation de la force des machines en chevaux nominaux dont la valeur est variable présente de graves inconvénients, et notre avis est qu'il conviendrait d'adopter l'unité du cheval-vapeur de 75 kilogrammètres mesuré, dans les cas possibles, sur l'arbre moteur avec un frein dynamométrique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2° GÉNÉRATEURS.

En ce qui concerne les générateurs, la question d'évaluation du cheval-vapeur se complique d'un grand nombre de considérations qui doivent entrer en ligne de compte.

On a pris l'habitude, jusqu'à présent, d'estimer la puissance des générateurs en chevaux-vapeur et l'on compte généralement la surface de chauffe à raison de $1^m,30$ par force de cheval nominal. Ce mode d'évaluation est tout à fait défectueux puisque le cheval-vapeur représente un travail mécanique, c'est-à-dire le produit d'une force par le chemin parcouru par son point d'application.

Le travail, momentanément emmagasiné dans la vapeur comprimée que contient le générateur, se transmet au piston, et sa bonne utilisation dépend, non seulement des conditions de production économique de la vapeur, mais encore du système et de l'état d'entretien de la machine motrice. Par conséquent, dans la comparaison des générateurs entre eux, le travail mécanique produit ne doit pas entrer en ligne de compte, et le principal élément de comparaison est la puissance de vaporisation qui naturellement augmente en même temps que la surface de chauffe. On pourrait donc admettre en principe que, toutes choses égales d'ailleurs, la force des générateurs est proportionnelle à la surface de chauffe. Ensuite le numéro du timbre constitue un élément très puissant de force pour les machines et il faut en tenir compte.

De même les sections des grilles et carneaux, le diamètre et la hauteur de la cheminée qui produit le tirage, la qualité du charbon et de l'eau d'alimentation peuvent modifier dans de larges limites la production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe d'un même générateur.

Mais il y a à faire à la règle ci-dessus des restrictions, et d'abord :

La vaporisation par mètre carré de surface de chauffe dépend beaucoup du système de générateur.

Ainsi, tandis que dans la pratique on est obligé de limiter la consommation de houille à 1 kilogramme par mètre carré de surface de chauffe et par heure pour un générateur demi-tubulaire, on peut aller facilement à 3 kilogrammes pour les chaudières ordinaires à bouilleurs inférieurs, avec ou sans réchauffeurs.

Si donc on compare deux installations :

1° Une chaudière demi-tubulaire de 150 mètres carrés de surface de chauffe sous laquelle on consommera 150 kilogrammes de houille à l'heure, en admettant une vaporisation de 8 kilogrammes d'eau par kilogramme de houille, la chaudière vaporisera 8 kilogrammes d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure, ou 1,200 kilogrammes à l'heure.

2° Une chaudière ordinaire à bouilleurs inférieurs et sans réchauffeurs sous laquelle on consommera 184 kilogrammes de houille à l'heure, en admettant un rendement très bas de $6^k,500$ d'eau vaporisée par kilogramme de houille, vaporiserait 1,200 kilogrammes d'eau à l'heure, et à raison de 3 kilogrammes de houille par heure et par mètre carré de surface de chauffe, elle n'aurait besoin que d'une surface de 61 mètres carrés au lieu de 150 mètres carrés pour vaporiser le même poids d'eau à l'heure.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cet exemple montre que la différence d'élasticité dans la production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe est trop considérable pour qu'il ne soit pas tenu compte du système de générateur.

Il est inutile d'ajouter que, pour les deux chaudières dont il vient d'être question, les conditions de vaporisation, telles que le local, la pression, le mode de chauffage, ont été supposées exactement les mêmes.

D'ailleurs il convient d'observer que, pour un même système de générateurs, il est indispensable de préciser le nombre de kilogrammes de houille que l'on veut consommer par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

En résumé, les indications précédentes permettent de dire que, malgré la connaissance que l'on peut avoir de tous les types de générateurs, on aura toujours à constater, dans les productions de vapeur par mètre carré de surface de chauffe, des différences résultant de toutes les variations qui entrent dans l'évaluation de cette production.

Par conséquent nous demandons que la puissance des générateurs soit fixée, non plus d'après la surface de chauffe, mais simplement par la quantité d'eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe et par heure, en spécifiant la pression de la vapeur et les quantités de houille à consommer par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Les questions secondaires de maçonnerie, de houille à choisir et de chauffeur pourraient faire l'objet de conventions spéciales, suivant les pays. (Applaudissements.)

DISCUSSION.

M. Casalonga. Je voudrais hasarder une petite observation au sujet de la communication que vient de faire notre collègue M. Bourdon. Je crois avoir retenu qu'il proposait de maintenir à la valeur du cheval-vapeur celle de 75 kilogrammètres. J'aurais l'intention de proposer la mesure de 100 kilogrammètres, parce que, si l'on veut arriver à l'unification, il faut s'appuyer sur une base que nous sommes parvenus à généraliser en Europe, le système métrique. Il serait rationnel que le cheval-vapeur fût l'unité et de dire qu'elle aura une valeur de 100 kilogrammètres. Pour avoir aujourd'hui un nombre de chevaux, il faut diviser le nombre de kilogrammètres par 75; il est plus simple de diviser par 100, puisque ce n'est qu'une virgule à déplacer, d'après le système décimal.

Cet amour de l'unité est en moi si grand, qu'il me paraîtrait préférable d'admettre, pour l'angle saillant du filet de vis, l'angle de 54 degrés; cet angle n'a pas été indiqué par moi sans intention et à la légère, mais avec préméditation, car il correspond à une mesure centésimale.

J'admets même qu'on arrivera à diviser le cercle, soit en 400 parties, soit peut-être en 1,000 parties, et qu'on aura des mesures centésimales, car il semblerait étrange qu'on voulût faire de l'unité dans une série de vis et qu'on gardât une autre unité qui ne correspond pas au système métrique.

Je propose donc d'admettre que la mesure du cheval-vapeur sera de 100 kilogrammètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Paul Le Gavrian. Messieurs, je ne puis pas me rallier à l'opinion du préopinant en ce qui concerne la modification qu'il voudrait donner au cheval-vapeur; sous prétexte d'unification, il ne faut pas tout réformer. Si nous voulons arriver à avoir la même mesure pour le cheval comme la même mesure pour les pas de vis, il faut tenir compte un peu des habitudes des peuples qui nous entourent et des habitudes françaises ou étrangères qui nous ont précédés dans cette carrière. Or, pour ne parler que du cheval-vapeur, nous remarquons, comme l'a très bien dit M. Bourdon, que le cheval anglais est de 76 kilogrammètres, comme le cheval autrichien, le cheval allemand et le cheval français sont de 75 kilogrammètres. Nous remarquons surtout que la mesure générale, en Angleterre comme en Amérique, c'est le cheval indiqué; c'est ce cheval qu'on peut apprécier avec tant de facilité au moyen de l'appareil de Watt, perfectionné par Richard. Ce dynamomètre, qui est d'un emploi général sur toute la surface du monde mécanique, nous donne la mesure du cheval indiqué. C'est au cheval indiqué qu'on apprécie les forces en Angleterre comme en Amérique, et quoique M. Bourdon ait cité le nord de la France comme un pays où la transformation manufacturière est appréciée avec des valeurs très variables, je dois dire que depuis dix ans et surtout depuis cinq ans que l'association des propriétaires d'appareils à vapeur a été fondée, on a modifié les idées des industriels et on n'achète plus une machine qu'au cheval indiqué, c'est-à-dire suivant une mesure commune au monde entier, et l'unification désirée est, en réalité, faite. Si vous voulez maintenant transformer cette unité-là, vous trouverez autant de résistances qu'il y aura d'individus et de nations; et loin d'arriver à l'unification, vous aboutirez à la tour de Babel. Je m'associe donc complètement, au nom de la construction du Nord, à la conclusion de M. Bourdon par rapport au cheval-vapeur et je désire qu'elle soit générale; qu'il soit entendu, d'une manière générale, que les machines se vendront au cheval indiqué. Je dois dire que, dans le Nord, on arrive à atteindre ce but et que, à ma connaissance, plus de 400 marchés de machines se sont faits depuis quelques années dans ces conditions-là.

Il y a un pas de vis, le pas de vis Whitworth qui est employé en Angleterre. L'Angleterre a couvert son propre sol de ses machines; elle exporte ses machines dans le monde entier; partout le pas de vis Whitworth est employé; c'est un élément généralement employé pour les besoins de la construction; les constructeurs français et belges ont adopté depuis de trop longues années ce pas, pour aller au-devant de cette unification réclamée. Cette unification il faut la chercher, et la voici bien pratique.

C'est comme si vous vouliez unifier l'écartement des voies de chemins de fer, et que vous proposiez un écartement nouveau; je répondrais qu'il vaudrait mieux, dans ce cas, s'informer de celui qui est le plus généralement adopté et proposer de le ramener au type presque généralement adopté.

Je conclus donc en ceci, que si vous voulez unifier le cheval-vapeur, c'est une chose faite; vous établissez qu'on ne vendra plus de machine qu'au cheval indiqué. Pour le pas de vis, c'est une chose presque toute faite. Prenez le pas de vis Whitworth et ce sera une chose tout à fait réalisée. (Très bien! très bien!)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Casalonga. Je vous prie, Messieurs, d'excuser l'insistance que je mets dans cette discussion, mais je tiens à répondre par quelques observations.

Je n'ai parlé du cheval-vapeur que parce qu'il faut en parler, et parce qu'il s'agit d'un véritable cheval marchand. Je me suis demandé si le cheval-vapeur ne pouvait pas constituer l'unité dynamique ou kilogrammétrique. Ainsi, 75 kilogrammètres seraient les 75 centièmes d'un cheval.

Je dirai aussi, en ce qui concerne le cheval-vapeur, que je me suis placé à un point de vue théorique; mais je demande si ce point de vue ne pourrait pas aussi bien être celui de la pratique, et si on ne pourrait pas estimer en chevaux effectifs de 100 kilogrammètres estimés au frein le travail des machines de l'industrie.

En ce qui concerne les pas de vis, l'exemple choisi par mon honorable collègue ne me paraît pas devoir être considéré comme ayant quelque rapport avec la question dont nous nous occupons, en ce sens qu'il serait difficile de changer les voies russes et espagnoles, les deux seules qui ne soient pas à la largeur de voie de celles des autres pays.

Il y a, au contraire, des maisons de construction qui ont changé aisément leurs pas de vis. Je citerai la maison Ducommun, parce que c'est celle dont j'ai étudié la série; et elle a transformé trois fois cette série sans éprouver le moindre inconvénient dans ses ateliers.

Les tarauds, les coussinets de filières sont des organes simples, qui travaillent beaucoup; et on a vite remplacé les boulons d'un magasin par les boulons fondés sur une nouvelle série.

Comme je l'ai déjà dit, la série Whitworth est appliquée, en effet, dans beaucoup d'ateliers de construction; mais je dois ajouter qu'on fait beaucoup d'efforts pour y échapper. On ne peut pas avoir, dans un atelier, des séries de roues d'engrenage divisées suivant les mesures métriques, pour les appliquer à des tours à fileter devant produire des pas de vis, fondés sur des mesures d'une nature différente; il y a là une anomalie à laquelle les constructeurs désirent se soustraire. C'est un point sur lequel j'ai cru devoir aussi appeler votre attention.

Le seul obstacle de la part des Anglais sur cette question, c'est qu'ils ne veulent pas accepter le système métrique. Ils ont leur raison pour cela. Ils sont puissants, très forts; seulement il ne s'agit pas d'exclusion, mais d'un effort international à faire. On a un système qui appartient au monde entier, il faut savoir s'il est préférable à un autre, s'il réalise des avantages tant au point de vue théorique que pratique et s'il y a lieu de l'adopter. C'est ainsi que doit se poser la question. (Applaudissements.)

M. le Président. Quelqu'un demande-t-il la parole ?... Personne ne demandant la parole, la séance est levée.

Il me reste à remercier les orateurs des lumières qu'ils ont apportées sur les questions qu'ils ont traitées.

La séance est levée à midi cinq minutes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SÉANCE DU JEUDI 8 AOÛT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BOULÉ,

VICE-PRÉSIDENT DU CONGRÈS, INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Ordre du jour : 4e Section. — Routes, rivières et canaux.

Sommaire. — Barrages mobiles en rivière : Rapport de M. de Préaudeau. — Barrages en cours d'exécution en France : Rapport de M. Caméré. — Barrages mobiles sur la Meuse : Rapport de M. Hans. — Dépôt d'une notice sur les modèles d'écluses à plan incliné qui figurent à l'Exposition. — Observations de M. Boulé, président.

Procédés de montage des ponts métalliques : Mémoire de M. Seyrig. — Observations de M. Clavenad.

La séance est ouverte à dix heures un quart.

Le bureau est composé de MM. Boulé, président; Hans, Watson, Richard, assesseurs, et de Préaudeau, secrétaire.

M. le Président. En ouvrant cette séance, je dois vous informer qu'à notre grand regret M. Malézieux n'a pas pu venir la présider, comme nous l'espérions. Je suis chargé de le remplacer, et je dois tout d'abord vous prier d'excuser mon insuffisance et de me dispenser de prononcer un discours. Je me sens tout à fait incapable d'imiter les orateurs que vous avez entendus dans les séances précédentes, et, d'ailleurs, nous avons deux questions importantes à traiter et nous disposons de très peu de temps. Permettez-moi donc de donner immédiatement la parole à M. de Préaudeau, rapporteur de la question des barrages mobiles en rivière.

M. de Préaudeau. Messieurs, avant de commencer mon rapport sur la question des barrages mobiles en rivière, j'ai à vous indiquer, comme secrétaire, les communications qui ont été reçues par la 4e section et déposées sur le bureau.

Ces communications comprennent, en ce qui concerne les ponts métalliques, une note sur la vérification de la stabilité des arcs métalliques par M. Alfred Durand-Claye; cette note a été publiée en 1868 dans les *Annales des ponts et chaussées;*

En ce qui concerne les voies ferrées sur route, une note inédite de M. Mi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chaud, ingénieur des ponts et chaussées. Cette note, se rapportant à l'une des questions à l'ordre du jour de la 5e section, a été transmise au secrétaire de cette section.

Pour les travaux en rivière, la 4e section a reçu :

Une note relative aux expériences sur les affouillements, par M. Alfred Durand-Claye. Cette note a été publiée en 1873 dans les *Annales des ponts et chaussées;*

Une note de M. Bergeron, annonçant une communication sur un moyen de faire des coupures dans les bancs de sable qui barrent l'entrée des ports de mer ou qui gênent la navigation fluviale;

Deux mémoires sur les barrages mobiles à grande chute, par M. Boulé; ces mémoires ont paru dans les *Annales des ponts et chaussées* en 1873 et en 1876;

Une notice sur les barrages de la Meuse belge, exposés en 1876 à Bruxelles, avec six dessins autographiés se rapportant aux mêmes travaux. Ces documents sont déposés par M. Hans, ingénieur des ponts et chaussées, chargé du service spécial de la Meuse dans la province de Namur, que nous sommes heureux de voir siéger au bureau, comme vice-président de cette séance;

Enfin des dessins des fermettes des barrages de la Moskwa, avec une note de M. Birlé, ingénieur de la société de touage de cette rivière.

Je passe maintenant à la question des barrages mobiles, sur laquelle je suis chargé de vous faire un rapport.

RAPPORT

SUR LES BARRAGES MOBILES EN RIVIÈRE,

PAR M. DE PRÉAUDEAU,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

M. DE PRÉAUDEAU. Messieurs, avant de vous faire connaître les systèmes de barrages mobiles qui figurent à l'Exposition universelle de 1878, le Comité de la 4e section a pensé qu'il convenait de vous rappeler l'historique de ces barrages ainsi que les types actuellement pratiqués, non pas dans le but de discuter quelle solution convient à telle ou telle rivière, mais en vue seulement de vous indiquer les dispositions mécaniques adoptées dans la fermeture et la manœuvre de ces barrages.

M. le directeur de l'École des ponts et chaussées a bien voulu mettre à la disposition du Congrès un certain nombre de modèles existant dans les galeries de cette École, et ce prêt bienveillant me permettra de rendre mes explications plus claires et plus rapides.

Examinons d'abord en quoi consiste le problème à résoudre. On demande à un barrage mobile :

De donner au-dessus du seuil, en basses eaux, la retenue nécessaire aux besoins de la navigation ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

De permettre, pendant cette période, par des manœuvres rapides, exécutées par des hommes ou par des engins automoteurs, de suivre le débit du cours d'eau de manière à ne pas laisser se produire d'abaissement dangereux et à livrer passage aux petites crues;

De s'effacer par une manœuvre également rapide, lorsque la hauteur des eaux le réclame, en ne formant aucune saillie nuisible sur le fond du lit;

De pouvoir se relever aussitôt après le passage de la crue pour ne pas arrêter la navigation.

Mais de même que, dans les retenues constituées sur les cours d'eau non navigables, pour les besoins de l'industrie, on trouve deux dispositifs : des vannes de fond destinées au passage des hautes eaux, et un déversoir qui a pour but de parer aux petites crues; de même, sur une rivière navigable, il ne sera pas nécessaire de livrer à la navigation, pendant les crues, toute la largeur du lit; il suffira de construire une ou deux passes navigables et de considérer le surplus du barrage comme un déversoir dont le seuil fixe sera nécessairement plus élevé, et qui pourra se fermer par des engins de moindre hauteur.

Ces distinctions étaient nécessaires à établir, parce que, dans l'examen que nous allons commencer, vous reconnaîtrez que certaines solutions s'appliquent soit aux passes navigables, soit aux déversoirs.

Cela posé, les barrages mobiles les plus pratiqués rentrent dans l'une des trois catégories suivantes :

Barrage à fermettes et à aiguilles du système Poirée;

Barrage à hausses du système Chanoine;

Barrage à hausses du système Desfontaines.

La fermeture des anciens pertuis accolés aux barrages fixes, qui dans la première partie de ce siècle remplaçaient sur les rivières navigables les vannes de fond des petits cours d'eau, s'est d'abord effectuée par des portes marinières, larges vannes de 5 à 6 mètres, qu'on ouvrait au passage des bateaux; plus tard, la largeur des pertuis ayant augmenté, on fut contraint de les fermer au moyen de planches verticales s'appuyant sur un seuil fixe scellé dans le radier, et sur un seuil mobile placé au niveau de la retenue en travers de la passe. Ce sont ces planches qui, réduites à de petites dimensions transversales pour faciliter leur manœuvre et à section carrée pour permettre leur pose sur toutes les faces, sont devenues les aiguilles des nouveaux barrages. Mais l'extension du système était limitée par les dimensions excessives qu'il fallait donner au seuil supérieur appuyé seulement aux deux extrémités du pertuis.

En 1834, M. Poirée, alors ingénieur en chef du canal du Nivernais, eut l'idée de diviser ce seuil en petits éléments, supportés par la tête de cadres métalliques placés dans le sens du courant, mobiles autour d'un arbre horizontal dont les tourillons étaient scellés au radier et supportant à la partie supérieure une passerelle de manœuvre. Les cadres dont je vous parle sont ce qu'on a appelé les fermettes.

Ce système était considéré comme permettant d'obtenir des retenues de $1^m,80$ au-dessus du seuil avec 1 mètre à $1^m,50$ de chute.

Dans les premiers barrages, on l'a employé à deux modes de navigation

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

différents : ou bien il s'agissait, lorsque la retenue était constituée, d'en dépenser rapidement le volume pour produire sur les hauts-fonds d'aval des lâchures destinées à faciliter la descente et notamment le flottage des bois, ou bien la navigation passait par une écluse accolée au barrage et alors les manœuvres d'abatage se faisaient à bras d'hommes.

Dans la première hypothèse, au contraire, les barres qui reliaient la tête des fermettes et qui servaient à l'appui des aiguilles, étaient rattachées à l'une des fermettes par un axe autour duquel elles pouvaient tourner, et s'appuyaient sur la fermette voisine par un système d'échappement, tellement disposé que, lorsque par une manœuvre on faisait échapper la barre extrême d'une passe, le mouvement de cette barre faisait déclancher la suivante, et ainsi de suite, jusqu'à l'ouverture complète. Les aiguilles, attachées les unes aux autres par un cordage, s'échappaient dans l'intervalle compris entre les fermettes consécutives et étaient repêchées à l'aval.

Mais ce mode de navigation, exclusivement utile pour la descente, est d'un emploi de plus en plus limité, et c'est en vue de la navigation par les écluses que les ingénieurs ont étudié les extensions possibles du système Poirée.

Aussi, tandis que les premières fermettes ne dépassaient pas 2 mètres, on a successivement construit des fermettes de $3^{m},30$ sur la basse Seine, de $4^{m},07$ sur la Saône, de $4^{m},75$ à Port-à-l'Anglais, sur la haute Seine, au-dessus de Paris; ces dernières ne sont destinées qu'exceptionnellement à supporter la retenue; nous verrons leur rôle à l'occasion du barrage Chanoine.

Le point important est que, au fur et à mesure qu'on augmentait la hauteur des fermettes, la distance entre les points d'appui des aiguilles augmentait, en même temps que la chute; et ces engins, qui avaient d'abord 6 centimètres de section avec $2^{m},50$ de longueur, se trouvaient portés à une section de 8 à 10 centimètres, avec une longueur de 4 mètres. Il n'était plus possible de les manœuvrer à la main sous la chute, et diverses solutions ont été expérimentées soit pour faire cette manœuvre, soit pour parer aux accidents qui se produiraient.

Ou bien on a donné aux aiguilles des passes navigables qui étaient les plus longues un troisième point d'appui au moyen de madriers horizontaux s'appuyant sur les fermettes et placés à peu près au point d'application de la pression : on les appelle barres de soulagement.

Ou bien on a augmenté l'équarrissage des aiguilles, et on est venu les manœuvrer de l'amont au moyen d'un treuil porté sur un bateau de manœuvre.

Ces deux solutions ont été pratiquées sur la basse Seine; des barres de soulagement ont été employées aussi dans les barrages construits depuis 1872 sur la Moskwa.

Sur la Meuse belge, M. Kümmer, ingénieur en chef du service des ponts et chaussées dans la province de Liège, a imaginé, vers 1845, un mode d'échappement qui est conçu dans un système tout différent de celui des premiers barrages Poirée, pour éviter l'enlèvement à la main des aiguilles sans abattre les fermettes. L'échappement se manœuvre d'une passerelle supérieure et agit isolément sur chaque barre d'appui; les lâchures, qui ont pour but le règle-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment du bief, se répartissent ainsi à la volonté du barragiste sur toute la longueur de l'ouvrage.

Bien que le système ait été appliqué avec succès sur la Meuse belge dans l'étendue des travaux récemment faits auprès de Namur, il n'est pas à l'abri de toute critique, surtout au point de vue des affouillements qu'il peut déterminer en aval des barrages; il est appliqué avec des fermettes de 4 mètres de hauteur à une retenue de $3^m,20$ au-dessus du seuil, avec $2^m,70$ de chute.

Le type des barrages à fermettes n'a pas dépassé cette limite.

Pendant que M. Poirée en poursuivait les premières applications, les recherches des ingénieurs se portaient dans une autre direction. Tout le monde connaît les hausses à charnières, formées d'une simple planche, que les usiniers emploient pour remplacer, dans les eaux basses, la lame qui déverse, en eaux moyennes, sur les barrages fixes, et qui complète la hauteur de chute qui peut leur être nécessaire; ces hausses s'appuient souvent au moyen d'une contre-fiche dans une encoche pratiquée dans la crête du déversoir; il suffit d'un coup donné avec une gaffe sur la contre-fiche pour produire l'abatage de la hausse; mais pour la remettre en place, il est nécessaire d'attendre que le bief d'amont ait baissé jusqu'au niveau de la crête du déversoir.

L'extension de cette idée a donné naissance, entre les mains de MM. les ingénieurs Thénard et Chanoine, à un nouveau système de barrages. M. Thénard avait construit en 1831, sur l'Isle, des hausses de 1 mètre environ de hauteur pour empêcher les dommages que causaient d'anciens barrages fixes; ces hausses, à axe horizontal fixé sur le seuil, s'appuyaient en outre, quand elles étaient levées, sur un arc-boutant. M. Thénard avait imaginé de disposer au droit des arcs-boutants une barre transversale, munie de talons espacés, de manière que, par un mouvement de peu d'amplitude, les talons rencontrassent successivement les arcs-boutants et les fissent échapper des heurtoirs; on donnait ainsi passage aux crues et l'abatage ne présentait pas de difficultés. Mais il s'agissait ensuite de relever les hausses contre le courant. Cette manœuvre s'effectuait au moyen de contre-hausses présentant également un axe inférieur, qui étaient rabattues vers l'amont, lorsque la retenue était pleine, et maintenues en place par des loquets. Lorsqu'ensuite, le barrage étant couché, on voulait rétablir la retenue, il suffisait de faire échapper les loquets des contre-hausses pour les redresser par l'effet du courant. On pouvait alors passer à peu près à sec sur le déversoir et remettre les hausses en place; lorsque ensuite elles supportaient la retenue, les contre-hausses étaient équilibrées et retombaient naturellement dans leur chambre.

Mais il est évident que ce système n'aurait pas été susceptible d'une grande extension, à cause de l'obligation d'avoir deux séries de hausses et ensuite de faire sur le déversoir une manœuvre dans l'exécution de laquelle on n'était pas à pied sec.

Voici comment M. Chanoine l'a perfectionné :

Pour relever la hausse contre le courant, sans employer de contre-hausse, il faut qu'elle soit articulée de manière à se manœuvrer en suivant à peu près le fil de l'eau; dans ce but, la hausse n'est pas fixée directement au radier, elle peut osciller autour de l'arbre horizontal supérieur d'un chevalet en fer dont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'arbre inférieur s'engage par ses extrémités dans des coussinets scellés dans le radier. L'arbre supérieur du chevalet est articulé avec l'extrémité correspondante d'un arc-boutant dont l'autre extrémité vient buter, lorsque la hausse est relevée, contre un heurtoir en fonte. La hausse en place a deux points d'appui : à son pied, un seuil en charpente, et, à une certaine hauteur au-dessus du seuil, la tête du chevalet qui reporte sa pression par l'intermédiaire de l'arc-boutant sur le heurtoir en fonte; tant que l'arc-boutant reste appuyé contre le heurtoir, la hausse ne peut se mouvoir qu'en basculant autour de l'arbre supérieur du chevalet.

Il y a deux cas : ou il s'agit des passes navigables qui doivent rester fermées jusqu'au moment où, pour abattre les hausses, on fait échapper l'arc-boutant du heurtoir au moyen d'une barre à talons comme dans le système Thénard; ou on construit un déversoir dont les hausses doivent se mettre spontanément en bascule pour une certaine surélévation du plan d'eau.

Dans le premier cas, l'axe de rotation se place un peu au-dessous du milieu de la hausse; dans le second, il descend jusqu'au-dessous du tiers inférieur.

On avait à l'origine supposé qu'on pourrait obtenir à la fois pour les hausses de déversoir le basculement et le redressement spontanés, et on avait disposé, à cet effet, un contrepoids mobile qui devait assurer ces deux résultats.

L'expérience n'a pas réussi. Elle a prouvé que les hausses ainsi construites ne se redressaient que pour un notable abaissement du plan d'eau, et on a préféré recourir, pour les relever, à un système analogue à celui des passes navigables. Pour celles-ci, à l'origine, la manœuvre de redressement s'opérait au moyen d'un bateau amarré en amont. On saisissait avec un croc à chaîne, manœuvré par un treuil, une poignée placée à la culasse de la hausse qui se mettait ainsi en mouvement en restant à peu près parallèle au fil de l'eau, et par conséquent en n'offrant pas au courant une trop grande prise; et c'est seulement lorsque l'arc-boutant était venu se placer sur son heurtoir, qu'on appuyait sur la culasse de la hausse pour la faire redresser par le courant.

Depuis, les dangers et les difficultés de cette manœuvre ont souvent fait adopter l'usage d'une passerelle sur fermettes, établie en amont des hausses pour porter le treuil à manœuvre, et on a été conduit à la même disposition pour les déversoirs, mais par des considérations différentes.

De même que, pour les barrages à aiguilles, les dimensions des barrages construits dans ce système ont progressivement augmenté : la hauteur des hausses, qui était primitivement de 3 mètres, a atteint $3^{m},62$ sur la Saône et $3^{m},86$ à Port-à-l'Anglais.

Sur la Meuse belge, où les passes navigables sont fermées par des aiguilles et où l'on a réservé les hausses Chanoine pour les déversoirs, on a été conduit, pour ne pas exagérer la longueur des barrages, à donner $2^{m},25$ de hauteur à des hausses dont on voulait obtenir à la fois le basculement et le redressement spontanés. On peut y parvenir en introduisant dans la volée des hausses des vannes-papillons mobiles autour d'un axe horizontal, qui s'ouvrent avant la mise en bascule et qui assurent ensuite à la culasse un excès de pression qui la redresse; mais les ingénieurs belges reconnaissent que ce moyen n'est pas d'une efficacité absolue, et qu'il reste toujours un certain nombre de hausses à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

redresser à la main. Dans tous les cas, soit pour le relèvement, soit pour l'abatage, les barrages que nous venons de décrire exigent des manœuvres de force quelquefois dangereuses.

Les manœuvres des déversoirs s'effectuent le plus souvent sous une certaine chute; il a semblé qu'on pouvait lui emprunter le moyen de les exécuter. C'est le problème que M. Desfontaines a remarquablement résolu sur la Marne.

Sur un seuil placé à $1^{m},50$ au-dessus de l'étiage, il a disposé des hausses mobiles autour d'un axe horizontal inférieur, mais prolongées par des contre-hausses qui se meuvent dans une chambre creusée dans le radier sur toute la longueur du barrage, maçonnée à sa partie inférieure, revêtue, au-dessus, de plaques de fonte et divisée, par des diaphragmes en fonte, en compartiments qui correspondent aux hausses successives. Deux orifices sont percés dans les diaphragmes, l'un au-dessus, l'autre au-dessous des positions limites que peut occuper la contre-hausse dont la longueur est légèrement supérieure à celle de la hausse; la contre-hausse se meut d'ailleurs dans une chambre qui épouse complètement sa forme avec un jeu de quelques millimètres le long de ses parois; des aqueducs sont percés dans les piles et culées, de manière à mettre chacune des chambres du radier en communication avec l'amont ou avec l'aval.

A cause de la hauteur du seuil fixe, il subsiste toujours une certaine chute lorsqu'on veut relever le déversoir; il suffit donc d'ouvrir la ventelle qui met le bief supérieur en communication avec l'amont de la contre-hausse, pour que la pression relève la hausse jusqu'aux taquets qui limitent la rotation; et, par les orifices des diaphragmes, qui séparent les compartiments, la pression se transmet promptement d'une extrémité à l'autre du barrage. On a d'ailleurs observé dans la pratique qu'en combinant les ouvertures des ventelles d'amont et d'aval, on pouvait obtenir sur les contre-hausses une pression intermédiaire à celle nécessaire pour le relèvement complet et, par suite, la fixation des hausses à un angle intermédiaire.

C'est un spectacle remarquable que de voir manœuvrer sur la Marne les déversoirs du système Desfontaines. Un seul homme agissant sur une manivelle peut diriger la force motrice; et en quelques instants on voit successivement surgir du fond de l'eau et se dresser contre le courant les vannes qui ferment le barrage à l'emplacement où l'on ne voyait, quelques minutes auparavant, que la lame déversante s'écouler sur le seuil fixe. Mais la hauteur de ce seuil et les dimensions des contre-hausses limitent nécessairement le développement de ce système remarquable; on ne peut guère dépasser $1^{m},50$ pour la hauteur des hausses. L'application est donc restreinte aux rivières qui peuvent supporter sans inconvénient des seuils fixes d'une assez grande hauteur.

J'ai terminé, Messieurs, la description des types de barrages qui ont le plus contribué à améliorer la navigation de nos rivières. A l'étranger, les travaux analogues sont rares, excepté en Belgique, où nous avons cité les barrages de la Meuse belge avec passes navigables à fermettes et déversoirs à hausses. En Angleterre, on signale seulement un barrage à vannes levantes à Teddington, près de Richmond, sur la Tamise. En Amérique, M. Malézieux nous a dit hier

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qu'aucun barrage mobile n'est à signaler, et que le barrage même qu'en France on appelle américain est presque complètement inconnu aux États-Unis.

En Russie, depuis 1872, on a construit sur la Moskwa, entre Moscou et Kolumna, où la Moskwa se jette dans l'Oka, affluent du Volga, six barrages à fermettes, fermés d'abord par des aiguilles, ensuite par de simples madriers horizontaux superposés, conformément à un système expérimenté sur la Seine par M. Boulé, et sur lequel nous reviendrons.

En France, cependant, l'augmentation des retenues excitait d'une manière continue les préoccupations des ingénieurs, et leur esprit s'appliquait d'abord à trouver la solution dans des variantes aux types expérimentés.

C'est ainsi que M. Boulé, après avoir donné une certaine extension au système de barrage de M. Chanoine, en construisant la passe profonde de Port-à-l'Anglais, reconnut dans les aiguilles l'obstacle à l'agrandissement du barrage à fermettes, et pensa qu'il était préférable de prendre pour point d'appui du vannage les fermettes elles-mêmes dont l'espacement est généralement peu supérieur à 1 mètre. Il a appliqué en 1874, à Port-à-l'Anglais, un système de vannage appuyé sur les fermettes de la passe navigable profonde; pour faciliter les manœuvres, il a divisé les vannes en éléments superposés, d'un mètre environ de hauteur, qui se placent et s'enlèvent individuellement au moyen d'un treuil. Il existe à l'Exposition un modèle dérivant absolument de ce système, à cela près que les vannes, au lieu d'être glissantes sur les montants des fermettes, s'y appuient par l'intermédiaire de roulettes qui servent ensuite à transporter les vannes en magasin au moyen d'une voie sur la passerelle du barrage.

Les ingénieurs ont été également séduits par l'idée de M. Desfontaines et ont imaginé diverses dispositions pour faire manœuvrer par la chute les hausses des déversoirs. MM. Cuvinot et Caro ont étudié, dans ce but, des systèmes dont l'exposé nous conduirait trop loin.

Enfin M. Krantz a étudié et expérimenté un système de barrage qui est une extension remarquable du barrage américain dont j'ai prononcé le nom et dont je voudrais vous donner une idée.

Deux hausses à axe horizontal fixées au radier se rabattent en se croisant, celle d'amont sur celle d'aval, sur une chambre qui peut être mise en communication avec le bief d'amont au moyen d'un aqueduc percé dans des maçonneries. Des contre-hausses rabattues vers l'amont peuvent déterminer une chute qui, agissant par les aqueducs sur les hausses principales, les soulève jusqu'à ce qu'elles s'arrêtent à des taquets fixés dans la maçonnerie.

Dans le barrage de M. Krantz, l'effet des contre-hausses est remplacé par un réservoir qu'on remplit lorsque le bief d'amont est plein. La hausse d'aval est remplacée par un ponton en tôle mobile, autour d'un axe horizontal, fixé en aval et susceptible de se relever à son autre extrémité; la hausse d'amont, au lieu d'être fixe, est articulée sur le ponton flottant, de même que la hausse Chanoine sur son chevalet, et c'est la pression produite par l'eau du réservoir, introduite sous le ponton, qui le fait tourner et détermine le relèvement de la hausse, que la pression appuie contre une saillie du radier.

Un certain nombre d'éléments semblables, de $2^m,80$ de largeur, constituent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chaque passe, et le volume du réservoir où se trouve l'eau motrice doit être suffisant pour assurer le relèvement successif de tous ces éléments.

Il ne me reste plus, pour achever l'historique de ces recherches, qu'à vous signaler le système imaginé par M. Girard, l'ingénieur hydraulicien bien connu, pour relever des hausses de déversoir à axe horizontal inférieur contre les courants au moyen de l'eau comprimée. L'eau agit sur un piston dans une sorte de presse hydraulique placée sous le bief d'aval pour être à l'abri de la gelée et transmet, par l'intermédiaire d'une bielle, son mouvement à l'articulation de la hausse. Comme il s'agissait d'un déversoir dans le barrage de l'île Brulée, sur l'Yonne, où ce système a été appliqué, malheureusement après la mort de son auteur, la chute fournissait la force motrice. L'eau est comprimée au moyen d'une turbine, et une tuyauterie, établie sur une partie du radier, communique individuellement le mouvement à chaque presse hydraulique et par suite à chaque hausse.

C'est assurément, au point de vue mécanique, une conception remarquable; mais si l'on réfléchit que les principaux engins qui constituent ce système sont constamment sous l'eau et que leur visite ne peut se faire qu'au moyen du scaphandre ou d'épuisements partiels, on reconnaîtra que son application ne peut être très étendue et que son prix dépasse de beaucoup celui des ouvrages analogues établis dans d'autres systèmes.

En résumé, Messieurs, les différents systèmes de barrages dont nous venons de vous donner les indications principales ont réalisé, depuis quarante ans, dans la navigation intérieure de la France, des progrès considérables. Ils ont satisfait à leur objet tant qu'il ne s'est agi que de produire un tirant d'eau de 2 mètres, ne comportant généralement pas plus de 3 mètres de retenue moyenne sur les passes navigables.

Mais la plupart de ces systèmes sont arrivés à la limite de leur application, et de nouvelles recherches ont dû être faites pour remplir un programme plus étendu et satisfaire aux besoins toujours croissants de la navigation. Ce sont ces recherches qui ont donné lieu aux études dont il vous reste maintenant à connaître les résultats ou les espérances. (Applaudissements.)

M. le Président. Messieurs, je suis chargé de vous annoncer que samedi prochain, 10 août, à trois heures, une séance supplémentaire aura lieu dans la salle des conférences (pavillon de gauche, côté de Passy), après la conférence de M. Roux sur la dynamite.

Cette séance sera consacrée à la discussion des mémoires de MM. Lippmann et Brüll sur les sondages et les transports par chaînes flottantes; elle a été demandée par M. Warocqué, pour permettre aux ingénieurs belges, qui sont arrivés en assez grand nombre, de prendre à la discussion la part qui leur appartient.

La question sera introduite par M. Guinotte, et la séance sera présidée par M. Amédée Burat [1].

Je donne maintenant la parole à M. Caméré.

[1] Voir le compte rendu de cette séance, p. 61.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉMOIRE

SUR DIVERS BARRAGES EN COURS D'EXÉCUTION EN FRANCE,

PAR M. CAMÉRÉ,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

M. Caméré. Messieurs, mon collègue, M. de Préaudeau, vient de vous retracer l'historique de la question des barrages mobiles et de vous décrire les principaux types de ceux exécutés jusqu'à ce jour.

De plus, il vous a indiqué quelles sont les hauteurs maxima de retenue absolue que l'on n'a pas osé dépasser avec ces barrages et qui sont, en ne s'arrêtant qu'aux deux types qui ont permis de réaliser les plus fortes retenues :

De 3 mètres, avec une chute de $2^{m},50$, dans le barrage de Suresnes, du système Poirée;

De $3^{m},80$, avec une chute de 3 mètres, dans le barrage de Port-à-l'Anglais, du système Chanoine.

Or, ces hauteurs, suffisantes pour satisfaire aux besoins d'une navigation avec un tirant d'eau de 2 mètres, ne le sont plus dès qu'il s'agit de tirants d'eau supérieurs, et notamment de ceux que l'on a tendance à adopter actuellement pour les cours d'eau en communication directe avec la mer, afin de les rendre accessibles à une batellerie de fort tonnage, et même à des navires de mer d'une construction spéciale.

Cette tendance vient d'être consacrée en France par la loi votée par la Chambre des députés, le 6 avril 1878, au sujet de la Seine, loi d'après laquelle les travaux d'amélioration doivent être conduits de manière à assurer en tout temps à cette rivière un tirant d'eau de 3 mètres au minimum dans son parcours entre Rouen et Paris.

Ainsi que cela se passe presque toujours lorsqu'un besoin est bien constaté, les moyens d'y satisfaire ne manquent pas de se produire, et de nombreux types de barrages à grandes retenues ont été imaginés dans ces derniers temps, soit par l'industrie privée, soit par les ingénieurs de l'État.

La comparaison de ces divers systèmes constituerait certainement une étude des plus intéressantes, mais outre les difficultés que nous aurions rencontrées à réunir, dans le peu de temps dont nous avons disposé pour préparer cette note, les documents à ce nécessaires, la part que nous avons prise dans la création du nouveau type de barrage que l'Administration vient d'adopter pour la Seine, nous fait un devoir de ne pas même effleurer cette question et de nous contenter de ne vous entretenir que :

1° Du système de barrage en cours d'exécution sur la Seine à Port-Villez;

2° Du système de barrage qui va être exécuté sur la Seine, près du village de Poses; barrages qui rentrent tous les deux dans l'ensemble des ouvrages projetés pour l'amélioration de la Seine au point de vue du tirant d'eau de 3 mètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Barrage de Villez. — Le barrage dont nous poursuivons actuellement la construction à Port-Villez est à fermettes [1].

Par suite de la retenue de 4 mètres qu'il doit fournir sur le seuil des passes profondes, il constituera, croyons-nous, l'ouvrage le plus important de ce genre, et, à ce titre, il mérite certainement qu'on s'y arrête.

Ce barrage, qui se trouve accolé à l'écluse du même nom, a une longueur totale de 213^{m},50, se répartissant en trois passes, savoir:

Deux passes profondes navigables ayant chacune une largeur libre de 60^{m},40;

Une passe formant déversoir d'une largeur libre de 80 mètres.

Pour les passes profondes, la retenue s'élève à 4 mètres au-dessus du seuil, et pour la passe du déversoir, à 2 mètres seulement.

Les fermettes du déversoir, dont la passerelle est située à 50 centimètres au-dessus du niveau de la retenue, ont une hauteur totale de 2^{m},80 et leur poids est de 362 kilogrammes.

Quant aux fermettes des passes profondes, elles s'élèvent au niveau de celles du déversoir, c'est-à-dire à 50 centimètres au-dessus de la retenue, ont une hauteur totale de 5^{m},50, et leur poids est de 1,700 kilogrammes, en nombres ronds.

Toutes ces fermettes sont disposées à leur partie supérieure pour recevoir deux voies de 80 centimètres d'écartement, lesquelles règnent d'une manière continue sur toute la longueur du barrage, même à travers les piles et la culée de la rive droite, et peuvent être mises en communication sur les piles au moyen de plaques tournantes.

Les rails composant ces voies servent à entretoiser les fermettes entre elles et remplacent, par là même, les pièces appelées griffes dans les barrages à fermettes.

Les fermettes du déversoir, sauf une console placée en aval pour élargir la plate-forme de manière à permettre la pose de la double voie dont il vient d'être question, ne présentent aucune particularité à signaler.

Elles reposent sur le radier au moyen de coussinets en fonte retenus par des boulons ancrés sous des pierres de taille.

Enfin, lorsqu'elles sont couchées, elles se trouvent masquées vers l'amont par un cours de pièces de fonte en forme de simple cornière, qui constituent ainsi l'encuvement nécessaire pour les protéger contre les atteintes de la batellerie.

Les fermettes des passes profondes présentent, comme nous l'avons déjà dit, une hauteur totale de 5^{m},50 et un poids de 1,700 kilogrammes. Ce sont, comme on le voit, des engins sortant complètement des dimensions et des poids admis jusqu'ici et leur manœuvre exigera des appareils tout spéciaux, à l'étude pour le moment.

Toutefois, nous devons faire remarquer que si la hauteur de 5^{m},50 de ces

[1] Le projet du barrage de Villez a été dressé par M. Cheysson, comme ingénieur ordinaire, présenté par M. l'ingénieur en chef de Lagréné, et approuvé par décision ministérielle du 25 mars 1876.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fermettes se trouvait, pour ainsi dire, commandée par la hauteur de la retenue à constituer, leur poids aurait pu être réduit dans une certaine proportion si ces fermettes n'avaient dû satisfaire, au point de vue du vannage, à des conditions sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

Vu l'importance des pressions à supporter par ces fermettes, les précautions les plus grandes ont été prises pour assurer leur attache sur le radier du barrage.

A cet effet, les coussinets en fonte qui reçoivent les tourillons des fermettes sont fixés, tant pour ceux d'amont que pour ceux d'aval, sur des poutres métalliques, en forme de double T, qui règnent sur toute la largeur des passes, et qui sont reliées entre elles par des poutres, également en forme de double T, qui servent d'entretoises.

Ce grillage métallique est non seulement complètement encastré dans le radier en maçonnerie, mais présente à l'amont une série d'ancrages verticaux destinés à s'opposer à tout soulèvement de ce grillage, sous l'influence des efforts de bas en haut développés par les fermettes sur leurs coussinets d'amont.

Quant à l'encuvement destiné à recevoir les fermettes une fois couchées, il est formé par une poutre métallique en forme de double T, fixée au-dessus de la poutre longitudinale sur laquelle se trouvent attachés les coussinets d'amont et par un cours de pièces en fonte dont le profil est disposé de manière à obtenir un seuil de butée semblable à ceux des barrages à fermettes et à aiguilles.

Ces différentes pièces métalliques sont protégées à l'amont par un massif de maçonnerie formant le radier d'amont du barrage et constituant un encuvement d'une hauteur de 85 centimètres, hauteur considérable que l'on a été conduit à adopter, tant par suite de l'épaisseur de 12 centimètres que l'on a dû donner aux fermettes, pour éviter tout flambement dangereux dans les manœuvres, que par suite du grand nombre de fermettes (5) qui se superposent une fois couchées, ce qui tient à leur grande hauteur ($5^{m},50$), comparée à la distance de $1^{m},10$ seulement qu'elles présentent d'axe en axe.

Comme on le comprend aisément d'après cette description, le poids du métal qui entre dans les passes profondes est assez considérable; il s'élève en effet, non compris les fermettes, à 4 tonnes environ par mètre courant de passe.

Ajoutons, pour terminer ce que nous avons à dire au sujet du corps proprement dit du barrage:

Que, dans les différentes passes, le radier est composé d'un massif de béton compris entre deux lignes de pieux et palplanches reposant sur le terrain solide et non affouillable, et recouvert à sa partie supérieure par un parement en maçonnerie de moellons et de pierres de taille;

Que, pour la passe du déversoir, l'épaisseur moyenne du radier est de 7 mètres, et sa largeur dans le sens transversal de 12 mètres;

Que, pour les passes profondes, l'épaisseur du radier est en amont de $6^{m},80$ et en aval de 6 mètres, et que sa largeur transversale est de $16^{m},20$;

Que les piles qui séparent les passes ont $7^{m},20$ de largeur.

La description générale de la structure du barrage de Villez se trouvant ainsi

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

établie, il nous reste à parler du système à employer pour sa fermeture, autrement dit, du vannage à y employer.

D'après les prévisions et afin d'éviter toute chance d'insuccès, les fermettes et le radier ont été établis de façon à se prêter à l'emploi, soit d'aiguilles, soit de vannes semblables à celles essayées au barrage de Port-à-l'Anglais.

Dans la première hypothèse, les aiguilles, afin de ne pas faire travailler le bois au delà de 60 kilogrammes par centimètre carré, devraient avoir un équarrissage de $\frac{20}{20}$, et comme leur longueur serait de $5^{m},50$, leur poids, une fois mouillées, peut être estimé à 180 kilogrammes. Ces aiguilles, bien entendu, ne seraient pas manœuvrées à la main comme les aiguilles des barrages actuels, mais au moyen de mécanismes particuliers.

Dans la deuxième hypothèse, le vannage de chaque travée de barrage se composerait de quatre vannes superposées, de $1^{m},06$ de largeur.

Les trois vannes inférieures auraient $1^{m},14$ de hauteur et seraient pleines; quant à la quatrième vanne ou vanne supérieure, elle n'aurait que 60 centimètres de hauteur et le panneau central serait remplacé par un papillon à axe horizontal.

De même que pour les aiguilles, on aurait recours pour la manœuvre de ces vannes à des engins mécaniques spéciaux.

Quel est celui de ces systèmes de vannage qui a chance d'être appliqué en définitive au barrage de Villez? C'est une question qui n'est pas encore tranchée, mais il est à présumer, en présence de l'approbation donnée par l'Administration au projet du barrage de Poses dont nous allons donner la description, que le système de vannage prévu pour ce barrage sera également appliqué à celui de Villez.

Barrage de Poses. — Le barrage de Poses [1], dont nous allons maintenant vous entretenir, présente les caractères distinctifs suivants:

1° Emploi de ponts fixes, placés transversalement et à un niveau convenable au-dessus de la rivière pour servir de point d'appui, concurremment avec le radier, aux engins du barrage proprement dit, et faciliter la manœuvre de ces engins et leur emmagasinement au-dessus des eaux pendant l'ouverture des barrages;

2° Emploi d'un nouveau système de vannage pour la fermeture du barrage.

L'idée d'avoir recours à des ponts fixes pour appuyer et manœuvrer les barrages est certes fort ancienne, puisqu'elle se trouve réalisée au pont de Meuse, construit par Vauban à Sedan vers 1680. Les arches de ce pont, dont les ouvertures varient entre 12 et 15 mètres, peuvent en effet être fermées au moyen de poutrelles s'engageant dans trois montants à rainures s'appuyant d'une part sur le radier, et d'autre part sur les tympans d'amont des arches.

Afin de faciliter la manœuvre de ces pièces de barrage, une passerelle en bois, supportée par les prolongements en amont des piles du pont en maçonnerie, se trouve accolée à ce pont.

[1] Le projet du barrage de Poses a été dressé par M. Caméré, comme ingénieur ordinaire, présenté par M. l'ingénieur en chef de Lagréné, et approuvé par décision ministérielle du 3 juillet 1878.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En remontant moins loin dans le passé, nous pouvons encore citer les anciens pertuis de l'Yonne, exécutés à la fin du siècle dernier et au commencement de celui-ci et dont la fermeture était assurée au moyen d'aiguilles s'appuyant d'un côté sur le radier, et de l'autre sur une passerelle légère et mobile prenant ses points d'appui sur les bajoyers; puis le barrage de Belombre, sur la même rivière, qui date de 1836, et qui est formé d'un pont en maçonnerie dont les arches, de 7 mètres de largeur, sont fermées par des aiguilles s'appuyant par leur pied sur un seuil ménagé sur le radier de l'ouvrage, et par leur tête sur une barre transversale prenant ses points d'appui dans des rainures ménagées dans les piles, et susceptible d'être élevée ou abaissée, suivant les besoins des manœuvres, au moyen de crémaillères mises en mouvement par un cric disposé sur la plate-forme du pont en maçonnerie.

L'idée d'avoir recours à des ponts fixes pour appuyer et manœuvrer les barrages avait également séduit M. Frimot, un des premiers ingénieurs qui se soient occupés d'améliorer la Seine, car dans un mémoire en date de 1827, relatif à l'établissement d'une navigation à grand tirant d'eau entre Paris et Rouen, cet ingénieur préconise précisément l'emploi d'un système de barrage de ce genre.

Nous pourrions encore citer beaucoup d'autres exemples de l'application de cette idée, soit à des ouvrages existants, soit à des projets; mais les précédents suffisent pour montrer que depuis longtemps les recherches des ingénieurs ont été tournées de ce côté, et nous terminerons cet historique rapide par quelques mots sur un projet dressé par M. Tavernier, lorsqu'il était ingénieur en chef de la navigation du Rhône, et que nous ne saurions passer sous silence, attendu que nos études sur l'emploi de ponts métalliques dans la construction des barrages mobiles, commencées bien avant d'avoir eu connaissance de ce projet, nous ont conduit à adopter en fin de compte des dispositions semblables à celles admises par cet ingénieur.

Ceci posé, voici en quoi consiste le projet de M. Tavernier :

Sur des piles, élevées sur un radier général, règnent deux passerelles métalliques. Celle d'aval est destinée à supporter et à contre-buter des cadres métalliques sur lesquels peuvent se mouvoir des vannes présentant toute la hauteur de la retenue. Ces vannes sont munies de galets s'appuyant sur les montants verticaux des cadres afin de faciliter la manœuvre, laquelle s'exécute au moyen de chaînes mises en mouvement par des treuils disposés sur cette passerelle.

Quant à la seconde passerelle, ou passerelle d'amont, elle sert d'une part à exécuter les manœuvres de relèvement des cadres dans une position horizontale au-dessus de la rivière, lorsque le barrage doit être ouvert, et au maintien de ces cadres dans cette position.

La disposition caractéristique du nouveau type de barrage dont l'application va avoir lieu à Poses, consistant surtout dans un mode de vannage, nous allons commencer par la description de ce système de fermeture, en vue de l'application duquel ont, du reste, été spécialement étudiées toutes les autres parties de ce type.

Supposons que, sur des montants verticaux ou légèrement inclinés, disposés au-dessus d'un radier de barrage, on vienne, en partant de ce radier et en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

s'arrêtant au niveau de la retenue, disposer horizontalement une série de lames en bois ou en métal, de faible hauteur, dont les abouts reposent sur des feuillures ménagées sur ces montants.

Supposons, de plus, que sur la face amont de ce vannage, on vienne relier toutes ces lames par des articulations, et que la lame supérieure du rideau ainsi constitué soit suspendue à deux chaînes, prenant leur point d'attache sur une traverse horizontale reliant les montants au-dessus de la retenue.

Supposons, enfin, qu'à la lame inférieure de ce rideau, lame à section rectangulaire, on en fixe une à section arrondie, autour de laquelle passe une chaîne sans fin, dont les deux brins, s'élevant, l'un à l'aval et l'autre à l'amont du rideau, viennent s'engager sur les roues à empreintes d'un treuil d'une construction particulière, placé sur un pont de service dépendant des montants.

Si, le rideau se trouvant ainsi disposé, ce qui correspond à la retenue fermée, on vient à manœuvrer le treuil, de manière à raccourcir la portion de chaîne qui se trouve à l'amont du rideau, le rideau inférieur remonte en prenant un mouvement de rotation et provoque l'enroulement autour de lui de tout ou partie du rideau, en démasquant une plus ou moins grande portion de la travée considérée.

La manœuvre inverse produit, par contre, le développement du rideau et la fermeture plus ou moins complète de la travée.

Les principes sur lesquels reposent la construction et la manœuvre du vannage en question se trouvant ainsi établis, nous passons maintenant à la description de la structure du barrage proprement dit :

Sur un radier à surface pour ainsi dire unie, et qui règne sur toute la largeur de la rivière, s'élèvent des piles et des culées qui partagent le débouché du barrage en un certain nombre de passes, suivant le débouché à conserver.

Sur ces piles et culées, et à une hauteur convenable, est jetée une poutre en treillis, à laquelle se trouvent suspendus, sur la face amont, une série de montants également espacés, venant s'appuyer par leur extrémité inférieure sur une série de bornes encastrées dans le radier.

Ces montants portent, à un mètre au-dessus du niveau de la retenue projetée, des éléments de plancher, dont l'ensemble constitue un pont de service continu, tout le long du barrage.

C'est sur ce pont de service que circulent les treuils destinés à la manœuvre des rideaux, lesquels viennent former vannage entre les montants, en prenant leur point d'appui sur eux.

Telles sont les dispositions essentielles, au point de vue de la fermeture du barrage et de sa manœuvre pendant les eaux ordinaires; quant à celles prévues pour la période des crues et des eaux navigables par les passes du barrage, voici en quoi elles consistent :

Entre chaque montant et au niveau de la passerelle se trouvent disposés des cadres verticaux, portant de chaque côté des galets engagés dans des coulisses ménagées sur les faces latérales des montants, entre leurs extrémités supérieures et le pont de service.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sur ces cadres sont disposées des poulies de renvoi pour les chaînes de manœuvre des rideaux, des arrêts pour ces chaînes, une caisse en tôle pour les recevoir, enfin des logements pour les rideaux, une fois le relèvement complètement opéré.

Dans ces conditions, on comprend parfaitement que tout le matériel relatif à la fermeture d'une travée, au moment où la rivière doit être rendue à elle-même, se trouvant réuni sur ce cadre, il suffit, pour se débarrasser de ce matériel, de hisser ledit cadre entre les montants qui lui servent de guides, jusque sur la face amont de la poutre en treillis, où, dûment accroché, il se trouve tout naturellement emmagasiné pendant l'ouverture du barrage.

Quant aux montants, voici de quelle manière est assuré leur enlèvement au moment voulu :

Chacun d'eux n'est fixé à la poutre à laquelle il est suspendu que par un axe reposant sur un palier double, boulonné à cette poutre, ce qui permet à ces montants de tourner autour de leur axe de suspension, et de prendre une position horizontale au-dessus de la rivière, parallèlement au cours de cette dernière et au niveau de la poutre en treillis.

Pour faire exécuter ce mouvement aux montants, on a recours à l'emploi d'une seconde passerelle, placée en amont de celle destinée à la suspension proprement dite des montants, et sur laquelle peuvent circuler des treuils destinés à agir sur des chaînes qu'au moment de la manœuvre on accroche aux chaînettes fixées sur les faces latérales des montants, à peu près vers leur centre de gravité.

Cette seconde passerelle, sous laquelle les montants viennent se ranger après leur relèvement, porte en outre des crochets de sûreté qui en assurent le maintien dans la position horizontale qu'ils doivent occuper.

Pour ce qui concerne la fermeture du barrage, les opérations que nous venons de décrire doivent être exécutées dans un ordre inverse, et par conséquent comme suit :

1° Abaissement des montants;

2° Descente des châssis porte-rideaux au niveau du pont de service;

3° Déroulement des rideaux suivant les besoins de la retenue.

Comme complément de cette description d'ensemble, voici les principales dimensions du barrage de Poses :

La largeur totale du barrage est de $243^{m},70$, se répartissant en sept passes de $30^{m},16$ de largeur, séparées par des piles de 4 mètres d'épaisseur.

Les deux passes de la rive gauche sont destinées à la navigation et forment les passes profondes navigables; les cinq autres se partagent en deux groupes, l'un formé de deux passes adjacentes à la rive droite et qui sont des passes profondes, et l'autre formé de deux passes surélevées, placées par là même au centre du barrage et destinées à remplir l'office de déversoir régulateur.

Toutes les passes profondes ont leur seuil arasé à 5 mètres au-dessous du niveau de la retenue, et qui correspond à un vannage de 5 mètres et à une chute effective de 4 mètres de hauteur. Quant aux passes de déversoir, leur seuil se trouve placé seulement à 3 mètres au-dessous de la retenue.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Vu la nécessité de laisser à la navigation une hauteur libre de $5^m,25$ au-dessus des hautes eaux navigables, au droit des passes profondes navigables, le dessous des passerelles métalliques de ces passes a été placé à $5^m,76$ au-dessus du niveau de la retenue, tandis que pour les cinq autres, ces passerelles ont été seulement établies de manière à les mettre à l'abri des eaux d'inondation et de façon que leur plate-forme supérieure corresponde à la plate-forme inférieure des passerelles des passes profondes navigables, ce qui permet de circuler dans toute la longueur du barrage, d'une rive à l'autre, sans ascension ni descente. De plus, et afin de rendre la circulation plus facile dans les deux groupes de passes, les plates-formes supérieures des passerelles, tant d'amont que d'aval, et le dessus des piles et culées sont arasés au même niveau.

Les passerelles d'amont ont comme dimensions $1^m,50$ de largeur d'axe en axe des poutres verticales, et $1^m,64$ de hauteur totale.

Les passerelles d'aval ont $2^m,34$ de largeur d'axe en axe des poutres verticales, et $2^m,64$ de hauteur totale.

L'espace libre conservé entre les passerelles d'amont et d'aval est de $8^m,16$.

Pour les passes profondes navigables, la longueur des montants mobiles est de $11^m,93$.

Pour les passes profondes non navigables, cette longueur est de $8^m,89$.

Enfin, pour les passes de déversoir, elle est de $6^m,89$.

L'espacement de ces montants d'axe en axe est, pour toutes les travées, de $1^m,16$.

Les largeurs adoptées pour le radier sont, pour les passes profondes quelles qu'elles soient, de 18 mètres, et pour le déversoir de 11 mètres.

Par suite de l'importance de la retenue à constituer, il a paru sage de le faire reposer sur le sol solide et non affouillable, ce qui a conduit à donner à ce radier une épaisseur de $10^m,45$ au droit des passes de déversoir, et de $8^m,45$ au droit des passes profondes.

Ces radiers sont formés par des massifs de béton coulés sous l'eau et recouverts à la partie supérieure par un parement établi en maçonnerie de moellons et de pierre de taille.

A ce propos, nous signalerons tout particulièrement le mode de fondation qui sera suivi pour ces radiers, et qui consiste à remplacer les enceintes en bois et palplanches, qui occasionnent tant de déconvenues, par des enceintes en blocs de maçonneries de grandes dimensions échoués dans l'emplacement du barrage au fur et à mesure des dragages.

Les dispositions du nouveau type de barrage dont nous nous occupons se trouvant ainsi établies, il nous reste à en faire ressortir les avantages: c'est ce que nous allons faire brièvement.

Avec le système de structure de barrage et de vannage adopté pour le barrage projeté de Poses, la hauteur des retenues n'a plus qu'une influence secondaire, et il faudrait certainement atteindre des limites non susceptibles d'être rencontrées en pratique pour arriver à des impossibilités de construction ou de manœuvre.

A cet avantage important ce système joint les suivants:

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1° Possibilité de placer les ponts de service assez au-dessus de la retenue pour se mettre à l'abri de toute surprise;

2° Sécurité complète de manœuvre pour les hommes, même de nuit, en employant quelques fanaux pour éclairer les abords des treuils;

3° Déversement possible des eaux tout le long du barrage, ce qui permet d'éviter les manœuvres incessantes réclamées par les aiguilles et met le barrage à l'abri d'une crue subite;

4° Étanchéité pour ainsi dire absolue du vannage;

5° Facilité de surveillance et de réparation des engins mobiles par suite de leur relèvement au-dessus des eaux pendant l'ouverture des barrages;

6° Suppression du transport en magasin et *vice versa* de tout le matériel de vannage et des ponts de service, sauf la nécessité de réparation;

7° Possibilité d'attaquer la manœuvre du barrage en un point quelconque, ce qui, en cas d'avarie survenue à un montant mobile, par exemple, n'empêche pas de continuer soit l'ouverture, soit la fermeture, pendant que l'on s'occupe de faire disparaître l'obstacle rencontré, et possibilité d'augmenter au besoin la rapidité de la manœuvre dans une large proportion;

8° Simplication considérable dans la construction des radiers et suppression des masses de fer y enclavées dont l'emploi à l'abri des eaux est évidemment beaucoup plus logique;

9° Possibilité d'employer des ouvriers quelconques pour les manœuvres, celles-ci ne consistant qu'en accrochage de chaînes et mise en mouvement de treuils.

Pour terminer, nous ajouterons que depuis que nous avons dressé ce projet de barrage, nos études et des essais en grand nous ont conduit à trouver quelques dispositions préférables à celles que nous avons passées en revue, notamment en ce qui concerne la largeur à donner aux rideaux et à leur emmagasinement pendant l'ouverture du barrage, dispositions qui sont de nature à apporter certaines simplifications et facilités dans les manœuvres. (Applaudissements.)

MÉMOIRE

SUR LES BARRAGES MOBILES ÉTABLIS SUR LA MEUSE,

PAR M. HANS,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

M. Hans. Messieurs, après l'exposé si clair et si complet qui vient de vous être fait par le rapporteur de la section, l'honorable M. de Préaudeau, il me restera peu de choses à vous dire au sujet des barrages mobiles établis sur la Meuse, en Belgique.

Il y a dix ans, nous avons construit sur ce fleuve, en amont de Namur, trois barrages à hausses du système Chanoine, à peu près semblables à ceux qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

existent sur la haute Seine, et, je dois le constater, les résultats de cet essai n'ont pas été satisfaisants, surtout pour le batelage.

Instruits par cette expérience, nous avons proposé, pour achever la canalisation de la Meuse belge, l'emploi de barrages mixtes, composés d'une passe navigable à fermettes et aiguilles du système Poirée, et d'un déversoir à hausses du système Chanoine.

Une notice que j'ai publiée il y a deux ans, et que je dépose sur le bureau, donne la description de ces barrages mixtes [1].

Six barrages de ce système, réalisant chacun une retenue réelle de $3^{m},20$ sur le seuil de la passe navigable, ont été établis entre le village de Rivière et la frontière française; les deux derniers sont en voie d'achèvement.

J'ai dit que les barrages à hausses du système Chanoine n'ont pas donné, sur la Meuse belge, des résultats satisfaisants, surtout pour le batelage.

L'expérience a prouvé, en effet, qu'après les crues, le relèvement des hausses des passes navigables ne peut être opéré que lorsque les eaux sont descendues à un mètre environ au-dessous de la cote de flottaison normale, immédiatement en amont de chaque barrage; de là résulte que les barrages à hausses doivent rester couchés beaucoup plus longtemps que les barrages à fermettes, et surtout beaucoup plus longtemps que les nouveaux barrages mixtes, formés d'une passe navigable à fermettes et d'un déversoir à hausses.

Pour ces derniers, la manœuvre de relèvement peut être commencée dès que les eaux, en rivière libre, sont descendues au niveau de la flottaison normale.

En outre, lorsqu'une crue continue, alors que toutes les hausses du déversoir se sont mises en bascule, il faut coucher entièrement les barrages à hausses du système Chanoine; tandis que pour les nouveaux barrages, on commence, en ce moment seulement, à faire des ouvertures dans la passe navigable, en lâchant des séries d'aiguilles à mesure que la crue augmente; souvent celle-ci cesse de croître avant que l'on ait lâché les dernières séries d'aiguilles, et par conséquent sans que l'on soit obligé de coucher le barrage.

L'écart entre les cotes d'abatage et de relèvement des deux systèmes de barrages est tel, que, depuis le 17 avril 1877 jusqu'au 13 mai 1878, les nouveaux barrages mixtes de Hun et de Houx, composés d'une passe navigable à fermettes et d'un déversoir à hausses, n'ont dû être abaissés que deux fois et sont restés couchés pendant 17 jours en tout, tandis que, dans la même période, les barrages à hausses du système Chanoine ont dû être abattus cinq fois, et sont demeurés couchés pendant 116 jours en tout.

La différence entre les parties de la Meuse qui sont canalisées au moyen de barrages à hausses, et celles où sont établis les barrages du nouveau système, se traduit, pour le batelage, par la nécessité d'employer sur les premières, pendant de longs mois, pour le halage des bateaux en remonte, un nombre de chevaux beaucoup plus considérable que sur les autres parties, où les barrages pouvant être tenus levés, même pendant les crues moyennes, sup-

[1] Mémoire sur les barrages mobiles établis sur la Meuse, par M. Hans, ingénieur des ponts et chaussées; Namur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

priment ainsi une partie notable de la pente des eaux par les chutes locales qu'ils produisent.

Les barrages mixtes construits sur la haute Meuse, en Belgique, produisent, au moyen d'aiguilles, une retenue de $3^{m},20$ au-dessus du seuil de la passe navigable. — Cette retenue est, je pense, la plus grande qui ait été réalisée au moyen de barrages du système Poirée.

M. Malézieux, l'éminent professeur de l'École des ponts et chaussées de Paris, qui nous a donné hier une conférence si intéressante sur les travaux publics aux États-Unis, m'a fait l'honneur de me demander, il y a quelque temps déjà, si je suis convaincu qu'un homme, convenablement choisi et exercé, pourrait porter et mettre en place des aiguilles applicables à une retenue de 4 mètres au-dessus du seuil.

Permettez-moi, Messieurs, de vous donner lecture de la réponse que j'ai faite à cette question intéressante et toute d'actualité.

Il n'est pas douteux pour moi que la question que vous me faites l'honneur de me poser doit être résolue affirmativement.

Cette opinion résulte de l'expérience que j'ai acquise en faisant manœuvrer nos barrages à fermettes à grandes retenues. Ces barrages réalisent, comme vous le savez, $3^{m},20$ de retenue réelle au-dessus du seuil; et cependant leurs aiguilles se transportent et se mettent en place avec une facilité telle, que je suis convaincu que l'on pourrait augmenter notablement les dimensions de celles-ci, sans cesser de rester dans des conditions pratiques.

J'ajouterai que l'expérience de l'emploi des aiguilles pour une retenue de 4 mètres au-dessus du seuil a été faite depuis longtemps dans votre pays, à l'ancien barrage de Pontoise. Je lis, en effet, ce qui suit dans un rapport par lequel l'ingénieur en chef Kummer rendait compte d'une mission qu'il avait faite en France, en 1845 :

« Le barrage de Pontoise se compose d'un pertuis mesurant $12^{m},50$ d'ouverture; d'une partie fixe, oblique, de 80 mètres de longueur, attenant au bajoyer de droite du pertuis; d'une autre partie fixe située plus à l'amont et à la droite d'une île.

« Les bajoyers du pertuis mesurent $5^{m},25$ de hauteur. Le radier présente à l'amont une battée de $0^{m},12$.

« Un pont de service, formé de deux poutres réunies au moyen d'étriers en fer et mesurant $1^{m},20$ de largeur, repose sur un seuil ménagé dans des battées pratiquées dans les parements des bajoyers. Ce seuil se trouve placé à $1^{m},25$ en contre-bas du couronnement de ces derniers, et à *4 mètres* en contre-haut du radier, élévation qui correspond aux eaux des crues moyennes de l'Oise.

« Contre la paroi amont du pont de service et contre la battée inférieure du radier, s'appuient des aiguilles qui servent à boucher le pertuis. La longueur de ces aiguilles est de $4^{m},50$, leur équarrissage de $0^{m},12$ $0^{m},12$.

« Les aiguilles sont percées d'un trou à leur partie supérieure. Pour les dégager de leurs points d'appui, l'éclusier introduit un levier dans le trou dont est percée chaque aiguille et, en l'appuyant sur un bloc en bois qu'il a posé sur le pont de service, il soulève l'aiguille jusqu'à ce qu'elle soit dégagée de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

battée inférieure et ainsi entraînée par le courant. Mais la tête de l'aiguille étant retenue au moyen d'un câble, elle est ramenée vers l'amont où elle demeure fixée.

« Le débouchage s'opère ainsi successivement et par aiguille séparée. Le rebouchage se fait à la main : l'éclusier de service en décembre 1845 était manchot et, cependant, il opérait seul le débouchage en vingt-cinq minutes, en ce qui concernait le soulèvement des aiguilles, et le rebouchage en une heure. Ce barrage, établi depuis neuf ans, a parfaitement fonctionné. »

Les aiguilles du barrage de Pontoise devaient peser chacune :

$$42^{k},12 = 4^{m},50 \times 0^{m},12 \times 0^{m},12 \times 650^{k}.$$

Si la retenue d'eau de 4 mètres sur le seuil se réalisait sans contre-pression d'aval, les aiguilles de ce barrage devaient fatiguer un peu plus que les aiguilles de $0^{m},08 \times 0^{m},08$ d'équarrissage employées au barrage de Martot, pour une retenue de 3 mètres sur le seuil. Cette fatigue est exagérée, même pour les bois de sapin de la meilleure qualité, et, en pareil cas, il y aurait lieu d'augmenter la section des aiguilles.

Si j'avais à établir un barrage à aiguilles réalisant une retenue de 4 mètres au-dessus du seuil, sans contre-pression à l'aval de ce seuil, je proposerais de donner aux aiguilles une forme d'égale résistance, analogue à celle que j'ai employée pour les aiguilles des barrages de Hun et de Houx. Ces aiguilles auraient $4^{m},65$ de longueur totale, y compris la poignée; une largeur constante de $0^{m},11$; et une épaisseur de $0^{m},15$, sur $0^{m},25$ à $0^{m},30$ de longueur de part et d'autre du point le plus fatigué; cette épaisseur se réduirait à $0^{m},10$, ou même à $0^{m},09$, vers les deux extrémités de l'aiguille. Le poids d'une pareille aiguille serait de 41 kilogrammes environ, et n'atteindrait pas le poids de celles que le barragiste manchot du barrage de Pontoise manœuvrait avec facilité.

Je dois ajouter encore que, pour une rivière dont le régime serait analogue à celui de la Meuse belge, je ne proposerais l'emploi de barrages à aiguilles réalisant une retenue de 4 mètres sur le seuil qu'à la condition d'y adjoindre un déversoir régulateur à hausses d'un débouché assez grand pour régler la retenue dans les circonstances ordinaires, et sans qu'il soit nécessaire de faire de trop fréquentes manœuvres d'aiguilles; sans cette condition, je craindrais qu'un barrage à aiguilles de cette hauteur ne fût pas assez étanche. Il faudrait aussi que les fermettes fussent munies de l'échappement Kummer, car je ne pense pas qu'il soit possible d'enlever assez rapidement, par les autres procédés en usage, des aiguilles de $0^{m},11$ de largeur qui auraient à supporter la pression d'une retenue d'eau de 4 mètres de hauteur.

Mais je suis persuadé aussi que, moyennant l'emploi d'un déversoir régulateur à hausses d'un débouché convenable, et de fermettes à échappement Kummer, on peut éviter, même pour une retenue de 4 mètres, tous les inconvénients que l'on reproche ordinairement aux barrages à aiguilles, et notamment le défaut d'étanchéité : actuellement le barrage de Hun réalise une retenue de $3^{m},18$, avec une contre-pression d'aval de $0^{m},60$ à $0^{m},70$ sur le seuil; et le rideau d'aiguilles de ce barrage est rendu complètement étanche par les herbages et une faible couche de limon qui y ont été amenés par les eaux de la rivière.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

J'ajouterai, en terminant, Messieurs, que, malgré la hauteur considérable des retenues réalisées, les nouveaux barrages de la Meuse belge ne coûtent en moyenne, par mètre courant, que 2,425 francs pour la passe navigable et 2,500 francs pour le déversoir.

Vous trouverez sans doute qu'en présence des résultats obtenus, ces prix sont des plus modérés. (Applaudissements.)

M. le Président. La parole est à M. le Secrétaire.

M. de Préaudeau, *secrétaire*. Je suis chargé de déposer sur le bureau du Congrès une notice sur les modèles qui figurent à l'Exposition pour les écluses à plan incliné. Je dépose cet ouvrage au nom de M. Widson.

Ces modèles offrent un grand intérêt. Les appareils ont pour but de remplacer les écluses échelonnées par une série de plans inclinés destinés à franchir toute la chute, et les chutes franchies à l'aide du procédé atteignent une hauteur de 12 mètres.

M. Boulé, *président*. Je désire, Messieurs, compléter par quelques observations ce qui nous a été dit sur les barrages mobiles.

Vous avez vu qu'il y a en présence un grand nombre de modèles; les principaux sont réunis dans cette salle; on vous a expliqué les avantages et les inconvénients de chacun. On les a discutés longuement depuis leur invention, et probablement on les discutera encore longtemps pour établir quel est le meilleur, le plus économique, le plus efficace. Mais je crois que ces discussions ont été souvent compliquées par les préoccupations personnelles et la ténacité naturelle des inventeurs.

La question est devenue aujourd'hui plus simple et moins générale qu'elle ne paraissait au premier abord. C'est, pour ainsi dire, une question d'espèce.

Les types abondent aujourd'hui, et il n'y a plus qu'à choisir celui qui convient à chaque cas particulier. Dans un barrage, comme on le disait tout à l'heure, il y a plusieurs parties, plusieurs genres de travées, et les appareils des différentes passes doivent être construits différemment suivant le régime des rivières. Là, il faudra des déversoirs de telle sorte; là, le même appareil ne conviendra plus. Il faut choisir le système en formation de chaque passe suivant le cas où il doit être appliqué, suivant les dimensions qu'il doit avoir, en un mot, suivant chaque espèce. Chaque type sera, suivant les circonstances, tantôt le meilleur, tantôt le plus mauvais.

Il ne faut donc pas chercher, je crois, celui qui est le meilleur en général, mais chercher à appliquer l'un ou l'autre dans chaque cas particulier, et le meilleur sera celui dont le mécanisme s'appliquera le mieux au problème qu'on aura à résoudre.

M. Hans a expliqué comment sont établis les barrages de la Meuse. Il a obtenu de bons résultats en réunissant deux systèmes différents : le barrage à fermettes pour la passe navigable, les hausses de M. Chanoine pour le déversoir.

Ailleurs on a fait le contraire. Sur l'Yonne, en amont du canal de Bourgogne, on a placé des fermettes et des aiguilles sur les déversoirs, des hausses Chanoine dans les passes navigables; en aval, on a également réussi avec le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

système Chanoine seul pour toutes les passes. A-t-on eu tort sur la Meuse ou sur l'Yonne? Non. On a choisi dans chaque cas ce qui convenait le mieux, suivant les circonstances locales.

Je ne crois pas que le résultat puisse être le même partout avec un même système; tout dépend du régime de la rivière. Il faut se servir de tous les outils que nous avons et ne pas chercher à les mettre en opposition l'un à l'autre. Tous sont utiles, tous ont rendu et rendent des services quand ils sont judicieusement établis; il faut seulement choisir l'un ou l'autre, permettez-moi de le répéter encore, suivant les circonstances, suivant les espèces; et, comme je l'ai déjà développé ailleurs, dans les Mémoires qui ont été déposés sur le bureau, il y aura souvent avantage à employer deux ou plusieurs systèmes différents à côté l'un de l'autre dans les différentes passes d'un même barrage.

Depuis que l'on construit des barrages mobiles, on a toujours cherché à augmenter leur hauteur, puis augmenter le tirant d'eau; et, M. Caméré nous le disait tout à l'heure, chaque fois qu'un nouveau problème s'est présenté, il s'est trouvé un ingénieur, un appareil pour le résoudre.

Je crois qu'outre le désir d'augmenter le tirant d'eau de la batellerie sur les rivières, il y a encore d'autres motifs pour augmenter la hauteur des barrages. Du moment qu'on construit un ouvrage de cette nature, ouvrage toujours très coûteux, il faut l'établir comme le font les propriétaires d'usines : élever l'eau jusqu'à la plus grande hauteur possible, jusqu'à celle de la berge, et si l'eau n'arrive pas à la hauteur des berges, il faut exhausser encore le barrage, afin d'utiliser complètement la chute disponible du cours d'eau.

La pente d'une rivière constitue une force, et une force d'autant plus considérable que le volume des eaux est plus grand; les barrages mobiles permettent d'utiliser cette puissance dont la valeur est immense. Ainsi, de Montereau à Paris, la Seine a une pente de 20 mètres; avec un débit de 50 mètres cubes seulement par seconde, cela représente un million de kilogrammètres, plus de 13,000 chevaux de 75 kilogrammètres; et, en comptant sur 2 kilogrammes de charbon par cheval et par heure, cette force utilisée permettrait d'économiser plus de 600 tonnes de charbon de terre par jour. Cette pente de la Seine peut donc remplacer quand on le voudra une importante mine de houille.

Mais il faut pour cela de grands barrages; ces barrages existent précisément entre Montereau et Paris, ils ont été établis par M. Chanoine, mais on n'a pas encore utilisé leur chute; je le regrette, et permettez-moi de vous répéter à ce propos ce qu'on nous disait dans une séance précédente, consacrée au génie rural : c'est qu'il importe d'assurer l'harmonie des grands intérêts et d'utiliser intégralement les forces naturelles qui sont à notre disposition, afin de rendre la vie plus facile à tous et de diminuer le travail matériel, auquel le plus grand nombre est assujetti pour subvenir à sa subsistance.

Les barrages mobiles, dont nous devons l'invention à M. Poirée et l'extension aux autres ingénieurs dont il vous a été parlé, permettent d'aménager les rivières et les fleuves, non seulement pour le commerce, la navigation et les transports, mais aussi pour l'industrie, pour l'utilisation de la force motrice que les rivières tiennent gratuitement à notre disposition, et enfin pour l'agri-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

culture, par l'aménagement et la distribution rationnelle des eaux. Si en effet on peut, avec les barrages, recueillir la force motrice aujourd'hui inutilisée des grandes rivières, comme les moulins à eau utilisent celles des petits cours d'eau, on peut ensuite employer cette force à élever une partie des eaux, comme on le fait à l'usine de Marly sur la Seine et ailleurs, et distribuer ces eaux sur les prairies jusqu'à une grande distance de la rivière. Cela peut être dans certains cas plus facile et plus économique que d'établir de longs canaux de dérivation, comme on l'a fait dans l'antiquité, comme on le fait encore, et comme on le propose notamment pour le Rhône.

Ces observations justifient, je crois, le temps que nous avons consacré aujourd'hui à la construction des barrages mobiles et la liberté que je viens de prendre, en intervenant un instant dans la discussion. (Applaudissements.)

La parole est à M. Seyrig, pour son rapport sur les procédés nouveaux de montage des ponts métalliques.

MÉMOIRE

SUR LES PROCÉDÉS DE MONTAGE DES PONTS MÉTALLIQUES[1],

PAR M. SEYRIG,

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR.

M. Seyrig. L'invention des chemins de fer a eu pour résultat de provoquer des études et des progrès nouveaux dans toutes les branches de l'art de l'ingénieur. Il en est peu cependant qui aient fait des pas aussi rapides que celle des constructions métalliques. Entre les premiers ponts-rails en fonte et les plus récentes constructions à grande portée, la différence est comparable à celle qui existe entre la *Fusée* du concours de Manchester et nos machines express d'aujourd'hui. On ose maintenant, sans crainte, faire ce que, il y a cinquante ans, on traitait de folie, et cependant, journellement encore, nous enregistrons quelque progrès nouveau.

Les difficultés à vaincre au début étaient de deux natures : d'une part, l'ignorance dans laquelle on était au sujet de la résistance du métal, difficulté théorique en quelque sorte; et d'autre part, la difficulté pratique de la mise en œuvre du montage. En nous bornant aujourd'hui à rappeler très sommairement ce qui s'est fait dans ces derniers temps pour la solution de la deuxième question, nous ne pouvons guère qu'effleurer un sujet aussi vaste, et résumer, dans une étude que nous chercherons à rendre le moins aride possible, les résultats généraux auxquels on est arrivé.

1° Montages sur échafaudages.

Lorsqu'on se décida, dans les années 1845 à 1850, à appliquer en grand le fer à la construction des ponts, il était naturel de rester dans les sentiers battus pour telles parties de la construction où l'on pouvait se dispenser de faire du nouveau. De temps immémorial les ponts en pierre avaient été montés

[1] Cette communication était faite à l'aide d'une collection de dessins et de photographies qu'il est impossible de reproduire dans le texte. (*Note de l'auteur.*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sur échafaudages, et les ponts en fonte construits dans les premières trente années de ce siècle avaient été mis en place de la même manière. On resta volontiers dans cette routine, d'autant plus que l'art de la charpenterie possédait des règles sûres et une expérience consommée. A quelques exceptions près, tous les ponts contruits de 1845 à 1855 furent montés sur échafaudages provisoires. L'emploi général des ponts à travées isolées, sans continuité, excluait d'ailleurs d'autres méthodes, et ce sont les types plus perfectionnés des fermes métalliques qui ont conduit plus tard à l'emploi d'autres procédés de montage.

Le montage sur échafaudages est cependant le plus coûteux de tous. Consistant dans la subdivision des travées définitives, il nécessite la création de fondations provisoires qui sont presque toujours des pilotis. S'agit-il d'ouvrages sur des rivières importantes, le mouvement des eaux, le courant, la navigation avec ses exigences, sont autant de causes de danger et conséquemment d'élévation des prix. Les accidents arrivés aux ponts de Hamm et de Königswart, dans le premier desquels périrent un grand nombre d'ouvriers, suffisent pour le démontrer. On les évitera donc volontiers, mais ils restent malgré cela, parmi les inconvénients qu'il faut souvent accepter, presque comme des cas de force majeure.

Ce point de vue peut paraître exagéré aux ingénieurs qui sont habitués aux pays où le bois est abondant. Dans l'Amérique du Nord, en Autriche, en Roumanie, on obtient à bas prix des bois de fort équarrissage; les procédés de mise en œuvre de ces bois sont fort simples et beaucoup moins coûteux que dans l'Europe occidentale. On répugnera donc moins à l'emploi des échafauds, et il n'est pas étonnant que ce ne soit pas dans ces pays que nous trouvons les procédés nouveaux de levage des ponts métalliques.

Il serait trop long et inutile de nous arrêter longtemps sur les divers systèmes qui peuvent être employés pour la construction des échafaudages. Remarquons cependant qu'on peut les diviser en deux types principaux. Le premier, employé surtout aux États-Unis, est celui à palées nombreuses, parallèles au sens du courant. Il peut sembler étonnant que l'on trouve ce système employé même dans les rivières navigables. On se contente, dans ce cas, de déplacer successivement l'échafaudage, de manière qu'une ou deux travées restent toujours libres. L'avantage de cette disposition réside dans la préparation facile, à terre, des palées, dont la réunion ne se fait plus que par des pièces horizontales. D'autre part, il nécessite le battage de plus de pieux et, en général, un plus grand cube de bois. Ce système a été employé en Europe, au pont d'Allgyö, sur la Theiss, en Hongrie, où une travée unique de 100 mètres fut subdivisée en 10 travées d'environ 8 mètres, laissant au centre une passe pour les bateaux, de 20 mètres d'ouverture, franchie par une poutre à croisillons, du système Howe. Cet échafaudage nécessita des pieux de 20 mètres de longueur, la hauteur de la poutre métallique au-dessus du fond de la rivière étant de 25 mètres environ. L'échafaudage, se prolongeant jusqu'au-dessus des poutres dont la hauteur est de $10^{m},44$, a lui-même une hauteur totale de 40 mètres.

Récemment, cette même disposition a été adoptée pour le montage du pont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en arc sur l'Erdre, de 98 mètres de portée. L'Erdre n'a que peu ou point de navigation, et les palées espacées de 8 mètres ne présentaient point d'inconvénient. L'ouverture du milieu avait seule 10 mètres environ. Ici, la hauteur était plus faible, atteignant au maximum, sous la clef, 17 mètres; cette disposition se justifiait ainsi d'elle-même.

Un des exemples les plus curieux d'échafaudages de cette nature est celui du viaduc de la Thaya, à Znaïm, en Autriche. Ce pont, de 220 mètres de longueur, a une hauteur variant de 36 à 42 mètres au-dessus du sol de la vallée, le rail étant placé à 48 mètres au-dessus du niveau de l'eau. On a néanmoins, et quoique le pont soit à poutres continues, fait un échafaudage complet. Les bois employés n'étaient pas équarris; leurs assemblages se faisaient, autant que possible, sans entailles, par crampons, les pièces inclinées étant peu nombreuses. Les palées étaient espacées de 13 mètres, subdivisées par d'autres palées secondaires qui ne servaient pas de supports, mais seulement de raidisseurs; des rangs de liens horizontaux étaient placés à $9^{m},20$ les uns au-dessus des autres. Cet échafaudage a coûté 50,000 francs environ, ce qui, pour un poids total de pont de 560 tonnes, représente 9 francs les 100 kilogrammes de métal mis en place, prix relativement faible, vu la hauteur considérable de l'ouvrage.

Le deuxième type à signaler est celui qui consiste dans le groupement des palées ou points d'appui, laissant entre eux des intervalles plus grands, franchis par des poutres ou des cintres. Partout où la navigation atteint de l'importance, ce procédé est le seul possible; et, dans les cas de grande hauteur, il est également indiqué, surtout lorsqu'on peut se servir des piles comme points d'appui supplémentaires. Souvent l'échafaudage qui a servi à la construction des piles peut être utilisé pour le tablier métallique, mais aujourd'hui on tend à se passer d'échafaudage pour les piles aussi bien que pour la superstructure, et ces cas de double emploi deviennent rares.

La liaison des différentes palées entre elles peut se faire de diverses façons. On peut employer des poutres armées en bois, des poutres à treillis du système Howe ou Rider, ou enfin, ce qui a été fait dans ces temps derniers, des poutres accessoires en fer, très légères. Mais le plus souvent, ce sera par un système de contre-fiches inclinées, moisées pour annuler les poussées horizontales, que l'on obtiendra la solution la plus satisfaisante.

On peut citer comme exemple de ce type le pont de Bordeaux, où, après avoir servi au fonçage des caissons, les mêmes échafaudages furent complétés pour l'établissement du tablier métallique. Les palées étaient distantes d'axe en axe de 20 mètres environ, chacune d'elles étant composée de 5 files de 18 à 20 pieux. La largeur des passes n'était que de 15 mètres, par suite de l'écartement des pieux. L'échafaudage supporté par les pieux avait deux étages pour servir au montage des membrures supérieure et inférieure. Le prix de revient de cet échafaudage était d'environ 8 francs par 100 kilogrammes.

La plupart des grands ponts hollandais ont été également montés de cette façon, et le pont de Leck, à Kuilenborg, peut servir de type. On sait que ce pont a une travée de 150 mètres d'ouverture. La plate-forme était à 12 mètres au-dessus de l'eau et à 16 mètres au-dessus du fond de la rivière. Elle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

reposait sur 5 palées. A la plate-forme était superposée une série de montants verticaux de 20 mètres de hauteur, réunis par 3 rangs de moises avec contre-fiches et liens transversaux, pour servir au montage des treillis et des membrures supérieures. Cet échafaudage subit, pendant le montage et par l'effet des charges, un tassement ou une flexion de 18 centimètres, ce qui ne fut pas sans occasionner de nombreuses corrections et réfections pour assurer la rectitude de la poutre métallique. Au moment de l'achèvement, l'une des palées fut affouillée, et l'on n'échappa qu'avec peine et au prix de très grands efforts à un désastre final.

Cet échafaudage contenait 2,300 mètres cubes de bois et 5,000 kilogrammes de boulons. Nous n'avons pas pu nous en procurer le prix de revient total, mais il ne doit pas être éloigné de 320,000 à 350,000 francs, ce qui, pour 2,154 tonnes de métal mis en place, représente environ 15 à 16 francs par 100 kilogrammes, prix encore extrêmement élevé.

Le pont du Wahal, à Bommel, a été monté de la même façon. Les travées, de 120 mètres, étaient partagées en 5 ouvertures, au moyen de 4 palées, laissant des passages de 30 mètres de largeur pour la navigation. Les palées étaient constituées par 4 rangées de 6 pieux chacune. Ces palées supportaient une charpente à 4 étages. A la partie supérieure roulaient deux grues pour la mise en place des membrures supérieures.

Les échafaudages contenaient 1,450 mètres cubes de bois chacun. Ces bois avaient déjà servi au pont de Kuilenborg; s'ils eussent été neufs, on pourrait estimer leur valeur à 150,000 francs l'un au moins. Le poids monté étant de 800 tonnes par travée, ce prix correspond à 19 francs par 100 kilogrammes. Il est vrai que la main-d'œuvre de montage proprement dite, sur ce pont de service, n'a plus coûté que 15,000 francs, soit 1 fr. 87 c. par 100 kilogrammes. La dernière travée a, en effet, été montée dans le court espace de temps de 40 jours, par 90 ouvriers seulement.

L'emploi d'échafaudages paraît indispensable quand il s'agit de travées isolées. Nous verrons qu'il n'en est pas ainsi en parlant des autres modes de montage. Dans les pays cependant où les ponts à poutres continues ne sont pas en faveur, en Autriche, en Allemagne, aux États-Unis, la plupart des montages se font ainsi. Il faut reconnaître que, dans ce dernier pays surtout, leur emploi, joint au système de construction par articulations, permet de faire des merveilles de rapidité. Voici des exemples qui méritent d'être cités et qui devraient faire naître chez nous le désir de sortir quelque peu de ce que nos confrères de l'autre côté de l'Océan appellent volontiers notre lenteur européenne.

Un pont de chemin de fer sur le Mississipi, d'une longueur totale de 623 mètres, comprenant une ouverture tournante de 135 mètres, a été construit, y compris ses piles et culées en maçonnerie, en 150 jours à partir de la commande.

Un autre pont de chemin de fer, pour deux voies, de 56 mètres d'ouverture, a été entièrement construit en 17 jours, son montage complet n'ayant duré que 22 heures!

Le pont sur la Sace, de 183 mètres de longueur, en 5 travées de 30 à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

40 mètres, ayant brûlé, fut commandé télégraphiquement à M. Clarck Reeves et Cie. 40 jours après la commande, le nouveau pont, entièrement en fer, était en place.

Enfin, le viaduc de Portage, si souvent cité comme exemple d'une construction importante en bois, ayant brûlé, fut également remplacé par un nouveau viaduc en fer, à piles métalliques. Sa longueur est de 250 mètres, et la hauteur de ses piles de 62 mètres. Il fut livré à la circulation dans l'espace fabuleusement court de 82 jours après l'incendie.

2° Flottage.

Nous avons dit que l'emploi des échafaudages était la continuation toute naturelle des procédés suivis autrefois pour les ponts en pierre, et appliqués, presque sans modifications, aux ponts métalliques. Dès le début cependant des nouvelles constructions, nous trouvons une méthode nouvelle aussi étonnante par sa hardiesse que l'ouvrage qu'il s'agissait de mettre en place. Nous voulons parler du pont Britannia, construit en même temps et par les mêmes procédés généraux que le pont de Conway. Il serait trop long, quoique bien intéressant, de relater ici les péripéties par lesquelles a passé le projet de montage de ce pont, et il faut nous borner à dire ce qui a été fait après mûr examen de tous les côtés du problème. On sait qu'il s'agissait de lever à une hauteur de $30^m,46$ au-dessus du niveau de l'eau quatre tubes de $143^m,80$ de longueur, et pesant 1,577 tonnes chacun. L'ouverture à franchir étant un bras de mer, on ne pouvait faire un échafaudage permanent pour bien des raisons : les nécessités de la navigation, la force extrême du vent en ces points, la profondeur du fond l'empêchaient. Le génie de Stephenson, qui avait déjà résolu le problème de la forme à donner aux poutres, dicta également la solution de la nouvelle difficulté, au moyen d'un procédé aussi hardi qu'élégant et qui a trouvé, dans ces temps derniers, de nombreux imitateurs.

Au lieu de construire le pont à sa place définitive, on préféra le construire à terre, au bord de l'eau. Un chantier horizontal fut créé au moyen de palées espacées de $8^m,22$, et dont l'ensemble formait une plate-forme de 670 mètres de longueur. Ces plates-formes contenaient, avec leurs palées, 947 mètres cubes de bois. Une fois que l'un des tubes ou poutres était achevé, c'est-à-dire assemblé et rivé sur cette plate-forme, on glissait entre les palées six pontons en bois de 30 mètres de longueur, $7^m,60$ de largeur et $2^m,44$ de profondeur. La marée montante faisait appliquer ces pontons sous la poutre et finissait par la soulever. A ce moment, les pontons étaient sortis ensemble de leurs logements, emportant avec eux la poutre.

La manœuvre des cabestans placés sur les rives du bras de mer permettait de conduire comme on l'entendait ce navire d'un nouveau genre. Choisissant le moment convenable, quant à la marée, on amenait le tube au pied des piles, complètement préparées à l'avance. Des logements, pratiqués au point où le tube se présentait, permettaient son introduction jusque dans le plan vertical qu'il devait occuper définitivement à 30 mètres plus haut. Arrivé là, on em-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plissait d'eau les pontons qui s'enfonçaient laissant le tube reposer sur des appuis provisoires, où il allait être repris par des engins qui devaient l'enlever jusqu'à sa position définitive. Il était plus long que l'ouverture nette entre les piles, et pour qu'il pût monter verticalement, on avait réservé dans les maçonneries des rainures verticales servant de passages et de guides au tube dans son mouvement ascensionnel. A mesure que le tube montait, ces rainures étaient remplies de maçonnerie, en sorte qu'il n'y eût pas de danger d'une chute complète, si l'un des appareils élévatoires fût venu à se rompre. Voici en quoi consistaient ces appareils.

Au sommet des piles se trouvaient placés de forts sommiers en fonte, supportant de puissantes presses hydrauliques à piston vertical. Ces pistons avaient une course de $1^{m},828$. Ils portaient des joues en fonte, aux extrémités desquelles étaient attachées des chaînes de suspension formées de maillons en fers plats. Ces chaînes descendaient jusque dans le tube où elles étaient fixées, l'enlevant quand la presse hydraulique fonctionnait. L'ensemble des chaînes portant une poutre avait une section de 1,778 centimètres carrés, et leur travail maximum était de 13 kilogrammes par millimètre carré. Elles étaient formées de maillons de $1^{m},828$ de longueur, d'axe en axe des boulons qui leur servaient d'articulations, et c'est cette longueur qui donnait la mesure de chaque opération. Les machines à vapeur qui actionnaient les presses étant mises en mouvement, il fallait de 30 à 45 minutes environ pour le mouvement ascensionnel de $1^{m},828$. Le poids total enlevé était de 1,944 tonnes. On faisait ordinairement une de ces opérations par jour, élevant en moyenne chaque tube à sa place définitive dans l'espace d'un mois.

Ce procédé s'appliquait à chacun des grands tubes de 144 mètres de longueur. Ceux des petites ouvertures latérales, de 70 mètres chacun, étaient montés sur échafaudage complet. L'ensemble de ces deux échafaudages contenait 1,017 mètres cubes de bois.

Une fois en place, il restait à joindre l'une à l'autre les extrémités voisines des tubes, car, bien que mis en place séparément, l'ensemble des quatre tronçons devait, en fin de compte, former une poutre continue. On variait pour cela légèrement la hauteur des points d'appui provisoires, de telle sorte qu'après rivure, l'effet fût le même que si l'ensemble de la poutre avait été monté sur un échafaudage horizontal complet.

Nous possédons des renseignements détaillés sur le prix de revient des appareils employés et de la main-d'œuvre du levage. On peut le résumer ainsi :

Pontons, cordages, cabestans et appareils de levage.....	947,000[f]
Charpente et main-d'œuvre de bardage, mise au levage, etc.	638,000
TOTAL.....	1,585,000

Le poids du métal étant de 11,647 tonnes, ce prix représente environ 13 fr. 60 cent. par 100 kilogrammes, prix peu élevé quand on songe aux difficultés nouvelles qu'il a fallu constamment vaincre, et à l'inexpérience en face de laquelle on se trouvait encore en 1848 pour ce genre de travaux. Ce chiffre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

deviendra surtout frappant, quand on saura que la construction des poutres, main-d'œuvre et frais généraux seulement, a coûté 48 fr. 50 cent. par 100 kilogrammes, et que le prix moyen du métal employé était de 32 fr. 10 cent. les 100 kilogrammes de fer et de fonte.

Il n'est pas étonnant que ce gigantesque ouvrage fît époque dans l'art des constructions métalliques et que les procédés employés fussent appliqués ailleurs en tout ou en partie. Brunel, le grand émule de Stephenson, employa un mode de levage tout analogue dans la construction du pont de Saltash, qui a deux travées de 138^{m},70 de portée chacune, et dont le tablier se trouve à 30^{m},70 au-dessus du niveau de l'eau. Mais dans ces dernières années, le même procédé de flottage a été employé avec un très grand succès en Hollande, à la construction du pont du Moerdyck. Cet ouvrage a 14 ouvertures de 100 mètres chacune, franchies par des poutres semi-paraboliques, avec montants verticaux et diagonales en fer plat. L'eau est, par endroits, très profonde, le fond atteignant 13 mètres sous l'étiage. Les tempêtes y sont fréquentes, et l'établissement d'échafaudages fixes devait éveiller des craintes sérieuses. On décida donc d'établir les chantiers de montage sur l'une des rives, à un endroit où il existait une faible profondeur d'eau, et où l'on construisit avec facilité deux plate-formes reposant sur pilotis. Ceux-ci formaient des palées espacées de 4^{m},10, correspondant aux montants de la poutre métallique. A chaque extrémité de la plate-forme manquaient quelques palées, l'intervalle ainsi créé de 16^{m},50 de largeur étant franchi par des poutres armées. C'est dans ces passages que venaient se loger, après achèvement du montage, les deux pontons destinés à emporter la travée. Ceux-ci étaient de grands bateaux, à fond plat, de 35 mètres de longueur sur 10^{m},20 de largeur. Une fois amenés, on les calait sous la poutre, et la marée montante enlevait la travée et permettait de la dégager de l'échafaudage. Des remorqueurs entraînaient ensuite les pontons jusqu'à l'emplacement définitif de la travée sur les piles. La marée descendante opérait la descente des poutres sur leurs appuis, et l'on hâtait cette phase de la manœuvre par l'ouverture de soupapes dont étaient munis les pontons. La mise en place de la première travée réussit parfaitement; et l'on acquit rapidement une telle habitude du travail et une telle assurance dans les manœuvres, que la dernière travée fut enlevée de sa plate-forme, transférée à son emplacement définitif et descendue sur ses appuis dans le court espace *d'une heure et demie*.

3° Lançage.

L'emploi des ponts à poutres continues devenant de plus en plus fréquent, une fois que l'établissement d'un certain nombre de grands ouvrages leur eut donné la sanction nécessaire, il devint naturel de les choisir de préférence pour franchir les vallées profondes, et de chercher à les placer sans avoir recours aux échafaudages. Le grand viaduc de la Sarine à Fribourg ouvrit à ce point de vue, en 1859, une époque nouvelle. Construit entièrement en arrière de l'une des culées, il fut posé sur des rouleaux et avancé successivement jusqu'au-dessus de chacune des piles en métal sur lesquelles il devait reposer. Les pièces constituant ces piles furent descendues du tablier jusqu'à leur point

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'assemblage, évitant ainsi l'établissement d'échafaudages pour leur construction. Le tablier, de 335 mètres de longueur, est à sept travées. Il est construit pour deux voies. Il repose sur des piles de 43m,23 de hauteur, non compris les bases en pierre. Après montage, le tablier reposait sur des séries de galets en fonte, de 75 centimètres de diamètre, espacés de 20 mètres les uns des autres, et dont les axes tournaient dans des chaises en fer. Sur la culée étaient établis des treuils dont les chaînes allaient s'attacher vers l'arrière du tablier. La mise en mouvement de ces treuils à bras d'homme entraînait le tablier en lui donnant son mouvement d'avancement. Une fois la verticale de la première pile atteinte, on la montait et on la terminait par une charpente en bois formant plate-forme, qui permettait d'atteindre le dessous des poutres du tablier, de placer et de surveiller les galets. Le sommet de la pile était relié à la culée par des tirants spéciaux. Il était à craindre, en effet, que le mouvement d'avancement du tablier ne produisît sur la pile une poussée suffisante pour la jeter hors d'aplomb, sinon pour la renverser. On dut, par conséquent, relier successivement et de la même façon toutes les piles à mesure que le tablier arrivait à porter sur elles. Une fois le lançage achevé, on enleva les chaises en bois des piles et on descendit le tablier sur ses appuis définitifs.

Le lançage proprement dit, sans tenir compte du temps d'installation des appareils, qui se faisait pendant le montage des piles, s'est opéré rapidement. D'une pile à l'autre, l'avancement se faisait en six heures, seize hommes agissant sur les treuils.

Le pont de Stadlau, à Vienne, a été lancé d'une manière semblable. Ce pont, de cinq travées de 70m,67 chacune, pesait au total 2,100 tonnes au moment du roulement. Il fut roulé en deux séries d'opérations; lors de la première, trois travées étaient montées et lancées sur deux ouvertures. La seconde opération comprenait l'ensemble des cinq travées. Le pont reposait à chaque fois sur des séries de galets en fonte, de 920 millimètres de diamètre, et ayant toute la largeur des semelles, soit 900 millimètres. Ces rouleaux étaient groupés deux par deux sous chaque poutre; leurs axes reposaient dans des chaises en fonte de 750 millimètres de hauteur. Ils étaient espacés d'axe en axe de 30 mètres environ. Il portait à l'avant un bec en tôlerie de 30 mètres de longueur. Cet avant-bec servait à atteindre la pile avant qu'une travée entière se trouvât en porte-à-faux, et diminuait ainsi la réaction sur les rouleaux antérieurs. Un arrière-bec de 17 mètres de longueur avait pour but de terminer le lançage, le treuil moteur se trouvant en arrière de la culée. Il était amarré fortement à celle-ci. La chaîne de traction était une chaîne Galle, qui, partant du treuil, allait se fixer au-dessous d'une entretoise porteuse convenablement renforcée par des contre-fiches horizontales. Le treuil était à triple engrenage, diminuant cinq cent douze fois la vitesse des manivelles. Avec cette disposition, le lançage s'effectuait par les efforts de seize hommes, lesquels faisaient marcher le tablier de 4 à 6 mètres par heure. Le premier lançage, sur deux travées, s'effectua en dix-huit jours de travail; le deuxième, de trois travées, mais avec le poids total du pont, en vingt jours.

Ces chiffres suffisent pour montrer combien est faible le prix du lançage proprement dit, pour un ouvrage de cette importance. En comptant le plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

largement possible, on n'arrive encore qu'à estimer à 2 ou 3 francs par tonne le prix de la main-d'œuvre d'une semblable opération. Le matériel spécial nécessaire à cet effet a une certaine importance; mais il s'amortit par un certain nombre d'opérations et influe, somme toute, peu sur le prix total. On peut donc presque admettre que le prix des échafaudages se trouve économisé par ce procédé.

Dans certains cas, il faut cependant prévoir une dépense supplémentaire, provenant d'une autre cause. Les membrures et les treillis ne sont pas toujours de nature à permettre l'avancement en porte-à-faux d'une travée entière. On est alors obligé ou de les renforcer en augmentant d'une manière définitive le poids du métal, ou bien d'armaturer temporairement les poutres au moyen d'organes accessoires. Les plus usités parmi ceux-ci sont des haubans qui soulagent l'extrémité du pont, s'appuyant eux-mêmes sur un chevalet que portent les poutres. Si usitée qu'elle soit, cette disposition ne nous paraît pas offrir une sécurité absolue. Elle est assez coûteuse, la mise en place des haubans est difficile, et il semble encore qu'il y ait avantage à renforcer quelque peu les membrures et les treillis, augmentation dont profitera en tout cas la solidité du pont.

Un autre procédé de lançage, plus simple que le précédent et plus économique, consiste dans le remplacement des treuils de manœuvre par des roues à rochet, calées sur les axes des galets et mues par des leviers. Ceux-ci ont une longueur aussi grande que possible, s'élevant jusqu'au-dessus des poutres du pont, où ceux qui appartiennent à une même batterie de galets sont réunis entre eux par des madriers transversaux. De même, on réunit par une corde régnant sur la longueur du pont les leviers des batteries successives des galets. On assure ainsi le fonctionnement simultané des leviers, qui sont poussés par des hommes marchant sur le dessus du tablier. Cette disposition évite l'emploi de chaînes ou de cordes, lesquelles peuvent avoir des effets fâcheux en se détendant subitement si, par une cause quelconque, le pont offre à un moment donné une résistance moindre. De là des mouvements irréguliers, qui peuvent devenir très gênants. Sur les piles métalliques, les galets ainsi manœuvrés ont un autre avantage. Il suffit de leur imprimer un mouvement semblable à celui des galets encore placés à terre, pour éviter les efforts de renversement sur la pile, produits par la poussée du tablier. C'est un avantage qu'on ne dédaignera pas, quand on saura que, sous la poussée, on a vu des piles se soulever entièrement d'un côté pour retomber sur leurs appuis quand le mouvement cessait.

La forme des galets n'est pas indifférente. Le plus ordinairement, ils sont en fonte, de toute la largeur de la semelle. Cette forme a des inconvénients, surtout au franchissement des escaliers que présentent les tôles des semelles. Ils ne portent d'une manière sérieuse que dans le plan des âmes verticales. Aussi quelques constructeurs préfèrent-ils des galets étroits où le point d'appui réel est nettement déterminé.

Un danger à éviter dans les lançages sur galets consiste dans l'excès de charge qui peut se produire sur l'un ou l'autre des appareils, et surtout sur celui qui se trouve contigu au porte-à-faux. Quand le ou les galets sont fixes, aussi rapprochés qu'on voudra, c'est toujours le plus avancé qui supporte à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peu près la totalité de la charge. Pour assurer une égale répartition sur un plus grand nombre de galets, on a imaginé un appareil à bascule qui a donné les meilleurs résultats. Il se compose d'un grand sommier aux extrémités duquel se trouvent des clavettes, recevant chacune un sommier plus petit. Ceux-ci portent chacun deux galets qui se trouvent ainsi susceptibles d'un mouvement de bascule autour de leurs clavettes. L'ensemble bascule à son tour sur une clavette unique, qui se trouve sous le milieu du grand sommier. Les quatre galets peuvent donc se plier à toutes les dénivellations des tôles formant escalier et à toutes les inclinaisons que peut prendre la poutre en porte-à-faux. Dans toutes les positions, les galets seront également chargés; et l'on évite ainsi un excès de charge quelconque, qui pourrait donner lieu à des écrasements de la matière des membrures.

4° Montages sur ponts secondaires.

Quelquefois, mais rarement, on a construit un premier pont en métal, pour servir de plate-forme de montage à l'ouvrage définitif. Stephenson avait étudié ce système pour le montage du pont Britannia, mais l'avait trouvé dangereux et incertain. Son idée a été réalisée au montage du pont d'El Kantara, où une plate-forme portée par des chaînes en fer a servi à monter les cintres en bois, lesquels à leur tour ont supporté, pendant le montage, les arcs en fonte. Il semble qu'à la suite de cet essai les ponts suspendus aient été de nouveau abandonnés, leur instabilité étant une source permanente de difficultés.

Le pont de Königswart, en Bavière, a offert un autre exemple plus intéressant. Il s'agissait de placer trois ouvertures de 68 mètres chacune. Les piles étaient entourées des échafaudages qui avaient servi à leur construction. On éleva à mi-distance de chaque pile une palée en charpente, laissant entre les groupes ainsi formés des vides de 24 mètres environ. Sur ces vides, on jeta de très légers ponts de service en fer, qui étaient de vraies poutres en treillis, et sur ces ponts on établit la plate-forme générale de montage des grandes poutres. On admettait dans ces poutres que le métal pouvait travailler jusqu'à 16 kilogrammes par millimètre de section nette, et ainsi cette solution pouvait être économique, les palées ayant chacune 36 mètres de hauteur.

Mais, au moment de mettre en place l'ouverture du milieu, la dernière qui restait à monter, une crue subite enleva la palée centrale. La saison ne permettait pas son rétablissement et cependant il fallait achever le montage. On se décida alors à l'emploi d'une poutre auxiliaire de $66^{m},40$ de portée, reposant sur les piles et remplissant le même office que les premières poutres de 24 mètres. On choisit le type du *bow-string* renversé, avec treillis simple. Sur les deux piles, les extrémités de ces poutres étaient prolongées jusque dans l'intérieur des travées voisines déjà placées et s'y trouvaient en quelque sorte encastrées. On put avancer en porte-à-faux la construction de cette travée auxiliaire et arriver à faire la jonction au milieu. Pour éviter les trop grands efforts pendant cette période de la construction, on ne mettait en place que la moitié environ des pièces composant les poutres. Une fois le pont fermé, on doubla celles qui étaient restées inachevées, et l'on assura ainsi une sécurité

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

complète. Cette poutre, de 66m,40 de portée, pesait 84 tonnes. Elle portait le tablier définitif et était calculée pour une charge de 6,400 kilogrammes par mètre courant, admettant toujours un coefficient de travail de 16 kilogrammes par millimètre carré.

On mit trente-sept jours à l'établissement complet du pont de service et deux jours pour le descendre sur ses appuis. Le montage du grand pont dura seulement vingt-cinq jours, une fois la plate-forme établie.

5° Montage en porte-à-faux.

Il reste à signaler un dernier système de montage, dont on peut citer déjà quelques exemples intéressants. Nous voulons parler des montages en porte-à-faux. La concurrence est ingénieuse, et, après avoir supprimé les échafaudages, les constructeurs ont songé à supprimer aussi le lançage avec son matériel et ses dangers. Cette idée a cependant, jusqu'à présent, trouvé son application seulement dans des cas exceptionnels.

Le premier a été le montage du pont en arc d'El Cinca. Ce pont, de 70 mètres d'ouverture, franchit un ravin très profond, où il était difficile sinon impossible d'établir aucun échafaudage. De plus, la pénurie du bois dans ce pays était extrême. On a donc monté directement chaque pièce composant les arches métalliques en amarrant solidement à la culée les premières pièces des retombées et en présentant successivement chaque tronçon à sa place au moyen d'une grue roulante qui les avance au delà des parties déjà posées. Chaque demi-arc constituait ainsi, pendant le temps du montage et jusqu'à la réunion à la clef, une véritable console encastrée aux naissances. Un échafaudage inférieur avançait avec le travail et permettait l'assemblage des pièces présentées. Ce montage s'est effectué rapidement et avec facilité. Il a été payé par le Gouvernement espagnol 55,000 francs. Le poids du pont étant de 248 tonnes, ce prix correspond à environ 22 francs par 100 kilogrammes.

Le grand pont en arc de Saint-Louis, aux États-Unis, dont les arches ont 150 mètres d'ouverture, a également été monté en porte-à-faux. L'amarrage aux piles n'était plus possible ici: elles auraient été renversées sous l'effort latéral. On a donc monté symétriquement par rapport à chaque pile les parties voisines. Un pylône monté sur la pile supportait des câbles allant à droite et à gauche supporter les premiers voussoirs formant les arches. Au delà du point d'attache de ces câbles, l'arc continuait à se monter en porte-à-faux. Afin de ne pas fatiguer trop ces parties avancées, une petite palée s'élevait au point déjà soutenu par les premiers câbles, et elle servait à son tour de pylône pour le support d'un nouveau câble, au moyen duquel ou soulageait la partie avancée. Enfin une troisième palée et un troisième câble soutenaient les parties plus avancées encore, permettant ainsi d'atteindre la clef où se faisait la fermeture de l'arche.

L'un des exemples les plus remarquables de ces montages nous est fourni par le grand viaduc sur le Kentucky, sur le chemin de fer Cincinnati-Southern. Il se compose de trois travées de 114m,25 chacune, qui franchissent la vallée en plaçant le rail à 84 mètres au-dessus du niveau de la rivière.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette rivière est utilisée par la navigation dans une large mesure, et le nombre de bateaux et de radeaux qui y passent sans cesse est considérable. A l'endroit où se trouve le viaduc, le ravin forme un coude rapide, offrant toujours quelque danger, et qu'il importait de ne pas obstruer par des échafaudages. De plus, des crues d'une extrême rapidité se produisent de temps en temps et mettraient en péril toute construction temporaire élevée sur les bords de la rivière. Ces raisons suffirent pour décider M. Shaler Smith, ingénieur de la *Baltimore Bridge Company*, qui dirigeait la construction, à faire le montage presque sans le secours d'échafaudages.

Les poutres qui constituent le tablier offrent une particularité qu'il faut signaler tout d'abord. La travée centrale est franchie par une poutre unique, laquelle se prolonge au delà des points d'appui fournis par les piles métalliques. Ces prolongements ont chacun 27 mètres de longueur, et à leur extrémité se trouvent des charnières servant de support aux travées de rive proprement dites. De la sorte, chacune des travées a 87 mètres seulement de portée effective. L'ensemble ne constitue pas une poutre continue, mais bien une ferme articulée en deux points indépendants des appuis.

Le montage des piles se fit de la manière ordinaire, en partant du bas. Elles furent posées chacune sur deux séries de rouleaux superposés permettant un mouvement en tous sens. On assurait ainsi la possibilité d'une concordance exacte du sommet de chaque pile avec le tablier qu'elle portait. Cette concordance était obligatoire, l'appui consistant en une charnière unique placée sur la pointe de la pile.

Le montage du tablier se trouva favorisé d'une circonstance particulière. Sur les culées se trouvaient deux grosses tours en maçonnerie qui avaient été construites bien des années auparavant, quand il s'était agi de jeter en ce même point un pont suspendu. On se servit du pied de ces tours pour amarrer solidement les premiers éléments de la poutre horizontale. Le tirant qui retenait la membrure supérieure traversait la maçonnerie et était fixée à l'arrière par un écrou. La membrure inférieure butait contre la culée par l'intermédiaire de vérins dont le mouvement aidait à régler la hauteur de la poutre à mesure qu'elle avançait. La culée ainsi fixée, on apportait successivement les pièces composant le pont au moyen d'une grue roulante et on les mettait en place. A 45 mètres en avant de la culée, on avait élevé un pylône en bois, sur lequel venait reposer la poutre une fois qu'elle avait atteint ce point. On la soulagea par des vérins et on continua l'avancement. Arrivée à l'endroit où se trouvait la charnière, qui est placée dans la membrure supérieure, on la fixa; puis on riva provisoirement la membrure inférieure, afin de pouvoir continuer par le même système et atteindre la pile. Ce point atteint, on trouva que la poutre était de 38 millimètres trop courte pour pouvoir s'emboîter avec la charnière placée sur la pile. On déplaça alors l'ensemble de la pile pour assurer l'assemblage, et cette manœuvre se fit sans difficulté, grâce aux rouleaux sur lesquels elle reposait. Le point d'appui une fois créé, on continua en porte-à-faux au delà de la pile jusqu'à la jonction du milieu. Les deux moitiés du tablier ainsi achevées, on trouva un vide restant qui variait de 50 à 125 millimètres. Grâce à la disposition des écrous et des vérins placés aux amarrages, on put faire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avancer les tabliers qui entraînèrent les piles et permirent de faire les premières jonctions. On profita ensuite des variations de température pour faire les autres et l'on acheva sans encombre la réunion des tabliers dans l'espace de vingt-quatre heures. Il ne restait plus qu'à couper les membrures inférieures aux points où se trouvaient les charnières du tablier, ce qui se fit également avec facilité, chacun des joints en ces points s'ouvrant de 7 millimètres environ.

Tout ce travail dura du 16 octobre 1876 jusqu'au 20 février 1877, époque à laquelle on eut à subir de très grands froids. On y employa en moyenne de cinquante à soixante hommes par jour. Le poids total du pont était de 1,800 tonnes environ. Le prix du montage, non compris le prix des engins ni des deux tours en charpente, ne représente guère que 2 fr. 50 cent. à 3 francs par 100 kilogrammes, prix excessivement minime.

Un exemple de montage fort simple mais bien intéressant nous est offert par le chemin de fer aérien de New-York. Il y avait tout intérêt dans cette construction à ne pas interrompre la circulation dans les rues où il devait passer. Aussi a-t-on, une fois la première travée mise en place, fait rouler sur les poutres des grues à vapeur, qui levaient successivement toutes les poutres et les mettaient en place sans l'aide d'aucun échafaudage. Une fois les piliers en place, chaque poutre était enlevée presque aussitôt livrée sur le chantier et l'on obtenait ainsi un avancement rapide et commode.

L'exemple le plus récent enfin de montages de ce genre est celui du pont du Douro, à Porto (Portugal). Cet ouvrage se compose principalement d'une grande arche de 160 mètres d'ouverture, franchissant une rivière trop profonde pour y établir un échafaudage. La hauteur de son extrados est de 61 mètres au-dessus de l'eau. A droite et à gauche de cette arche se trouvent des travées droites, formées chacune d'un tablier à poutres continues, reposant sur des piles métalliques.

On commença par monter et ces piles et le tablier qu'elles portent. Ce dernier fut lancé par des galets à levier et avec l'appareil à bascule décrit plus haut. Aux deux piles contiguës à l'arc furent superposés des chevalets en bois entre lesquels fut tendu un double câble en fil d'acier, destiné à servir de chemin de roulement à deux petits chariots. Ceux-ci portaient chacun une poulie sur laquelle passait le cordage qui opérait le levage des pièces amenées par bateaux dans la rivière. Les treuils qui manœuvraient étaient disposés dans les chevalets susdits.

Les pièces formant les retombées de l'arc, levées de cette façon, furent déposées sur des petites plates-formes accolées aux bases des piles en maçonnerie. Elles étaient à peine assez larges pour porter le premier panneau de l'arc. Elles suffirent cependant comme point de départ, et les retombées une fois assemblées, on continua à monter en porte-à-faux le deuxième panneau. On ne pouvait avancer davantage de cette façon sans écraser l'échafaudage ou faire basculer la partie déjà montée. On rattacha donc l'extrémité du deuxième panneau au tablier supérieur au moyen de câbles en fil d'acier qui prenaient leur appui sur les panneaux pleins du tablier, convenablement renforcé. Ces câbles obliques donnaient nécessairement au tablier une tendance à venir en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avant, et, pour éviter cet entraînement, les extrémités d'arrière de chaque tablier avaient été convenablement amarrées au rocher et aux maçonneries.

Les deux premiers panneaux de l'arc suspendus ainsi en quelque sorte aux câbles, on pouvait avancer de nouveau en porte-à-faux d'une quantité égale. Aux extrémités du quatrième panneau on posa de nouveaux câbles, se rattachant au même point d'appui que les précédents.

Le cinquième panneau posé, on détacha les premiers câbles, qui maintenant se détendaient, et on les plaça à l'extrémité de ce cinquième panneau. Dès lors il était possible d'avancer jusqu'au centre de l'arc et faire la jonction.

Le câble porteur supérieur n'avait cependant pas donné satisfaction, à cause de la longueur des cordes de suspension et de l'inclinaison latérale qu'il fallait donner aux cordes pour mettre les pièces en place. On le remplaça par des bigues en bois, posées à l'avant, faisant l'office de chèvres. Cet organe si simple fit un excellent service, et l'on atteignit la clef, en avançant, dans les deux derniers panneaux, l'intrados un peu plus rapidement que l'extrados. On trouva alors que les deux demi-arcs se présentaient bien pour la jonction dans le même plan vertical, mais un peu trop haut l'un et l'autre pour faire l'assemblage. Ce fait était intentionnel; on avait voulu, pour le clavage définitif, que les arcs n'eussent, en aucun cas, besoin d'être relevés. A cet effet, les têtes des câbles avaient été, lors de leur amarrage, posées sur des cales en fonte. On soulageait les appuis en saisissant les têtes par des crochets, manœuvrés eux-mêmes par des vérins hydrauliques, et on enlevait successivement les cales sous les têtes. On descendit ainsi peu à peu, et l'on finit par présenter exactement les joints des membrures d'intrados. La difficulté était dès lors vaincue et l'assemblage complet de l'intrados suivit de près la première jonction. Pour y arriver, il fallait encore faire descendre les reins des arcs, ce qui se fit en continuant la même manœuvre des câbles et en s'aidant des boîtes à sable sur lesquelles reposaient le tablier sous les points d'appui des câbles. Le restant des tabliers droits, ainsi que les palées de l'arc, furent enfin mis en place avec la plus grande facilité.

Il semble, d'après le rapide examen qui précède, que l'on puisse distinguer une tendance très marquée dans l'esprit des méthodes que nous avons passées en revue. Les anciens procédés terre à terre, imités des constructions en pierre, font graduellement place à des méthodes qui les remplacent en utilisant la construction définitive pour le travail préliminaire de montage. Cette tendance est rationnelle. Elle suppose que, dès la rédaction d'un projet, on se rende compte de toutes les phases que traversera la construction. Et, bien que la première phase, celle de la construction, soit la plus courte de toutes, elle n'en est pas moins celle qui a la plus grande influence sur l'économie de l'ouvrage et, dans bien des cas, sur sa stabilité et sa durée. Ce sera donc avec raison une des préoccupations principales de l'ingénieur, d'atteindre, en même temps que l'élégance et la stabilité, aussi la construction simple et facile. C'est cette préoccupation qui a fait dominer, en France plus qu'ailleurs, les ponts à poutres continues, dont le montage est aujourd'hui un des plus avantageux. Mais nous avons fait voir que presque tous les types de ponts,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

depuis les ponts en arc jusqu'aux ponts en treillis et à charnières, sont susceptibles d'être montés sans l'emploi de ponts provisoires. Nous croyons que, bien organisés, ces montages seront le plus souvent économiques, et nous souhaitons de voir disparaître sur les chantiers la routine ancienne, pour la remplacer par des procédés scientifiques qui pourront toujours être rationnels et élégants. (Applaudissements.)

M. Clavenad, *ingénieur des ponts et chaussées, à Cherbourg.* Messieurs, je vous demande la permission d'ajouter deux mots : le premier, sur les appareils destinés à mesurer directement les allongements résultant de la compression des différentes pièces d'une construction métallique.

Je n'ai pas besoin d'insister sur l'utilité d'un pareil instrument. M. l'ingénieur en chef Dupuy a déjà décrit, dans les *Annales des ponts et chaussées*, ce petit instrument qui nous a servi dans une intéressante expérience sur les poutres en treillis. Celui que je présente me paraît être d'une application pratique et facile. J'ai eu, du reste, l'occasion de l'appliquer dans les travaux de reprise en sous-œuvre que je poursuis en ce moment à l'arsenal de Cherbourg. Il peut donner pratiquement un vingtième de millimètre.

Le second mot que j'ajouterai est relatif à un appareil qui est appelé *tachydrographe*, et dont la construction, aux frais de l'État, a été décidée à la suite d'un rapport de la Commission des inventions, instituée par le Ministère des travaux publics. Il est destiné à écrire rapidement le profil d'un fond maritime ou fluvial, et, par conséquent, peut être d'une grande utilité pour les travaux en rivière, fondations de ponts, et, en général, pour toutes les études qui se rapportent à la navigation.

En temps de guerre, il pourrait servir pour la détermination rapide de la forme affectée par un fond fluvial quand il s'agit de jeter un pont.

Des dessins et des notices relatives à cet appareil ont été envoyés au secrétariat du Congrès. (Approbation.)

La séance est levée à midi vingt minutes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SÉANCE DU VENDREDI 9 AOÛT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. WISCHNEGRADSKI,

DIRECTEUR DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE SAINT-PÉTERSBOURG.

Ordre du jour : 5e Section. — Chemins de fer.

Sommaire. — Freins continus pour chemins de fer, mémoire de M. Georges Marié; discussion : Communication de M. Georges Hardy; observations de M. Kapteyn. — Note de M. Achard sur le Frein électrique, lue par M. Deprez; reprise de la discussion : Sir Henry W. Tyler, M. Banderali. — Machines pour tramways, mémoire de M. Mallet; observations de M. Tresca.

La séance est ouverte à dix heures un quart.

M. Wischnegradski, vice-président du VIe groupe du Jury international, occupe le fauteuil de la présidence.

Le bureau est composé de M. Richard, vice-président, et de MM. Abernethy et Brunlees, vice-présidents de l'Institut des ingénieurs civils de Londres.

M. le Président. Messieurs, le Comité d'organisation du Congrès du Génie civil a bien voulu me conférer l'honneur de présider cette séance : je sais bien que ce n'est pas à mon mérite que je dois cet honneur, mais à la courtoisie traditionnelle des Français. Je vous prie, Messieurs, d'être indulgents pour moi, et vous demande immédiatement la permission d'ouvrir la séance en donnant la parole à M. Marié, pour sa communication relative aux freins continus de chemins de fer.

MÉMOIRE

SUR

LES FREINS CONTINUS POUR CHEMINS DE FER,

PAR M. G. MARIÉ,

INGÉNIEUR À LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE.

M. Marié. Messieurs, nous avons été envoyés l'année dernière en Angleterre, M. Auguste Léon et moi, pour étudier les divers systèmes de freins continus. Nous avons été guidés, dans nos visites, par M. Bergeron, qui représente notre Compagnie en Angleterre. Nous avons été reçus partout avec le bon accueil dont les Français sont toujours l'objet dans ce pays; nous avons pu voir fonctionner la plupart des systèmes de freins continus.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il y a quelques jours, M. Bazaine m'a fait l'honneur de me demander, de votre part, de faire, au début de cette séance, un exposé sommaire des principales questions qui concernent les freins continus.

Je crains de ne pouvoir m'acquitter que bien imparfaitement de cette tâche, mais je compte sur vous, Messieurs, pour compléter ce rapide exposé.

DÉFINITION DES FREINS CONTINUS.

Les accidents de chemins de fer sont d'autant plus graves que la vitesse du train est plus grande au moment de l'accident. On peut même dire que leur gravité est proportionnelle à la force vive du train, c'est-à-dire au carré de sa vitesse. Il est donc à désirer que les trains express soient munis d'appareils plus puissants que les anciens freins.

Pour y arriver, on a imaginé différents systèmes qui exercent leur action sur un grand nombre de roues et même sur toutes les roues du train.

C'est ce qu'on appelle les freins continus.

ÉTUDE DES CIRCONSTANCES DANS LESQUELLES LES FREINS CONTINUS SONT UTILES.

Les freins continus peuvent rendre des services dans bien des cas; nous allons les énumérer brièvement :

1° *Choc contre un obstacle.* — Lorsque le mécanicien voit devant lui un train qui court à sa rencontre ou un obstacle fixe sur la voie, il doit chercher à arrêter son train dans un parcours aussi faible que possible; s'il ne peut éviter le choc, il doit en atténuer autant que possible la violence. On doit donc mettre, entre les mains du mécanicien, un frein aussi puissant que possible.

2° *Accident arrivant à une voiture sans rupture d'attelages.* — Il arrive quelquefois un accident à une voiture sans que cela entrave la marche du train; il y a néanmoins nécessité d'arrêter le train le plus tôt possible. Il est bon, dans ce cas, que chaque agent du train puisse faire agir le frein continu, dans le cas surtout où le mécanicien ne s'apercevrait pas de l'accident.

Cependant, cette condition n'est pas indispensable, si le train est muni d'un appareil permettant aux agents de donner au mécanicien un signal d'alarme.

3° *Ruptures d'attelages dans les montées.* — Les chemins de fer se répandent de plus en plus dans les pays de montagnes; il peut arriver qu'une rupture d'attelages se produise dans une montée. Dans ce cas, il est indispensable d'arrêter la queue du train. Pour obtenir ce résultat, on a imaginé des freins où chaque voiture contient en elle-même la puissance motrice nécessaire pour faire agir le frein; ils sont disposés de telle façon que le fait même de la rupture d'attelages produit le serrage des freins dans tout le train. C'est ce qu'on appelle des freins automatiques.

Il ne faut pas s'exagérer l'importance de ce genre d'accidents. Dans les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trains de voyageurs, les ruptures d'attelages dans les montées sont très rares. A notre connaissance, ce genre d'accident ne s'est jamais produit sur la ligne de Paris-Lyon-Méditerranée. Dans les trains de marchandises, les fortes rampes obligent le plus souvent à l'emploi de la double traction. Si on a soin de mettre une des machines en queue et de laisser subsister quelques freins à vis, on peut se dispenser de rendre automatique le frein continu.

4° *Déraillements avec rupture d'attelages.* — Lorsque la machine déraille, le mécanicien reçoit une violente secousse; il est impossible d'exiger de lui, dans ce cas, une manœuvre quelconque. De plus, l'attelage de la machine est le plus souvent rompu, de telle sorte que le frein continu ne peut agir que s'il est automatique.

Il faut observer que, en cas de déraillement de la machine, le serrage du frein ne saurait diminuer beaucoup la gravité de l'accident : en effet, une machine déraillée ne peut parcourir qu'une bien faible distance sans s'arrêter; l'action du frein ne dure donc pas assez longtemps pour diminuer beaucoup la violence du choc des wagons contre la machine. Le même cas se présente lorsqu'une voiture déraille en rompant ses attelages.

5° *Modération de la vitesse dans les descentes.* — En dehors des accidents dont je viens de parler, les freins continus peuvent servir dans bien des cas. On peut même ajouter qu'on doit s'en servir fréquemment : c'est le seul moyen pratique de s'assurer qu'ils sont toujours en bon état. Dans les descentes, le mécanicien peut se servir du frein continu, mais il faut pour cela qu'il gradue son énergie suivant le profil de la voie.

6° *Arrêts dans les stations.* — Le mécanicien peut se servir du frein continu dans tous les arrêts; il y gagne chaque fois quelques secondes. Cet avantage a une certaine valeur dans les lignes de banlieue; le frein doit donc être disposé de façon à n'être pas désagréable aux voyageurs, quand le mécanicien s'en sert avec modération.

RÉSUMÉ DES QUALITÉS DES FREINS CONTINUS.

Nous avons énuméré les principales circonstances de l'emploi des freins continus; nous en avons déduit, dans chaque cas, les qualités qu'elles exigent d'un tel appareil; résumons-les en quelques mots :

1° Le frein continu doit être sous la main du mécanicien;

2° Il doit être aussi énergique que possible;

3° Le mécanicien doit pouvoir graduer à sa guise son énergie.

En dehors de ces trois qualités fondamentales, il est préférable qu'il possède aussi les deux suivantes :

1° Il est bon que le frein soit sous la main de tous les agents du train;

2° Il peut être utile qu'il soit automatique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

DIVISIONS À FAIRE DANS L'ÉTUDE DES FREINS CONTINUS.

Nous allons passer maintenant à l'étude proprement dite du frein; il y a deux choses à considérer dans un frein :

1° Le mécanisme, c'est-à-dire l'ensemble du sabot et des leviers;

2° La nature de l'appareil moteur agissant sur le mécanisme; c'est dans cette seconde partie seulement qu'intervient la distinction entre les divers systèmes de freins continus.

1° ÉTUDE DU MÉCANISME.

Calage des roues. — La première question qui se pose est de savoir si on doit enrayer les roues ou non. Si le frein enraye toutes les roues du train, la force retardatrice est égale au produit du poids du train par le coefficient de frottement des roues enrayées sur le rail. On sait que, aux grandes vitesses, ce coefficient est très faible; il descend souvent au-dessous de 1/20. Si, au contraire, les roues ne sont pas enrayées, la force retardatrice peut être presque égale à l'adhérence du train, soit environ 1/4 ou 1/5 du poids du train.

Il faut remarquer que l'adhérence des roues d'un frein est un peu plus grande que l'adhérence des roues motrices des locomotives. Cela tient à ce que, dans ce dernier cas, le moment de la force motrice n'est pas constant; c'est son maximum qui doit être inférieur au moment de l'adhérence. On voit donc qu'on obtient un effet plus énergique sans caler les roues; seulement, il faut s'assurer que la pression des sabots n'est pas loin de la valeur qui produirait ce résultat.

Pression des sabots sur les roues. — Il est important de savoir quelle est la pression avec laquelle le sabot doit agir sur la roue. Supposons d'abord que la roue ne soit munie que d'un sabot. Si le coefficient de frottement du sabot sur la roue était le même que le coefficient d'adhérence de la roue sur le rail, la roue commencerait à s'enrayer aussitôt que la pression du sabot deviendrait supérieure au poids transmis par la roue au rail.

La roue ne serait pas enrayée instantanément, car sa force vive ne peut pas être détruite dans un temps nul. Cependant, elle peut être enrayée en quelques tours, c'est-à-dire pendant une fraction de seconde, si la pression du sabot est notablement supérieure au poids à ce moment.

Mais, en réalité, le coefficient de frottement du sabot sur la roue est beaucoup plus petit que le coefficient d'adhérence de la roue sur le rail, surtout aux grandes vitesses. La pression du sabot doit donc être notablement supérieure au poids transmis par la roue au rail, si on veut que le frein ait la plus grande puissance possible.

Si la roue est munie de deux sabots, c'est la somme de leurs pressions qu'il faut comparer au poids. En général, il faut comparer la somme des pressions de tous les sabots d'une voiture au poids total de la voiture, y compris ses roues. Les expériences qui ont été faites à Brighton, par M. le capitaine Douglas Galton et M. Westinghouse, ont servi à déterminer la valeur la plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

convenable de cette pression. Je laisse à ces Messieurs le soin de développer les conclusions de ces expériences.

Longueurs d'arrêt théoriques. — On peut calculer facilement la distance qui est parcourue par un train avant son arrêt. Nous supposons que le frein soit appliqué instantanément et que l'adhérence ait la valeur moyenne de 21 p. o/o. On trouve les chiffres suivants :

Pour une vitesse de	100 kilomètres à l'heure.....	220 mètres.
	8	1/40
	6	79
	3	35

Distance du sabot à la roue, après desserrage. — Quand le frein est desserré, il faut que le sabot soit à une distance de la roue suffisante pour rendre tout contact impossible. Cette distance doit être de 1 centimètre au moins, pour tenir compte du jeu des boîtes à graisse et des différentes pièces du frein.

Nature des sabots. — Les sabots en bois ont l'inconvénient de s'user vite; les sabots en fer forgé déchirent la surface du bandage; les sabots en fonte douce paraissent préférables à tous les autres.

Mode d'attache du frein. — Si on met deux sabots à chaque roue, leurs pressions s'équilibrent; mais si on n'en met qu'un, il exerce un grand effort sur les plaques de gardes. Il est préférable, dans ce cas, de rendre le frein indépendant du châssis. Les pressions s'équilibrent sur une barre de fer disposée pour relier les boîtes à graisse entre elles.

Leviers. — Quand on s'est donné la somme des pressions de tous les sabots d'une voiture sur les roues, et la distance de chaque sabot au desserrage, c'est le produit de ces deux éléments qui fixe l'importance de l'appareil moteur nécessaire pour chaque voiture. Les leviers de transmission n'y changent rien; on les dispose le plus commodément possible dans chaque cas.

2° NATURE DE L'APPAREIL MOTEUR.

Nous avons décrit les diverses parties du mécanisme des freins. Ces remarques concernent indifféremment toutes les espèces de freins.

Nous allons nous occuper à présent des divers appareils qui ont été imaginés pour remplacer l'action motrice des agents du train sur la tige de serrage du frein; ces appareils constituent ce qu'il y a de véritablement nouveau dans les freins continus.

Ces appareils peuvent se diviser en deux classes.

Dans la première classe, nous mettrons ceux qui empruntent à la locomotive le travail moteur nécessaire pour serrer les freins du train tout entier.

Dans la deuxième classe, se trouvent les systèmes où chaque voiture contient en elle-même, à chaque instant, le travail moteur nécessaire au serrage de son propre frein.

Appareils de la première classe. — *Frein Guérin.* — Dans ce système, on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

établit une communication entre les tampons de choc et les sabots du frein de chaque voiture; ce résultat est obtenu avec un système de leviers assez simple. Lorsque le chauffeur serre un frein sur la machine, l'inertie du train produit une compression des tampons qui applique tous les sabots sur les roues.

Freins à transmission flexible. — On a imaginé des systèmes de transmissions flexibles allant tout le long d'un train. Un homme peut alors serrer un grand nombre de freins à la fois. Le temps de la manœuvre est nécessairement très long.

Freins à vide. — MM. du Tremblay et Martin, ingénieurs français, ont imaginé, il y a dix-huit ans, un frein continu où ils se servaient du vide comme moyen de transmission du travail moteur de la machine à tout le train.

Le vide se faisait au moyen d'un éjecteur placé sur la machine. Le frein était serré sous chaque voiture par l'aspiration de l'air dans un appareil capable de diminuer de volume et d'entraîner la tige de serrage du frein par sa contraction.

Ce système a été essayé, mais il n'a pas réussi, paraît-il, à cause de ses imperfections de détail.

M. Smith a, de son côté, imaginé le frein à vide. Il employa, sous chaque voiture, un cylindre à vide tout différent de l'appareil de M. du Tremblay. Cet appareil consiste en un soufflet en caoutchouc ressemblant beaucoup à une lanterne vénitienne de grande dimension. Le vide s'obtient au moyen d'un éjecteur placé sur la machine.

Ce système a parfaitement réussi; il est en usage sur un grand nombre de lignes de chemins de fer. Mais ce soufflet est d'un entretien coûteux. M. Hardy, ingénieur autrichien, l'a remplacé par un appareil plus pratique; il se compose d'une sorte de cuvette en fonte munie d'un fond mobile en cuir qui est relié à la barre de serrage du frein.

Frein à air comprimé. — M. du Tremblay avait proposé de remplacer le vide par l'air comprimé, comme l'a fait plus tard M. Westinghouse, ingénieur américain. Son système est des plus simples. Chaque voiture est munie d'un petit cylindre métallique dans lequel se meut un piston pouvant communiquer son mouvement aux sabots. La machine porte un réservoir que le mécanicien a le droit de remplir d'air comprimé au moyen d'une petite pompe. Quand le mécanicien veut serrer le frein, il ouvre un robinet qui permet à l'air du réservoir d'aller exercer une pression dans les cylindres à air comprimé de toutes les voitures. La communication est établie au moyen d'un tuyau qui circule tout le long du train.

Nous donnerons plus loin la description du frein automatique de M. Westinghouse; il diffère complètement de celui-ci.

Freins hydrauliques. — Les freins hydrauliques ressemblent beaucoup aux freins à air comprimé; seulement l'air est remplacé par l'eau et le réservoir par un petit accumulateur.

Nous avons cité la plupart des systèmes qui empruntent le travail moteur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la locomotive. Ces freins ont l'avantage d'être simples ; on peut les disposer facilement de façon à permettre au mécanicien de graduer l'énergie du frein.

Mais ils ne sont pas automatiques. Nous avons vu au commencement que cette condition était utile, mais non indispensable.

Appareils de la deuxième classe. — *Freins à chaînes de MM. Eberlein, Clark, Webb et Becker.* — Ces ingénieurs ont imaginé divers systèmes de freins dans lesquels les leviers de serrage sont mis en relation par une chaîne qui circule tout le long du train. On peut serrer tous les freins en exerçant une traction sur la chaîne ; cette traction est obtenue en enroulant une des extrémités de la chaîne autour d'un tambour. On communique un mouvement de rotation à ce tambour en l'approchant d'un cylindre calé sur un essieu quelconque du train.

Pour les trains d'une grande longueur, cet appareil présente quelques inconvénients. On est forcé de réunir les voitures par groupes de trois ou quatre, munis chacun d'un appareil comme celui que nous venons de décrire.

Le mécanicien ainsi que tout autre agent du train peuvent opérer le serrage du frein à chaîne, en exerçant une traction sur une ficelle qui produit le déclenchement de tous les freins dans tous les wagons.

En réalité, dans les freins à chaînes, le travail moteur n'est pas emprunté à chaque voiture, mais bien à chaque groupe de voitures.

Frein Westinghouse automatique. — Dans ce système, chaque voiture contient un cylindre métallique avec un piston relié aux sabots au moyen de leviers. A côté de ce cylindre se trouve un réservoir d'une capacité beaucoup plus grande.

Tous les réservoirs du train sont remplis d'air comprimé au moyen d'une pompe située sur la machine. Un dispositif spécial permet à l'air du réservoir d'affluer dans le cylindre aussitôt qu'on laisse échapper un peu d'air des conduites ; le frein se serre donc aussitôt qu'il s'est produit une rupture d'attelages, ou bien si on ouvre un des robinets d'échappement placés dans ce but sous la main de chacun des agents du train. Pour desserrer le frein, le mécanicien renvoie de l'air comprimé dans le tuyau, et cela en le mettant en communication avec un réservoir plein d'air comprimé et placé sur la machine pour cet usage spécial.

Frein Sanders. — Dans le frein de M. Sanders, la tige de serrage des sabots est reliée à deux cylindres dont l'un est beaucoup plus grand que l'autre ; le plus petit tend à serrer le frein et le plus grand tend à le desserrer. Quand on fait le vide dans les deux cylindres, le frein est desserré, car l'action du grand cylindre l'emporte sur le plus petit. Quand on laisse rentrer l'air dans le tuyau de communication, il entre dans le grand cylindre ; mais une soupape de retenue l'empêche de rentrer dans le petit ; le frein se serre donc immédiatement. La pression atmosphérique s'exerce seulement sur le petit cylindre. La rentrée d'air est obtenue au moyen d'un robinet ou à la suite d'une rupture d'attelages. On fait le vide dans tous les cylindres au moyen d'une petite pompe placée sur la machine.

On est obligé de faire marcher la pompe de temps en temps pour parer aux fuites qui se produisent toujours dans les attelages.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Frein à poids Sanders. — M. Sanders a imaginé aussi un système où le frein est naturellement serré dans chaque voiture par un poids. Un cylindre à vide permet de soulever le poids.

On peut donc maintenir le frein desserré en maintenant le vide dans tous les cylindres du train. MM. Wenger et Quesnot, ingénieurs au chemin de fer de Lyon, ont proposé des perfectionnements à ce système.

Frein électrique. — M. Achard s'est servi de l'électricité comme moyen de transmission. Lorsque le circuit est interrompu, chaque voiture emprunte à sa propre force vive le travail moteur nécessaire pour serrer son frein.

Nous avons énuméré la plupart des systèmes automatiques où chaque voiture contient en elle-même la force motrice nécessaire au serrage.

Cette classe de freins a deux grands avantages :

1° Ils sont généralement disposés pour se serrer d'eux-mêmes, en cas de rupture d'attelages;

2° Ils agissent plus rapidement que les freins qui empruntent la force motrice à la locomotive.

Par contre, ils sont plus compliqués que les premiers; on a quelque peine à les disposer de façon à permettre au mécanicien de graduer son énergie. La plupart des inventeurs ont triomphé de cette difficulté, mais c'est au prix d'une légère complication.

Ils ont en outre un petit inconvénient. Quand on dételle la machine, le frein se serre de lui-même dans toutes les voitures. Il faut faire une petite manœuvre à chaque voiture pour pouvoir la faire mouvoir. Cette manœuvre est généralement très simple.

EFFET DES FREINS CONTINUS SUR LES VOYAGEURS.

Il est à remarquer que les freins les plus énergiques ne peuvent pas être désagréables pour les voyageurs, si le mécanicien s'en sert avec tact. En effet, l'accélération d'un tel système est toujours inférieure au quart de l'accélération de la pesanteur; le corps humain supporte cette dernière sans la moindre douleur.

Seulement il faut éviter les variations brusques de cette accélération. En d'autres termes, le mécanicien doit serrer le frein graduellement et le desserrer de même avant l'arrêt final.

Je ferai remarquer, Messieurs, que, dans un train en marche, le fil à plomb est incliné à un angle d'un quart de degré. Un homme qui se tiendrait debout dans un wagon serait également incliné; or, il serait impossible de passer instantanément de cette position inclinée à un quart de degré à la position verticale sans éprouver un choc quelconque.

Par conséquent, il faut que le serrage des freins soit graduel, pour épargner aux voyageurs des chocs subits.

Pour les voyageurs assis, il se produit quelque chose d'analogue : quand le train s'arrête brusquement par suite de la suppression des causes accé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

léatrices, les voyageurs assis éprouvent également une commotion assez forte. Il est donc indispensable, quand un train à frein continu s'arrête, que le mécanicien desserre graduellement les freins avant l'arrêt. S'il ne prend pas cette précaution, il se produit avant l'arrêt une secousse; mais c'est à tort qu'on avait attribué cette secousse à des réactions de tampons. Cela résulte d'expériences auxquelles j'ai assisté à Brighton, avec le capitaine Douglas; quand on serrait les freins en pleine accélération de vitesse, la secousse dont je parle avait lieu; et comme la voiture était toute seule, il ne pouvait y avoir intervention d'une réaction de ressorts ni de chocs de tampons d'aucune sorte.

Il est bien entendu qu'on ne prendrait pas toutes ces précautions dans le cas où le mécanicien se trouverait en face d'un danger absolu.

Je termine en demandant votre indulgence, Messieurs, pour les descriptions sommaires que je viens de faire. Je serai très heureux si quelques-uns d'entre vous veulent bien donner au Congrès des renseignements plus complets. Vous pourrez d'ailleurs, Messieurs, examiner les appareils dans les galeries de l'Exposition.

Il ne m'appartient pas de discuter les mérites des différents systèmes.

C'est de vos délibérations, Messieurs, que le jugement va résulter. (Applaudissements.)

DISCUSSION.

M. le Président. Je remercie, au nom du Congrès, M. Marié de son intéressante communication.

La parole est à M. J.-Georges Hardy.

M. J.-Georges Hardy. Je viens, Messieurs, vous entretenir du frein à vide du système Hardy. Cet appareil se compose d'un double éjecteur qui est placé sur la locomotive, et qui est mis en communication avec deux tuyaux, dont l'un est spécial à la locomotive et au tender, tandis que l'autre se rend directement sur toute la longueur du train. Par cet arrangement, nous obtenons ce résultat, que si, par suite d'un accident ou d'une fausse manœuvre, nous ne fermons pas le tuyau du train, nous avons toujours notre force au complet sur la locomotive et sur le tender.

Le cylindre à vide dont nous usons se compose de deux cylindres en fonte de la forme d'une casquette; ils sont séparés par un diaphragme en cuir, sur lequel se trouvent deux plaques de fer formant pistons, auxquelles sont attachées des tiges qui établissent la liaison avec les leviers des freins.

Le mérite du frein à vide dont nous parlons, c'est la simplicité complète de l'appareil. Nous n'avons rien, sur la machine, qu'un injecteur, des clapets à vapeur pour faire travailler l'injecteur et un clapet à air pour pouvoir faire le vide dans les tubes; sous chaque voiture se trouve un cylindre à vide; il y en a deux sous la locomotive, et deux également sous le tender. Telle est, Messieurs, la disposition de notre frein à vide, qui est adopté aujourd'hui dans un grand nombre de pays, en Angleterre, en France, en Autriche, en Allemagne et en Espagne.

Maintenant, à côté de la question du frein en lui-même, on a paru attacher

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une grande valeur à la question d'automaticité. C'était dès lors pour nous un besoin et un devoir de chercher et de trouver un frein automatique, quoique, pour parler franchement, nous ne soyons pas partisan d'un tel frein, parce que, selon moi, cette condition du frein donne lieu à des complications qui ne sont pas nécessaires : c'est, bien entendu, mon opinion que je donne ; chaque inventeur trouve que ce qu'il invente est ce qu'il y a de meilleur ; je crois qu'il n'y a pas lieu de discuter ici la question de savoir si un frein automatique est meilleur qu'un frein non automatique ; je laisse ce soin à MM. les ingénieurs de chemins de fer.

Notre frein automatique se compose d'un réservoir dans lequel nous créons le vide : notre éjecteur peut faire le vide jusqu'à 55 centièmes. En créant dans le réservoir, qui se trouve sous chaque voiture à frein, un vide de 50 centièmes, qui reste pendant tout le temps, nous avons une force réservée de 50 centièmes sous chaque voiture ; sous ce réservoir est attachée une vanne automatique, qui, aussitôt que la petite quantité de vide que nous avons dans nos tuyaux descend à zéro, s'ouvre et établit la communication avec le réservoir et le cylindre à vide, dès qu'elle s'ouvre ; le réservoir, qui contient 55 centièmes de vide, fait le vide dans le cylindre jusqu'à 30 à 35 centièmes, selon les dimensions du réservoir. Dans le cas où le train est divisé par une rupture, le frein s'applique automatiquement.

Voilà, Messieurs, tout ce que j'avais à dire sur ce sujet : comme ce frein à vide est un appareil des plus simples, je pense que vous trouverez suffisantes ces courtes explications.

M. le Président. La parole est à M. Kapteyn, ingénieur de la *Westinghouse Continental Brake Company*.

M. Kapteyn. Messieurs, la question des freins continus étant à l'ordre du jour, il est utile de déterminer et de bien définir ce qui doit être discuté au Congrès.

En effet, la question des freins peut s'envisager sous divers points de vue, savoir : *la sécurité*, *l'efficacité*, *l'économie de temps*, *les frais d'installation*, *les frais d'entretien*, *la simplicité*.

Les freins continus étant introduits dans l'exploitation des chemins de fer pour obtenir des moyens puissants d'anéantir la vitesse d'un train sur une petite longueur, afin d'éviter des collisions désastreuses pour les voyageurs et le matériel, *l'efficacité* et *la sécurité* de l'appareil sont de la plus haute importance et doivent être mises en tête des considérations générales à examiner.

Souvent aussi les freins continus sont appliqués dans le but d'économiser du temps à chaque arrêt, mais cette considération n'est pas d'une grande importance. La différence de temps dans les arrêts n'atteint cependant guère que quelques secondes dans les différents points et n'a qu'un rôle secondaire dans la comparaison des divers systèmes. Le coût de premier établissement est quelquefois considéré par les ingénieurs de chemins de fer, mais, souvent, des facteurs importants, comme les dégâts causés par une collision, les vies humaines perdues, etc., sont laissés de côté, quoique l'importance de ces termes ne peut être niée, en considérant le problème du point de vue économique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La question de *simplicité* doit être rejetée tout à fait au dernier plan, attendu que les voyageurs s'inquiètent fort peu de ce que l'appareil qui doit les sauver est compliqué ou simple; la seule chose qu'ils demandent, c'est qu'il les protège efficacement.

Je commencerai donc par considérer la question de sécurité et d'efficacité comme étant la plus importante. Dans la question des freins continus, il s'est manifesté dans les derniers temps deux directions différentes, c'est-à-dire les partisans des freins *automatiques* et les partisans des freins *non automatiques*. Je ne puis mieux vous donner une idée exacte du problème qu'en vous décrivant les deux systèmes inventés par M. Westinghouse.

Le premier est le frein direct *non automatique* à air comprimé, le second est le frein *automatique* à air comprimé, et l'étude de ces systèmes indique clairement les difficultés à vaincre et les exigences d'un appareil parfait.

Je commence par la description du frein direct à air comprimé ; il se compose d'un moteur (un petit cheval-vapeur) monté sur la locomotive, lequel comprime de l'air dans un réservoir, également placé sur la locomotive. Ce réservoir principal est relié à un tube appelé conduite générale, qui s'étend sur toute la longueur du train; ce tube est relié, d'une voiture à l'autre, par un boyau en caoutchouc et un système d'accouplement d'une grande simplicité. Sous chaque véhicule cette conduite générale est en communication avec un cylindre à freins, dont le piston est relié aux leviers qui actionnent les sabots. Au moment où le mécanicien ouvre le robinet qui intercepte la communication entre le réservoir principal et la conduite générale, l'air emmagasiné dans celui-ci se précipite dans la conduite générale et de là dans les cylindres, sous chaque voiture, pousse les pistons, ce qui détermine le serrage des sabots contre les bandages des roues sur toute la longueur du train. Cette combinaison donnait un moyen d'arrêt très énergique. Voici cependant les défauts inhérents à ce système et à tout autre dont la force motrice prend sa source en un point unique du train.

A. Les freins ne peuvent être manœuvrés que par le mécanicien qui, seul, commande le robinet de communication placé sous sa main. Il est cependant clair qu'il peut se présenter des cas dans lesquels il serait désirable qu'un garde-frein puisse également arrêter la marche du train, soit qu'il ait vu un signal non observé par le mécanicien ou qu'il s'aperçoive d'un danger que le mécanicien ignore.

B. Ce frein est impuissant toutes les fois que la communication est interrompue dans la conduite générale, soit par une rupture d'attelages, soit par un découplement des tuyaux en caoutchouc, soit par une fuite importante, un joint qui se défait, etc. Non seulement le frein est impuissant, mais il le devient sans que le mécanicien en ait connaissance, de sorte que ce défaut constitue une véritable source de dangers, vu que le mécanicien a confiance en un appareil de sécurité qui ne peut plus agir.

C. Ce frein, du reste, comme tous ceux qui ont un centre unique de force motrice, est d'une action relativement lente à cause du grand chemin que la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

force (l'air, dans ce cas) doit parcourir, avant d'avoir rempli le cylindre de la dernière voiture pour serrer les freins. Cette perte de temps, qui est déjà notable avec de l'air comprimé à 5 ou 6 atmosphères, est évidemment encore bien plus considérable dans tous les appareils marchant par le vide, à cause de la basse pression et de la lenteur relative de la transmission.

Ces trois défauts capitaux ont amené M. Westinghouse à une nouvelle combinaison et l'ont conduit à une solution que plusieurs ingénieurs considèrent à juste titre comme aussi heureuse qu'ingénieuse. Je veux parler du frein *automatique* à air comprimé.

Tout d'abord, pour supprimer le dernier des inconvénients, c'est-à-dire la perte de temps, chaque voiture est munie d'un réservoir auxiliaire relié à la conduite principale. D'un autre côté, la communication de celle-ci avec le cylindre est supprimée. De cette façon, l'air du réservoir principal, étant dans la conduite générale, remplit également les réservoirs auxiliaires, de sorte que la force motrice est emmagasinée à proximité immédiate du cylindre à frein. Le seul problème qui restait à résoudre, était d'établir un organe qui permît au mécanicien de faire entrer, de sa place, l'air des réservoirs auxiliaires dans les cylindres respectifs de chaque voiture.

Ceci est obtenu par *la triple valve*, placée entre la conduite générale et chaque réservoir auxiliaire, et reliée d'un autre côté au cylindre du frein.

Dans les conditions normales de la marche du train, l'air du réservoir principal est admis dans la conduite principale, traverse la triple valve qu'il soulève et remplit le réservoir auxiliaire de chaque véhicule ; de cette façon, la même pression d'air existe dans tous les appareils, et la triple valve est en équilibre entre la pression du réservoir auxiliaire et celle de la conduite principale. Maintenant, la triple valve est d'une construction telle que, dès que le mécanicien fait baisser la pression dans la conduite générale, en laissant échapper de l'air au moyen d'un robinet à trois voies placé à portée de sa main, les triples valves descendent par la pression d'air des réservoirs auxiliaires, changent de position et entraînent un petit tiroir qui ouvre une communication entre les réservoirs et leurs cylindres respectifs, tout en interceptant la communication entre les réservoirs auxiliaires et la conduite générale. L'air des petits réservoirs passe donc dans les cylindres, et les freins se serrent.

En se rendant bien compte de cette disposition, on reconnaît tous les avantages que ce système réalise. Je viens d'énumérer les trois principaux inconvénients que présentent tous les systèmes dans lesquels la force motrice du frein se trouve en un point unique du train.

Répétons maintenant l'énumération de ces mêmes inconvénients pour voir quels sont les remèdes apportés par l'introduction de l'élément automatique :

A. Le frein direct a cet inconvénient, que, seul, le mécanicien peut serrer les freins.

Dans le frein automatique, les freins peuvent être serrés par toute personne sous la main de laquelle se trouve un robinet qui permet à l'air de la conduite principale de s'échapper.

B. Dans les freins directs, du moment que la conduite générale est inter-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rompue par une cause quelconque, rupture d'attelages, découplement des boyaux, fuites graves ou joints défaits, etc., le frein est impuissant, notamment sur la partie postérieure du train.

Dans le frein automatique, toute interruption de la conduite principale, quelle qu'elle soit, a pour conséquence immédiate l'échappement de l'air qu'elle contient et par suite le serrage des freins avec le maximum de force sur tous les véhicules, et, par conséquent, l'arrêt prompt du train. Ce fait constitue la qualité précieuse de l'automaticité.

C. Dans les freins directs, la perte du temps est considérable, à cause du long chemin que la force motrice est obligée de parcourir.

Dans le frein automatique de M. Westinghouse, ce chemin est réduit au minimum, le réservoir auxiliaire se trouvant à côté du cylindre; les freins se serrent donc pour ainsi dire instantanément. Voilà donc sommairement en quoi consiste le frein automatique à air comprimé.

Pour faire ressortir maintenant les grands avantages que présente un frein *réellement* automatique, je crois utile d'appeler l'attention de l'assemblée sur les différents cas qui peuvent se présenter et qui se présentent en pratique.

Je parle intentionnellement de freins *réellement* automatiques, parce que beaucoup de personnes, qui n'ont pas tout à fait approfondi la question ou qui ne se sont pas rendu un compte exact des exigences de la pratique, croient que l'automaticité n'est utile qu'en cas de rupture d'attelages. Or, ceci n'est qu'un des cas qui peuvent se présenter, et encore c'est un des cas qui se présentent le moins.

M. Marié vient de lire un rapport très intéressant dans lequel il dit que, sur les lignes de la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée, les ruptures d'attelages sont fort rares dans les trains de voyageurs, et il tend à faire ressortir que le principe de l'automaticité n'est pas d'une aussi haute valeur qu'il le serait dans le cas contraire.

Mais, je le répète, la rupture d'attelages n'est qu'un des cas dans lesquels l'automaticité démontre sa haute valeur, et je passerai rapidement en revue les divers cas qui se présentent. D'abord, sans même qu'une rupture d'attelages se produise, les boyaux en caoutchouc qui relient les voitures peuvent se défaire ou être mal accouplés. Dans un frein non automatique comme celui *par le vide*, par exemple, le mécanicien n'a aucun avertissement de cet état de choses et du danger qu'il court en comptant sur une force qu'il ne possède plus.

Il se peut encore qu'un crochet de traction cède et que les voitures suivantes soient entraînées par les chaînes de sûreté. Dans ces conditions, les boyaux en caoutchouc se séparent, et, avec un frein automatique, le mécanicien est averti, par l'arrêt du train, que quelque chose mérite son attention, tandis que dans un frein non automatique, comme le frein *par le vide* et autres à action directe, rien n'avertit que le frein est impuissant, et, dès lors, le danger est *plus grand* que si l'on ne possède aucun frein.

Un autre cas que l'on peut signaler, et qui ne manque pas d'importance, c'est une fuite grave ou un joint de la conduite générale qui s'est défait.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Je parle, pour le moment, seulement des freins à fluide, vu que les autres freins, tels que les freins à chaînes et les freins électriques, méritent le nom de freins barbares, attendu l'impossibilité de modérer leur force. Quelques-uns prétendent que le frein automatique à air comprimé ne peut être gradué; mais ceci émane de ceux qui ne connaissent pas l'action de ce frein. Du moment donc qu'un joint se défait ou qu'un tuyau est fendu, ou bien, comme dans le frein à vide, un cylindre en caoutchouc ou un diaphragme en cuir se déchire (ce qui peut se produire par la mise en marche elle-même de l'appareil), le frein a perdu la plus grande partie de sa puissance, et cela, sans que le mécanicien en ait connaissance, tandis que, dans les freins réellement automatiques, tous ces défauts se reconnaissent par l'arrêt du train. Encore doit-on insister sur la faculté, pour le garde, de pouvoir arrêter le train, en cas de danger; ce qui est possible dans les freins automatiques, à cause de la présence continuelle de la force motrice dans toute la longueur du train, sur chaque véhicule.

Un autre cas qui se présente dans les collisions, c'est que, souvent, ni le mécanicien ni le chauffeur n'ont le temps ou l'occasion d'appliquer les freins, soit parce que la collision les a étourdis ou effrayés, soit que l'accident les ait blessés ou jetés à bas de la machine, soit encore parce qu'ils cherchent seulement à sauver leur vie, sans s'occuper de celle des voyageurs. Dans les systèmes automatiques, les freins se mettent en jeu par la collision elle-même, et ils entrent en action sans que personne s'en occupe, tandis qu'un frein non automatique attend jusqu'à ce que la main humaine le mette en action. Et encore, une fois mis en action, la collision elle-même ou une voiture qui déraille rend le frein immédiatement impuissant par la rupture d'un tuyau ou d'un accouplement, de sorte qu'alors on se trouve complètement dépourvu de tout moyen d'arrêt.

Souvent, il s'est produit des cas excessivement graves par le fait du déraillement d'une voiture, sans que le mécanicien s'en fût aperçu; ce qui, finalement, faisait dérailler le train tout entier. Un dernier argument en faveur du principe de l'automaticité, c'est sa grande valeur pour la surveillance des appareils; et l'on peut dire, en général, qu'un frein réellement automatique, comme celui à air comprimé, est en bon état, tant que le train marche et que la pression est indiquée au manomètre.

Je crois que ces divers cas suffisent pour démontrer toute l'importance de l'automaticité dans les freins continus qui, sans cette qualité, ne sont pas des freins dans la signification propre du mot, parce qu'un frein non automatique, tant qu'il n'est pas employé, ne donne aucun indice de sa vitalité, qui peut parfaitement ne pas exister. C'est pour cela qu'un vrai frein continu doit être soumis à une action continuelle de la force motrice et doit donner, sans interruption, des preuves de son existence et de sa valeur.

Comme conclusion de ce que je viens de dire, je dois faire ressortir que les freins continus présentant une force d'arrêt considérable, la conséquence immédiate de leur adoption sera l'augmentation de la vitesse des trains et de la hardiesse des mécaniciens en s'approchant des points dangereux. Par conséquent, si l'on n'est pas, en tout temps, mathématiquement sûr de pouvoir

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

disposer de la force du frein *avec son maximum de puissance* et d'arrêter le train sur une longueur connue et relativement courte, comme c'est le cas avec les freins non automatiques, l'adoption de ces freins constituera une source continuelle de dangers qu'il vaut mieux ne pas créer.

Je finirai donc en disant que l'automaticité dans les freins continus est une qualité *précieuse*, *indispensable*, une condition *sine qua non* de leur emploi. (Applaudissements.)

M. LE PRÉSIDENT. La parole est à M. Deprez.

M. DEPREZ. Messieurs, M. Achard, se trouvant indisposé, m'a prié de le remplacer devant vous. Je vais vous donner lecture d'une note très sommaire qu'il a rédigée sur les avantages et les propriétés du frein électrique.

NOTE

SUR LES DERNIERS RÉSULTATS OBTENUS PAR LE FREIN À EMBRAYAGE ÉLECTRIQUE,

PAR M. ACHARD,

DIRECTEUR DE LA SOCIÉTÉ DE L'EMBRAYAGE ET DU FREIN ÉLECTRIQUES.

Le frein à embrayage électrique repose sur deux principes essentiels :

1° L'emploi du courant électrique comme moyen de transmission de la force, agissant par embrayage : on sait que c'est l'agent de commande le plus rapide;

2° L'utilisation de la force développée par la rotation des roues des wagons pour faire serrer les freins. C'est la force qu'on veut détruire qui se retourne contre elle-même.

En d'autres termes, avec l'embrayage électrique, on s'empare de la force acquise des roues pour la diriger sur les organes ordinaires de transmission des freins usuels et exercer, au moyen des sabots, sur les bandages, une pression assez énergique pour immobiliser presque instantanément *toutes les roues du train.*

Voici les dispositions qui permettent d'obtenir ce résultat :

Deux câbles métalliques isolés sont installés sous les châssis des voitures, l'un à droite, l'autre à gauche, tout le long du train.

Les raccords métalliques, d'une voiture à l'autre, en font deux conducteurs électriques continus, sans interruption.

On dispose ainsi d'un circuit électrique complet, aller et retour, pour lancer le courant d'un bout à l'autre.

Un câble de dérivation est branché métalliquement, sous chaque voiture, sur le câble principal de droite, un deuxième sur le câble principal de gauche.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces deux branchements, convenablement isolés, conduisent le courant dérivé à travers l'électro-aimant circulaire, organe principal de la transmission de la force des roues, sur les sabots qui agissent sur les bandages.

Le fourgon de tête et le fourgon d'arrière sont munis chacun d'une pile accumulatrice de M. Planté, composée de quatre éléments secondaires de 10 centimètres de diamètre seulement, chacune de ces piles étant constamment maintenue en charge par trois éléments à sulfate de cuivre de 15 centimètres de diamètre. Elle est assez puissante pour immobiliser instantanément toutes les roues des quatorze véhicules, y compris le tender et la locomotive.

Dans chaque fourgon, à l'avant au-dessus de la pile, est installé, dans des conditions pratiques en rapport avec le matériel des chemins de fer, un commutateur à buttoir. Une tringle horizontale, coulissant au plafond du véhicule, permet au chef de train, par un mouvement horizontal, de faire appuyer énergiquement le buttoir métallique sur les ressorts du commutateur. Cet employé met ainsi en communication le pôle positif de la pile avec le câble principal de droite, et le pôle négatif avec le câble principal de gauche. Il n'en faut pas davantage pour lancer le courant tout le long du train et faire serrer instantanément tous les freins à la fois.

Une deuxième tringle horizontale parallèle à la première, également munie d'un buttoir métallique, manœuvrée de la même manière, permet de lancer un courant inverse du premier et de desserrer instantanément tous les freins à la fois.

Ces deux tringles, l'une pour le serrage, l'autre pour le desserrage, traversent la paroi du fourgon et se terminent par un anneau. Le mécanicien, au moment où il vient atteler au train, attache une simple corde ordinaire à chaque anneau. Pour lui, c'est la corde à droite qu'il suffit de tirer pour serrer instantanément tous les freins à la fois, et la corde de gauche pour les desserrer, également tous à la fois. On le voit, par ces simples dispositions, tous les freins du train sont à la disposition : 1° du mécanicien; 2° du chef de train; 3° du serre-frein du fourgon d'arrière, qui a aussi sa pile et son commutateur toujours tout prêt à fonctionner.

Au retour du train, sans aucun changement, le fourgon d'arrière se trouve en tête, et c'est sa pile et son commutateur qui sont à la disposition du mécanicien et du chef de train pour manœuvrer tous les freins. (Le frein électrique se trouve donc bien, sous ce rapport, dans les conditions que M. Marié a indiquées tout à l'heure, en disant que les freins devaient satisfaire à la condition de pouvoir être serrés non seulement par le mécanicien, mais aussi par tous les agents du train.)

Un des grands avantages des freins à embrayage électrique, c'est de ne nécessiter aucune installation nouvelle sur le tender ni sur la locomotive.

Il n'était pas rare, au début de la mise en service, de voir, sur les lignes du Nord, atteler au train électrique une machine dont le mécanicien ignorait l'existence du frein électrique. Sur l'ordre du surveillant, il attachait les deux cordes aux deux tringles du commutateur du fourgon à bagages, à la suite du tender. On lui faisait observer qu'il lui suffirait de tirer la corde de droite

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour serrer tous les freins à la fois et immobiliser toutes les roues du train. Il partait sans être bien persuadé.

Pour s'en rendre compte, avant d'arriver à la première station, il tirait prudemment la corde de droite. Aussitôt il sentait son train s'arrêter court. Il desserrait et était obligé de se remettre en vapeur pour atteindre la station. Ainsi renseigné, il laissait arriver en vitesse jusque sur le quai de la station suivante; il tirait de nouveau la corde et s'arrêtait en face de l'horloge.

C'est là tout l'apprentissage des mécaniciens qui sont, à tour de rôle, chargés du service des trains électriques. Par une seule manœuvre, ils arrêtent avec précision à toutes les stations, sur un parcours variable de 50 à 200 mètres, suivant la vitesse et l'inclinaison de la voie.

Vous voyez, Messieurs, que ce frein fonctionne avec une parfaite sécurité, et qu'il n'exige pas un bien long apprentissage de la part du personnel.

CONDITIONS DE SÉCURITÉ.

1° Les freins ordinaires à main sont conservés; ils peuvent, au besoin, être manœuvrés, malgré l'installation de l'embrayage électrique.

2° En face d'une cause de danger, les trois agents ordinaires d'un train peuvent faire serrer tous les freins et arrêter le train. Le serre-frein du fourgon d'arrière, au lieu d'envoyer un signal au mécanicien par l'intermédiaire du chef de train, peut arrêter directement le train; le chef de train a la même facilité.

L'expérience, faite plusieurs fois en présence de MM. les ingénieurs du Nord, prouve qu'on peut serrer à grande vitesse tous les freins du train, sans produire de rupture d'attelages, même lorsque le régulateur reste ouvert.

En présence d'une cause d'accidents, il n'y a donc pas à hésiter à serrer tous les freins et à produire l'arrêt complet à la plus courte distance.

3° La rupture des attelages, quand elle a lieu entre le fourgon à bagages et le tender, produit nécessairement le serrage automatique de tous les freins; cela résulte de ce que la corde de serrage est attachée solidement sur le tender par une extrémité et à la tringle de serrage du fourgon par l'autre. Au moment de la rupture, le tender s'éloigne, et la corde, en se rompant, fait circuler le courant et serrer tous les freins; une simple corde s'étendant tout le long du train, attachée d'une part à la tringle de serrage du fourgon de tête, de l'autre à la tringle du fourgon d'arrière, suffit en cas de rupture des attelages, en un point quelconque, pour produire l'arrêt automatique des deux parties du train. La partie à l'avant sera arrêtée par la pile du fourgon de tête, la partie à l'arrière par la pile du fourgon de queue.

4° Le non-fonctionnement du frein de l'une ou de plusieurs des voitures n'empêche pas les autres de fonctionner. Cela résulte de ce que le courant électrique agit par autant de dérivations qu'il y a d'appareils à embrayage électrique.

5° La rupture du câble principal n'empêche pas le mécanicien de serrer tous les freins en avant du point de rupture, et le serre-frein du fourgon de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

queue de serrer tous les autres freins en arrière, sur le signal du mécanicien. Cela résulte encore du principe de la dérivation du courant et de ce que les deux piles permettent de manœuvrer tous les freins, aussi bien ceux de l'arrière que ceux de l'avant.

6° Les deux piles électriques, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière, fournissent deux courants concordants qui s'ajoutent. Si le mécanicien s'aperçoit que les freins ne serrent pas aussi énergiquement que d'habitude, il n'a qu'à faire le signal réglementaire; le serre-frein de queue lance aussitôt le courant de la pile à sa disposition et produit le serrage avec toute l'énergie désirable. Ainsi une des piles pourrait s'affaiblir, ou s'arrêter même, l'autre suffirait pour serrer tous les freins. Toutes les deux ont un excès de force; elles sont maintenues en charge par des éléments au sulfate de cuivre fournissant un courant constant et de longue durée. Ces piles n'ont besoin d'un nettoyage qu'après un mois et plus de service.

Des câbles isolés, gros comme le doigt, servent de conducteurs au courant. Les piles sont à la disposition de tous les employés des gares qui peuvent en user et en abuser; les pilotes s'en servent à toutes les manœuvres des gares. Le train électrique couche tous les jours, soit à Abancourt, soit à Crépy-en-Valois; les employés et les curieux peuvent faire fonctionner les piles. Il arrive même que le mécanicien oublie de desserrer les freins. La pile accumulatrice s'épuise ainsi pendant sept ou huit heures. Le lendemain, au départ, il se sert de la pile d'arrière, qui est toujours en état. Au bout de vingt minutes au plus, celle de tête, épuisée par un fonctionnement intempestif trop prolongé, se trouve rechargée et prête à fonctionner.

Quant au reproche de brutalité qui a été adressé au frein électrique, les faits mêmes énoncés par M. Marié prouvent que cette brutalité n'est pas aussi grande qu'on a bien voulu le dire. Quoi qu'on fasse, on ne peut avoir, à l'origine du serrage, qu'une force assez faible; c'est, du reste, l'argument qui a été invoqué par les partisans du non-calage des roues. Il n'y a pas à hésiter non plus à caler les roues. On sait alors ce qu'on fait, tandis que, quand les roues continuent à tourner, les agents du train ne savent réellement pas si le frein manque son effet, ou s'il agit avec énergie.

Le frein électrique se prête à toutes les exigences de l'exploitation. Installé sur tous les véhicules du train, y compris le tender et la machine, comme frein continu, il fournit le maximum d'effet, l'arrêt à la plus courte distance possible; comme on devait s'y attendre, aucun agent mécanique ne peut lutter de vitesse avec l'électricité.

Mais il n'est pas nécessaire, pour obtenir des arrêts relativement rapides, de munir tous les véhicules du train de freins électriques : avec un frein sur le tender, agissant en même temps sur la machine, et deux groupes de trois freins électriques, l'un en tête et l'autre à l'arrière, on peut ajouter au milieu tel nombre de voitures non munies de freins qu'on voudra [1]. Pourvu qu'elles

[1] En tout sept appareils à embrayage électrique seulement pour un train dont la composition peut atteindre vingt et vingt-quatre voitures. La dépense d'installation se trouve ainsi réduite de près des deux tiers.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soient simplement munies de deux câbles conducteurs, le mécanicien pourra serrer du même coup, presque instantanément, les freins du tender et de la machine ainsi que ceux des deux groupes. Les voitures du milieu, retenues par les freins du groupe d'arrière, ne produisent aucun choc, aucun refoulement contre le groupe de l'avant.

A la rigueur, on peut même installer entre les groupes de freins des voitures ordinaires sans fils de communication. Le mécanicien serrera directement les freins du tender et de la machine ou du groupe de tête. Sur son signal, le serre-frein de queue enrayera les freins du groupe d'arrière : c'est la manœuvre qui s'exécute actuellement de Paris à Abancourt et à Crépy-en-Valois.

Avec l'embrayage électrique, il est facile d'éviter le calage complet des roues, et de n'exercer sur les bandes qu'une pression insuffisante pour les immobiliser. Alors, ainsi qu'il a été constaté, la rapidité de l'arrêt est considérablement diminuée.

D'ailleurs, pour obtenir le maximum d'effet, il faudrait que la pression sur les bandages fût très voisine de celle qui immobiliserait les roues à la vitesse de marche. Mais cette vitesse ne tarde pas à diminuer, et la pression initiale est alors suffisante pour caler complètement.

Le but ne peut être atteint en n'exerçant qu'une faible pression sur les roues. On n'obtient ainsi qu'un ralentissement tout à fait insuffisant : comme le disent les mécaniciens, quand on ne cale pas, on ne sait jamais au juste l'effet qu'on produit.

La disposition éminemment simple et pratique des deux cordes reliant le tender au fourgon à bagages, pour le serrage et pour le desserrage, permet d'utiliser n'importe quelle machine, sans aucune installation préalable sur la locomotive ou sur le tender.

C'est ainsi que, depuis bientôt dix-huit mois, le train électrique est desservi tous les jours par des machines et des employés qui changent plusieurs fois par jour, sans qu'il y ait eu aucune interruption; depuis ces dix-huit mois d'expériences, il a fait le service :

De Paris à Creil,
De Paris à Abancourt,
De Paris à Dammartin,
De Paris à Crépy-en-Valois,
De Paris à Saint-Denis,

près de 300 kilomètres, sans compter les services extraordinaires de Paris à Compiègne, par exemple, dans les moments d'affluence de voyageurs.

Plusieurs fois, de graves accidents ont été évités, grâce à la rapidité de l'arrêt, notamment sur la ligne d'Abancourt à Ermont, où le train, lancé en vitesse, a pu être arrêté à 20 mètres d'un train de marchandises en détresse, que le mécanicien n'avait pu apercevoir qu'à 150 mètres environ, à cause de la courbe; ce fait a été constaté par trois rapports officiels.

M. Deprez. Un point sur lequel je tiens à insister, Messieurs, c'est la faci-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lité qu'offre ce système de freins, à la formation et à la déformation des trains. Avec les freins continus ordinaires, je ne crois pas qu'on ait des facilités, à beaucoup près, aussi grandes pour intercaler des voitures n'ayant pas de freins, ou ayant des freins de systèmes différents. Il suffit pour cela de placer rapidement deux fils électriques, l'un à droite, l'autre à gauche des voitures, pour que, de la tête à la queue du train, le système de freins continue à fonctionner comme si de rien n'était. Ces fils se placent, à l'aide de pinces appropriées à ce travail, en moins d'une minute. Vous voyez qu'avec ce système, les facilités d'accouplement sont très grandes.

Je vais maintenant, Messieurs, vous donner quelques chiffres résultant d'expériences faites sur une des lignes de la Compagnie du Nord :

Le train 119 était composé de 12 véhicules, dont 6 munis du frein, remorqués par la machine Crampton n° 10, dont les 4 roues porteuses sont soumises à l'action du frein, ainsi que celles du tender. Les 6 véhicules munis du frein étaient divisés en deux groupes de trois, l'un en tête, l'autre en queue, actionnés simultanément, ainsi que la machine, par une seule manœuvre.

Voici les résultats obtenus :

ARRÊTS.	VITESSE au MOMENT du serrage.	INCLINAISON DE LA VOIE.		CHEMIN PARCOURU jusqu'à l'arrêt complet.	TEMPS du parcours.	OBSERVATIONS.
		PENTES.	RAMPES.			
	kilom.	millim.	millim.	mètres.	secondes.	
Saint-Denis.....	65	//	//	227	21	Frein fait par le commutateur de la machine (1).
Pierrefitte.....	46	//	2,6	117	16	Frein fait par le commutateur du fourgon de tête.
Gonesse.....	42	//	//	101	15	Frein fait par le commutateur de la machine.
Louvres (gare)....	30	//	1,0	65	12	Frein fait par le commutateur de la machine (2).
Luzarches.....	65	1	//	241	19	Frein fait par le commutateur de la machine.
Orry-la-Ville.....	84	1	//	405	34	Frein fait par le commutateur de la machine.
Disque sur Chantilly	82	5	//	450	//	Frein déclenché par le disque à l'arrêt.
Chantilly (gare)...	//	//	//	//	//	Frein fait par le commutateur du fourgon de queue.

(1) Rails gras pour toute la durée de l'essai.
(2) Le disque à distance était à l'arrêt, a déclenché le commutateur de la machine et, par suite, appliqué les freins.

Le train 118 était composé de 13 véhicules, dont 11 munis du frein, remorqués par la machine Crampton n° 10 dans les mêmes conditions qu'au train 119.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARRÊTS.	VITESSE au MOMENT du serrage.	INCLINAISON DE LA VOIE. PENTES.	INCLINAISON DE LA VOIE. RAMPES.	CHEMIN PARCOURU jusqu'à l'arrêt complet.	TEMPS du parcours.	OBSERVATIONS.
	kilom.	millim.	millim.	mètres.	secondes.	
Chantilly.....	37	//	1	61	10	Rails secs pour toute la durée de l'essai. — A Chantilly, il n'y avait que 11 véhicules et 11 freins; dans les autres gares, 13 véhicules et 11 freins. Le frein a toujours été appliqué au moyen du commutateur de la machine.
Ozry-la-Ville (1)....	50	//	1	85	13	
Luzarches.....	40	//	1	68	9	
Louvres.....	67	1	//	200	20	
Goussainville.....	65	//	//	180	17	
Gonesse.....	73	//	//	215	21	
Pierrefitte.....	75	5 et 2,6	//	240	23	
Saint-Denis (1).....	68	//	//	162	17	

(1) Emploi du sable.

Étaient présents à l'essai :

MM. Meissonier, inspecteur général des mines; Vicaire, ingénieur des mines, ingénieur du contrôle; Martin, ingénieur de la voie (P.-L.-M.); Loustau, ingénieur, agent administratif (Nord); Lartigue, inspecteur du service télégraphique (Nord); Achard, ingénieur; Banderali, ingénieur, inspecteur du service central (Nord); Collet, ingénieur du service central du Nord-Espagne.

Je ne puis m'empêcher d'ajouter, à cette occasion, que l'embrayage de M. Achard ne s'applique pas seulement aux freins continus, mais qu'il trouve une foule d'autres applications, entre autres dans la marine. Ainsi on peut s'en servir, comme vient de le faire M. le capitaine Trèves, pour commander à distance, avec une très grande puissance, la marche des machines marines. Il suffit de poser le doigt sur un bouton pour faire mouvoir à volonté les pièces les plus importantes, par exemple la manœuvre d'un gouvernail. C'est là une des applications les plus intéressantes du système d'embrayage électrique dont M. Achard est l'inventeur.

REPRISE DE LA DISCUSSION.

M. LE PRÉSIDENT. La parole est à M. Tyler.

Sir Henry W. TYLER. Je vous prie, Messieurs, de vouloir bien m'excuser pour la façon dont je parle une langue étrangère à laquelle je ne suis pas habitué, mais je dois vous adresser quelques mots à propos de quelques observations que je viens d'entendre et qui ne me paraissent pas d'une complète justesse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il y a vingt-cinq ans que j'ai étudié, en théorie et en pratique, les questions de chemins de fer, et, parmi ces questions, celle des freins n'a cessé de me préoccuper. Depuis quinze ans, l'idée des freins continus a gagné beaucoup de force, et, en ma qualité d'inspecteur du Gouvernement anglais, MM. les inventeurs ont eu la bonté de m'apporter de temps en temps leurs systèmes. En discutant ces systèmes nombreux, j'ai toujours insisté, comme j'y insiste aujourd'hui, sur le principe dominant de l'automaticité, qui est absolument nécessaire. J'ai toujours été d'avis que, sans l'application de ce principe, nous courons plus de risques que nous n'en évitons en nous servant de freins continus. En voyant successivement les freins mécaniques de Newall et Fay, les freins à chaînes de Clarck, le frein de Heberlein et de tant d'autres, je n'ai cessé d'insister sur ce principe. Avant qu'on eût entendu les noms de Westinghouse et de Smith, et alors que ces Messieurs étaient encore des jeunes gens, je préconisais déjà ce principe; l'expérience de tous les accidents sur les chemins de fer d'Angleterre m'a bien confirmé dans cette idée. Chaque année, en analysant les causes de ces accidents et les moyens à prendre pour les éviter, analyses qui ont toujours été publiées, j'ai trouvé des preuves qui m'ont convaincu de plus en plus de la justesse de cette conclusion.

Voici pourquoi : les mécaniciens qui se servent des freins continus ont toujours l'habitude d'approcher à grande vitesse des endroits dangereux. Pour éviter les retards, ils sont obligés de faire de même pour les stations ordinaires, et naturellement ils en prennent l'habitude pour tous les cas. C'est un résultat naturel et un avantage qui suivent l'emploi de ces freins. Mais si, à cause d'un défaut de l'appareil, le frein n'agit pas au moment même, ne répond pas à l'action du mécanicien, il peut arriver des accidents sérieux et quelquefois terribles.

Au contraire, avec le principe de l'automaticité, bien appliqué, le mécanicien ne peut pas partir d'une station quand l'appareil du frein n'est pas complet et en bon état, et, s'il se produit un défaut pendant la route, le frein s'applique immédiatement et donne lui-même l'avertissement au mécanicien et aux autres employés.

Dans les cas de déraillement surtout, il est de la plus grande importance que, aussitôt que la machine ou les voitures ont quitté les rails, le frein s'applique de lui-même, alors même que le mécanicien ou le conducteur seraient hors de combat. Nous avons, en Angleterre, des exemples de cas où, d'une part, des voyageurs ont été tués, comme à Wyon, sur le *London Western Railway*, par suite de la non-application de ce principe; et des cas où, d'autre part, ce principe de l'automaticité des freins, bien appliqué, a contribué, sur le *Midland Railway*, à préserver la vie des voyageurs.

Je vous demanderai, Messieurs, la permission de vous répéter, sous forme de conclusion, une énumération sommaire des avantages du frein que je crois le meilleur, pour l'application aux trains, dans tous les cas :

1° L'air comprimé donne l'élément, le médium le plus convenable pour les freins continus. Avec des appareils de la même grandeur, il donne sept fois plus de force que le vide. Il est plus élastique que ceux qui emploient l'eau

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et les chaînes de fer. Il est plus facilement gradué et appliqué que tout autre moyen.

2° Avec l'air comprimé, on obtient une action instantanée et l'application du principe d'automaticité, également nécessaire.

3° Le système Westinghouse comporte un matériel qui dure longtemps, qui n'est pas sujet aux défauts et qui ne demande que peu d'attention et de réparations pendant des années.

4° Avec ce système, le mécanicien peut facilement appliquer et graduer les sabots sur les roues de toutes les voitures d'un long train, le conducteur peut agir à chaque fourgon; le frein s'applique en cas de rupture des attelages, avant même que le mécanicien et le conducteur aient connaissance de l'accident qui a causé cette rupture.

Un mot sur la question de simplicité.

La simplicité, en mécanique pratique, se divise en deux parties: la simplicité de construction et la simplicité d'action. Afin d'arriver à la plus grande simplicité d'action, il faut ajouter à toute machine certains organes nécessaires pour obtenir cet objet de si grande importance, et toute machine a besoin de plus ou moins de complications sans lesquelles elle ne peut pas travailler avec la plus grande simplicité désirable. Si l'on applique cette idée aux freins, il est clair que le frein qui est vraiment le plus compliqué est celui dont la manœuvre, par le mécanicien ou par tout autre employé d'une compagnie de chemins de fer, présente des difficultés; tandis que le frein le plus simple est celui que les employés peuvent le plus facilement mettre en action, et surtout celui qui se met en action lui-même, quand son application est rendue nécessaire par un accident qui arrive au train, ou par un défaut de l'appareil du frein lui-même.

M. le Président a bien voulu m'avertir que je ne serais pas dans la règle en proposant, soit un vœu, soit une résolution aux honorables membres de cette assemblée. Je me bornerai dès lors à exprimer l'idée personnelle par laquelle je désire terminer ces courtes observations.

Nous avons vu que la question de sécurité des voyageurs nécessite l'adoption, par les compagnies de chemins de fer, de freins aussi énergiques que possible.

Les conditions et les résultats sont divers; en Angleterre nous sommes régis par les dispositions édictées par le *Board of Trade* (Ministère du commerce) et par la loi votée le 10 juin 1878 par le Parlement d'Angleterre.

N'est-il pas désirable que les pouvoirs publics nomment une commission chargée d'étudier les meilleures solutions du problème, pour arriver à formuler le programme des conditions que doit remplir un bon frein, et qu'il soit entrepris, avec des enquêtes minutieuses, des essais comparatifs pour déterminer le système de frein qui répond le mieux à ces conditions?

M. Banderali. Messieurs, vous venez d'entendre exposer tous les avantages de l'automaticité, en termes fort clairs, et on ne peut pas espérer vous donner une indication plus précise des avantages qu'elle présente. Vous avez vu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quel sens il fallait appliquer au mot automaticité; la question a été traitée ici d'une manière complète; mais j'aurai l'honneur de revenir dans un instant sur ce sujet : je veux dire quelques mots de l'emploi pratique des freins continus.

Les ingénieurs des chemins de fer français et étrangers ont eu à étudier la question dont vient de parler sir Henry Tyler avec beaucoup de compétence : cette question a été étudiée, non seulement en Angleterre, mais en France, depuis plusieurs années, et des expériences nombreuses faites dans les deux pays ont amené dans la pensée de ceux qui les ont suivies, des convictions et des espérances diverses.

Au point de vue pratique, les ingénieurs des chemins de fer ont fait un choix qu'on peut critiquer plus ou moins; mais chacun, suivant le service et le trafic de la ligne qu'il avait à conduire, a dû se décider pour un système ou pour l'autre. Il y a un point sur lequel il est important de s'entendre et qui est très facile à élucider : je veux parler du calage des roues soumises à l'action des freins. En ce moment même, M. le capitaine Douglas Galton fait des expériences très importantes sur la question de savoir s'il faut caler les roues ou non, pour obtenir l'arrêt le plus rapide.

A la Compagnie du Nord, j'ai eu moi-même l'occasion de faire des essais dans ce but, et le calcul, ainsi que l'expérience, se trouvent d'accord. Il faut éviter le calage des roues. Un élément fort important à considérer, c'est l'entretien du matériel. Il est incontestable que lorsqu'on a établi un service de trains, dans lequel les arrêts sont extraordinairement fréquents, dans le genre de ceux qui circulent sur la ligne d'Auteuil ou sur le *Metropolitan* à Londres, il faut éviter à tout prix le calage des roues, dont les effets sont désagréables pour les voyageurs et destructifs pour le matériel. Il est donc important d'établir, *a priori*, qu'un système de freins continus, employé fréquemment, doit être tel qu'il ne cale pas les roues; l'arrêt sera plus rapide, plus agréable pour le voyageur, moins destructif pour les bandages et le matériel. Du reste on s'applique, depuis quelque temps, à résoudre ce problème dans ce sens. C'est même en tenant compte de ces nécessités que le frein mécanique Becker a été étudié. L'ingénieur de la Compagnie *Nordbahn* (d'Autriche) a tâché d'éviter cet inconvénient du calage qui donne lieu aux critiques les plus fondées. Voilà un point sur lequel il était important d'insister.

Je reviens à la question d'automaticité. Il est incontestable que la perfection théorique serait le frein doué de l'automaticité, et la pratique sera toujours d'accord avec la théorie toutes les fois que cette qualité pourra s'acquérir sans de grandes complications. Quand nous parlons d'*automaticité*, il ne s'agit pas de l'application automatique du système dans le cas de rupture d'attelages, qui est rare, mais il s'agit d'avoir à sa disposition, sous chaque véhicule, l'organe moteur qui l'actionne, disposition qui facilite l'application aussi rapide que possible des sabots. Cette rapidité de transmission, cette simultanéité d'action peut s'obtenir, je crois, sans toutes les complications qui nous effraient et par des moyens plus simples; elle est l'objet de justes préoccupations. La possibilité d'appliquer le frein, en quelque partie du train que ce soit, est aussi une condition importante; en cas d'accident, le conducteur de tête, et même

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

celui de queue, doivent avoir les moyens d'arrêt à leur disposition, comme le mécanicien.

Le frein Smith a été perfectionné dans ces derniers temps par M. Hardy, de façon à satisfaire aux diverses conditions auxquelles satisfait le frein Westinghouse. C'est au moins ce que vient de nous dire M. Hardy, et il sera intéressant de voir l'application du système qu'il a étudié. Une autre preuve de l'importance qui doit être attachée à munir un frein continu des mérites dont je viens de parler, a été donnée par le chemin de fer du Nord. Tout en préférant le frein à vide, les ingénieurs de cette Compagnie ont tâché de lui donner, dans une certaine limite, les qualités les plus essentielles de l'automaticité, en évitant l'inconvénient assez grave dont je vous parle, et qui est inhérent aux systèmes automatiques tels qu'ils ont été présentés par MM. Westinghouse, Hardy, Becker ou Sanders.

En prenant le mot dans son sens étendu, on ne peut obtenir l'*automaticité* qu'en créant un *travail continu*. Je veux dire par là qu'il faut toujours maintenir le système armé et, pour ainsi dire, chargé; c'est par une *détente* qu'il s'appliquera; d'où la nécessité, sous chaque voiture, de réservoirs qu'il faut toujours tenir *pleins d'air comprimé*. Si vous choisissez le système Hardy, vous êtes obligés de créer et de maintenir un vide constant dans certains cylindres, de même dans le Sanders; d'où la nécessité d'un moteur spécial fonctionnant sans interruption; d'où le mécanisme de la pompe à air de M. Westinghouse. Si M. Hardy voulait appliquer son système automatique, il serait, comme M. Sanders, obligé d'établir un jet de vapeur ou une aspiration continue. Il y a là, au point de vue pratique, une petite difficulté, une complication assez grave : une pompe aspirante ou foulante a besoin d'entretien, surtout quand elle est toujours en action.

On vous a montré également que l'automaticité, ainsi obtenue, créait des difficultés dans le cas de manœuvres et de désaccouplement des voitures. Il y a donc là un point qui, malgré les avantages théoriques de l'automaticité, mérite d'attirer l'attention des ingénieurs. Beaucoup d'entre eux vont jusqu'à nier les avantages de l'automaticité. Au moins doit-on reconnaître qu'il y a un certain intérêt à donner aux conducteurs les moyens d'employer les freins continus en cas d'attentat, de rupture de bandages, d'incendie dans une partie du train, etc. etc.

On s'est préoccupé depuis longtemps, en Angleterre et en France, d'établir des intercommunications dans les trains, pour permettre de faire passer de tête en queue du train, ou de queue en tête, un avertissement ou un signal. En Angleterre, on a recommandé, après de nombreux essais, l'emploi d'une corde, mais quelque perfectionnés que soient les moyens mécaniques proposés, ils sont reconnus d'un usage très incertain; si l'avis est transmis au mécanicien, s'il doit appliquer à son tour son frein rapidement, en exécution du signal reçu, il y a, entre le moment où le conducteur a senti la nécessité d'arrêter le train et le mouvement du mécanicien, de nombreuses causes d'hésitation, de pertes de temps qu'il faut éviter à tout prix.

Nous avons été assez préoccupés de ce fait, à la Compagnie du chemin du Nord, et nous avons cherché à perfectionner dans ce sens, sans modifier les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

habitudes des agents, le frein à vide, qui nous paraissait présenter de grands avantages, au point de vue de la simplicité, de la facilité d'entretien et de manœuvres.

Je vous demande la permission de vous expliquer ce que nous faisons. Il est clair que lorsqu'il s'agit de tourner à distance un robinet, ou d'ouvrir une valve de vapeur sur une machine, la première idée est de tâcher d'obtenir ce résultat en tirant une corde; l'usage d'une corde pour transmettre ce mouvement n'a pas du tout réussi pour l'intercommunication. Il est peu satisfaisant. Nous avions à notre disposition l'intercommunication électrique, dont l'application est devenue générale et pratique dans tous les trains de voyageurs de la ligne du Nord, depuis douze ans : nous l'avons simplement utilisée pour ouvrir la valve motrice du frein à vide, en passant par le sifflet électro-automoteur de MM. Lartigue, Forest et Digney. On a pu ainsi obtenir une automaticité restreinte, mais suffisante pour les cas courants du service, sans recourir à un moteur spécial, constamment en action; la rupture d'attelages produit l'application du frein en tête du train. D'ailleurs, l'application de ces systèmes est encore toute récente; elle sera sans doute l'objet de perfectionnements importants.

Avant de terminer, permettez-moi de dire un mot de la rapidité avec laquelle la propagation de l'action se produit, soit dans les systèmes automatiques à air comprimé, soit dans les systèmes qui n'emmagasinent pas l'action motrice dans des réservoirs distribués le long du train, qui deviennent ainsi des centres d'action indépendants. La différence de rapidité d'action n'est pas aussi grande qu'on le croit généralement, pourvu qu'on sache faire agir le frein à centre unique d'action et que le train soit de longueur ordinaire. Je n'ai pas eu, par moi-même, l'occasion d'expérimenter le frein Westinghouse dans un train long, de vingt à vingt-quatre voitures; je serais très heureux de pouvoir le faire. Je ne doute pas que, en général, le principe même qui consiste à faire appliquer le frein par une diminution de la pression de l'air se produisant, non pas simultanément, sans doute, mais très rapidement sur toute la longueur d'une conduite; je crois, dis-je, que ce principe présente quelques avantages de rapidité d'action; la transmission est plus rapide : s'ensuit-il forcément que l'arrêt soit plus rapidement obtenu? C'est à savoir. J'ai eu occasion de faire plusieurs expériences sur un train de vingt-quatre voitures, muni de freins à vide, et la durée du temps qui s'écoulait entre le commencement de la production du vide à la tête du train et à la queue ne dépasse pas cinq secondes. Dans un train de douze voitures, deux secondes suffisent : il faut, bien entendu, que les tubes de communication soient de dimensions convenables, que l'éjecteur agisse simultanément, par des conduites séparées, sur la locomotive et sur les voitures du train, qu'il n'y ait ni étranglement ni causes d'obstruction.

Dans l'emploi des freins automatiques à air comprimé, l'action n'est même pas rigoureusement simultanée à la tête et à la queue du train; la transmission n'est pas instantanée.

Remarquez, en outre, Messieurs, que, pendant que la transmission s'opère, les freins entrent successivement en prise, et si toute la force retardatrice du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

système n'est pas simultanément appliquée, au moins peut-elle produire des effets puissants dès l'origine du mouvement. C'est ce qui explique le peu de différence que l'on a notée dans les durées d'arrêt et les distances parcourues obtenues par les deux systèmes en présence.

Je terminerai par ces quelques mots: la question du frein est une question que tout ingénieur doit résoudre selon les besoins de son trafic et selon sa propre expérience. C'est du moins mon opinion. Si quelques ingénieurs ont trouvé le frein Smith-Hardy plus simple, plus applicable et d'une manœuvre plus intelligible pour les mécaniciens et pour tous les agents de service, d'autres ont trouvé le frein Westinghouse préférable à cause de certains avantages que vous savez.

La question est encore assez discutée pour que je ne me permette pas d'en proposer ici la solution; je devais me borner à vous communiquer quelques-uns des résultats et des faits que m'a permis d'établir une étude déjà assez prolongée de ce sujet intéressant.

M. LE PRÉSIDENT. Tous les membres du Congrès ont vu avec intérêt les différents systèmes de freins qui figurent à l'Exposition; et ils ont entendu ici les explications données, sur ce sujet, par le rapporteur et les honorables membres du Congrès qui ont pris part à cette discussion. Qu'il me soit permis maintenant, après avoir remercié une dernière fois les orateurs, de passer à la seconde question portée à l'ordre du jour: celle des moteurs pour tramways.

La parole est à M. Anatole Mallet, qui a bien voulu se charger de faire ce rapport.

MÉMOIRE

SUR L'EMPLOI DES MACHINES SUR LES TRAMWAYS,

PAR M. A. MALLET,

INGÉNIEUR CIVIL.

M. A. MALLET. Messieurs, la question de l'emploi des machines sur les tramways devait être tout naturellement inscrite à l'ordre du jour des séances du Congrès du Génie civil, car, en dehors de l'intérêt qu'elle présente au point de vue de l'art de l'ingénieur, comme un exemple remarquable de la substitution des moteurs inanimés à la force des animaux, cette application peut être, à bon droit, considérée comme une des nouveautés de l'Exposition de 1878; c'est en effet la première fois que des machines destinées à opérer la traction sur des tramways proprement dits figurent dans une exposition internationale, et pour leurs débuts ces nouveaux engins se présentent, dans les galeries du Champ de Mars et du Trocadéro, en nombre très respectable. Il semble, au premier abord, qu'il y ait à peu près identité entre l'emploi de la vapeur sur les chemins de fer et cet emploi sur les tramways, et qu'il n'y avait par suite qu'à copier à échelle réduite ce qui a été fait pour les premiers, en profitant de l'expérience acquise et en évitant les tâtonnements des débuts.

Il n'en est pas ainsi, et la question est loin d'être aussi simple qu'elle le paraît à première vue.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il y a en effet une différence considérable entre les chemins de fer et les tramways. Cette différence porte sur deux points : 1° le système de construction des tramways; 2° leur mode d'exploitation.

Le Conseil général des ponts et chaussées définit le tramway « une voie ferrée *à rails non saillants*, établie sur une voie publique, et qui n'enlève pas à la partie de la voie qu'elle occupe sa destination primitive ».

Cette définition est exacte et rigoureuse.

Il résulte de cette condition que :

1° Les rails à gouttière, qu'on est généralement conduit à employer, pour ne pas gêner la circulation des voitures ordinaires, donnent lieu à une résistance à la traction bien plus grande que les rails en saillie des chemins de fer, et cela d'autant plus que le voisinage des voitures et des animaux amène de la poussière et de la boue qui viennent encore aggraver cet état de choses. On a constaté qu'alors qu'une tonne de poids n'exige, sur un chemin de fer de niveau, qu'un effort de traction de 4 à 5 kilogrammes, il faut, sur une voie de tramway, un effort de 8 à 10 kilogrammes et quelquefois de 12, 15, et, dit-on, dans certaines circonstances, de 20 kilogrammes. On peut dire à ce sujet qu'il y a un très grand intérêt à étudier l'amélioration des voies de tramways pour réduire cet effort de traction, surtout au point de vue de l'emploi des moteurs mécaniques. On a déjà obtenu de bons résultats dans ce sens en se servant de rails dérivant du rail Vignole des chemins de fer; on peut citer entre autres la voie employée à Lille et dans quelques autres villes et connue sous le nom de voie Marsillon, la voie des tramways de Stuttgard, Strasbourg, etc.

Le tramway, devant suivre une voie déjà existante, présentera nécessairement des courbes de beaucoup plus petit rayon et des inclinaisons notablement plus grandes que les chemins de fer; enfin les exigences de la circulation commune imposeront généralement aux véhicules des tramways des dimensions réduites, surtout en largeur.

2° L'exploitation des tramways est caractérisée par des trains légers et fréquents; en principe même ces trains ne se composent que d'une seule voiture, l'attelage simultané de deux ou plusieurs voitures devant être considéré comme exceptionnel. Les véhicules doivent s'arrêter pour prendre et laisser des voyageurs en route et surtout pouvoir le faire dans un espace extrêmement court pour éviter les accidents; la vitesse est nécessairement moindre que sur les chemins de fer, et le contact immédiat avec les voitures attelées de chevaux exige des précautions pour ne pas effrayer ces animaux.

Les conditions de construction et d'exploitation qui viennent d'être énumérées sont tellement défavorables, qu'un ingénieur anglais, ayant une grande expérience de la question, proposait dernièrement du tramway la définition humoristique suivante : petit chemin de fer avec une mauvaise voie et des conditions de traction détestables.

On peut donc affirmer que la traction des voitures de tramways différera notablement de celle des véhicules de chemins de fer, et il semble dès lors que les conditions à remplir seront satisfaites beaucoup mieux par l'emploi des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chevaux que par celui des moteurs mécaniques actuellement en usage, la grande vitesse n'étant pas nécessaire comme sur les chemins de fer. Il est donc permis de se demander quel est l'intérêt qui puisse faire rechercher la substitution de la machine à l'animal. Mais il y a lieu de poser d'abord, d'une manière précise, les conditions auxquelles doit satisfaire une machine de tramway, en divisant ces conditions en deux classes, celles qui s'imposent d'une manière absolue et celles qui, sans être rigoureusement exigibles, sont néanmoins à rechercher tout au moins aux débuts, ne fût-ce que pour faciliter l'acclimatation des machines sur les routes et dans les rues.

1re classe. — *Conditions rigoureuses.*

a. Une machine de tramway doit pouvoir être arrêtée dans un espace très court, même à sa plus grande vitesse, et être remise en marche avec la plus grande facilité.

b. Elle doit avoir une élasticité de puissance telle, que les efforts de traction puissent varier dans les limites très étendues, que nécessitent les inclinaisons quelquefois très considérables et les charges très variables.

c. Elle doit pouvoir passer dans des courbes de très petit rayon.

d. Offrir toute sécurité tant pour les voyageurs que pour les passants.

e. Présenter des dimensions modérées, surtout en largeur, et ne pas présenter une apparence extérieure de nature à effrayer les animaux attelés à des voitures ordinaires.

2e classe. — *Conditions secondaires.*

f. Il est à désirer que les machines n'émettent ni vapeur ou fumée, ni eau, ni cendres ou escarbilles.

g. Qu'elles ne contiennent pas de liquides ou de gaz à haute température, pouvant, en cas de rupture, choc ou renversement des véhicules, brûler ou blesser les voyageurs ou les passants.

h. Qu'elles ne demandent pas un personnel plus considérable que celui qui suffit à la conduite des chevaux.

i. Que la machine puisse marcher dans les deux sens, chose utile soit pour le service soit pour la sécurité.

Il est bien évident que cette classification n'a rien d'absolu: elle a été établie d'après nos idées françaises.

En Angleterre elle devrait être différente. En effet, le Parlement étudie en ce moment une loi pour réglementer l'emploi des machines sur les tramways, mais actuellement, et jusqu'à ce que cette loi ait vu le jour, on ne peut employer de locomotives sur un tramway que moyennant une licence du *Board of Trade*, licence difficilement obtenue et soumise à des restrictions très sévères.

Ainsi toute émission de fumée ou vapeur est absolument prohibée et des procès-verbaux sont dressés pour toute infraction à ce sujet; les machines doivent être munies d'un modérateur mécanique fermant le régulateur et serrant les freins en dehors de toute participation du conducteur dès que la vitesse

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

atteint 10 milles à l'heure (16 kilomètres), et en outre d'un indicateur de vitesse. On peut voir un exemple de ces dispositions, qui ne sont pas employées en France, sur les machines de tramways de M. Hughes, de Longhborough, exposées dans les annexes des machines anglaises.

Il était inutile d'indiquer dans l'énumération précédente que le moteur mécanique ne doit pas coûter plus cher d'emploi que les chevaux, attendu que c'est l'économie à réaliser qui constitue à peu près sa seule raison d'être. On conviendra en effet que rien ne semble mieux répondre aux conditions ci-dessus énoncées que la traction par chevaux, et elle ne peut être remplacée par les moteurs mécaniques qu'à la condition que ceux-ci présentent un avantage réel et notable au point de vue de la dépense.

Les points par lesquels l'avantage économique en faveur des machines peut se produire sont les suivants :

1° La nourriture des chevaux coûte cher et surtout les prix sont essentiellement variables d'une année à l'autre, par suite de circonstances en dehors de toute espèce de prévisions;

2° Le prix d'acquisition des chevaux est considérable et l'amortissement élevé; il y a à craindre les épidémies;

3° Si le trafic est variable suivant les saisons, il faut garder à l'écurie et nourrir des chevaux qui ne travaillent pas;

4° Lorsque le chemin présente des inclinaisons assez fortes, il faut employer des chevaux de renfort, et c'est un surcoît de dépense d'autant plus important que ces chevaux sont très mal utilisés; il demande en outre un personnel supplémentaire;

5° Les chevaux exigent un emplacement plus considérable pour les écuries et cours de service que les machines pour les remises et ateliers.

On peut dire que les moteurs mécaniques présentent d'autant plus d'avantages que les inconvénients signalés ci-dessus se manifesteront à un plus haut degré, de même que ces avantages pourront disparaître complètement si les conditions de traction sont favorables à l'emploi des chevaux. Ainsi, pour fixer les idées, si avec de petites voitures à un seul cheval, sur des voies sensiblement de niveau, il faut huit chevaux par voiture, ces huit chevaux valant chacun, harnais compris, 1,000 francs en nombre rond, ce sera un capital d'établissement de 8,000 francs par voiture, celle-ci non comprise, et si la journée du cheval revient à 4 fr. 25 cent., chaque voiture dépensera de ce chef 34 francs par jour. Si, au contraire, avec des voitures plus lourdes et un profil plus accidenté, il faut deux chevaux par voiture, soit seize chevaux pour faire le même service, la dépense en capital d'établissement montera à $1{,}000 \times 16 = 16{,}000$ francs et la dépense journalière à 63 francs. Il pourra donc arriver et il arrivera généralement que, dans le premier cas, la machine sera plus coûteuse, et d'achat et de service, et ne pourra, par suite, lutter avec les chevaux, tandis que, dans le second cas, elle pourra présenter une économie sous les deux points de vue. Il n'y a donc rien d'absolu à cet égard. On reviendra plus tard sur la question des dépenses de traction, mais on peut

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dire dès à présent que, pour les chevaux, c'est-à-dire pour la nourriture, le ferrage, les harnais, l'amortissement et le personnel, sans compter toutefois les intérêts du capital représentant les bâtiments d'écurie et les terrains, il faut compter de 40 à 60 centimes par kilomètre. Dans les villes très accidentées, comme à Édimbourg, la dépense dépasse 80 centimes. Il s'agit ici de voitures ordinaires à deux chevaux.

C'est ici l'occasion de placer une observation essentielle. On voit une voiture de tramway traînée par deux chevaux, et on pense qu'une machine de deux chevaux-vapeur suffira pour faire le même travail; on est tout étonné qu'elle se trouve parfaitement insuffisante et qu'on est obligé plus tard d'en employer une de six ou huit chevaux et plus. Cela tient à l'élasticité de puissance que possède l'animal; un cheval qui, dans un travail continu, n'exerce qu'un effort de traction de 70 à 80 kilogrammes, peut momentanément en exercer un de 200 kilogrammes.

Une machine à vapeur, dont les cylindres seraient calculés pour exercer un effort au démarrage égal à celui de deux chevaux animés, représenterait une puissance disponible relativement énorme, puisque cet effort statique de 400 kilogrammes, exercé à une vitesse de 3 mètres par seconde ou 10,800 mètres à l'heure, donnerait un travail de seize chevaux. C'est là une considération qu'il ne faut pas perdre de vue et une difficulté de plus sous le rapport économique.

Les appareils de traction mécanique comprennent: 1° les voitures automobiles, c'est-à-dire portant à la fois les voyageurs et le moteur, et 2° les locomotives proprement dites ou remorqueurs, qui ne portent que le moteur et ses approvisionnements, et traînent une ou plusieurs voitures portant la partie payante de la charge ou tout au moins sa plus grande partie, car il existe des remorqueurs disposés de manière à recevoir au besoin quelques voyageurs.

Si les voitures automobiles présentent quelques avantages, c'est surtout pour les moteurs autres que la vapeur, tels que l'air comprimé; on peut invoquer en leur faveur que leur poids est utilisé pour l'adhérence et que leur emploi est par conséquent indiqué pour les lignes présentant de fortes inclinaisons; que la résistance à la traction est moindre, surtout dans les courbes, et aussi qu'il n'y a pas de manœuvres spéciales à faire à fin de course, comme avec les locomotives séparées; mais on peut objecter que:

1° Elles réunissent les chances d'avarie et d'accident des wagons et des locomotives, par conséquent double cause de chômage;

2° Elles conduisent à un poids mort indivisible tel, que leur enlèvement, au cas où le moteur serait paralysé, deviendrait difficile et pénible;

3° Elles ne permettent pas la substitution instantanée de la traction mécanique à la traction par chevaux et réciproquement, et l'emploi de plusieurs types de voitures, par exemple des voitures d'été et des voitures d'hiver, et donneraient lieu, par conséquent, pour leur adoption à un renouvellement complet du matériel de transport;

4° Elles obligent à un rapprochement plus ou moins désagréable, sinon gênant et dangereux, entre le moteur et les voyageurs;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

5° Elles conduisent à une répartition inégale de la charge entre les roues et à certaines complications dans les appareils de manœuvre, si on les établit pour marcher à volonté dans chaque sens; sinon leur grande longueur en rend le retournement difficile;

6° Les installations destinées à recevoir les voyageurs sont exposées à être salies ou détérioriées lorsqu'on nettoie ou répare l'appareil mécanique dans les dépôts et ateliers.

La question de l'application des moteurs mécaniques se pose tout d'abord, comme elle s'est posée à l'origine des chemins de fer, entre les machines fixes et les machines locomotives proprement dites : avec cette distinction toutefois que les premières peuvent être employées pour produire directement la traction ou pour transmettre seulement la puissance à des machines mobiles chargées de la traction proprement dite.

Dans la première catégorie ne figure jusqu'ici que la traction par câbles ou systèmes funiculaires.

I. — Tramways à câbles.

On a établi à San Francisco des tramways à câbles sans fin pour desservir des rues très inclinées. L'auteur a été assez heureux pour recevoir de M. Eppelsheimer, qui a construit le premier chemin de ce genre dans Clay street, des renseignements particuliers sur la construction et l'application de ce système.

Il s'agissait de desservir une voie de tramway de 1 kilomètre seulement de longueur, mais rachetant une différence de niveau de 90 mètres et présentant des inclinaisons allant jusqu'à 16 p. 0/0, et très variables puisqu'il y a cinq paliers à la rencontre d'autant de rues transversales.

On a établi entre les rails, sous le sol, un tube en bois de 70 centimètres de diamètre, présentant à la partie supérieure une rainure horizontale de 22 millimètres seulement de largeur; dans ce tube est un câble en fils d'acier de 25 millimètres de diamètre, supporté par des poulies à axe horizontal, distantes de 12 mètres environ; d'autres poulies à axe vertical assurent les inflexions du câble. Ce câble, qui est sans fin, passe à une des extrémités de la ligne sur une sorte de poulie Fowler, actionnée par une machine à vapeur de 30 chevaux qui communique au câble une vitesse de translation de $1^{m},80$ par seconde, ce qui correspond à 6,5 kilomètres à l'heure; à l'autre extrémité est une poulie de tension. Les voitures sont attelées à un *dummy* qui sert de locomotive et qui est relié au câble par une pièce pénétrant par la fente du tube et se terminant par une sorte de pince; cette pince peut, par une manœuvre du conducteur, serrer le câble qui alors entraîne le dummy et le car qui lui est attaché; si, au contraire, le conducteur desserre la pince, le dummy reste libre et peut être arrêté par son frein. Le car contient 14 voyageurs assis et le dummy 9, mais, grâce à la tolérance qui règne sur les tramways américains, il n'est pas rare que les deux véhicules contiennent 50 personnes.

On ne peut contester que ce système soit fort ingénieux et paraisse répondre à toutes les conditions exigées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On a, il est vrai, objecté que la rupture du câble produirait, outre ses conséquences matérielles immédiates, un arrêt prolongé et une interruption complète du service.

On y a paré, jusqu'à un certain point, d'abord en mettant aux voitures des appareils qui, en cas de rupture du câble, les arrêteraient immédiatement et les maintiendraient en place; de plus, le câble a une durée assez longue (le premier câble de Clay street a servi vingt-huit mois), et il prévient assez longtemps avant de rompre. Le remplacement demande cinq heures et peut être fait par conséquent en une nuit. Néanmoins, pour éviter même un arrêt de cette durée, M. Eppelsheimer dispose d'avance dans le tube un câble de réserve qui, en cas de rupture du câble en exercice, peut être passé sur les poulies et mis en fonctionnement en un quart d'heure.

Les résultats obtenus par ce système, qui fonctionne depuis cinq ans, paraissent excellents.

Le prix d'établissement du tramway de Clay street, qui est à double voie, a été d'environ 425,000 francs.

Les dépenses journalières sont en moyenne de 400 francs, y compris l'entretien et l'amortissement, la dépense de combustible étant de 650 kilogrammes environ.

Le nombre de voyageurs transportés atteint 2,800, ce qui met le prix de chacun à 400 : 2,800 = 14 centimes.

En admettant que le tarif de transport soit de 20 centimes, ce qui peut être considéré comme un minimum, à cause de la hauteur verticale à franchir de 90 mètres, il resterait un bénéfice journalier de $2{,}800 \times 0^{f}06^{c} = 168$ francs, correspondant à 60,000 francs par an en nombre rond; cette somme représente un peu plus de 14 p. 0/0 du capital d'établissement.

On peut faire remarquer que ce système serait particulièrement avantageux dans le cas où on disposerait d'une force motrice gratuite, comme dans des villes qui ont à proximité de puissantes chutes d'eau.

II. — Tramways à air comprimé.

L'idée d'employer l'air comprimé produit par une machine fixe et emmagasiné dans des réservoirs portés par les véhicules à la mise en mouvement de ceux-ci est déjà ancienne, et sa réalisation a été tentée plusieurs fois; il semble donc naturel que cette idée ait été reprise lorsqu'on a commencé à s'occuper de la traction mécanique sur les tramways.

Le système à air comprimé est employé en Angleterre par M. Scott-Moncrieff et par le colonel Beaumont, et en France par M. Mékarski. Les dispositions imaginées par ce dernier dans le but de retirer de l'air comprimé le plus d'effet utile, ce qui était nécessaire au point de vue de l'économie, présentent un grand intérêt et mériteraient une description détaillée, dans laquelle malheureusement un travail de la nature de celui-ci ne peut entrer. Ce système est d'ailleurs l'objet d'applications faites sur une grande échelle tant à Nantes qu'à Paris et qui sont à la veille de fonctionner.

On sait que le point caractéristique du système Mékarski, sans parler bien

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

entendu des détails des appareils fixes et mobiles, parfaitement étudiés dans toutes leurs parties, est que l'air comprimé, en sortant des réservoirs et avant de passer aux cylindres moteurs, traverse un récipient contenant de l'eau chauffée à haute température, 170 degrés environ. Il se sature ainsi de vapeur d'eau qui fournit une quantité de chaleur suffisante pour compenser le refroidissement produit par le travail de la détente. La courbe d'expansion, au lieu de baisser brusquement, comme il arrive avec l'air seul, se rapproche de la courbe de Mariotte; l'aire représentative du travail se trouve augmentée et de plus on évite le refroidissement considérable qui, en solidifiant les matières grasses, apporte une gêne considérable au mouvement des organes mobiles. Les essais qui se sont poursuivis à Paris pendant près d'un an et demi, notamment sur la ligne du pont de Neuilly à l'arc de triomphe de l'Étoile, ont montré que le fonctionnement de cette machine était très satisfaisant. La conduite en est très facile; il n'y a ni bruit ni échappement de vapeur ou de fumée; la variation de puissance nécessaire est très facilement réalisable par le plus ou moins de pression qu'on peut donner à l'air qui arrive sur les pistons au moyen d'un régulateur détenteur spécial.

La voiture qui fonctionnait entre Neuilly et la place de l'Étoile, parcourait la distance de 3,400 mètres aller et retour, soit 6,8 kilomètres, avec un chargement de 2 mètres cubes d'air à 20 atmosphères de pression initiale, et conservait assez de pression à l'arrivée pour exécuter des manœuvres de garage, etc. Mais M. Mékarski indique que cette quantité d'air pourrait faire parcourir 8 à 10 kilomètres à une voiture pesant 7 tonnes en charge. Des remorqueurs ayant des réservoirs de 5 mètres cubes, chargés à la même pression et pesant 5 tonnes et demi, pourraient, avec cet approvisionnement, traîner une voiture pesant également 5 tonnes et demi, à une distance de 10 à 12 kilomètres. M. Mékarski établit comme suit le prix de revient de la traction, suivant qu'il s'agit de voitures automobiles ou de remorqueurs.

DÉSIGNATION.	VOITURE AUTOMOBILE.	REMORQUEUR.
	fr. c.	fr. c.
Combustible brûlé par les machines de compression.....	0 07	0 11
Graissage, entretien et renouvellement de ces machines.....	0 05	0 07
Graissage, entretien du matériel roulant. { Machines..... }	0 10	0 05
{ Voitures..... }		0 06
Personnel de la traction : mécaniciens.....	0 10	0 10
Personnel de l'usine de compression.....	0 06	0 07
TOTAUX.....	0 37	0 46

Ces chiffres sont basés sur les données suivantes :

1° Un mètre cube d'air, à une pression de 25 à 30 atmosphères, permet de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

traîner 37 tonnes brutes à 1 kilomètre de distance, et comme ce mètre cube pèse environ 37 kilogrammes, on en conclut qu'un kilogramme d'air comprimé pourra transporter une tonne à un kilomètre, sur un chemin de niveau;

2° Le travail moteur nécessaire pour charger le réservoir de 3 à 30 atmosphères est de 6,66 chevaux par mètre cube et par heure; un cheval-vapeur produira donc 6 kilogrammes d'air comprimé par heure;

3° Avec des machines à vapeur fixes dépensant de 1,25 à 1,30 kilogramme de combustible par cheval net et par heure, il faudra 8 kilogrammes de charbon en moyenne pour produire un mètre cube d'air; un kilogramme de charbon produira 4,5 à 5 kilogrammes d'air comprimé, et enfin un kilogramme de charbon pourra transporter 4,5 à 5 tonnes à un kilomètre, ou inversement le transport d'une tonne à un kilomètre de distance, de niveau, sera effectué avec une dépense de 200 à 225 grammes de charbon.

Le principe économique du système repose sur ces considérations, soutenues avec beaucoup de talent et de conviction par M. Mékarski, que la consommation de puissantes machines fixes étant, pour l'unité de puissance développée, beaucoup moindre que celle de petites locomotives à vapeur, la différence est assez grande pour compenser, et au delà, les pertes de travail absorbé par les intermédiaires, pompes de compression, machines, etc.

Contrairement à cette opinion, l'auteur de ce travail pense qu'on peut obtenir une meilleure utilisation du combustible avec de petites locomotives à vapeur bien établies, et il en trouve la confirmation dans les résultats qu'il a obtenus personnellement avec des machines de faible puissance, à fonctionnement *compound*, notamment sur le chemin de fer de Bayonne à Biarritz, où la dépense de combustible ne dépasse pas 60 grammes par tonne kilométrique brute, sur un profil présentant sur un tiers de sa longueur des inclinaisons de 15 millièmes. Dût-on tripler ce chiffre pour tenir compte de l'infériorité des voies de tramways, on n'atteindrait pas la dépense de la machine à air comprimé.

Mais il est bien évident que la question ne doit pas être posée sur le terrain économique; l'air comprimé possède d'ailleurs assez de causes de supériorité, au point de vue de la sécurité, de la propreté et de l'agrément pour les voyageurs et les passants, dans le cas de la circulation dans les villes, pour que ces avantages puissent être au besoin achetés au moyen d'un léger excédent de dépenses.

Il est juste de dire que la nécessité d'assurer le service contre toute éventualité oblige à mettre en double les appareils fixes, machines à vapeur et pompes de compression. C'est là une nécessité commune à toutes les installations par machines fixes devant assurer un service sans possibilité d'interruption; dans les usines à gaz portatif où un arrêt serait désastreux, on a jusqu'à trois chaudières à vapeur pour une.

En Angleterre, on commence également à employer l'air comprimé. M. Scott-Moncrieff fait construire en ce moment chez MM. Neilson et C^ie^, à Glasgow, de nouvelles voitures automobiles qui pourront faire 13 kilomètres sans reprise d'air comprimé; ces voitures feront le service de différents tramways à Glasgow et aux environs. Ce qui distingue le système de M. Scott-Moncrieff est un modérateur automatique agissant sur la distribution des cylindres et augmentant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

automatiquement la durée de l'introduction de l'air à mesure que la pression de celui-ci baisse dans les réservoirs. Il ne paraît pas avoir pris de précautions spéciales contre le refroidissement dû à la détente.

D'autre part, on construit à Leeds des machines d'après le système du colonel Beaumont, système qui a été expérimenté avec succès à Woolwich; ces machines contiendront 2,700 litres d'air comprimé à une pression de 1,000 livres par pouce carré, ce qui équivaut à 70 atmosphères. L'expérience montrera jusqu'à quel point des pressions aussi formidables sont réalisables dans la pratique courante.

III. — Tramways à eau chaude.

La principale objection à l'emploi des locomotives à vapeur dans les villes repose sur la présence d'un foyer qui exige généralement un chauffeur et donne lieu à la production de fumée, de cendres et d'escarbilles, causes de gêne pour les voyageurs et les passants, sans compter les appréhensions assez naturelles provenant de la présence d'une certaine masse de combustible incandescent. On peut obvier à ces inconvénients sans renoncer à l'emploi direct de la vapeur, en accumulant dans l'eau chaude assez de calorique pour produire la vapeur nécessaire. Tout le monde sait que lorsqu'une machine locomotive dépense plus de vapeur que n'en produit directement la chaudière, la pression baisse, la température de l'eau diminue et on marche *à l'eau chaude.*

La production de vapeur par l'eau chaude pour un travail normal a été, à la connaissance de l'auteur, émise il y a déjà une douzaine d'années pour la propulsion des bateaux sous-marins à la place des divers moteurs, air comprimé, électricité, etc., qui ne se prêtaient pas à la production de puissances sérieuses. Le bateau aurait été muni d'une machine à vapeur ordinaire; les chaudières, contenant une grande masse d'eau, auraient fonctionné comme d'habitude lorsque le bateau aurait flotté; puis, lorsque celui-ci aurait dû s'immerger, on aurait clos hermétiquement les cheminées et les cendriers et on aurait marché à l'eau chaude. Cette idée paraît extrêmement rationnelle, et on ne peut s'étonner que d'une chose; c'est que lorsque les nations perfectionnent à l'envi les moyens de destruction et engloutissent des millions dans des navires cuirassés ou non, aucune n'ait cherché à mettre ce système en pratique au prix d'une dépense relativement minime.

La première application du système à eau chaude aux tramways paraît avoir été faite aux États-Unis par le Dr Lamm, qui avait auparavant essayé, sans grand succès, un moteur à ammoniaque.

Voici le principe. Le véhicule porte un réservoir contenant de l'eau; ce réservoir est mis à volonté en communication avec une chaudière fixe produisant de la vapeur à une pression aussi élevée que possible; cette vapeur, en se condensant, chauffe l'eau à une température à peu près égale à celle de la chaudière. Si on met ensuite le réservoir en communication par sa partie supérieure avec les cylindres qui actionnent les roues, il se produit de la vapeur aux dépens de l'eau du réservoir dont la température s'abaisse; quand celle-ci sera devenue trop faible pour que la vapeur produite ait une tension suffisante, on rechauffera l'eau de nouveau par une injection de vapeur de la chaudière fixe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il est aisé de voir que l'on obtiendra d'autant plus de vapeur que la différence des températures initiale et finale sera plus élevée; et comme la température finale est en général fixée *a priori* par les conditions de fonctionnement de la machine, il en résulte qu'on devra partir d'une température initiale aussi élevée que possible.

Si on appelle p et t le poids de la température de l'eau au commencement et $p - x$ et t' le poids et la température à la fin, x étant par conséquent le poids de la vapeur dégagée; si on suppose en outre, par approximation, que ce poids x est vaporisé à une température moyenne entre t et t', m étant la quantité de chaleur que possède le kilogramme de vapeur dans ces conditions, c et c' étant les chaleurs spécifiques de l'eau aux températures t et t', on a :

$$p\,c\,t - (p - x)\,c't' = m\,x$$

d'où l'on obtient

$$x = \frac{p\,(c\,t - c't')}{m - c't'}$$

Si on fait varier la température inférieure t' de 164 à 130 degrés correspondant à une pression finale de 7 à 2,75 atmosphères, en prenant successivement pour t différentes valeurs, on pourra retirer d'un poids initial de 100 kilogrammes d'eau les proportions de vapeur indiquées dans le tableau ci-dessous :

Poids de la vapeur que peuvent dégager 100 kilogrammes d'eau chaude dans les limites de température et de pression ci-dessous.

PRESSION ET TEMPÉRATURE INITIALES.		PRESSION ET TEMPÉRATURE FINALES.				
Atmosphères.	Degrés centigrades.	7 atmosphères, 164 degrés centigrades.	5 atmosphères, 153 degrés centigrades.	4 atmosphères, 145 degrés centigrades.	3,5 atmosphères, 138 degrés centigrades.	2,75 atmosphères, 130 degrés centigrades.
		kilogrammes.	kilogrammes.	kilogrammes.	kilogrammes.	kilogrammes.
14	196	6,80	8,90	10,40	11,50	13,00
12	188	5,06	7,20	8,80	10,00	11,40
10	180	//	5,60	7,10	8,43	9,80
9	176	//	//	6,23	7,50	8,93
8	171	//	//	5,25	6,52	7,96
7	164	//	//	//	5,20	6,66
5,5	155	//	//	//	//	5,83

On voit que ces proportions varient considérablement, d'environ 5 jusqu'à 13 p. o/o du poids de l'eau, et que, pour retirer de l'eau chaude une notable quantité de vapeur, il faut avoir une pression finale assez basse. Mais, d'autre part, la vapeur obtenue développera d'autant moins de travail que la pression

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moyenne sera plus basse. Le tableau ci-dessous donne le travail que peut produire pendant une heure un volume de 1,500 litres d'eau chaude pour diverses conditions de production et de consommation.

Nombre de chevaux que peuvent produire pendant une heure 1,500 litres d'eau chaude pour les proportions de vapeur ci-dessous.

PROPORTION DE VAPEUR pour 100 d'eau chaude.	POIDS DE VAPEUR produit par heure.	DÉPENSE DE VAPEUR PAR CHEVAL ET PAR HEURE.		
		22 KILOGRAMMES.	16 KILOGRAMMES.	9 KILOGRAMMES.
pour 100.	kilogrammes.	chevaux.	chevaux.	chevaux.
13	175	8	11	20
10	150	6	8,8	15,5
7	105	4	6	11
5	75	3	4,4	7,8

La première application des machines à eau chaude aux tramways a été faite, il y a quelques années déjà, à la Nouvelle-Orléans; c'est là qu'elles se sont le plus répandues; il est vrai que cette ville est absolument de niveau.

Ce système a été introduit en France par M. Francq, qui l'a considérablement perfectionné avec le concours des ingénieurs de la maison Cail. Il est, depuis quelque temps, en fonction sur le tramway de Rueil à Port-Marly. Les machines ont des réservoirs de 1,700 à 1,800 litres qu'on peut charger d'eau à une température de 194 degrés, correspondant à 15 atmosphères; le mécanisme est intérieur et placé entre les roues. Ces machines traînent, de Rueil à Port-Marly, quatre voitures dont deux à impériale, et remontent deux voitures sur la rampe de Port-Marly à Marly-le-Roi, qui, sur 2 kilomètres de longueur, présente une inclinaison moyenne de 40 millièmes, atteignant dans quelques points 60 millièmes. La machine pèse elle-même 8 tonnes environ. Les générateurs fixes, au nombre de deux, sont installés à Port-Marly; ce sont des chaudières tubulaires de 50 mètres carrés de surface de chauffe chacune, timbrées à 17 kilogrammes. Les machines sont amenées contre les chaudières et mises en communication avec elles par un raccord; la vapeur se condense dans l'eau des réservoirs, et en ramène la température au point de départ. Il faut environ un quart d'heure pour faire remonter la pression de 3 à 15 kilogrammes. Les générateurs fixes étant placés à un seul point de la ligne, les machines font le trajet aller et retour, sans rechargement.

Les résultats, comme fonctionnement, paraissent excellents. Un rapport présenté à la Société d'encouragement par M. Collignon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, conclut que « la locomotive sans foyer est non seulement un appareil élégant et très convenable pour l'exploitation de petits chemins de fer d'intérêt local, mais encore une machine économique supérieure, à ce point de vue, aux réductions de locomotives qu'on essaye d'appliquer aux petites charges et aux petits parcours ».

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'auteur pense qu'ici, comme au sujet de la machine de M. Mékarski, il y a lieu de faire quelques réserves relatives à la comparaison faite avec les petites locomotives, car si on se reporte aux chiffres donnés dans le rapport, on voit que la consommation kilométrique ressortirait en poids à 5 kilogrammes par kilomètre pour les locomotives et à $3^k,5$ pour les machines sans foyer. On doit en conclure simplement que les locomotives à vapeur directe dont il s'agit dépensent beaucoup trop, car cette consommation, pour une charge brute qui ne dépasse pas 16 à 18 tonnes, ressort à 300 grammes par tonne kilométrique, chiffre assurément très élevé, si on se reporte à ce qui a été dit au sujet de la machine à air comprimé.

Cette consommation pourrait être considérablement diminuée par l'emploi de dispositions convenables.

Sans contester assurément la supériorité que l'absence de foyer assure à la machine sans feu dans certains cas spéciaux, on peut dire qu'au point de vue économique, elle ne doit guère présenter sur les locomotives ordinaires que l'avantage résultant de l'emploi de combustibles de moindre valeur, car il n'y a pas de raisons sérieuses pour que la vaporisation soit beaucoup plus avantageuse dans une chaudière fixe que dans une chaudière locomotive, quelles que soient les dimensions relatives de ces générateurs. On entend souvent dire que les petites chaudières de locomotives ne doivent pas être économiques parce que les tubes ne peuvent avoir une longueur suffisante; la longueur n'est qu'un élément de la surface; il suffit, pour que l'absorption de la chaleur se fasse convenablement, que le rapport de la surface de chauffe *totale* à la surface de grille soit assez élevé. On peut donner facilement à ce rapport, même dans les locomotives de la plus petite dimension, la valeur de 40 environ; dès lors, si on brûle 100 kilogrammes de combustible par heure et par mètre carré de grille, chaque mètre carré de surface de chauffe n'aura à absorber que le calorique dégagé pur $100 : 40 = 2^k,5$ et à vaporiser par suite $2.5 \times 8.5 = 21,25$ litres d'eau à l'heure, ce qui n'a certes rien d'exagéré pour une chaudière tubulaire. Dans ces conditions, l'utilisation du combustible peut être à peu près aussi bonne que dans n'importe quelle chaudière fixe. Cette observation est parfaitement confirmée par ce fait que, dans des machines de tramways à tirage naturel, telles que celles de M. Hughes, on peut tenir sans inconvénient la main au-dessus de la cheminée pendant la marche.

Quant à l'avantage signalé plus haut, du moindre coût du combustible brûlé dans les chaudières fixes, il est réel; mais n'est-il pas, au moins en partie, contre-balancé par la nécessité d'avoir en double ou triple ces générateurs pour parer à toute chance d'arrêt? Ces chaudières fixes dureront évidemment plus longtemps que les chaudières des locomotives, mais n'est-ce pas bien exagérer que de leur attribuer une durée de vingt-cinq à trente ans, comme l'indique le rapport auquel les chiffres ci-dessus sont empruntés? Si l'auteur pense que la plus grande partie des avantages réclamés pour les machines à eau chaude peuvent être obtenus avec bien plus d'indépendance par les locomotives à vaporisation directe, il ne fait aucune difficulté pour reconnaître que l'emploi de l'eau chaude est très rationnel et peut être appelé à rendre de grands services pour les cas où la présence d'un foyer doit être absolument évitée; et, à ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

titre, il n'hésite pas à considérer le système appliqué par M. Francq comme très digne d'intérêt.

IV. — Traction directe et indépendante par la vapeur.

Si la traction mécanique par des locomotives indépendantes n'a pas fait ses premiers débuts en France, on ne peut disconvenir que ce ne soit dans ce pays qu'elle a été essayée de la manière la plus complète; elle y sera très probablement adoptée d'ici peu d'une manière définitive. Un fait curieux à signaler, c'est que presque toutes, sinon même toutes, les machines de tramways qui ont fonctionné jusqu'ici en France sont de provenance étrangère, anglaise, belge ou suisse.

Le premier type de machines employé à Paris a été celui qui a été construit pour M. G.-P. Harding, par MM. Merryweather et Cie, de Londres, et qui, après avoir fait pendant assez longtemps la traction de la ligne de Montparnasse au Jardin des Plantes d'abord, puis à la Bastille, fait actuellement celle de la ligne de la Bastille à Saint-Mandé. Cette exploitation prolongée n'a pas donné de renseignements bien nets sur l'économie réalisée, mais elle a eu au moins le mérite de démontrer la possibilité d'employer pratiquement la traction à vapeur dans les rues d'une grande ville.

La locomotive Merryweather est une petite locomotive très analogue à celles des chemins de fer, mais entourée d'une enveloppe qui descend jusqu'au sol et lui donne l'aspect d'une voiture de tramway très courte. Cette enveloppe est quelquefois faite en osier tressé pour réunir la légèreté à la solidité. Il y a quatre roues accouplées, dont deux sont montées sur un essieu coudé, actionné par des cylindres presque horizontaux, intérieurs aux roues. La distribution se fait par coulisse Stephenson. La chaudière est une chaudière ordinaire de locomotive à tubes très courts, avec la porte du foyer placée sur le côté. La vapeur d'échappement qui sort des cylindres passe en partie dans le foyer et en partie dans la cheminée. Les premières machines ne pesaient que 4 tonnes en service, mais leur puissance s'est trouvée insuffisante, et les nouvelles machines de ce type sont plus fortes. Ce qu'on peut surtout reprocher à ce type, c'est d'avoir le mécanisme placé entre les roues tout près du sol, en contact avec la boue et la poussière et dans une position impossible à aborder. Aussi l'entretien a-t-il été très dispendieux, et c'est ce chapitre qui a rendu très problématique le résultat économique. Les garnitures de coussinets devaient être entièrement renouvelées après trois semaines en moyenne, soit un parcours de 1,800 kilomètres. La consommation de combustible paraît aussi avoir été très élevée.

Des machines du même système fonctionnent sur les tramways de Rouen; elles ont été construites, les unes par MM. Merryweather, les autres par la maison Fox, Walker et Cie, de Bristol. Elles traînent en semaine une voiture à impériale, et le dimanche jusqu'à trois voitures semblables, sur une ligne dont le profil, il est vrai, n'est pas très accidenté.

On a également essayé à Paris, sur la ligne de l'Étoile au pont de Neuilly, et on va prochainement y faire fonctionner pour un service régulier une machine construite d'après le système de M. Brown, directeur de la *Société suisse pour la construction de locomotives et de machines*, à Winterthur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La particularité essentielle de cette machine consiste dans la transmission du mouvement des pistons aux roues, qui s'opère par l'entremise de balanciers verticaux permettant de relever les cylindres au-dessus des roues. Cette disposition, proposée dès l'origine des locomotives, a été, comme on sait, appliquée par M. Belpaire à une machine locomotive qui figurait à l'Exposition de Vienne. Cet arrangement, à côté de l'avantage qu'il a de mettre le mécanisme à une plus grande hauteur au-dessus du sol, présente encore celui de produire l'équilibre des pièces animées d'un mouvement alternatif et d'éviter l'emploi des contrepoids des roues. La distribution se fait par un système particulier, sans excentriques ni coulisses, et les tiroirs sont placés au-dessous des cylindres. La chaudière est en acier et timbrée à 15 atmosphères; elle a des tubes horizontaux très courts; le foyer circulaire est contenu dans un grand cylindre vertical plein d'eau. Le volume d'eau de la chaudière et la quantité de combustible contenu dans le foyer sont assez considérables pour qu'il n'y ait pas besoin de s'occuper du foyer et de l'alimentation, en un mot de la chaudière, pendant la marche; de plus, la quantité de chaleur emmagasinée dans l'eau de la chaudière permet de développer momentanément un travail relativement considérable. Cette disposition est commune d'ailleurs à la plupart des machines qu'on construit actuellement et doit être considérée comme essentielle pour une machine de tramway. La machine dont nous parlons n'a pas de condenseur: on a simplement employé une disposition spéciale pour atténuer le bruit de l'échappement. Le modèle employé à Paris pèse environ 6 tonnes et demie en service et peut remorquer deux voitures à impériale, portant 50 personnes chacune, sur un profil comme celui de la ligne de l'Étoile, présentant des inclinaisons de 20 millièmes.

On a également employé à Paris des machines construites par la *Société de Saint-Léonard*, à Liège. Ces machines sont caractérisées par la présence de trois essieux dont deux sont accouplés; le troisième, simplement porteur, peut obliquer pour faciliter le passage dans les courbes.

Les cylindres sont extérieurs et placés au niveau des roues. La distribution est du système Walschaerts, employé, comme on sait, sur la plupart des machines belges. La vapeur qui sort des cylindres est divisée en trois parties: l'une passe dans la cheminée, comme d'habitude, pour activer le tirage; la seconde sort dans la boîte à fumée, par un tube circulaire percé de petits trous; enfin le reste est condensé dans les caisses à eau. On espère, par cette disposition assez compliquée, atténuer les inconvénients de l'échappement libre et échapper aux difficultés d'une condensation à peu près complète. La chaudière est de fortes dimensions, 13,2 mètres carrés de surface de chauffe; le poids de la machine atteint 8,5 à 9 tonnes en service, ce qui explique jusqu'à un certain point l'emploi de trois essieux.

Une des machines de tramways les plus intéressantes qui figurent à l'Exposition est celle de M. Hughes, de Longhborough; ce système ne paraît pas avoir été encore employé sur le continent, mais il est en usage sur plusieurs tramways en Angleterre, entre autres sur ceux du *Vale of Clyde*, où il a effectué, depuis deux ans, un parcours de près de 250,000 kilomètres.

La machine de M. Hughes ressemble extérieurement à la machine Merry-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

weather : le mécanisme est placé entre les roues, mais la particularité essentielle est le tirage naturel et la condensation de la vapeur au moyen d'eau.

Voici la disposition employée. Sur la chaudière se trouve un réservoir en forme de bât (*saddle tank*), contenant 1,800 litres d'eau; sous la machine se trouve un autre réservoir. Lorsque la vapeur s'échappe des cylindres, elle est obligée de soulever un clapet et se trouve en contact avec un filet d'eau qui descend du réservoir supérieur; l'eau chaude résultant de la condensation passe alors dans le réservoir inférieur qu'on vide à l'extrémité du parcours en même temps qu'on renouvelle l'eau du réservoir supérieur. M. Hughes affirme que la condensation est à peu de chose près complète et que la dépense d'eau ne dépasse pas 100 litres par kilomètre; on pourrait ainsi effectuer un parcours de 18 kilomètres sans reprendre d'eau.

Le tirage est naturel et la chaudière n'ayant besoin d'aucun soin pendant la marche, il n'y a pas de chauffeur; un seul homme suffit à la conduite de la machine; on reviendra plus loin sur cette question.

La machine Hughes pèse 8 tonnes en service; ce poids n'est pas trop élevé si on considère l'énorme approvisionnement d'eau de condensation.

Il a été construit un certain nombre d'autres types de locomotives de tramways, en Belgique par la Société métallurgique et charbonnière belge, en Allemagne par M. Krauss, de Munich, etc.; mais ces types ne présentent rien de particulièrement intéressant.

La vapeur a été appliquée à des voitures automobiles, parmi lesquelles on peut citer, en France, celle qui a été faite par M. Bollée, du Mans, et essayée sur les tramways de la Compagnie générale des omnibus; en Suisse, une voiture de M. Brunner, employée sur le chemin de fer à voie étroite de Lausanne à Échallens; à Hambourg, les voitures de M. Samuelson, et aussi, en Angleterre, celles de M. Grautham.

Le poids de ces véhicules est toujours considérable, variant de 10 à 15 tonnes avec chargement.

De l'examen sommaire qui a été fait des divers types de machines de tramways, on peut conclure les dispositions générales à recommander dans l'étude d'une locomotive destinée à ce genre de service :

1° Donner à la chaudière une capacité de production de vapeur considérable, et cela non pas tant par l'étendue de la surface de chauffe que par le volume d'eau contenu; un grand réservoir d'eau chaude représente une masse de chaleur accumulée qui permet à la machine de fonctionner partiellement comme machine à eau chaude, et de développer à un moment donné un travail bien au-dessus de celui que comportent normalement les dimensions de la chaudière. En combinant cet arrangement avec l'emploi d'un foyer de bonne capacité, on peut supprimer les soins à donner à la chaudière pendant la marche et réaliser à peu près tous les avantages de la machine sans foyer.

2° Pour donner à la machine proprement dite l'élasticité de puissance que fournit à la chaudière la présence d'un volume d'eau considérable, employer un appareil moteur, formé de deux cylindres de capacité différente et disposés de telle sorte que, pour la marche ordinaire, la vapeur arrive directement au petit

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cylindre seul et passe ensuite dans le grand, réalisant ainsi le fonctionnement *compound;* tandis que, lorsqu'on veut produire un effort considérable, comme il arrive pour gravir une rampe, on fait arriver la vapeur de la chaudière directement sur les deux pistons.

Cet arrangement, qui produit le même effet, au point de vue de la variation de puissance, que le détendeur des machines Mékarski et Francq, procure en outre une notable économie de combustible qui permet une réduction des dimensions de la chaudière et des approvisionnements d'eau et de combustible. Employé pour la première fois par l'auteur sur les machines du chemin de fer de Bayonne à Biarritz, il a été aussi appliqué par lui aux locomotives des chemins de fer *sur route* de la Meuse, qui constituent en réalité une sorte de tramway.

3° Disposer le mécanisme de manière à être le plus possible au-dessus du sol et à l'abri de la boue et de la poussière. On y arrive soit au moyen des balanciers employés par M. Belpaire et par M. Brown, soit par l'emploi de cylindres fortement inclinés ou même verticaux actionnant un faux essieu placé entre les essieux porte-roues.

4° Il est en général inutile d'employer la condensation qui introduit une complication ou une surcharge inévitable. Il suffit de prendre des mesures pour atténuer le bruit de l'échappement; on y arrive déjà en détendant fortement la vapeur et on peut le réduire encore par l'emploi d'orifices multiples ou d'autres dispositions déjà en usage. Si toutefois on se trouvait dans la nécessité de supprimer absolument l'émission de vapeur, comme ce ne serait vraisemblablement le cas que pour une partie du trajet, on enverrait simplement la vapeur dans les caisses à eau, comme on le fait quelquefois sous des tunnels ou galeries. Les réservoirs pourraient dès lors avoir des dimensions beaucoup plus restreintes que si on devait marcher tout le temps sans échappement extérieur.

5° On emploiera le moins d'essieux possible et on les rapprochera à cause des courbes. Il semble qu'on peut toujours limiter assez le poids des machines pour n'avoir besoin que de deux essieux; ces essieux seront accouplés si on a des rampes à gravir; si, au contraire, le parcours est de niveau, on pourrait n'avoir qu'un seul essieu moteur aussi chargé que le permet la nature de la voie; la machine aura ainsi bien moins de résistance et, avec un jeu convenable à l'essieu porteur, passera bien plus facilement dans les courbes. Avec une charge de 4 tonnes sur l'essieu moteur, on réaliserait dans les plus mauvaises conditions d'adhérence un effort de traction de 400 kilogrammes à la jante des roues, effort suffisant pour vaincre une résistance de 25 kilogrammes par tonne et permettre par conséquent de traîner une charge brute de 10 à 12 tonnes derrière une machine de 6 tonnes.

On peut rappeler ici que le succès des machines de tramways est intimement lié aux perfectionnements à apporter aux voies; la traction mécanique ne sera très probablement réalisable pratiquement qu'à la condition du remaniement complet des voies de tramways.

Une locomotive combinée comme il a été dit et pouvant traîner au besoin deux

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

voitures sur des profils présentant des inclinaisons ne dépassant pas 20 millièmes pourrait ne dépenser que 1.500 kilogramme de coke, soit 7 centimes par kilomètre. En supposant un parcours journalier de 100 kilomètres, ce qui est très admissible (les machines des tramways de Glasgow font 60 milles, soit près de 110 kilomètres), on arriverait au prix de revient suivant :

	par jour.	par kilomètre.
Combustible	7f 00c	0f 07
Personnel (deux hommes)	12 50	0 125
Amortissement et usure, 15 p. 0/0 par an sur 12,500 fr.	5 00	0 05
Machines de réserve	1 25	0 013
Graissage, nettoyage et petites réparations	6 25	0 062
TOTAL	32 00	0 320

Ces chiffres sont intéressants à comparer avec ceux que donne l'exploitation des tramways de Glasgow, faits par les locomotives Hughes :

	par jour.	par kilomètre.
Combustible	6f 05c	0f 055
Eau	1 10	0 010
Main-d'œuvre (conduite et réparation)	19 80	0 18
Renouvellement	6 05	0 055
Graissage	1 10	0 01
TOTAL	34 10	0 310

Le résultat est le même, bien que les chiffres partiels diffèrent, d'abord parce que le combustible est moins cher à Glasgow qu'à Paris, et parce que, dans les comptes de M. Hughes, les dépenses de réparation figurent sous forme de main-d'œuvre.

L'exploitation par chevaux revenait précédemment à Glasgow, sur la même ligne, à 7 pence par mille, soit près de 40 centimes; l'économie serait donc de 22 p. 0/0.

On peut faire une certaine économie en ne mettant qu'un homme sur la machine, si toutefois les règlements de police ne s'y opposent pas; car il est à remarquer que, du moment où on dispose la chaudière pour n'avoir pas besoin de soins pendant le parcours, la locomotive à vapeur ne présente aucune infériorité, sous ce rapport, relativement aux machines à air comprimé ou à eau chaude. Si au contraire l'Administration exige la présence de deux agents par simple mesure de prudence, cette mesure doit être aussi bien appliquée aux autres moteurs. Mais le point capital est dans les dépenses d'entretien et de réparation. C'est là qu'il y a la plus grande attention à apporter; il est positif que, si certaines tractions par la vapeur n'ont pas donné de bons résultats au point de vue économique, c'est parce que l'usure des machines était considérable et les dépenses d'entretien beaucoup trop élevées.

L'auteur vient de passer en revue tous les systèmes de traction essayés sérieusement jusqu'ici. On s'attend peut-être à ce qu'il donne une conclusion formelle en faveur de l'un d'eux. Quelles que soient ses sympathies personnelles, il estime qu'il n'y a pas lieu de le faire. Les systèmes décrits présentent tous des éléments de supériorité et d'infériorité, dont l'importance relative

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

varie suivant des circonstances difficiles à formuler d'avance. Il est donc probable que chacun d'eux, même la traction par chevaux, conservera l'avantage dans les cas particuliers pour lesquels il constituera la solution la plus convenable et surtout la plus économique. (Applaudissements.)

M. Tresca. Messieurs, je vous demande la permission d'intervenir pour plusieurs motifs; et le premier de ces motifs c'est que, quand une séance a duré deux heures, il ne faut pas qu'elle se prolonge beaucoup; je n'ai donc pas l'intention de la prolonger, mais je voudrais cependant représenter à M. Mékarski et à M. Francq, qui doivent avoir le désir de donner des explications contradictoires par rapport à celles qui ont été présentées par M. Mallet, je voudrais leur offrir la facilité de vous montrer tous leurs travaux, et trouver aussi le moyen de remettre la discussion à un peu plus tard. Sans aucun doute, les efforts considérables qui ont été faits par M. Mékarski appellent toute votre attention et je dirai tout votre respect technique; mais il me semble que nous en saurions encore davantage, si M. Mékarski voulait nous donner un jour pour visiter ses ateliers. D'un autre côté, M. Francq aurait bien le temps de nous donner toutes les explications qu'il désirerait s'il voulait, un jour prochain, organiser pour le Congrès une visite spéciale à sa belle installation de Port-Marly. Il me semblerait que, sous cette forme, nous ne serions pas privés des explications très intéressantes qu'ils nous donneraient l'un et l'autre lorsque nous aurions l'avantage d'aller visiter les travaux. Nous fixerions ensuite une date à laquelle les explications seraient continuées, et elles n'en deviendraient que beaucoup plus fructueuses. Seulement, pour oser vous proposer cette solution, il faut qu'il soit bien entendu que le rapport de M. Mallet ne doit être considéré que comme une opinion personnelle du rapporteur et que toute porte reste ouverte pour discuter contradictoirement les indications qui ont été données par lui. Je demanderai donc à MM. Mékarski et Francq s'ils veulent bien nous permettre de terminer la séance sur ces indications.

M. Mékarski. Je n'ai qu'à accepter avec reconnaissance la proposition de M. Tresca; je serais heureux que les personnes qui assistent à cette séance puissent choisir un jour pour visiter le dépôt que nous avons installé à Saint-Ouen, près de l'usine Farcot. Je me tiendrai, si vous voulez désigner le jour, à la disposition des visiteurs, et j'espère pouvoir leur donner, sur place, toutes les explications qu'ils désireront, plus clairement que je ne pourrais le faire ici, en l'absence de dessins.

M. Tresca. Voulez-vous permettre que nous ne décidions rien aujourd'hui à cet égard? Nous prendrons jour ultérieurement de manière à satisfaire les convenances de chacun. (Approbation.)

M. le Président. Je me permettrai encore une fois de vous remercier, Messieurs, de l'honneur qui m'a été conféré par l'assemblée, qui m'a rendu si faciles les fonctions de président.

La séance est levée à midi vingt minutes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SÉANCE DU SAMEDI 10 AOÛT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. RICHARD,

ANCIEN PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS.

Ordre du jour : 6e SECTION. — NAVIGATION FLUVIALE ET MARITIME.

SOMMAIRE. — COMMUNICATIONS ENTRE LA FRANCE ET L'ANGLETERRE À TRAVERS LE PAS-DE-CALAIS, mémoire de M. Abernethy. — Observations de M. H. Tyler. — Note de M. James Brunlees sur les FONDATIONS EN LIT DE RIVIÈRE ET AU BORD DE LA MER, présentée par M. Bergeron. — TOUAGE SUR CHAINE NOYÉE, mémoire de M. Imbert. — Communication de M. Détraux. — Communication de M. Bertin sur les LOIS DU TANGAGE ET DU ROULIS À LA MER.

La séance est ouverte à dix heures un quart.

M. RICHARD occupe le fauteuil de la présidence.

Il a pour assesseurs : MM. BRUNLEES, le capitaine TYLER, vice-présidents, BERGERON, et MARCHÉ, secrétaire.

M. LE PRÉSIDENT. Messieurs, je dois à l'absence de M. Tresca l'honneur de présider provisoirement cette séance. Je prends sa place momentanément pour ne pas retarder vos travaux et j'ouvre la séance.

La parole est à M. le capitaine Tyler pour la lecture d'une Note de M. ABERNETHY sur les communications entre l'Angleterre et la France.

MÉMOIRE

SUR LES COMMUNICATIONS ENTRE LA FRANCE ET L'ANGLETERRE À TRAVERS LE PAS-DE-CALAIS,

PAR M. ABERNETHY.

M. H. TYLER, *lisant :*

Il est un fait remarquable, que, tandis que les communications comparativement insignifiantes entre la Grande-Bretagne et l'Irlande ont été améliorées depuis plusieurs années par la construction de bateaux à vapeur vastes et rapides avec des ports à bassins profonds, disposés sur chaque côte pour les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

recevoir, un trafic plus important et qui augmente continuellement en voyageurs et en marchandises, celui entre l'Angleterre et la France, est resté jusqu'à présent dans les mêmes conditions. Le service est fait par des bateaux à vapeur comparativement petits, les ports sont mal organisés, et il en résulte beaucoup de dérangements et d'incommodités personnelles pour les voyageurs. Les marchandises transportées entre l'Angleterre et la France sont assujetties à beaucoup de dommages et à une grande perte de temps par suite du transbordement de ces marchandises, qui sont en grande partie des produits fragiles.

Des améliorations dans les moyens de communication entre la France et l'Angleterre sont d'une nécessité présente; à la seule exception des essais des bateaux à vapeur doubles *le Castalea* et *le Calais-Douvres*, il n'a rien été fait dans cet ordre d'idées qui puisse être utilement décrit.

Depuis plusieurs années trois projets d'amélioration ont été proposés: premièrement la construction d'un tunnel sous le lit de la Manche; secondement l'érection d'un pont; et troisièmement la construction de bateaux à vapeur beaucoup plus grands que ceux employés jusqu'alors, avec des ports à bassins profonds pour leur accommodement sur chacune des côtes.

Je ferai remarquer brièvement, en ce qui concerne l'érection d'un pont, que si ce projet n'est pas impraticable au point de vue de l'art de l'ingénieur, il l'est certainement au point de vue financier et qu'on n'en peut pas parler sérieusement.

Quant au projet d'un tunnel sous-marin, en admettant qu'il n'y aurait pas de difficultés insurmontables à son exécution, il faut reconnaître que la dépense serait si considérable qu'on ne pourrait songer à l'entreprendre sans l'intervention, sous une forme ou sous une autre, des Gouvernements des deux pays.

Lors même d'ailleurs que ce tunnel serait construit, il y aurait toujours intérêt à ce que des améliorations soient apportées au service des communications maritimes, car le plus grand nombre des voyageurs préférera toujours, pendant les beaux temps, faire le voyage dans un bateau à vapeur aménagé comme je le propose, au lieu de traverser la Manche dans un tunnel d'une longueur de 48 kilomètres.

J'arrive donc de suite au troisième projet qui, au point de vue scientifique et financier, est très praticable, et je donnerai d'abord la description des traits caractéristiques de ce projet, sur lequel mes études se sont portées depuis plusieurs années, concurremment avec d'autres ingénieurs, et avec l'aide et les avis de marins et de commerçants distingués de France et d'Angleterre.

Dès l'année 1865, l'éminent ingénieur M. John Fowler, ancien président de l'Institution des *Civil Engineers* de Londres, donna son attention à ce sujet et, à cette époque, étudia soigneusement lui-même les côtes des deux pays, avec l'intention de choisir la meilleure position pour la construction nécessaire de ports avec bassins profonds; et il poursuivait encore ce projet en 1868, lorsque je suis devenu son collaborateur comme ingénieur en chef, avec M. Wilson, membre de l'Institution des *Civil Engineers*, comme ingénieur résidant.

Nous avons de nouveau étudié ensemble toute la ligne des côtes, entre Calais et Boulogne, avec l'intention de choisir la meilleure situation pour un port ca-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pable de recevoir de grands bateaux à vapeur à toutes les marées, sous tous les vents et par tous les temps. Nos investigations attentives se terminèrent par un projet définitif que je vais décrire au point de vue maritime, commercial et de l'art de l'ingénieur.

Pour ce qui est de l'Angleterre, tout ce qui est nécessaire à un port naturel existe à Douvres, et une partie considérable des travaux indispensables y sont déjà exécutés; notre attention fut donc dirigée plus spécialement sur la côte française.

On remarquera, en se reportant à la carte générale de la Manche, qu'au nord de Calais la côte consiste, sur une grande longueur, en dépôts de sable et de nombreuses dunes facilement affectées par les courants du littoral, qui ont en dernier lieu défini la présente ligne normale des basses eaux, au delà de laquelle généralement il existe à intervalles, du côté de la mer, des bas-fonds qui produisent un arrêt ou détour des courants du littoral, et l'avancement des jetées où d'autres travaux, à angle droit, sur le rivage antérieur, produisent une accumulation de sables et d'écueils vers la mer; cela se trouve abondamment confirmé par les nombreux cas de ports existant sur les côtes de la Grande-Bretagne ou ailleurs.

A la partie la plus étroite de la Manche, entre le cap Gris-Nez et Douvres, les bancs de sable cessent, et les courants du littoral roulent avec une force considérable tout près de la côte; conséquemment l'eau profonde existe à peu de distance de la ligne des basses eaux. Au sud du cap Gris-Nez, la côte du cap Alprech est encore enfermée; les courants près de la ligne des basses eaux sont faibles, et une accumulation de sable existe de même que du côté nord du cap Gris-Nez.

Considérant ces faits naturels et nous appuyant sur ce que le cap Gris-Nez est, sur la côte française, l'endroit le plus rapproché de Douvres, qu'il possède un phare de premier ordre très élevé, qui guide la navigation entre ces deux points de la Manche, et qu'il est entièrement dégagé des bancs de sable qui existent dans le voisinage de la côte, au nord et au sud, nous nous sommes décidés, après de mûres réflexions, à choisir *Audresselles* comme l'endroit le plus favorable pour établir un port avec bassins profonds, abrité, sur une étendue considérable, de l'action nord et nord-est de la mer, par le cap Gris-Nez, reliant le port avec la principale ligne de chemin de fer entre Calais et Boulogne, par une ligne de raccordement de 5 kilomètres environ; et nous étions d'opinion, en considérant principalement les intérêts de ces deux villes au point de vue des bains de mer, que l'avantage d'un passage régulier et court entre Douvres et Audresselles amènerait une telle augmentation de voyageurs qui s'arrêteraient dans chacun de ces endroits, qu'il y aurait plus que compensation à la perte de trafic dont la plus grande partie traverse seulement en transit, en allant et en venant, des divers centres commerçants du continent.

A Audresselles, l'eau profonde existe près de la côte; à 200 mètres de la ligne des basses eaux, il y a une profondeur de $4^m,60$; le rivage est libre de sables et couvert d'énormes masses de pierre calcaire, détachées des rochers escarpés qui l'environnent par l'action corrosive de la mer; ces matériaux

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

offrent ainsi une grande facilité pour la construction des travaux de protection qui sont nécessaires et qui consisteront : premièrement, en un brise-lames vers la mer ou contre le vent, s'étendant dans la direction nord-ouest, à une distance de 750 mètres; secondement, en une station maritime à l'extrémité vers la terre, pour la réception des bateaux à vapeur, qui, en détail, sont, sous tous les rapports, semblables à ceux qui ont été proposés à Douvres, et que je décrirai plus complètement dans ce qui va suivre; troisièmement, en un brise-lames vers la terre ou exposé au vent du premier ouvrage mentionné, s'étendant dans direction de l'ouest, à une distance de 680 mètres.

Ces ouvrages renfermeraient un espace d'eau de 52 hectares 50 ares, la profondeur des basses eaux à la ligne d'approche de la station maritime étant de $11^{m},30$ à l'entrée et $4^{m},90$ à quai; toute cette surface est complètement abritée du sud au nord-est, et à l'est par le cap Gris-Nez.

Un tel port serait alors accessible à un grand nombre de navires sous toutes les conditions de vent ou de temps, aidés, la nuit, par le phare brillant du cap Gris-Nez, joint à des feux de direction ou de guide déterminant la ligne exacte d'entrée à la station et aux quais d'amarrage dans l'intérieur du port.

A Douvres, l'eau profonde existe près de la côte, et un abri considérable est fourni par le brise-lames existant, qui est connu sous le nom de l'*Admiralty pier;* mais, pour compléter la protection, on se propose de construire, vers le nord, une jetée de 1,100 mètres en addition à ce qui existe, et abritant un enclos d'une superficie d'eau de 36 hectares 50 ares; la profondeur à l'entrée étant de 12 mètres aux basses eaux des grandes marées d'été et se réduisant à 5 mètres aux quais d'amarrage de la station proposée.

Comme les navires à vapeur qu'on se propose d'employer pour le service doivent être très grands, il serait préférable de créer, à part, un port spécial disposé pour leur accommodement, de telle sorte que le service ne soit pas dérangé par le passage des autres vaisseaux ou des barques de pêcheurs.

Le port d'Audresselles est entièrement destiné au service des paquebots à vapeur, et, à Douvres, des arrangements spéciaux, indépendants et semblables, sont proposés, quoique ce port soit peu fréquenté par les bateaux pêcheurs, mais principalement adopté pour le service des paquebots de la Manche.

Quant à la situation de Douvres, qui est, sous tous les rapports, semblable à celle d'Audresselles, une seule description suffira pour les deux.

En premier lieu, on propose que les trains entrent directement dans la station où les navires doivent être amarrés et solidement arrêtés dans les docks construits spécialement pour leur réception à l'abri du toit de la station, afin que les trains puissent être passés sur le pont principal des bateaux. A cet effet, le train en gare s'engage sur un élévateur hydraulique de façon à être soulevé ou abaissé au niveau désiré, en rapport avec l'état de la marée et le niveau correspondant du pont des bateaux; de cette manière, les voyageurs sortiraient du train et trouveraient un grand confortable à bord des navires, qui peuvent eux-mêmes être regardés comme des stations, avec toutes les accommodations et accessoires désirés, tels que : buffets, cabines privées, etc., bureau de douane; de telle sorte que le service des droits peut être effectué durant la traversée, épargnant tous les ennuis et le retard qui sont la conséquence du système

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

actuel d'inspection. Par cet arrangement, en ce qui regarde les voyageurs, l'inconvénient présent de quitter le train à chaque port sans abri, réuni aux inconvénients du transport de leurs accessoires et bagages, du train au bateau, est entièrement évité; la traversée de la Manche étant alors simplement un fait équivalant au retard d'une heure dans une gare de première classe et qui renfermerait toutes les commodités nécessaires possibles.

En addition au trafic des marchandises, et avant l'arrivée du train de voyageurs, des wagons chargés seront passés sur le pont inférieur ou de cale des navires, par des élévateurs hydrauliques disposés sur les bateaux, qui soulèveront ou abaisseront les wagons sur ou du pont supérieur, en ayant égard aux dimensions des vaisseaux que je vais maintenant décrire.

Les trains de voyageurs et de marchandises formeraient simplement le lest nécessaire pour assurer la stabilité du vaisseau.

Dans les stations, les bateaux à vapeur attachés dans les docks sont projetés pour $137^{m},25$ de longueur, $17^{m},40$ de largeur par le travers, et 26 mètres à l'extérieur des tambours des roues, jaugeant 6,000 tonneaux avec des machines de 12,000 chevaux-vapeur indiqués, ou 1,600 chevaux nominaux, avec un tirant d'eau de $3^{m},66$; ces vaisseaux étant semblables aux deux bouts, ils sont munis, à chaque extrémité, d'un gouvernail embrayé avec l'arbre des roues de façon à renverser la rotation de l'une ou l'autre des roues, et à permettre ainsi au bateau de tourner rapidement; ces vaisseaux sont calculés pour obtenir une vitesse de 23 milles anglais par heure, de telle sorte que la traversée entre Andresselles et Douvres ne prendrait que cette courte période de temps.

Le plus haut pont fournirait une promenade continue de toute la longueur de ces grands vaisseaux, ayant, au centre, des salons de $29^{m},30$ en longueur et 7 mètres en largeur pour abriter les passagers, et cela en addition aux diverses salles à manger contiguës sous le pont, si bien que cela peut être considéré comme le sol d'une grande station. L'opinion des plus éminents constructeurs de navires et commandants de marine de grande expérience, particulièrement dans la navigation de la Manche, est que de tels vaisseaux seraient peu affectés par les plus fortes vagues qui sont petites, comparées à celles de l'Atlantique, affermis qu'ils seraient d'ailleurs par les trains qui serviraient comme lest, pesant au plus 1/20 du tonnage actuel du vaisseau, et placés de façon à lui assurer la plus grande stabilité.

Avec ces arrangements, l'opinion des autorités les plus compétentes est que le voyage entre Paris et Londres pourrait être facilement accompli en huit heures, et supprimerait presque, sinon entièrement, les ennuis inhérents aux moyens employés aujourd'hui.

En ce qui a rapport au trafic, les marchandises ne seraient pas déchargées des wagons pour les transporter en masses d'Angleterre à toutes les parties du continent; il y aurait alors une énorme économie pour les deux cas, tant en argent qu'en temps, ce qui assurerait le succès financier de l'entreprise sur laquelle je vais maintenant présenter quelques remarques.

Des devis, faits avec soin, du prix des travaux nécessaires à l'établissement de ports sur les deux côtes, furent préparés conjointement par M. J. Fowler, M. W. Wilson et moi, en 1872.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis cette époque, un nouveau moyen de construction des jetées a été découvert, qui permet de les établir sans risques, étant capables de supporter les mers les plus fortes; ce système a été employé avec un succès complet, et à un prix comparativement modéré, sur la côte est d'Écosse, qui est exposée aux plus hautes marées de l'Océan.

Je considère que les estimations de 1872 sont alors comme un maximum du capital nécessaire.

Les travaux nécessités à Douvres, à cette époque, furent estimés à la somme de	22,250,000f
Ceux à Audresselles	17,500,000
Et les vaisseaux à vapeur	12,500,000
FAISANT UN TOTAL DE	52,250,000

Lequel, pour fournir un revenu net de 5 p. o/o, demanderait un produit annuel de 2,612,500 francs.

Des estimations des frais d'exploitation, considérées avec soin, furent préparées à ce moment sur la base suivante :

Que ces grands navires, capables d'accommoder 1,000 voyageurs et de transporter une moyenne de 100 tonnes de marchandises par chaque traversée, feraient chaque jour deux voyages, ce qui équivaudrait à 400 tonnes par jour; les frais d'exploitation sont estimés comme suit :

Chevaux-vapeur indiqués = 12,000. Quantité de charbon consommée par heure et par force de cheval indiqué, d'après les calculs de M. Penn = 1^k,133, soit 12,000 × 1,133 = 13,596, ou en chevaux-vapeur nominaux 1,600 × 8^k,498 = 13,596, soit	13,596 kilogr.
Le rapport du cheval indiqué au cheval nominal étant comme 7,5 est à 1.	
A ajouter pour allumage, entretien des feux dans le port, 80 fourneaux à 112^k,500	9,000
TOTAL	22,596

Soit 23 tonnes de charbon consommées pour chaque traversée ou une tonne par mille anglais.

CONSOMMATION ANNUELLE.

CHARBON.

365 jours à deux traversées par voyage = 1,460 voyages par année; 1,460 traversées à 23 tonnes = 33,580 tonnes à 25 francs	839,500f

ÉQUIPAGE.

Un capitaine à 15,000 francs	15,000f	
Deux chefs officiers à 7,500 francs	15,000	
Deux seconds à 5,000 francs	10,000	
Deux quartiers-maîtres à 3,750 francs	7,500	97,160f
Deux charpentiers à 2,730 francs	5,460	
Trente matelots à 1,300 francs	39,000	
Quatre mousses de pont à 650 francs	2,600	
Quatre mousses de cabine à 650 francs	2,600	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MACHINES.

Un mécanicien principal à 7,500 francs.....	7,500f	
Deux premiers maîtres mécaniciens à 5,000 francs	10,000	
Deux seconds maîtres mécaniciens à 2,730 francs .	5,460	83,735f
Trente chauffeurs à 1,950 francs	58,500	
Un magasinier à 2,275 francs.....	2,275	
Huiles, suifs, chiffons, émeri, etc.....		42,125

ESTIMATION DES DÉPENSES D'EXPLOITATION.

Éclairage et exploitation à Douvres.....	250,000f	
Exploitation à Audresselles.....	150,000	
Usure, amortissement, assurance des bateaux....	825,000	1,475,000
Administration générale.....	250,000	
Dépense totale annuelle.....		2,537,520

REVENU.

Dans l'année 1872, les recettes brutes, basées sur les rapports fournis par les diverses compagnies de chemins de fer et autres autorités, furent évaluées à *5,275,000 francs*, de laquelle somme, déduisant les frais d'exploitation, il reste un revenu net de *2,737,480 francs*, c'est-à-dire plus de 5 p. o/o du capital nécessaire, et cela à des prix réduits, si l'on a égard aux facilités de transport des marchandises et passagers.

Depuis cette époque, il y a six ans, le trafic a considérablement augmenté, et de nouvelles lignes de chemins de fer ont été ouvertes, particulièrement sur la côte française.

Il y a donc toute raison pour croire qu'il en résulterait immédiatement un pourcentage plus fort en proportion du capital engagé, et, sans aucun doute, une grande augmentation se produirait au delà de cette somme après que l'achèvement des améliorations de communication serait complété. L'estimation des frais, pour construire ces grands navires, a été comparée avec soin à ceux de la construction d'un nombre de plus petits bateaux nécessaires pour l'accommodement du trafic; et l'opinion d'hommes compétents est que les dimensions de ces grands vaisseaux sont capables de satisfaire à tout le trafic qui pourrait être réparti sur un grand nombre de plus petits vaisseaux qui, quant aux marchandises, nécessitent une grande dépense de manipulation et de chargement; tous les frais réunis de grands navires ne dépasseraient certainement pas les dépenses du service actuel.

En 1872, une requête au Parlement britannique fut présentée au sujet des mesures à prendre en ce qui concerne l'Angleterre; elle fut prise en considération et approuvée par la Chambre des communes, après de longues et minutieuses recherches pour comparer ses avantages avec le service qui existait alors sur la Manche; mais la requête devant la Chambre des lords fut accidentellement renvoyée, en conséquence de l'influence de diverses compagnies de chemins de fer dont les intérêts, ainsi que ceux des ports rivaux en France, regardaient la construction du nouveau port proposé à Audresselles comme préjudiciable;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

néanmoins, la plus grande partie des hommes pratiques qui connaissent bien le sujet, en Angleterre du moins, sont arrivés à la conclusion qu'un projet possédant les caractères généraux de celui qui est proposé maintenant est la seule solution pratique du problème de l'amélioration de l'état de choses qui existe et qui, dans l'opinion publique, donne tout le crédit dans la science des ingénieurs et de la marine, ou les applications du commerce dans chacun des pays.

Comme il peut être intéressant, pour les ingénieurs actuels, de connaître le mode de construction des jetées dont il a été parlé, je vais brièvement décrire les moyens employés.

Les travaux de cette nature, établis sur les côtes de la Grande-Bretagne, consistent généralement en une base de pierres perdues, atteignant une hauteur de 4 mètres au-dessous du niveau des basses eaux, sur laquelle est élevée une maçonnerie verticale; et l'on assure que l'action de la mer n'attaque pas une levée ainsi construite. Mais l'expérience a démontré qu'il n'en était pas ainsi pour les fortes vagues de l'océan Atlantique et de la mer du Nord, car la superposition est la conséquence de soulèvements qui entraînent à une destruction, si peu probable qu'elle soit. Dans ces circonstances, un mode différent de construction devenant nécessaire, il fut procédé comme suit:

Premièrement, des sacs de béton liquide, contenant chacun de 50 à 100 tonnes, furent placés dans des bateaux construits spécialement pour les recevoir, avec des fonds mobiles d'où l'on faisait tomber les sacs dans la mer sur l'emplacement des fondations; et par leur flexibilité, en s'entassant les uns contre les autres, ils formaient, en se consolidant, une masse parfaitement solide et homogène.

Ici je dois bien faire l'observation que j'ai vu moi-même le grand succès de ce système.

Sur cette sorte de construction, qui fut établie presque jusqu'au niveau des basses eaux, le béton fut déposé en masse dans la forme de la section adoptée pour les travaux.

Le résultat a été la formation d'un rempart solide, égal en dureté aux rocs de granit environnants, sur lesquels les plus fortes mers n'ont pas eu d'effets appréciables.

Le béton était composé d'une partie du meilleur ciment de Portland et de sept parties de galets, gravier et sable; de là une économie de matériaux et, comparativement, peu d'étayements ont été nécessaires; de même que les risques des grosses tempêtes, avec les conséquences de destruction qui entraînent à des délais et des frais d'ouvriers, furent presque entièrement évités.

Je ferai remarquer, en terminant, que la proposition de construire un port à Audresselles est faite aussi bien au point de vue de l'art de l'ingénieur qu'au point de vue maritime.

Si, par suite d'autres considérations, on était conduit à ne faire qu'améliorer les ports existants ou à construire des ports nouveaux dans leur voisinage, il est important en tout cas de bien conserver l'action des courants littoraux et l'action de la marée afin de ne pas causer des obstructions qui pourraient neutraliser l'effet des travaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. H. Tyler. Je viens de vous exposer les idées de mon ami M. Abernethy. Permettez-moi d'ajouter que j'ai longtemps étudié cette question et que je suis intervenu comme président de la Commission anglaise, au nom de mon Gouvernement, dans l'examen du projet du tunnel sous-marin. Je crains qu'il ne s'écoule un assez long temps avant que ce tunnel ne soit sérieusement commencé, un temps plus long encore avant que la construction en soit terminée.

Je voudrais donc profiter de cette occasion, parlant au nom des voyageurs qui ont, pendant tant d'années et même tant de générations, sacrifié à l'autel de Neptune leur déjeuner, leur souper et leur santé, pour demander au Gouvernement français de faire construire de meilleurs ports sur les côtes de la belle France. (Rires et applaudissements.)

C'est là tout ce que nous demandons; nous Anglais, nous sommes toujours prêts, dès que nous voyons un bon port français, à fournir des bateaux à vapeur confortables et à les mettre à la disposition des voyageurs de toutes les nations. (Applaudissements.)

M. le Président. Vous venez d'entendre, Messieurs, les observations que vous a présentées l'honorable sir H. W. Tyler. Il est évident que l'avenir seul prononcera entre le projet de tunnel et la disposition qui vient d'être soumise à votre appréciation. Ce dernier projet serait exécuté bien plus rapidement. Nous ne pouvons, en tous cas, que rendre hommage aux études complètes, aux grands travaux que vous connaissez, et qui sont entrepris à la fois par des ingénieurs anglais et des ingénieurs français. (Approbation.)

Si la discussion est terminée sur ce sujet, Messieurs, il se présente, comme accessoire, une communication qui doit nous être faite par M. Brunlees, vice-président de l'Institution des ingénieurs civils de Londres et membre de la Société royale d'Édimbourg.

Je donne la parole à M. Bergeron, qui a bien voulu faire la traduction de ce travail et qui va présenter au Congrès, au nom de M. Brunlees, cette communication d'ailleurs très brève.

M. Bergeron. Messieurs, M. Brunlees, vice-président de l'Institution des ingénieurs civils d'Angleterre, qui siège au bureau, a écrit un Mémoire sur un procédé qu'il a employé pour la fondation d'ouvrages au moyen de pieux en fonte. J'ai pris sur moi de traduire ce travail afin de pouvoir mieux le porter à votre connaissance.

NOTE

SUR LES FONDATIONS EN LIT DE RIVIÈRE ET AU BORD DE LA MER,

PAR M. JAMES BRUNLEES,

VICE-PRÉSIDENT DE L'INSTITUTION DES INGÉNIEURS CIVILS D'ANGLETERRE,
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE D'ÉDIMBOURG.

L'auteur se propose de porter à la connaissance de ses collègues, ingénieurs du continent, sous forme de remarques de peu d'étendue, une méthode pour enfoncer des pieux dans des terrains de formation sablonneuse, au moyen d'une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pression hydraulique, méthode dont il a fait usage depuis plusieurs années et qu'en raison de sa simplicité et de son économie il juge digne d'être appliquée sur le continent où, comme il le suppose, elle n'aurait pas encore été essayée jusqu'à présent.

Il fera remarquer en même temps que le principe peut être appliqué à l'enlèvement des sables qui forment des barrages à l'embouchure des rivières, et, dès l'année 1865, il a fait les projets d'une machine qui devait fonctionner dans ce but. Il est heureux de faire remarquer que, depuis quelques années, M. Charles Bergeron s'occupe avec la plus grande attention de cet important problème. Le principe sur lequel il s'appuie est le même, mais ses moyens d'application sont différents de ceux imaginés par l'auteur.

Voici la machine que M. Brunlees avait proposée pour enlever les sables qui se trouvent dans le lit des rivières: il y avait sur un ponton quatre tubes dans lesquels il faisait entrer de l'eau à une très forte pression; en faisant passer le ponton sur le fond des rivières, il projetait de l'eau sur le sable qu'elle soulevait, et au moment où le courant commençait à descendre, le sable était emporté.

La différence qu'il y a entre cette machine et celle que j'ai inventée, c'est que la mienne est un appareil fixe; celle de M. Brunlees est mobile, c'est une espèce de drague.

En 1854, l'auteur était ingénieur d'une ligne de chemin de fer qui devait traverser la baie de Morcombe dans le nord de l'Angleterre, où, en sus d'une digue à la mer de 8 mètres de long, il a fallu construire des viaducs traversant l'embouchure des deux rivières de Kent et de Leven, ayant chacun 1,500 pieds (450 mètres) de long; et c'est pendant qu'il en faisait l'étude que l'idée lui est venue d'essayer le système dont il est ici question.

La couche géologique du sol à l'embouchure de ces rivières se compose de débris de roches calcaires, de coquillages en poudre et de mollusques vivants, sur une épaisseur qui varie de 7 à 9 pieds (2^m,10 à 2^m,70). Au-dessous de ces dépôts, se trouve une couche d'une formation beaucoup plus ancienne où les coquillages sont en partie décomposés et où le terrain prend un aspect marneux. La décomposition s'accroît avec la profondeur et, de 50 à 60 pieds (15 à 18 mètres) au-dessous de la surface du sol, la sonde a amené du sable aussi fin que de la poussière.

Quand ce sable est sec, il est soulevé par le vent, et quand il est mouillé, il forme des bancs de sables mouvants. L'épaisseur de cette couche n'a pas été mesurée; des sondages suffisamment nombreux et profonds furent néanmoins opérés et permirent de reconnaître qu'il n'était pas nécessaire de descendre plus profondément pour asseoir une bonne fondation.

Sur la couche de sable, à l'abri de l'action de la marée et du courant des rivières, on a pu faire reposer la fondation des viaducs. On se livra d'abord à une série d'expériences dans le but de déterminer les dimensions et la forme des pieux les plus convenables pour une fondation permanente. Le résultat moyen de ces expériences a démontré que la résistance du sable à la compression était égale à 5 tonnes par pied carré, et comme chaque pieu devait avoir à supporter une charge d'environ 20 tonnes, on résolut de mettre à la base de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chaque pieu un disque de 2 pieds 6 pouces de diamètre, présentant ainsi une surface de 4 pieds 86e carrés à la base du pieu.

Le problème à résoudre consistait à trouver un moyen d'enfoncer ces pieux dans le sable, et, à la suite de beaucoup de réflexions, l'auteur a adopté un système qui a été appliqué avec le plus grand succès et qu'il a eu occasion d'employer plus tard à des travaux du même genre, avec non moins de succès. Le travail devant être exécuté dans une anse exposée au courant de la marée, il fallait s'établir sur des chevalets ou sur des pontons. Plusieurs tentatives eurent lieu pour s'échafauder sur le fond, mais sans résultat; par suite de la nature mobile du sol, il fallut recourir à l'emploi des pontons, qui fut définitivement adopté.

Chaque ponton contenait une petite machine à vapeur de 2 chevaux de force, une pompe foulante et une sonnette ordinaire dont on se sert pour enfoncer des pieux.

A la marée basse, on amenait, au moyen de cordes attachées à des ancres, les pontons contre la jetée et, quoiqu'on ait eu quelques embarras à les maintenir en place, en raison de la force des courants, on est cependant parvenu à les utiliser avec une facilité relativement convenable.

Le pieu en fonte creuse ayant été mis en position et attaché par des cordes au sommet de la poutre glissière de la sonnette, il était guidé dans le bas par une embrasse fixée sur le côté du bateau. Un tuyau en fer de 2 pouces (5 centimètres) de diamètre passait dans l'intérieur du pieu sur toute sa longueur et traversait le disque de la base par un trou ménagé à cet effet au milieu. Le haut de ce petit tuyau était mis en communication par un tube flexible avec la pompe foulante. Un jet d'eau était projeté dans l'intérieur du petit tuyau et allait désagréger et soulever le sable qui était au-dessous; le pieu descendait alors avec une très grande facilité. On a observé que plus la couche de terrain devenait compacte, plus le pieu éprouvait de résistance à descendre. Pour y remédier, on fit venir de fonte des nervures avec tranchants à la surface inférieure du disque.

En soumettant le pieu à des mouvements alternatifs de rotation, le sous-sol se trouvait désagrégé et les parcelles qui en provenaient étaient facilement entraînées par l'eau de la pompe. Les pieux ont été généralement enfoncés à une profondeur de 20 pieds (6 mètres) au-dessous de la basse mer, et, sur chaque ponton, on a pu enfoncer deux pieux dans la durée d'une marée basse. Une demi-heure après l'opération, le sable venait s'accumuler à l'entour du pieu et le maintenait en position. A la marée suivante, il s'élevait à son premier niveau et le pieu se trouvait fixé d'une manière invariable.

L'opération était bien simplifiée en suspendant le pieu au moyen de chaînes, le long de la glissière de la sonnette, et en le maintenant un peu soulevé au-dessus du fond. Sans cette précaution, les pieux s'enfonçaient d'une manière inégale ; ils descendaient quelquefois si avant dans le sable, que le tuyau agitateur se bouchait et la pompe n'avait plus d'effet.

Pour consolider la couche de sable sur laquelle devait reposer le pieu, on frappait celui-ci de quelques coups secs d'un mouton très lourd qui le faisaient descendre de 2 pouces (5 centimètres).

On n'éprouva pas de difficulté pour arracher un de ces pieux quand cela était

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nécessaire. En y refoulant de nouveau de l'eau, le sable devenait fluide et le pieu était facilement retiré.

Un certain nombre de pieux en bois, formés par l'assemblage de pièces de bois de 1 4 pouces (35 centimètres) carrés, ont été également enfoncés par ce procédé. Le pieu se terminait par un sabot en fonte de 2 pieds 6 pouces (75 centimètres) de diamètre, et le tuyau de la pompe, appliqué le long et sur le côté du pieu en bois, traversait ensuite le disque de fonte qu'on avait percé.

M. Stecklin, ingénieur en chef, m'a dit avoir essayé ce procédé à Calais; il a été très étonné de remarquer que la facilité que présentait ce mode d'enfoncement des pieux réalisait une économie considérable sur les prix prévus. Ainsi, pour le montant des travaux qui ont été entrepris à Calais, une somme de 360,000 francs évaluée pour les pieux; M. Stecklin m'a dit que, tout calculé, le travail ne coûterait pas plus de 30,000 à 40,000 francs.

Plus de 600 pieux servant à la fondation des deux viaducs ont été enfoncés avec une dépense de 2 sh. 6 d. (3 fr. 10 cent.) par pied courant (10 fr. 30 cent. par mètre).

En 1860, l'auteur eut à construire à Southport, dans le Lancashire, une jetée d'environ un mille (1,600 mètres) de long, et, dans ce cas également, les pieux furent enfoncés par le moyen de jets d'eau.

On ne fit cependant pas usage de pontons, parce que la plage de sable se trouvait à sec à la marée basse sur presque toute la longueur de la jetée, et une modification importante fut faite au système employé à la baie de Moncombe par l'emploi de l'eau à une pression de 50 livres par pouce (plus de 3 atmosphères 1/2), prise dans la conduite d'alimentation de la ville, au lieu d'eau refoulée par une pompe et une machine à vapeur.

Un tuyau provisoire, partant de la conduite principale et qui s'allongeait à proportion de l'avancement des travaux, servait à amener l'eau destinée à l'enfoncement des pieux. L'économie résultant de cette modification a été si grande, que le prix de revient de l'enfoncement a été pour chaque pièce de 4 pence et demi (1 fr. 50 cent. par mètre courant) par pied linéaire.

L'auteur a reconnu par expérience que la méthode d'enfoncer les pieux qu'il vient de décrire renferme à un haut degré les éléments de simplicité et d'économie. Il la regarde comme particulièrement applicable aux constructions exposées à l'action des marées, où il est avantageux de faire usage de pieux ou de colonnes métalliques d'un petit diamètre présentant la moindre résistance aux effets des vents et des vagues. Il en arrive à cette conclusion, par suite de sa longue expérience dans des travaux en lit de rivière ou sur des plages de la mer, que, partout où il s'agit de fondations sur du sable, aucun moyen ne peut rivaliser avec celui de la pression d'eau, qui vient d'être décrit.

Là où se trouvent des dépôts d'alluvion, il a reconnu que les pieux à vis doivent être employés de préférence, et quand le sous-sol se compose de couches d'argile mélangées à des galets, il a fait usage avec succès de pieux en fonte avec un bout pointu ou taillé comme un trépan.

Son but a toujours été d'obtenir une base supportant directement ses constructions, et il préfère pour cela des assemblages groupés de pieux à vis ou à disques, à des cylindres de grandes dimensions, dans lesquels la résistance à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'enfoncement résulte, dans une grande proportion, de la surface de frottement qu'ils présentent.

Il regarde ces grands tubes comme éminemment applicables dans des circonstances où il faut se mettre à l'abri des affouillements, en les faisant descendre à des profondeurs de 70 à 100 pieds (21 à 30 mètres), comme cela s'est fait dans la traversée de quelques grandes rivières de l'Inde.

M. le Président. Personne n'ayant d'observations à présenter, je donne la parole à M. Imbert pour sa communication sur le touage sur chaîne noyée.

MÉMOIRE

SUR LE TOUAGE SUR CHAÎNE NOYÉE,

PAR M. IMBERT,

INGÉNIEUR À LA COMPAGNIE DU TOUAGE DE CONFLANS À LA MER.

I.

M. Imbert. Messieurs, depuis les temps les plus reculés, les hommes ont utilisé les cours d'eau comme voies de communication. Il était naturel que les bateaux dont ils se servaient descendissent d'abord le cours des fleuves par l'effet seul du courant; les difficultés commençaient quand les embarcations devaient revenir à leur point de départ, c'est-à-dire remonter le courant. Il n'y avait qu'un moyen de solution : employer la force de l'homme ou celle des animaux en halant ces bateaux de la rive, au moyen d'un long cordage, moyen encore employé de nos jours.

Ces embarcations s'aidaient d'une voile poussée par le vent, et cela quand le vent était favorable; ce qui ne pouvait avoir lieu toujours, à cause des sinuosités des cours d'eau.

Au siècle dernier même, les coches, halés par des chevaux ou des bœufs, servaient au transport des voyageurs. Les transports divers effectués de cette manière étaient longs, pénibles et, sans aucun doute, relativement coûteux : les basses eaux ou les crues devaient souvent présenter des obstacles insurmontables.

Si quelques essais furent tentés pour améliorer et surtout pour accélérer ce mode de transport, ils passèrent inaperçus et ne donnèrent lieu à aucun résultat que nous appellerions de nos jours *industriel*.

Quand vinrent les machines à vapeur, les Anglais n'eurent pas immédiatement la pensée de les appliquer à la propulsion des bateaux ou des navires.

Le Français Papin, comme tout le monde le sait, imagina un bateau à vapeur, commença même à le construire, mais les premiers essais mêmes ne purent avoir lieu (1704).

L'Américain Fulton, au commencement de ce siècle, conçut, s'il n'inventa pas, le premier bateau à vapeur; depuis, cet essor ne s'est point arrêté et, en cinquante ans environ, la marine à vapeur, tant fluviale que maritime surtout, a pu nous présenter les merveilles qui naviguent actuellement sur tous les fleuves du monde et sur les mers.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Laissons en dehors de notre cadre ce qui concerne la navigation à vapeur sur mer.

En considérant la navigation fluviale ou intérieure proprement dite, nous ferons cette remarque : depuis l'origine des bateaux à vapeur, on a amélioré la forme des bateaux suivant leur emploi ; on a modifié considérablement le premier type de machine motrice en s'attachant à le rendre moins encombrant, plus léger et surtout exigeant une dépense de combustible aussi réduite que possible ; les découvertes les plus récentes de la science (propriétés de la vapeur d'eau, équivalent mécanique de la chaleur, etc.) ont été mises à contribution pour atteindre ce desideratum, *l'économie du combustible*, dont le prix tendra à s'élever sans cesse.

Ceci nous amène à cette conclusion : que, dans l'état actuel de nos connaissances, la machine à vapeur, ou mieux l'utilisation aussi complète que possible du combustible, paraît être arrivée à sa dernière limite.

En ce qui concerne la coque du bateau à vapeur, le constructeur qui en met une en chantier y applique toutes les connaissances qu'il possède et ne néglige rien pour faire bien ; il lui est difficile de faire mieux.

Un troisième organe, en outre de la coque et du moteur, constitue un bateau à vapeur : c'est le propulseur.

Le premier propulseur employé fut la roue à aubes ou roue à palettes ; il y a plus de cinquante ans qu'on l'emploie, tel encore qu'on l'a imaginé et presque sans perfectionnement, si ce n'est celui des palettes articulées.

Le second genre de propulseur fut l'hélice, employé aujourd'hui, à la mer surtout, à l'exclusion des roues à palettes. Sur nos fleuves, nos rivières, nos lacs, nous employons concurremment les roues ou les hélices.

Comparativement aux progrès accomplis, tant pour la construction économique des coques (substitution du fer au bois) que pour les machines motrices (haute pression substituée à la basse pression), on peut avancer que les propulseurs sont restés dans l'état d'infériorité où ils étaient à leur origine.

Il serait peu juste de passer sous silence les travaux, les essais, les expériences si nombreuses, les perfectionnements de détails auxquels nombre d'ingénieurs ont attaché leur nom ; nous en tenons compte, mais nous devons reconnaître qu'aucun propulseur n'a été imaginé jusqu'à ce jour, qui puisse remplacer avec avantage, soit la roue à aubes, soit l'hélice.

Nous devons cependant citer les bateaux à grappins, portant une grande roue munie de grappins mordant sur le sol du lit de la rivière ; ils ont fonctionné sur le Rhône et la Loire ; certains fonctionnent encore aujourd'hui : genre de traction analogue à celui du frottement de roulement exercé par les roues d'une locomotive. Les grappins assurent l'adhérence sur le sol.

Le touage seul, jusqu'à ce jour, a atteint le but : une traction assurée sans perte appréciable. A proprement dire, le touage n'est pas un mode particulier de propulseur, mais un moyen de halage susceptible d'être appliqué avec avantage sur nos fleuves, dont la profondeur est peu considérable, cette profondeur ne dépassant pas, dans les localités où le touage est indispensable, ou tout au moins utile commercialement parlant : 5 à 6 mètres.

Le touage, en effet, nous semble impossible sur des lacs d'une grande pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fondeur, sur mer aussi, abstration faite de la mobilité des eaux, mobilité qui est par elle-même un obstacle invincible.

Quel que soit le genre de propulseur appliqué à un bateau à vapeur, on sait que ce propulseur ne fera pas avancer, même en eau morte, le bâtiment de la quantité dont ce propulseur aura ou tourné ou avancé lui-même en réalité ; de la mobilité même de l'eau, sur laquelle agit le propulseur, résulte une perte appelée le recul, aussi bien pour les roues à aubes que pour les hélices. Si, par exemple, les palettes des roues ont tourné d'un mètre, le bâtiment aurait dû avancer d'un mètre. Suivant les cas, il n'aura avancé que de 70 centimètres par exemple; la perte ainsi occasionnée, égale à 30 centimètres, est ce qu'on appelle le recul. C'est une perte relativement considérable.

Or, remontant au moteur, nous savons que le travail disponible sur l'arbre de ce moteur ne sera qu'une partie de celui qui est donné dans le ou les cylindres de la machine par la vapeur.

On peut admettre moyennement qu'une machine à vapeur ne donne sur son arbre moteur qu'un effet utile qui n'est que les 60 ou les 70 centièmes de celui qui est développé dans le ou les cylindres; première perte relativement au combustible dépensé et qu'il faut admettre forcément.

Cet effet utile réduit est appliqué au propulseur; ce propulseur lui-même éprouve les effets du recul et donne lieu à une nouvelle perte.

L'effet utile d'un moteur à vapeur, actionnant un propulseur sur un bateau, sera donc diminué. Certains bateaux ont accusé ainsi une perte totale considérable.

Telle est la cause d'infériorité d'un bateau à vapeur appliqué à l'office exclusif du remorquage.

L'expérience indique que l'effet utile du touage augmente avec la rapidité du courant, à l'inverse des bateaux remorqueurs libres; c'est un fait indéniable.

A l'appui de cette assertion, nous citerons ce qui suit :

Certaines entreprises de transports de la basse Seine possèdent des vapeurs-porteurs de marchandises qui remorquent quelquefois à leur suite un chaland ou même deux chalands chargés de marchandises pressées.

A mesure que le niveau de l'eau s'élève en Seine à l'échelle régulatrice de Mantes, ces vapeurs-porteurs perdent d'abord leur vitesse, puis éprouvent des difficultés, de plus en plus marquées, à opérer ces remorquages. A la cote de $3^{m},50$ à 4 mètres environ, ils se trouvent dans l'impossibilité absolue de remorquer un seul chaland, même peu chargé. Ces diverses entreprises sont alors dans l'obligation impérieuse de confier tous leurs bateaux au touage, pour les remonter de Rouen à Conflans.

Le halage, par hommes et surtout par chevaux, abstraction faite du temps employé, sera toujours le mode le plus économique pour remonter un bateau contre le courant. Dans le halage, en effet, l'effort musculaire des animaux est appliqué directement à un câble fixé sur le bateau à remorquer, et, sauf l'obliquité de ce câble, obliquité d'autant moins prononcée qu'il sera plus long, sauf l'action du gouvernail généralement peu barré, abstraction faite

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la tension donnée au câble pour le faire partir, on peut admettre que ce que l'on perd de cet effort musculaire est réduit à son minimum.

Pour résumer ce que nous venons de dire, rapportons que certains auteurs ont admis qu'un bateau à vapeur employé au remorquage déploie un effet triple et le plus souvent davantage de celui qui est nécessaire, et cela dans les cas les plus favorables.

II.

Le touage sur chaîne noyée, c'est-à-dire chaîne fixée au fond de l'eau par chacune de ses extrémités seulement, remplace avantageusement et économiquement le halage lui-même. Nous disons économiquement, car il est de notoriété bien établie aujourd'hui que le travail fourni par un moteur à vapeur revient à bien meilleur compte que celui des hommes et des animaux; pour les puissances de quelques chevaux-vapeur surtout, cet avantage est d'autant plus marqué que les puissances développées sont plus considérables.

Quelques chiffres extraits du *Mémoire sur la traction des bateaux*, publié en 1864, par MM. Chanoine et de Lagrené, ingénieurs des ponts et chaussées, le confirmeront: sur certaines rivières (Seine, Yonne), le prix moyen du halage par chevaux ressort à $0^f 0498$ par tonne et par kilomètre, en remonte bien entendu.

Ce prix devient dans les différents cas suivants :

Sur le Rhône....	par bateaux à grappins.....	$0^f 0317$
	par des remorqueurs.....	$0\ 035$

Ces prix sont excessifs, comparés aux suivants, qui sont fournis par l'application des tarifs du touage, entre Rouen et Conflans.

Par exemple, un bateau de 350 tonnes de jauge, chargé de 140 tonnes (moins de moitié), payera, par tonne et pour chacun des 171 kilomètres de Rouen à Conflans, $0^f 0115$. Si ce bateau a son plein chargement (350 tonnes), il ne payera plus que $0^f 00814$ par tonne et par kilomètre.

Nous ajouterons que, dans le cas du halage par chevaux, le cheminement moyen par jour, correspondant à $0^f 0498$, est de $21^{kilom.},07$; qu'il est de $4^{kilom.},12$ pour les bateaux à grappins ; qu'il est variable pour les remorqueurs libres et qu'il est moyennement de 4 kilomètres, au minimum, à l'heure pour le touage. Or, le temps de marche des toueurs varie de 8 heures en hiver à 16 ou 17 en été; le cheminement serait donc 32 et 64 kilomètres, soit du double environ au triple de celui par chevaux.

Le touage, nous l'avons déjà dit, n'est qu'un halage; le moteur ou toueur se halant d'une façon continue par un mouvement de rotation sur le câble ou sur la chaîne qui a alors toute la longueur du parcours à effectuer; le toueur emmène à sa suite le train de bateaux auquel il est amarré.

Le touage, dans ces conditions, n'est que la réalisation, d'une façon continue, de l'effet du cabestan employé à bord des navires pour les manœuvres de force.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

HISTORIQUE DU TOUAGE.

Les premiers essais du touage datent de plus d'un siècle.

Le maréchal de Saxe, en 1732, fit construire un manège sur un bateau ; ce manège, actionné par des chevaux que portait le bateau, faisait tourner des poulies à gorges sur lesquelles s'enroulait le câble fixé à un point fixe en amont. L'appareil tout entier était de construction trop primitive et n'eut point le succès qu'on en attendait.

En 1820 et 1830, nombre de bateaux à vapeur, tant porteurs de marchandises que remorqueurs, se créèrent sur les principaux fleuves de France : Seine, Rhône, Loire et Saône.

Sur le Rhône, deux bateaux à vapeur, *le Voltigeur* et *le Remorqueur*, contribuèrent à un service de halage organisé par Seguin et Montgolfier. *Le Voltigeur* portait en avant le câble sur lequel se halait *le Remorqueur*, service impossible qui n'eut pas de succès, même quand *le Voltigeur* fut remplacé par deux petits bateaux plats ; les manœuvres étaient lentes, difficiles et exigeaient 4 chevaux et 22 hommes.

En 1826, deux autres bateaux à vapeur, *Océan* et *Méditerranée*, fonctionnèrent sur le Rhône ; le premier s'amarrait solidement et, par un cordage s'enroulant sur un treuil, remontait le train ; pendant ce temps, le deuxième remontait en développant un deuxième cordage, s'ancrait et reprenait le train.

Ces manœuvres étaient fort longues, les bateaux ne pouvant déployer leurs cordages assez promptement. Le moyen fut abandonné.

En 1819, Tourasse et Courteaut firent à Lyon des expériences sur des bateaux toueurs en envoyant en avant des câbles sur lesquels ils se halaient. En 1822, Tourasse renouvelle ses essais sur la Saône ; en 1825, M. E. de Rigny achète les brevets de Tourasse et constitue une entreprise de remorquage. Le premier toueur, *la Dauphine*, fut construit par cette compagnie pour la traversée de Paris ; mais les constructeurs ne s'étaient pas conformés scrupuleusement aux idées de Tourasse. Ce toueur présentait des défauts graves : la machine motrice, d'un système défectueux, était beaucoup trop faible ; les treuils étaient placés à l'avant du bateau et gênaient pour gouverner, le bateau lui-même tirait trop d'eau ; l'entreprise échoua.

Tourasse continua ses études et les résuma dans un ouvrage publié en 1828 en collaboration avec Mellet.

Quelques années après, M. Latour du Moulin, inspecteur général de la navigation, provoqua la formation d'une nouvelle société pour établir le touage dans la traversée de Paris. Le premier toueur, *Hercule*, sortit des ateliers de Cavé en 1839 ; il était pourvu d'une machine perfectionnée et suffisamment forte ; le service s'étendit jusqu'au Port-à-l'Anglais.

En 1854, un des hommes qui ont le plus contribué au progrès du touage en France, M. Eugène Godeaux, ayant vu fonctionner les toueurs qui effectuaient un service à peu près régulier entre le pont de la Tournelle et le Port-à-l'Anglais, eut l'idée d'établir un service semblable dans la basse Seine, entre Paris et la mer ; il obtint les deux concessions qui composent ce parcours.

L'invention du touage est donc d'origine toute française ; en France, cette

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

industrie a pris de grands développements depuis vingt-cinq ans. Plusieurs compagnies importantes exploitent des portions continues de fleuves et de rivières ; si le nombre ne s'en est pas augmenté, si certains fleuves d'une importance de premier ordre en sont totalement dépourvus aujourd'hui, on ne peut attribuer cet état de choses fâcheux qu'à l'abandon où ont été laissées en France toutes les voies navigables. De nombreuses améliorations au régime de ces cours d'eau sont étudiées, projetées depuis longtemps ; on en attend toujours la réalisation.

La Russie, l'Allemagne et la Belgique, ainsi que l'Amérique, possèdent plusieurs entreprises de touage.

L'amiral Nichelson est venu récemment à Rouen étudier le touage pour l'établir sur la Tamise.

Les compagnies françaises possédant actuellement un réseau où l'exploitation a donné depuis nombre d'années des résultats très économiques pour la batellerie, sont au nombre de quatre, savoir :

1° *Compagnie de touage de Conflans à la mer*, concession datant du 25 juillet 1860.

Une première partie de la ligne est celle de Rouen à Conflans-Sainte-Honorine, sur une longueur de 171 kilomètres ; la seconde partie est celle de Rouen à la mer (le Havre). La distance de Rouen au Havre est de 126 kilomètres. Cette Compagnie, pendant quatorze ans, a exploité ce tronçon de Rouen au Havre par un procédé mixte : d'abord une chaîne de Rouen au Trait, sur une longueur de 58 kilomètres; puis un service de remorqueurs du Trait au Havre, la baie de Seine s'opposant au bon fonctionnement d'une chaîne noyée.

Cette Compagnie a renoncé momentanément à cette partie de son exploitation et a relevé, vers la fin de 1876, les 58 kilomètres de chaîne, dite maritime, ne conservant que les 171 kilomètres de Rouen à Conflans.

2° *Compagnie anonyme de touage de la basse Seine et de l'Oise*, concession datant du 5 avril 1854. — De Conflans-Sainte-Honorine à l'écluse de la Monnaie, dans Paris. Longueur concédée, 72 kilomètres.

3° *Compagnie de touage de la haute Seine*, de l'écluse de la Monnaie à Montereau, sur une longueur de 105 kilomètres, fondée par décret en date du 13 août 1856.

4° *Le touage de l'Yonne*, de Montereau à Laroche, sur une longueur de 93 kilomètres, approuvé par décret du 18 janvier 1873.

Cette Compagnie conserve le droit, par sa concession, d'étendre son service de touage jusqu'à Auxerre, quand les travaux de canalisation de l'Yonne seront exécutés entre Laroche et Auxerre.

En total 441 kilomètres continus, sur lesquels a lieu une exploitation régulière dont la vitalité est assurée.

Si on reliait entre elles ces quatre chaînes, liaison exigeant seulement l'adjonction d'un maillon brisé, dit nabot, si on y ajoutait la portion de chaîne maritime de Rouen au Trait, momentanément supprimée depuis deux ans, et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le complément de la concession de l'Yonne, de Laroche à Auxerre, on constituerait une voie continue de plus de 500 kilomètres de longueur, voie sur laquelle s'effectue un trafic considérable.

DU TOUAGE PROPREMENT DIT.

Nous voulons donner une description succincte du matériel employé par chacune de ces quatre compagnies précitées et de la façon dont s'effectue l'opération proprement dite du touage.

Nous prendrons comme type le matériel de la Compagnie de touage de Conflans à la mer, qui nous est plus particulièrement connu et qui nous semble le plus perfectionné. Ce matériel, d'ailleurs, a été construit d'après celui de la Compagnie anonyme de touage de la basse Seine et de l'Oise, qui, lui-même, l'a été par la maison Cail et C^ie^, d'après les plans et données de MM. Molinos et Pronnier, ingénieurs.

Les différences entre les matériels de chaque compagnie ne consistent que dans des détails ; le principe du mode de touage proprement dit a été scrupuleusement conservé et suivi par chacune, et d'après les idées émises par le véritable inventeur du touage, Tourasse.

Tout d'abord, quelques mots de la *chaîne*.

La chaîne employée est une chaîne en fer sans étançons. Une chaîne à étançons a une résistance notablement supérieure à la chaîne simple; mais ces étançons ne résisteraient pas au passage de la chaîne sur les treuils, l'expérience l'a démontré. Cette chaîne est en fer de 21 millimètres de diamètre dans la partie fluviale (Rouen à Conflans), et en fer de 23 millimètres dans la partie maritime (Rouen au Trait).

La voie de la Compagnie de Conflans à la mer est actuellement constituée par 121 kilomètres de chaîne de 21 millimètres et 50 kilomètres de chaîne de 23 millimètres, depuis qu'elle a immergé la chaîne maritime au lieu et place de pareille longueur de chaîne fluviale.

Elle possède en outre quelques kilomètres de chaîne en fer de 25 millimètres pour le passage de certains ponts, de certains travaux actuellement en cours sur la Seine, dans le cas des hautes eaux surtout.

D'après le mode d'enroulement de cette chaîne de touage (décrit plus haut), on voit qu'il y a nécessité à faire usage d'un corps suffisamment flexible et aussi peu extensible que possible, sous l'influence d'un effort connu et donné.

N'y aurait-il pas avantage, semble-t-il naturel de dire, à employer tout autre câble de touage qu'une chaîne? Les matières que l'on peut employer sont peu nombreuses et au nombre de deux seulement, à notre point de vue.

Tout d'abord, le chanvre : un câble en chanvre de résistance égale, en service ordinaire moyen, à celle de la chaîne devrait avoir 8 à 9 centimètres de diamètre; il faudrait avoir tous les 200 mètres une épissure pour arriver à former un seul et unique câble de 171,000 mètres de long; les ruptures accidentelles dans le service ne seraient réparées que par de nouvelles épissures, longues à faire, exigeant un soin tout particulier. Un câble en chanvre ne durerait pas plus de deux années, mouillant et séchant alternativement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

D'autre part, la densité du chanvre, même mouillé, est peu supérieure à celle de l'eau ; ce câble n'aurait donc sur le fond qu'une adhérence à peu près nulle.

Toutes ces raisons ont fait écarter de prime à bord l'emploi du chanvre. Nous ne croyons même pas que des essais aient été tentés, pour un service public surtout, et pour un trajet supérieur à plus de 200 ou 300 mètres.

Câbles en fil de fer. — Des entreprises de touage ont été fondées sur l'emploi de câbles en fil de fer ou d'acier. On sait que ces câbles exigent ordinairement l'emploi d'une poulie à gorge d'un genre tout particulier, coinçant, c'est-à-dire serrant le câble ; l'adhérence, produisant l'entraînement du train, ne pouvant avoir lieu qu'à cette condition.

Nous pensons qu'avec les treuils actuels des toueurs à chaîne, on pourrait employer les câbles en fil de fer ; les six ou huit demi-tours que ferait, comme la chaîne, le câble sur les treuils, donneraient une adhérence sans doute suffisante.

Mais le principal obstacle que nous pressentons à l'emploi de ces câbles, soit sur les poulies Fowler, soit sur les treuils à chaîne, est celui d'une usure de la surface du câble ; or, les fils de fer qui constituent un câble sont d'un petit diamètre, tant pour avoir une résistance maxima que pour obtenir la plus grande flexibilité possible lors de l'enroulement.

A un certain degré d'usure de la surface d'un câble, le fil sera usé, et par suite rompu ; le câble ne tardera pas à s'user d'autant plus promptement.

L'oxydation des fils intérieurs qui ne portent jamais sur les poulies ou les treuils sera certainement une cause de prompte détérioration.

De plus, un câble métallique n'est pas plus à l'abri des ruptures qu'une chaîne ; ces ruptures sont fréquentes sur la chaîne, mais elles sont facilement réparables quand, après avoir retrouvé le bout perdu dans l'eau (recherche parfois longue et pénible), on n'a qu'à rejoindre les deux extrémités au moyen d'un nabot ou maillon en deux parties, dont le toueur est toujours pourvu.

Ces ruptures sur le câble ne pourraient être réparées que par des épissures, travail long qui demande à être fait avec le plus grand soin et qui a le grave inconvénient de renfler le câble. De là inégalités dans le diamètre et plus grande raideur à l'endroit de ces épissures.

On sait qu'une certaine partie du travail du moteur doit être consacrée à l'enroulement proprement dit d'un câble tendu sur le treuil où il s'enroule. Une chaîne est généralement considérée comme n'ayant que fort peu ou pas du tout de raideur, à la façon d'un câble ; l'enroulement n'exigera qu'une quantité restreinte du travail qu'on ne se donne pas la peine de calculer.

Le plus grand avantage qu'on a invoqué pour préconiser l'emploi des câbles métalliques, c'est la légèreté qu'ils présentent par mètre courant ; conséquemment, un prix d'acquisition moindre que celui d'une chaîne. Cette légèreté, abstraction faite des inconvénients que nous venons de signaler, nous semble avoir été le motif déterminant du rejet du câble par toutes les compagnies qui l'ont employé. Toutes ont dû chercher à augmenter le poids de ce câble pour que l'adhérence sur le lit du fleuve fût suffisante ; on a même songé à en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fabriquer qui fussent munis d'une âme en plomb. C'est qu'en effet l'adhérence sur le fond est indispensable.

Nous ne pouvons passer sous silence les mauvais résultats produits par le câble métallique, dans le canal de Caen à la mer, dans la Meuse et dans la Moskwa.

La chaîne de 21 millimètres, dont nous parlions ci-dessus, pèse, neuve, 10 kilogrammes par mètre courant. Ce poids est suffisant, comme le montre la pratique, pour produire sur le fond de la rivière une adhérence qui permet d'enlever le train; plus cette adhérence sera prononcée et plus les manœuvres du toueur et de son train, dans les courbes à petits rayons que fait la rivière, seront faciles et sûres.

La chaîne, telle que l'emploient les quatre compagnies précitées, nous semble donc jusqu'alors le seul genre de câble possible. La Compagnie de la basse Seine et de l'Oise fait en ce moment des essais avec les chaînes en acier sans soudure, de M. David.

DU TOUEUR PROPREMENT DIT.

Le toueur a 40^{m},30 de longueur totale de dehors en dehors des ceintures, sa largeur est de 6^{m},20 à l'extérieur des ceintures, les deux extrémités sont arrondies en demi-cercle parfait; le creux est de 2^{m},50 au milieu et de 2^{m},40 sur les côtés.

La coque est en fer; la tôle a 4 millimètres dans les façons et aux murailles, 6 millimètres au fond. Les carlingues, varangues et membrures sont en fer à T et en fer cornière.

Les ceintures sont en bois, de même que les plats-bords et le pont. On remplace en ce moment quelques ponts par des ponts en tôle striée. Une seconde ceinture en bois règne à la flottaison; elle est doublée, à l'extérieur du bateau, par une seconde ceinture, en bois aussi.

Le tirant d'eau, en charge normale, est de 1^{m},20 en moyenne; il est plus considérable à l'arrière qu'à l'avant.

La soute peut contenir 12 tonnes de charbon; on en peut mettre une quantité presque égale dans l'entrepont, près de la chaudière.

La chaudière est située sur l'arrière; la machine et les treuils au milieu; sur l'avant, sont les logements des hommes de l'équipage.

Ces toueurs sont munis de deux gouvernails : un, à l'arrière, manœuvré par une roue placée sur le banc de quart situé au milieu du bateau et au-dessus de la machine; celui de l'avant l'est par une roue placée à l'avant. Ce second gouvernail est indispensable pour porter le toueur à bâbord ou à tribord et l'empêcher, dans les courbes, d'exercer un effort trop considérable sur la chaîne.

DES TREUILS.

La chaîne sort du fond de l'eau, à l'avant des treuils, passe sur une poulie en fer, montée sur ce qu'on appelle une aiguille. Cette aiguille est un bâti en fer long de 3^{m},60 environ, pouvant tourner autour d'un axe fixe placé sur le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pont; cette aiguille peut faire un demi-tour à peu près, et passer en tournant dans un plan horizontal de tribord à bâbord; cette aiguille et, par suite, la poulie qu'elle porte, peut donc suivre la chaîne et le toueur, et n'être pas astreinte, de cette façon, à suivre strictement la route indiquée par la position de la chaîne.

La chaîne vient jusqu'au milieu du bateau toueur environ, passe sur les treuils en s'y enroulant, va de là jusqu'à l'arrière, joue sur une poulie et une aiguille disposée comme celle de l'avant, et retombe à l'avant.

En service, le toueur est donc sur la chaîne. On a construit certains toueurs où les treuils étaient sur un des côtés du bateau, les treuils étant en porte-à-faux. Ce système permet une plus grande mobilité au toueur, mais ne nous paraît suffisamment solide que pour de faibles efforts de traction et, par suite, des trains relativement réduits.

D'ailleurs la disposition actuelle de la chaîne sur les toueurs que nous décrivons en ce moment nous paraît avantageuse, en ce sens que l'on a la chaîne sous la main, pendant qu'elle parcourt toute la longueur du bateau et qu'on peut, avant qu'elle ne retombe à l'eau, la placer à 3 mètres environ de chaque côté de l'axe du toueur, en un point quelconque désigné du lit de la rivière, avantage très prisé dans le cas où le toueur passe dans les écluses ; on peut alors placer la chaîne dans la partie réservée à cet usage, entre les portes, juste dans l'axe de l'écluse. Dans le cas où le chenal est étroit, le capitaine peut ainsi reporter de 6 à 7 mètres au maximum, à tribord ou à bâbord, la chaîne et la placer dans l'axe du chenal.

L'aiguille d'avant est mue, s'il est nécessaire, au moyen d'anspects; celle d'arrière porte un pignon roulant sur une crémaillère fixée sur le pont et, au moyen d'une manivelle, on force la chaîne à tomber en tel ou tel point.

L'aiguille d'avant ne doit pas être munie de cet engrenage; la chaîne, en effet, possède une grande raideur due à l'action de la machine, et il faut que l'aiguille suive sans peine la direction de cette chaîne.

Au milieu du bateau et au-dessus du pont, à l'air libre, sont les treuils, au nombre de deux.

Un seul treuil ou tambour serait certainement préférable comme simplicité et économie dans la construction; entrant sur ce treuil par la gauche, par exemple, la chaîne doit en sortir par la droite après avoir fait sur le tambour un certain nombre de tours pour assurer l'adhérence, ce qui amène forcément à créer un tambour dont les gorges seraient en hélice à la façon des filets d'une vis. Pratiquement, cela est impossible; ce tambour à gorges hélicoïdales serait lourd, coûteux et s'userait très vite, quoiqu'en fonte très dure même.

Il y a donc deux tambours ou treuils, composés chacun de cinq gorges; la chaîne, venant de l'avant, passe sur la première gorge du tambour de l'arrière, y fait un demi-tour, passe sur la seconde gorge en dessous du treuil d'avant, y fait un demi-tour, revient sur celui de l'arrière, et ainsi de suite; le nombre de fois que cette chaîne passe ainsi sur les tambours varie de trois à quatre : trois pour les trains d'une faible charge, quatre pour les trains lourds.

La chaîne a forcément, d'un tambour à l'autre, une légère obliquité, sans aucun inconvénient appréciable d'ailleurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces treuils, écartés l'un de l'autre de $2^m,75$ d'axe en axe, ont un mètre de diamètre tout garnis. Si nous disons tout garnis, c'est qu'en effet chaque treuil se compose d'un tambour en fonte de 855 millimètres de diamètre extérieur; sur ce tambour sont posés cinq cercles en fonte de 76 à 80 millimètres d'épaisseur : le tambour est tourné; chaque cercle est alésé; on interpose des joues en fonte brute, faisant une saillie de 8 centimètres, qui séparent les gorges l'une de l'autre.

Les cercles sont en fonte coulée en coquille, par conséquent très dure, à l'extérieur (là où doit porter la chaîne); les joues sont en fonte blanche, dure aussi.

Les deux treuils possèdent donc, de cette manière, cinq gorges non hélicoïdales, mais droites, dans lesquelles passe la chaîne.

L'entraînement de tout le train se fait par l'adhérence qui se développe entre les tambours et la chaîne, et, quoique la chaîne soit toujours mouillée, ce qui tend à réduire le frottement, trois à quatre tours complets sont suffisants pour que l'entraînement ait lieu.

On a fait nombre d'essais, à l'origine, pour garnir convenablement ces treuils; on a essayé des segments en fonte dure, maintenus par des boulons traversant les tambours; des segments en acier maintenus de même; rien n'a résisté et nous croyons que rien ne peut remplacer le genre de cercle que nous venons de décrire.

Ces cercles bien durs peuvent fournir un service convenable pendant deux ans; quand il est arrivé d'en avoir de trop mous, ils duraient à peine quatre à cinq mois: la chaîne, en effet, trace, par son passage, un sillon qui va s'approfondissant de plus en plus; les cercles qui reçoivent les premiers la chaîne arrivent à avoir un diamètre par trop réduit; la chaîne supporte alors, entre les treuils, une tension qui va sans cesse en augmentant, cause de rupture, sinon pour les toueurs où ce fait se produit, mais pour les suivants qui rencontrent certains maillons fatigués et se rompant sous le moindre effort.

Ces cercles, si durs d'ailleurs, s'usent, mais la chaîne aussi s'use ; or, la chaîne exige un capital considérable, un million pour les 171 kilomètres de Rouen à Conflans; il y aurait donc intérêt à ce que les treuils fussent constitués par une matière aussi peu dure que possible ; mais les treuils ainsi constitués exigeraient des réparations et des changements journaliers; en pratique, ce n'est point possible. Nous rencontrons donc ici un cercle vicieux, comme il s'en voit si souvent dans l'industrie; on est amené forcément à faire un sacrifice, on cherche alors à le réduire autant que possible : on sacrifie les cercles de treuils à la chaîne.

Les deux treuils sont actionnés par une machine à vapeur placée en dessous à l'intérieur du bateau; un système d'engrenages, système double d'ailleurs, les fait tourner dans le même sens. Si nous disons que le système d'engrenage est double, c'est que nous pouvons obtenir deux vitesses par une même vitesse de la machine en engrenant l'un ou l'autre des systèmes.

La vitesse d'entraînement du toueur et, par suite, du train, peut varier alors de 8 kilomètres à l'heure pour la grande vitesse et de 4 kilomètres pour la petite, la machine faisant 80 à 65 tours par minute.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La machine est à deux cylindres conjugués à angle droit, inclinés de 27 degrés sur l'horizontale. Le diamètre des pistons est de $0^{m},460$, leur course de $0^{m},685$. Elle est à condensation, à changement de marche par la coulisse Stephenson. La chaudière, de $82^{mq},2$ de surface de chauffe, est à foyer intérieur et tubulaire ; elle est timbrée à $5^{k},500$.

La puissance indiquée dans les cylindres à l'indicateur de Watt est de 130 chevaux, à 60 tours par minute, ce qui donne 75 à 78 chevaux à 60 p. 100 de rendement ; à cette puissance, l'effort moyen exercé sur la chaîne par la machine est de 2,200 kilogrammes.

L'ensemble de l'appareil est en outre muni de deux pompes alimentaires, de deux pompes de cale et d'un cheval alimentaire pouvant fonctionner pendant les temps d'arrêt.

Le toueur est en outre pourvu de deux hélices placées sous les façons d'arrière ; ces deux hélices sont commandées par un arbre de couche incliné, qui reçoit son mouvement de l'arbre moteur de la machine, par un engrenage d'angle pouvant être engrené indépendamment des roues, qui communiquent le mouvement aux treuils.

Le toueur peut donc prendre le mouvement ou par la chaîne seule, ou par les hélices seules, à la façon d'un bateau à vapeur.

Ces hélices sont très commodes pour les manœuvres diverses, les évitages sur place, etc. ; elles sont en outre indispensables dans le trajet de Rouen à Conflans. En effet, six barrages et autant d'écluses existent actuellement sur ce parcours. Quand les eaux de la Seine, l'hiver, accusent à l'échelle du pont de Mantes, qui sert de régulateur pour toute la basse Seine, une cote supérieure à $2^{m},20$, les barrages, tous à aiguilles mobiles, sont amenés, c'est-à-dire abaissés, et ne fonctionnent plus.

Les eaux de la Seine reprennent alors sensiblement le régime qu'elles avaient avant la création de tous les ouvrages d'art (barrages à écluses) qui ont amélioré son cours. La pente générale redevient ce qu'elle était, elle augmente en même temps que la rapidité de son courant.

Quand la hauteur d'eau à Mantes est accusée par une cote de $2^{m},40$, 3 mètres, 4 mètres et jusqu'à $5^{m},50$, les toueurs peuvent toujours faire leur service en remonte sur la chaîne ; mais à la descente, ils l'abandonnent et descendent alors de Conflans sur Rouen, à la façon d'un remorqueur libre.

Dans ce cas, en effet, si le toueur restait sur la chaîne, la machine serait obligée de faire plus de 70 tours par minute, ce qui veut dire que le courant va plus vite que le toueur. Les hélices sont donc indispensables dans ce cas.

Quant à la remonte, et c'est là l'avantage le plus saillant du touage, elle se fait toujours sur la chaîne.

La hauteur disponible sous les dix-sept ponts qui existent depuis Rouen jusqu'en aval du pont du chemin de fer de grande ceinture, à Conflans, empêche seule de naviguer à une cote supérieure.

Dans ces circonstances si défavorables d'une crue de la Seine, allant jusqu'à $5^{m},65$ à Mantes, cote où les inondations font des ravages, les toueurs peuvent encore remorquer quatre ou cinq bateaux chargés chacun de 250 à 300 tonnes de marchandises. En total donc, et au minimum, 1,200 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'équipage d'un toueur se compose de sept hommes : quatre hommes de pont, un capitaine commissionné, un premier pilote, un deuxième pilote et un mousse ; trois hommes à la machine, un mécanicien chef et deux chauffeurs.

La Compagnie de Conflans à la mer a actuellement quatre toueurs en service normal d'été (mai à novembre), cinq toueurs et même six si le trafic l'exige, de novembre à fin avril ; son matériel se compose en total de huit toueurs. Elle peut donc faire face à toutes les exigences d'un trafic considérable sur la Seine, de Rouen à Conflans.

Les départs sont réguliers de chacune des extrémités de la ligne, Rouen à Conflans ; ils ont lieu tous les deux jours ; certains trains supplémentaires sont intercalés quand le trafic l'exige.

En été, les toueurs mettent 4 jours à accomplir le trajet des 171 kilomètres de Rouen à Conflans en remonte ; en hiver, 6 jours, la navigation de nuit n'ayant pas lieu.

Quant à la descente, elle a lieu en 2 jours et demi en été, et 3 jours au plus en hiver, ce qui tient à la rapidité des eaux dans cette dernière saison.

Sur les hélices mêmes, les toueurs ne mettent parfois qu'un peu plus d'une journée et demie d'hiver, soit 13 à 15 heures environ pour accomplir le trajet de Conflans à Rouen.

Le nombre de bateaux qui composent un train de touage est en quelque sorte illimité ; il va fréquemment jusqu'à 15, 16 et même 18. La charge de ces bateaux est la seule limite qui soit imposée pour la composition d'un train. Par les eaux basses de l'été, en effet, chaque bateau ne peut prendre qu'une quantité de marchandises restreinte; parfois, la moitié de son plein chargement. On peut, en ce cas, prendre plus de bateaux que s'ils étaient chargés en plein.

Dans le trajet de Rouen à Conflans, en remonte, on voit souvent des trains de 1,800 à 2,300 tonnes; sur le trajet de Conflans à Saint-Denis, les trains atteignent 5,000 tonnes. Le genre et la forme des bateaux remorqués a une influence considérable sur la valeur de l'effort qu'il faut exercer pour les entraîner.

Les bateaux qui se servent du touage, entre Rouen et Conflans, sont de trois types :

1° Les gros bateaux normands, de 450 à 500 tonnes de chargement ;

2° Les péniches du Nord, de 260 à 280 tonnes;

3° Les chalands pontés, qui vont jusqu'au Havre et peuvent charger jusqu'à 300 tonnes.

Les péniches sont les bateaux les plus lourds à remorquer; leurs formes, qui sont celles d'un parallélipipède aux angles arrondis, en sont cause.

On comprend donc qu'un train composé de péniches seulement sera infiniment plus long à remorquer qu'un même nombre de bateaux du genre chalands, qui sont du type le plus léger.

Pendant l'année 1877, les toueurs de la Compagnie de Conflans à la mer ont accompli 170 voyages entre Rouen et Conflans; ils ont remorqué 55,402,294 tonneaux kilométriques.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La Compagnie de la basse Seine et de l'Oise, qui exploite la partie la plus fréquentée du fleuve, a remorqué, dans la même année 1877, 66 millions 255,619 tonnes kilométriques.

Le tableau ci-dessous résume le mouvement du fleuve :

TABLEAU DU MOUVEMENT DU TOUAGE ENTRE PARIS ET ROUEN EN 1877.

DÉSIGNATION des SECTIONS DU FLEUVE.	REMONTE.			DESCENTE.			REMONTE ET DESCENTE.			
	BATEAUX		TONNES.	BATEAUX		TONNES.	BATEAUX		TOTAUX	TONNES.
	vides.	pleins.		vides.	pleins.		vides.	pleins.		
De Rouen à Conflans.....	839	665	190,220	785	225	184,578	1,624	890	2,514	374,578
De Conflans à Saint-Denis..	4,927	358	4,366,589	438	2,135	81,767	5,365	2,493	7,858	6,448,351
De Saint-Denis à Paris.....	2,751	1,110	728,732	181	703	43,694	2,932	1,813	4,745	772,426

Nous avons dit précédemment que, dans le trajet de Rouen à Conflans, existaient six écluses dont le niveau d'eau est maintenu par six barrages. L'ensemble de ces travaux est destiné à donner aux six biefs d'amont une profondeur de mouillage suffisante.

Tous les bateaux qui naviguent sur la Seine sont dans l'obligation de passer, en remonte comme en descente, par ces écluses, quand les barrages ne sont pas abaissés, auquel cas le passage a lieu au-dessus des barrages mêmes. Les trains de touage en remonte et sur chaîne passent toujours par ces stations, qui ne sont point une gêne et n'offrent que le léger inconvénient de retarder la durée du trajet; il faut, en effet, faire en chacun de ces points des écluses.

Ces écluses ont 120 mètres de longueur et $12^{m},25$ de largeur. Pour un train montant, les portes d'aval étant ouvertes, le toueur entre dans l'écluse, se remontant par sa chaîne; puis, un certain nombre de bateaux qui viennent à sa suite; on en met évidemment le plus qu'on peut. Tous les bateaux qui naviguent sur la Seine, vapeurs et porteurs de marchandises, ont en moyenne 40 mètres de longueur, sauf de rares exceptions; les largeurs sont très variables. L'écluse peut donc comprendre trois longueurs de bateaux; et si ces bateaux ne sont point trop larges pour aller deux par deux, on voit qu'une éclusée peut contenir 6 bateaux.

C'est ce qui fait qu'un train qui a parfois 14 à 16 bateaux, peut avoir à faire à chaque écluse deux, trois et même parfois quatre éclusées.

C'est là, bien entendu, une cause de retard à laquelle il faut se soumettre, et inhérente au mode de remorquage par trains.

A l'origine, les difficultés ont été grandes pour organiser ces éclusées, c'est-à-dire pour les exécuter promptement. Plusieurs moyens ont été imaginés; l'administration des ponts et chaussées, soucieuse de préserver les travaux d'art qu'elle édifie des détériorations et avaries qu'elle pressentait pouvoir se

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

produire par la présence de la chaîne, s'opposa d'abord à ce que cette chaîne fût posée dans les écluses mêmes. Mais l'expérience a parlé depuis, et les compagnies de touage sont autorisées depuis longtemps à se servir de la chaîne dans les écluses.

Le moyen est fort simple: deux poteaux verticaux en bois sont fixés le long de chacune des portes; ces portes ferment donc alors un peu moins, quand elles s'appuient l'une sur l'autre, qu'avant l'adjonction de ces poteaux; inférieurement, sur une hauteur de $1^{m},50$ à partir du busc, ces poteaux sont échancrés et laissent une ouverture longitudinale, dans le sens vertical, de 12 centimètres environ de largeur; la chaîne y a toute la place désirable.

Cette ouverture longitudinale produit évidemment une perte d'eau qui, de l'amont de l'écluse, passe en aval, les portes étant fermées; cette perte d'eau est insignifiante et même complètement négligeable quand on considère le fonctionnement des barrages à aiguilles adoptés généralement aujourd'hui. Les aiguilles, en effet, laissent toujours passer une portion notable de l'eau d'amont.

La seule précaution à prendre quand on doit refermer les portes, c'est que la chaîne soit bien posée dans l'axe de l'écluse, afin qu'elle ne soit pas prise entre l'une des portes et le busc; c'est à quoi sert l'aiguille d'arrière du toueur, aiguille mue par un engrenage.

Le fait que la chaîne pourrait être prise entre l'une des portes et le busc entraînerait à de graves inconvénients; l'avarie, d'une part, et, par suite, le non-fonctionnement de l'écluse pendant plusieurs jours.

C'est pour obvier à cette cause d'accidents que M. de Lagrené, ingénieur en chef de la troisième section de la navigation de la Seine, a fait installer sur les écluses de la haute Seine (amont de Paris), quand il était encore à la tête de ce service, une petite chaîne transversale, passant sous la chaîne de touage et la relevant au moment de la fermeture des portes; cette manœuvre a lieu au moyen d'un petit treuil fixé sur un des murs bajoyers de l'écluse.

Ce moyen, simple, ingénieux, peu coûteux et d'un service si facile, ne tardera pas à être appliqué sur toutes les écluses, depuis Paris jusqu'à Rouen.

En ce moment même, la Compagnie de la basse Seine et de l'Oise met sa chaîne dans l'écluse de Bougival, ce qu'elle n'avait pas fait jusqu'alors, puisqu'elle rompait ses trains à l'écluse même, où un toueur en amont par exemple attendait le train que lui amenait le toueur d'aval.

Malgré toutes les tentatives faites jusqu'à ce jour, un seul moyen est employé aujourd'hui pour écluser les bateaux, c'est-à-dire pour les faire entrer dans l'écluse; le toueur ne peut y mettre lui-même que les premiers bateaux qui le suivent; tous les autres, au nombre de huit à douze par exemple, sont dans l'obligation de s'amarrer à la berge la plus voisine de l'écluse; il faut alors les prendre successivement un à un, les haler à bras d'hommes ou par des chevaux et les ranger dans l'écluse.

Telle est en grande partie la cause de la durée relativement assez longue qu'exige une éclusée.

Si sur l'écluse existait un moteur actionnant un cabestan, les manœuvres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seraient de beaucoup plus promptes et surtout moins pénibles pour ceux qui les accomplissent. Une turbine, actionnée par une fort minime partie de l'eau de la chute qui existe toujours à une écluse, turbine de la puissance de 3 à 4 chevaux au maximum, serait largement suffisante pour simplifier, et accélérer surtout, les manœuvres nécessaires.

De petites turbines semblables pourraient commander directement les crémaillères qui meuvent les ventaux des portes des écluses.

Nous savons que MM. les ingénieurs des ponts et chaussées se préoccupent vivement de ces questions qui intéressent, non seulement les compagnies de touage, non seulement les mariniers qui emploient le touage, mais encore tous les transporteurs par eau qui eux-mêmes se servent des écluses.

On voit donc que cette question du touage dans les écluses, question qui a préoccupé nombre d'esprits éminents, est aujourd'hui complètement élucidée et résolue; qu'elle est sur le point d'arriver à une perfection presque absolue.

Nous avons dit que les six écluses de Conflans à Rouen et qui, dans l'ordre, sont les suivantes: Andrezy, Meulan, Port-Viller, Notre-Dame-de-la-Garenne, Poses et Martot, avaient 120 mètres de longueur; que leur largeur moyenne était de $12^{m},25$; qu'elle pouvaient au maximum contenir six bateaux de 40 mètres de longueur.

Nous avons vu que le nombre des bateaux d'un train était généralement supérieur à celui qu'une écluse pouvait contenir.

Il serait grandement avantageux pour les compagnies de touage, et bien plus encore pour la batellerie, qu'une écluse pût contenir tous les bateaux d'un train, y compris le toueur.

Les nouvelles écluses projetées dans les grands travaux d'amélioration de la Seine doivent avoir 180 mètres de long et une largeur supérieure à $12^{m},25$, soit environ 14 mètres. C'est une amélioration déjà considérable, mais elle ne nous semble pas suffisante; 200 mètres de longueur auraient fourni la longueur de cinq bateaux, et la largeur, portée à 14 mètres, aurait permis de loger dix bateaux par éclusée.

Il est indispensable aussi que les pertuis soient doublés, les derniers projets le comportent d'ailleurs. C'est qu'en effet une avarie, une réparation importante à une écluse, en empêchent le fonctionnement pendant des journées entières; la navigation se trouve totalement interrompue sans qu'aucune compensation, de quelque nature qu'elle soit, puisse être accordée à ceux dont les intérêts sont alors gravement compromis. Relativement, c'est une calamité analogue à ce qui surviendrait si le service d'une ligne de chemin de fer venait subitement à être interrompu, sans qu'aucun transbordement fût possible. En navigation, dans ce cas, le transbordement est impossible.

Nombre de personnes reprochent au touage la lenteur de sa marche; cela est vrai si on fait la comparaison avec un bateau-porteur de marchandises, comme on en voit dans la Seine. Si nous poussons la comparaison plus loin, nous verrons qu'un des vapeurs-porteurs de marchandises, faisant le service de Rouen à Paris, fait ce trajet en trois jours environ, temps moitié moins long que celui qu'emploie le touage; mais ce vapeur ne porte que 110 à 120 tonnes de marchandises, 140 au maximum, quand la hauteur des eaux de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la Seine le lui permet. Ces bateaux marchent souvent une partie de la nuit, quand il le faut.

Or, ce bateau appartient à un armateur qui est libre de donner à son équipage les ordres qu'il trouve bons; il est maître absolu dans son service, fait de son outil l'usage qu'il veut; il cherche à en tirer le plus grand parti possible, il en a la libre disposition, en tant que transporteur de la marchandise inerte qu'il a à son bord, quitte à en rendre compte en arrivant au port. Le touage n'est pas dans les mêmes conditions : il remorque des bateaux dont il n'a pas la libre disposition, puisque les équipages qui les montent ne sont pas sous ses ordres; il n'est qu'un loueur, un marchand de force motrice; il n'opère que la traction proprement dite. Les équipages des bateaux remorqués ont malheureusement, il faut le dire, une volonté, une mauvaise volonté même, contre laquelle le touage est forcé de lutter.

Pour n'en citer qu'un exemple : les mariniers n'acceptent qu'avec la plus vive répugnance de marcher pendant une heure ou deux de la nuit; certains mêmes se sont engagés, envers leurs compagnies d'assurances et par contrat, à ne pas le faire; d'autres ne sont que des mariniers à gages qui, affranchis déjà de la surveillance immédiate du patron, ne cherchent qu'à s'affranchir encore de toute peine qui leur semble un excès de travail.

La seule chose que le touage puisse faire, en l'état actuel, c'est, à notre point de vue, d'augmenter un peu la vitesse réelle de marche, ce qui entraîne une modification relativement profonde du matériel; mais c'est une chose possible; en améliorant un peu les formes de la coque, faisant en sorte que le tirant d'eau du toueur soit moindre ($1^m,20$ prêt à se mettre en marche), on arriverait, nous le croyons, sans excéder sensiblement la dépense de combustible, à obtenir une vitesse de 10 kilomètres, au lieu de 8 à l'heure.

Reprocher au touage sa lenteur nous semble peu logique; s'occupe-t-on aujourd'hui de la vitesse réelle et effective que donnent nos compagnies de chemins de fer à leurs trains de marchandises? Ce qu'on demande, c'est que les marchandises soient transportées à bon compte et livrées dans le délai d'usage.

En tant que service de marchandises, puisqu'il n'est point question ici de voyageurs, les bateaux à vapeur porteurs peuvent être assimilés aux trains de vitesse des chemins de fer; les trains de touage aux trains de marchandises.

Si l'on compare d'ailleurs les prix de transport des marchandises par la voie rapide (bateaux-porteurs) et par la voie lente (touage), les écarts sont considérables et varient du simple au double; c'est rationnel.

Les bateaux-porteurs ne transportent que des marchandises d'un prix relativement élevé et par petites parties, c'est-à-dire par chargements non complets; marchandises destinées naturellement aux chemins de fer et qui ne prennent qu'accidentellement la voie d'eau. Le touage remorque des bateaux dont les marchandises sont généralement à livrer par chargements complets ou par très fortes parties, et dont les prix sont inférieurs à ceux des marchandises transportées par des porteurs.

C'est le cas analogue à celui des chemins de fer qui, moyennant de longs délais, accordent une réduction de tarifs par wagons complets et dont les prix sont parfois si élevés pour les articles de messagerie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour conclure, après cette description déjà longue, quoique succincte, nous reviendrons sur un point déjà élucidé précédemment. Tout remorqueur à vapeur ne donne comme utilisable qu'une minime partie de la puissance totale dépensée.

Le grand avantage d'un touage, c'est que le moyen de traction qu'il emploie n'est susceptible d'aucune perte; si, par exemple, les treuils avancent de un mètre, le toueur avancera de un mètre, de même que tout son train. Le touage rend donc ce que rend son moteur.

Là est l'excellence du touage, là sont ses chances de services dans l'avenir; et quand les machines mêmes qu'il emploie auront été remplacées (ce qu'on a fait aujourd'hui pour nombre de bateaux à vapeur), que l'expérience enfin aura tracé une route plus sûre, nous sommes convaincus que le touage sera par excellence le seul moyen de traction sur les fleuves et rivières. (Applaudissements.)

NOTE SUPPLÉMENTAIRE.

Nous pensons devoir compléter les notions qui précèdent, et qui ont trait à la partie historique et technique du touage, par quelques explications relatives à l'exploitation proprement dite de ce mode de traction.

Nombre de personnes, même parmi celles qui sont versées dans ce qui a rapport à la navigation, n'ont pas une idée exacte des conditions dans lesquelles se pratique une exploitation de touage.

La plupart la comparent à une entreprise de transport par eau, ou à une exploitation de chemin de fer, ce qui est une erreur.

L'entretien et la police de la rivière sont effectués par l'État. Les compagnies de touage ne font pas de transports; leur exploitation est réduite simplement à la traction.

Ces entreprises n'ont pas le monopole de la traction des bateaux sur la Seine : tout autre mode de traction, établi ou à établir, est admis concurremment avec les toueurs.

La chaîne occupe, au fond du chenal, la place que l'Administration lui a assignée. L'exploitation se fait par trains, c'est-à-dire que le toueur est suivi d'un certain nombre de bateaux qu'il a en remorque. Ces bateaux sont disposés en une seule file et attelés l'un derrière l'autre.

Cette disposition est forcée sur la Seine, où le chenal très sinueux est trop étroit pour conduire des bateaux embossés.

Les bateaux sont séparés entre eux par un intervalle que le marinier détermine; cet intervalle est ordinairement de 30 à 40 mètres et peut être porté à 80 mètres.

Les trains ou convois sont plus ou moins longs; cette longueur dépasse souvent 1,000 mètres.

Un convoi de touage ne peut être assimilé ni à une simple voiture, ni à un train de chemin de fer.

Le voiturier par terre ou par eau, ainsi que le chemin de fer, reçoit des marchandises qu'il prend l'obligation de transporter et dont il devient responsable. Comme conséquence, le voiturier ou le chemin de fer reçoit une rémunération plus ou moins élevée, suivant la nature et la valeur de la marchandise transportée.

Le touage, au contraire, chargé seulement de la traction, ne reçoit qu'un salaire fixe, en raison du remorquage du bateau traîné, quelque précieux ou fragile que soit le chargement. Il ne s'occupe ni de l'arrimage de la marchandise, ni même de la solidité

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du bateau, constatant seulement la présence de l'équipage, sans qu'il ait à en apprécier la qualité, car cet équipage n'est pas sous ses ordres; il est recruté et salarié par le transporteur.

Sa fonction est la même que celle des remorqueurs et des chevaux de halage, elle consiste uniquement à fournir la force motrice; il la fournit dans l'axe du chenal en se mouvant sur sa chaine, qui lui trace une route obligée. Quant à la direction des bateaux qui entrent dans le train, elle reste exclusivement confiée aux équipages qui sont à bord sous la responsabilité du transporteur.

Les convois peuvent avoir une très grande longueur : on comprend qu'il est impossible à l'œil du capitaine d'apercevoir toutes les situations, si, outre la longueur des trains, on a égard aux chargements quelquefois volumineux arrimés sur les bateaux, aux ponts, courbes et autres accidents du fleuve. Il lui est aussi impossible de faire parvenir son commandement.

La mission de diriger chacun des bateaux incombe à son marinier dit pilote, qui est à la solde du capitaine ou patron, représentant lui-même le transporteur.

En considération de cette condition, les bateaux sont attelés de manière à conserver la liberté d'action dont ils ont besoin pour manœuvrer. Les mariniers, en faisant varier la longueur de l'attelage, en filant l'une des remorques, en tenant la barre du gouvernail, en battant une corde à terre, en jetant l'ancre, etc., peuvent modifier la direction du bateau et, au besoin, l'arrêter.

C'est ainsi qu'ils dirigent les bateaux sous les ponts, dans les courbes, les rapides, etc. Ils doivent également être toujours prêts à manœuvrer pour se garer ou s'arrêter pour une cause quelconque, même imprévue.

En résumé, dans un train de touage, l'équipage de chaque bateau doit gouverner et manœuvrer pour se maintenir dans la piste de la chaîne; il doit avoir sous la main tous les engins et agrès nécessaires afin de pouvoir arrêter à la première alerte, car les remorques peuvent casser, la chaîne même casse souvent; en outre, il se produit des collisions, échouements et nombre d'accidents de route.

Il arrive qu'un bateau échoue ou subit des avaries qui exigent son arrêt immédiat : les mariniers expérimentés s'en aperçoivent, prennent leurs précautions et gouvernent pour ne point tomber sur le bateau arrêté.

Les accidents sont fréquents; mais, quoique imprévus, ils n'entraînent pas ordinairement d'avaries sérieuses. Dans tous les cas, ils n'engagent pas la responsabilité du toueur. Le touage n'est responsable que de ses propres fautes.

Nous avons cru devoir entrer dans ces développements, parce que, dans le public, on croit naturel de comparer en tout point la responsabilité du touage à celle d'un voiturier; ce qui est une erreur, ainsi que l'attestent de nombreux jugements prononcés en l'espèce. Pour plus de clarté, nous citerons, en terminant, le jugement du Tribunal de la Seine, du 9 janvier 1875, établissant que la Compagnie de touage n'est pas responsable des accidents arrivés aux bateaux qu'elle remorque, lorsqu'aucune faute personnelle ne lui est reprochable, ni en raison de son cahier des charges, ni en raison de son contrat de remorquage.

Le 31 mars 1872, un bateau, *l'Industrie*, remorqué par la Compagnie de touage, a été submergé, en cours de voyage, au passage du pont de Maisons-sur-Seine. Le propriétaire de ce bateau a assigné la Compagnie du touage en payement du dommage important qu'il a éprouvé par suite de ce sinistre.

Ce jugement, qui intéresse la navigation fluviale, est ainsi conçu :

« Le Tribunal,

« Attendu qu'il est constant, en fait, que, le 31 mars 1873, dans la matinée, le bateau

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'Industrie, ayant à son bord un équipage et un pilote étrangers à la Compagnie du touage et remorqué par cette Compagnie avec les autres bateaux, a frappé de sa joue gauche la charpente entourant une arche du pont de Maisons, alors en construction, et a sombré par suite de cet événement;

« Attendu que N..., propriétaire du bateau, demande, contre la Compagnie du touage, des dommages-intérêts pour la perte de son bateau et de son chargement; qu'il prétend être en droit de les réclamer, en vertu de la responsabilité qui incomberait aux défendeurs en qualité de voituriers, à moins qu'ils ne justifient d'un cas fortuit ou de force majeure; qu'il prétend, en tout cas, que la Compagnie du touage serait tenue des fautes commises par elle ou ses agents, soit même des fautes commises par des tiers qui l'obligeraient cependant comme son propre fait, et ce, aux termes de l'article 14 de son contrat de concession;

« Attendu, sur la responsabilité du voiturier, que le Tribunal ne saurait assimiler la Compagnie du touage à un voiturier;

« Qu'en effet, la responsabilité du voiturier, pour tous risques, dérive de ce que toute surveillance se trouve enlevée au propriétaire des objets transportés, et toute initiative aux voyageurs, quand c'est à eux-mêmes que s'applique le transport;

« Attendu qu'il n'en est pas ainsi dans la convention que la Compagnie du touage et les mariniers forment ensemble; que, si la force motrice est donnée par la Compagnie et si elle remplit un rôle principal, il n'en est pas moins certain que la manœuvre du bateau conserve une très grande importance, et qu'elle est laissée aux patron, pilote et équipage du bateau qui peut évoluer dans un certain rayon, ou même abandonner la remorque;

« Attendu que le Tribunal ne saurait donc qu'écarter la prétention de N..., qui tend à imposer à la Compagnie du touage une responsabilité *de jure*, à renverser la situation, à se dispenser d'une preuve, à la mettre à la charge de la Compagnie;

« Attendu que si parfois la Compagnie a pu répondre de tous risques, elle ne l'a fait jamais que par un contrat d'assurance accessoire à la convention relative à la traction et ce, moyennant une prime spéciale, ce qui indique que ceux avec qui elle traitait ne la considéraient pas comme responsable en qualité de voiturier;

« Attendu, sur la responsabilité de la Compagnie du touage, comme dérivant de l'article 14 de son cahier des charges, qu'alors même que le Tribunal admettrait, ainsi que semble le faire l'expert, que l'accident soit arrivé par suite d'une faute de l'entrepreneur du pont de Maisons, qui aurait laissé des bouts de charpentes dépasser les échafaudages entourant les piles du pont et ce à $1^{m},30$ au-dessous de l'eau, ou par suite de négligence ou de faits imputables au service de la navigation, le Tribunal ne saurait admettre avec l'expert que l'article 14 puisse, en ce cas, rendre responsable la Compagnie du touage; qu'en effet, si l'article en question dit que le service du touage est responsable de tous dommages que son service pourra occasionner, on ne saurait appliquer cet article à un accident qui serait arrivé dans le service du touage à la vérité, mais pour une faute qui lui serait étrangère; que le Tribunal ne saurait donc conserver comme grief contre la Compagnie le fait des charpentes dépassant les échafaudages ni les autres griefs que l'expert énumère contre l'entrepreneur du pont et contre le service de la navigation;

« Attendu que, ces points écartés, il faut reconnaître que la convention relative au touage du bateau *l'Industrie* a créé entre le demandeur et la Compagnie défenderesse un contrat de louage, différent à certains égards, de remorquage par chevaux des bateaux rapides, mais laissant cependant aux parties leurs responsabilités propres et respectives,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

augmentées ou diminuées selon la nature de l'opération à accomplir, le but à atteindre et la sphère de l'action où avait à se mouvoir chacun des contractants;

« Attendu qu'il faut reconnaître aussi que la Compagnie conserve dans l'organisation des convois, dans la conduite et la direction du train, un rôle prépondérant qui peut augmenter d'autant sa responsabilité;

« Attendu que, ces points posés, il reste à examiner les griefs que N... reproche à la Compagnie;

« Attendu que le demandeur reproche à la Compagnie d'avoir employé une chaîne-frein insuffisante pour maintenir ce dernier bateau dans le chenal qu'il devait suivre;

« Attendu, sur ce point, que la Compagnie n'a nullement imposé l'usage de cette chaîne; que ce moyen de donner au dernier bateau plus de stabilité pendant les grandes eaux a été imaginé par le service de la navigation; que son insuffisance n'est point démontrée et que, le fût-elle, il ne saurait en résulter, contre la partie défenderesse en cause, un grief quelconque, ce fait lui étant étranger;

« Attendu sur l'interversion dans l'ordre des bateaux et sur ce que *l'Industrie* aurait été placé septième et dernier dans le convoi;

« Attendu, sur ce point, que si les bateaux reçoivent un numéro d'ordre et doivent être remorqués par ordre de numéro, aux termes de l'article 9 du cahier des charges, cela ne saurait vouloir dire que le rang et la disposition des bateaux dans le convoi soient commandés par le numéro d'inscription; que la seule interprétation de l'article 9 est que les bateaux nouvellement inscrits ne doivent pas faire partie d'un convoi qui serait mis en marche avant l'expédition de bateaux qui auraient antérieurement demandé le touage;

« Attendu qu'il faut, en outre, reconnaître à l'administration du touage le droit nécessaire d'assigner aux bateaux, selon leur espèce, le bon ou le mauvais état, leur dimension, leur capacité, leur lieu de destination et même le poids de leur chargement et toutes autres circonstances, la place qu'ils doivent occuper dans le convoi; que ce droit ne lui a jamais été contesté;

« Attendu que, notamment dans les circonstances de la cause, le convoi était formé de bateaux se rendant à Paris, en remontant le fleuve, tandis que *l'Industrie* allait seulement au Pecq, et s'arrêtait en route; que, par conséquent, ce bateau a occupé la place qu'il devait occuper, à cause de sa destination;

« Attendu du reste que rien n'est moins établi que les prétendues protestations que N... aurait faites au moment de la formation du convoi; qu'il faut donc admettre qu'il avait accepté le rang qu'il a occupé puisqu'il a consenti à partir, et qu'il faut dire qu'il n'y a eu, relativement au grief prétendu, ni un manquement aux statuts et aux usages, ni une imprudence à reprocher à la Compagnie;

« Attendu que le bateau le porteur n° 10, placé sixième et devant *l'Industrie*, avait un chargement de 144 tonneaux, et que la Compagnie, qui remorque également des bateaux vides et pleins, pouvait, sans encourir de responsabilité, le comprendre dans le train;

« Que, d'autre part, *l'Industrie* devant être le dernier, la Compagnie était naturellement conduite à mettre, selon l'usage, en queue de convoi, mais avant le navire en destination du Pecq, le bateau le moins pesamment chargé;

« Qu'il faudrait pour que, de ce chef, la responsabilité de la Compagnie fût engagée, qu'il fût démontré qu'elle a commis une imprudence par cela seul que *l'Industrie* a été placé dernier;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« Attendu, sur ce point, que si le bateau occupant la dernière place en ressent quelques inconvénients, il est également constant que sa manœuvre est beaucoup plus facile puisqu'il doit mieux obéir à son gouvernail, et que les cordes qui le traînent sont plus facilement maniables;

« Attendu que l'imprudence par suite, soit d'une trop grande longueur donnée au train, soit d'une trop grande rapidité dans la marche, soit enfin parce qu'une vigie n'aurait pas été placée sur le pont de Maisons pour avertir les mariniers des tourbillons que présentait la Seine à cet endroit, des dangers des échafaudages du pont, ne saurait être retenue à la charge de la Compagnie; qu'en effet, le train n'avait que la longueur habituelle, que la hauteur des eaux n'était pas excessive et la vitesse de marche simplement ordinaire; que, d'autre part, l'établissement de vigies ne saurait être une obligation de la Compagnie; qu'il n'y a donc pas lieu de s'arrêter à ces griefs prétendus;

« Attendu que toutes les circonstances semblaient avoir été appréciées de la façon ci-dessus indiquée, sauf l'ordre de classement de son bateau par N..., lorsqu'il faisait, le 31 mars, à Sartrouville, sa déclaration à l'autorité;

« Que si la déclaration faite à ce moment ne saurait élever contre lui une fin de non-recevoir, elle indique cependant que les faits qu'il impute à faute à la Compagnie, et qui lui étaient connus, n'avaient pas à ses yeux la gravité qu'il leur a trouvée depuis;

« Attendu, par tous les motifs ci-dessus donnés, qu'il y a lieu de déclarer N... mal fondé en ses demandes;

« Par ces motifs,

« Déclare le demandeur mal fondé en sa demande, l'en déboute,

« Et le condamne aux dépens. »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Annexe A.

COMPAGNIE DE TOUAGE ET TRANSPORTS DE LA SEINE.

(De Conflans à la mer.)

TARIF DE TOUAGE ENTRE ROUEN ET CONFLANS.

MONTANTS.

Pour un bateau chargé à moitié au moins, par tonne et par kilomètre.		o^{f} 01
Pour un bateau chargé à moins de moitié	par tonne effective et par kilomètre	o 01
	par tonne non effective et par kilomètre	o 001
Pour tout bateau d'un tonnage effectif au-dessus de 220 tonneaux et pour un parcours au-dessus de 100 kilomètres	par kilomètre et par tonne jusqu'à 220 tonnes	o 01
	par kilomètre et par tonne excédante	o 005
Pour un bateau vide d'un tonnage	au-dessous de 50 tonnes	o 10 par kilom.
	de 50 à 100 tonnes	o 20
	de 100 à 200 tonnes	o 35
	de 200 à 350 tonnes	o 50
	de 350 à 550 tonnes	o 65
	au-dessus de 550 tonnes	o 80

AVALANTS.

Pour un bateau chargé à moitié au moins, par tonne et par kilomètre.		o^{f} 003
Pour un bateau chargé à moins de moitié	par tonne effective et par kilomètre	o 003
	par tonne non effective et par kilomètre	o 0005
Pour tout bateau d'un tonnage effectif au-dessus de 220 tonneaux et pour un parcours au-dessus de 100 kilomètres	par kilomètre et par tonne jusqu'à 220 tonnes	o 003
	par kilomètre et par tonne excédante	o 0015
Pour un bateau vide d'un tonnage	au-dessous de 80 tonnes	o 10 par kilom.
	de 80 à 200 tonnes	o 20
	de 200 à 350 tonnes	o 35
	de 350 à 550 tonnes	o 50
	au-dessus de 550 tonnes	o 65

N. B. — Le produit de la traction d'un bateau ayant de la charge ne pourra jamais être inférieur à celui que donnerait le même bateau, étant calculé sur le prix du tarif à vide, avec une surtaxe de 15 centimes par kilomètre en remonte, et de 5 centimes par kilomètre en descente.

Les bateaux à vapeur, dragues, cloches et autres, non classés dans le présent tarif seront traités de gré à gré.

La Compagnie fournit en outre des remorques aux mariniers sur leur demande et moyennant rétribution.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Annexe B.

COMPAGNIE DE TOUAGE DE LA BASSE SEINE ET DE L'OISE.

TARIF DU TOUAGE ENTRE CONFLANS ET PARIS.

			Tarif plein.	Tarif réduit.	
ENTRE SAINT-DENIS ET PARIS.					
Pateau chargé au moins à moitié....	Remonte....	Par tonne effective.....	0f 01	0f 007	Sans toutefois que ce bateau puisse payer plus qu'un bateau chargé à moitié ni moins qu'un bateau vide.
	Descente....		0 004	//	
Bateau chargé ayant moins de moitié de son chargement.....	Remonte....	Par tonne effective.....	0 01	0 007	
		Par tonne non effective.....	0 002	0 0014	
	Descente....	Par tonne effective.....	0 004	//	
		Par tonne non effective.....	0 002	//	
ENTRE CONFLANS ET SAINT-DENIS.					
Bateau chargé au moins à moitié....	Remonte....	Par tonne effective jusqu'à 220 tonnes.....	0f 01	0f 007	
		Pour les tonnes effectives excédant 220 tonnes.	0 005	0 0035	
	Descente.....	Par tonne effective.....	0 004	–	
Bateau chargé ayant moins de moitié de son chargement.....	Remonte....	Par tonne effective jusqu'à 220 tonnes.....	0 01	0 007	
		Pour les tonnes effectives excédant 220 tonnes.	0 005	0 0035	
		Par tonne non effective.....	0 002	0 0014	
	Descente....	Par tonne effective.....	0 004	//	
		Par tonne non effective.....	0 002	//	
BATEAUX VIDES ENTRE CONFLANS ET PARIS (REMONTE OU DESCENTE).					
Capacité.....		de moins de 150 tonnes.....	0f 20c	//	Prix total par kilomètre.
		de 150 à 250 tonnes.....	0 35	//	
		au-dessus de 250 tonnes.....	0 50	//	

N. B. — Pour le transport des engrais, les prix par tonne effective sont de 0f 005 à la remonte et de 0f 0025 à la descente.

Lorsque le prix du blé à Paris dépassera 25 francs par hectolitre, le tarif kilométrique à la remonte sera réduit à 0f 005 par tonne de substance alimentaire de toute nature, les vins exceptés.

Le tarif réduit est appliqué quand les barrages sont relevés et quand le niveau de la Seine a été pendant quatre jours consécutifs au-dessous de la cote 2m,15 à l'écluse de Meulan.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Annexe C.

COMPAGNIE DE TOUAGE DE LA HAUTE SEINE.

1re SECTION. — TARIF DU TOUAGE DE L'ÉCLUSE DE LA MONNAIE AU PORT-À-L'ANGLAIS.

(Distance : 8,000 mètres.)

Elle est divisée en trois escales :

Première escale (longueur maxima : 1,337 mètres), de l'écluse de la Monnaie au canal Saint-Martin ;

Deuxième escale (longueur maxima : 3,153 mètres), du pont de la Tournelle, du pont Saint-Bernard, du pont de l'île Louviers ou du canal Saint-Martin au port de Bercy ;

Troisième escale (longueur maxima : 3,420 mètres), du pont de Bercy au Port-à-l'Anglais ou à l'un des ports intermédiaires.

POUR LE TRAJET D'UNE ESCALE QUELCONQUE.

Par tonne de jauge	possible	0f 035
	effective	0 070

POUR LE TRAJET DE DEUX ESCALES CONSÉCUTIVES.

Par tonne de jauge	possible	0f 050
	effective	0 100

POUR LE TRAJET DE TROIS ESCALES.

Par tonne de jauge	possible	0f 070
	effective	0 140

2e SECTION. — DU PORT-À-L'ANGLAIS À MONTEREAU.

(Distance : 97 kilomètres.)

POUR UN BATEAU VIDE OU CHARGÉ, À LA REMONTE.

Par tonne de jauge	possible et par kilomètre	0f 0035
	effective et par kilomètre	0 0150

Annexe D.

COMPAGNIE DE TOUAGE DE L'YONNE.

TARIF DU TOUAGE ENTRE MONTEREAU ET LAROCHE.

À LA REMONTE.

Par tonne de jauge	possible et par kilomètre	0f 35c
	effective et par kilomètre	1 50

À LA DESCENTE.

Par tonne de jauge	possible et par kilomètre	0f 0875
	effective et par kilomètre	0 375

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. le Président. Nous remercions M. Imbert de sa communication intéressante.

Messieurs, je donne lecture d'une lettre qui vient de m'être envoyée à propos d'un système de touage sur câble métallique. Cette lettre est signée de M. Détraux, ingénieur civil :

Paris, 10 août 1878.

Monsieur le Président du Congrès,

J'ai l'honneur de vous prier de prendre note d'une très courte communication que j'aurais désiré faire à MM. les ingénieurs réunis en Congrès, relativement à un système de touage sur câble métallique exposé par M. F.-J. Meyer, de Liverpool. Les principaux avantages de ce système sont d'assurer l'adhérence du câble et des tambours, sans grippement et sans usure sensible, puisque l'on a pu constater qu'après un parcours de 12,000 kilomètres, l'usure sur les tambours n'atteignait pas un millimètre. Je m'en réfère, du reste, aux explications données dans la notice ci-jointe et aux indications que fournissent les modèles et plans exposés dans le hangar de la marine britannique, sur la berge. L'économie considérable que présente l'emploi du câble comparativement à la chaîne justifie l'intérêt de la communication que je crois devoir faire au Congrès.

Je vous prie, Monsieur le Président, d'agréer l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Détraux.

M. le Président. Cette lettre est accompagnée d'une brochure explicative. Nous n'avons pas le temps de discuter cette question, mais il sera fait mention de la communication au procès-verbal.

Bien que notre ordre du jour soit épuisé, je vous demande la permission de vous retenir encore quelques instants. Nous avons la bonne fortune de posséder parmi nous M. Bertin, ingénieur de la marine, qui a obtenu de M. le Ministre l'autorisation de faire une communication au Congrès sur les lois du tangage et du roulis à la mer. La situation élevée de M. Bertin nous fait un devoir d'accueillir sa communication à laquelle je suis certain que vous attacherez un grand prix. Je le prie de venir à la tribune, et je l'assure que ce sera pour nous un grand plaisir de l'entendre.

COMMUNICATION

SUR LE ROULIS ET LE TANGAGE DES NAVIRES,

PAR M. E. BERTIN,

INGÉNIEUR DES CONSTRUCTIONS NAVALES, À CHERBOURG.

M. Bertin. Messieurs, je me propose de vous entretenir d'une question concernant la navigation de haute mer, qui, de tout temps, a vivement préoccupé les savants, les constructeurs et les marins. Il s'agit du roulis et du tangage des navires, dont l'étude a fait dans ces dernières années, et plus particulièrement depuis 1867, des progrès très importants.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans sa partie renouvelée, l'architecture navale, autrefois sans méthode certaine, repose aujourd'hui : d'une part, sur l'établissement de relations assez simples entre les mouvements du navire à la mer et certains paramètres susceptibles d'être mesurés expérimentalement dans le port; d'autre part, sur l'exécution, introduite dans la pratique, des expériences propres à déterminer ces paramètres. De plus, des moyens précis d'observation, appliqués à l'enregistrement automatique des mouvements du navire en cours de navigation, ont permis de relever en détail et avec exactitude des faits nombreux, qui confirment les formules théoriques, et surtout d'en découvrir d'autres d'un grand intérêt qui avaient échappé aux prévisions de l'analyse.

En raison de la nature un peu spéciale du sujet, je crois nécessaire de remonter assez haut; je vous présenterai donc un exposé général du sujet, que je m'efforcerai d'ailleurs de rendre aussi bref que possible.

Les obscurités et les contradictions profondes, dont les esprits les plus éminents n'ont pu faire sortir la question des qualités nautiques des navires, pendant plus d'un siècle de tâtonnements, ont tenu surtout à ce que les paramètres du navire, dont dépendent son roulis et son tangage, n'ont été déterminés que successivement; et à ce que, dans chaque période, on voulait résoudre le problème des mouvements du navire à l'aide des données insuffisantes dont on avait la valeur numérique. Des divers éléments que nous énoncerons tout à l'heure, on n'a longtemps connu qu'un seul : la stabilité, mesurée dans une expérience introduite par Borda dans la pratique des ports, mais déjà proposée avant lui; on cherchait alors à rapporter à la stabilité seule l'amplitude du roulis. On a pensé, à une certaine époque, qu'une forte stabilité s'opposait aux grands roulis; plus tard, on a cru reconnaître, au contraire, qu'un affaiblissement de la stabilité amenait une diminution des roulis; ni l'un ni l'autre de ces principes n'est vrai en thèse générale. En cherchant par des distinctions subtiles à attribuer à la stabilité un rôle différent, selon qu'elle était due aux formes de la carène ou à la position des poids, D. Bernouilli s'écartait davantage encore de la vérité. Lorsqu'à la mesure de la stabilité on a commencé à joindre, il y a moins de vingt ans, celle du moment d'inertie, il manquait encore la connaissance du troisième élément, la résistance passive, qui n'a pas moins d'importance que les deux autres. En raison de cette dernière lacune, des travaux très ingénieux et très savants n'ont pas abouti à des conclusions pratiques en rapport avec l'importance de leurs développements mathématiques.

Le roulis et le tangage sont des mouvements pendulaires exécutés autour de parallèles à deux axes principaux d'inertie dont les déplacements se négligent au degré d'approximation des calculs théoriques. Nous supposons ces axes horizontaux et situés, l'un dans le plan longitudinal de symétrie, l'autre perpendiculairement à ce plan. Comme tous les mouvements pendulaires, le roulis et le tangage dépendent de trois éléments, qui sont :

1° Le couple de stabilité, jouant le même rôle que le couple formé sur un pendule ordinaire par le poids du pendule et la réaction du point de suspension, mais présentant une expression un peu plus compliquée; de plus la longueur du pendule varie ici légèrement avec l'inclinaison;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2° Le moment d'inertie autour de l'axe de rotation, qui a le même rôle que dans tous les mouvements pendulaires;

3° Le moment des résistances passives, qui prend une importance exceptionnelle à cause de la grande résistance de l'eau.

Ces trois éléments interviennent, non pas directement, mais par leurs rapports deux à deux.

Les paramètres, qui définissent le navire et déterminent ses mouvements, sont au nombre de deux seulement : le rapport du moment d'inertie au moment de stabilité et de celui d'inertie au moment de la résistance. L'influence du premier se traduit par la durée de la période propre de l'oscillation; celle du second, par la valeur d'un coefficient particulier, auquel est étroitement liée l'amplitude maximum et que j'appellerai *coefficient d'ecclisité*.

Les oscillations du navire sont la conséquence de celle de sa position d'équilibre sur l'eau agitée. Cette position d'équilibre tourne, en suivant le mouvement des vagues, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre; le navire la poursuit, puis la dépasse et la devance en vertu de la vitesse angulaire acquise, pour revenir vers elle, dès que sa force vive propre s'est amortie. Le point de départ de l'étude des mouvements du navire est nécessairement dans la connaissance de la position d'équilibre à chaque instant.

La position d'équilibre dépend de la direction et de l'intensité de la poussée hydrostatique dans l'eau agitée, lesquelles ont été données dans la théorie des vagues. La poussée sur un petit flotteur est normale à la surface de l'eau, puisque la surface supérieure est nécessairement, dans la masse liquide, une surface de niveau. L'intensité de la poussée est plus grande dans le fond des vagues, où la force d'inertie exercée par une molécule sur les molécules voisines est de même sens que la pesanteur, que sur le sommet des vagues où les deux forces sont de sens contraires; ainsi, sur des vagues de 9 degrés d'inclinaison, la poussée au fond des vagues est de 15 p. 0/0 plus forte qu'en eau calme, celle au sommet est de 15 p. 0/0 plus faible. Un flotteur est en équilibre lorsque la poussée de l'eau appliquée au centre de carène est égale et opposée à la résultante de la pesanteur et de la force d'inertie développée dans le mouvement de translation; cette condition est remplie quand le flotteur est placé normalement sur l'eau, qu'il participe au mouvement orbitaire des molécules liquides et qu'il déplace un volume constant, le même qu'en eau calme.

L'inclinaison des vagues et leur période ne sont connues que par les observations directes faites à la mer. La théorie fournit seulement des formules pour calculer le sinus de l'inclinaison en fonction du rapport de la hauteur à la longueur, auquel il est proportionnel, et pour calculer la longueur en fonction du carré de la période, auquel elle est également proportionnelle.

Le rapport entre la hauteur de creux en crête et la longueur de crête en crête ne dépasse pas 0.05, suivant la plupart des observateurs; dans les circonstances où j'ai mesuré ce rapport, par jolie brise ou forte brise, sur des vagues de longueur très variée, il n'a pas atteint 0.045. Le rapport 0.5 correspond à une inclinaison de 9 degrés et quelques minutes.

La période est plus facile à mesurer, et par suite mieux connue que l'incli-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

naison des vagues. M. Armand Pàris, fils de M. le vice-amiral Pàris, a fait en particulier, il y a quelques années, des observations très suivies, dans les mers qu'il traversait, et a noté ainsi un grand nombre de demi-périodes moyennes variant de $2^s,9$ à $4^s,75$, la valeur la plus forte se rencontrant dans l'Atlantique sud. Trois observations, faites dans le cours de la dernière année à l'aide de l'oscillographe double, méritent d'appeler particulièrement l'attention, comme ayant été prises sur des mers différentes par des brises à peu près de même intensité (brise n° 5 environ); elles ont été faites dans de bonnes conditions; elles ont été corrigées de l'effet dû à vitesse propre et à la direction du navire par rapport aux vagues, ce qui n'a pas généralement lieu. Dans ces trois observations, la demi-période a été trouvée de $1^s,8$ dans la Manche aux environs de Cherbourg, de $2^s,5$ dans le golfe de Lion, de $4^s,45$ dans le golfe de Gascogne.

La période dépend beaucoup, comme on voit, du lieu où l'on se trouve, et, par suite, elle doit présenter pour chaque mer une valeur moyenne particulière dont elle s'écarte peu dès que la brise est forte; il serait très important, au point de vue de la construction et de la navigation, de posséder une carte géographique de l'ensemble des mers du globe donnant partout la durée prépondérante des vagues.

Les plus grandes valeurs observées pour la demi-période atteignent et même dépassent 10 secondes; mais les demi-périodes de 10 secondes, qui correspondent à des demi-longueurs de 300 mètres, doivent être classées avec les demi-hauteurs de 5 mètres à 6 mètres, et les inclinaisons de plus de 9 degrés au nombre des phénomènes tout à fait exceptionnels.

La poussée par unité de volume en un point du liquide étant connue, on obtient, en la multipliant par le déplacement d'une carène, la poussée totale exercée sur un navire; cette manière de combiner les forces élémentaires suppose une condition remplie; il faut que le navire soit infiniment petit, ou, du moins, très petit par rapport à la grandeur des vagues. Dès que la carène déplace dans une vague un volume tel que la poussée y varie d'une manière sensible d'un point à l'autre, en intensité et en direction, la poussée résultante n'est plus aussi inclinée que la plus inclinée des poussées élémentaires, et son point d'application tombe plus près du fond et plus loin du sommet de la vague que le centre géométrique du volume de la carène. Il en résulte que la position d'équilibre du navire est moins inclinée sur la verticale que celle d'un petit flotteur, ou, en d'autres termes, que l'inclinaison de la vague moyenne ou effective dont le roulis dépend est moindre que l'inclinaison des vagues réelles à la surface supérieure de l'eau.

La diminution d'inclinaison effective des vagues, en fonction des dimensions de la carène, est la seule donnée dont on puisse calculer mathématiquement la valeur dans l'étude du roulis et du tangage.

J'ai fait les opérations pour une série de navires; j'ai supposé aux vagues l'inclinaison uniforme de 9 degrés et je leur ai attribué d'abord la demi-longueur, très courte, de 25 mètres seulement, puis la dimension assez ordinaire de 50 mètres de demi-longueur, enfin la longueur variable et très intéressante pour chaque navire, qui correspond au synchronisme entre les vagues et le roulis. Le tableau ainsi obtenu pour les réductions à faire subir à l'incli-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

naison des vagues au point de vue du roulis est très intéressant à étudier. Le coefficient de réduction passe par toutes les valeurs, de zéro à l'unité; il devient même parfois négatif, le point d'application de la poussée pouvant s'approcher du creux de la vague jusqu'à dépasser la verticale menée par le centre de gravité du navire en équilibre, de telle sorte que la position d'équilibre est alors inclinée à contre-vague [1].

Sur les vagues de 25 mètres de demi-longueur, le coefficient de réduction est négatif et approche de la valeur 0.3 pour *le Suffren;* il serait tout à fait nul sur un navire un peu moins grand qui échapperait ainsi à tout mouvement de roulis sur la mer considérée; il redevient positif et égal à 0.1 sur *le Solférino*, il est égal à 0.3 sur les plus anciennes frégates cuirassées; il va ensuite en se rapprochant de l'unité à mesure que les dimensions des navires diminuent, mais il est encore inférieur à 0.85 sur les avisos et les canonnières. Quand les vagues ont 50 mètres de demi-longueur, le coefficient de réduction est toujours positif; il ne descend guère au-dessous de 0.50 pour les plus grands navires; il dépasse 0.90 sur les avisos et les canonnières. Ces chiffres mettent en évidence un avantage très considérable des grands navires sur les petits, dans les conditions de navigation ordinaires.

Si l'on considère les vagues synchrones avec le roulis des navires, leurs dimensions croissent avec les dimensions de la carène, de telle sorte que le coefficient de réduction est à peu près constant, et égal à 0.9 pour tous les bâtiments.

De même que la théorie des vagues fournit, à un instant donné, la valeur exacte de la poussée en tous les points de l'eau, de même elle fait connaître, à tous les instants, sa valeur en un point donné. L'expression algébrique de la poussée en fonction du temps, jointe à celle du mouvement de translation du navire, permet d'établir l'équation différentielle rigoureuse du roulis, lorsqu'on ne tient pas compte des résistances passives. Cette équation différentielle est trop incomplète pour servir de base à l'étude du roulis, le mouvement du navire dépendant des résistances, non moins que de la poussée; elle renferme d'ailleurs deux fonctions elliptiques qui en rendent l'intégration impossible; toutefois elle mérite d'être consultée à quelques égards, et, en particulier, pour le mouvement très utile des pendules soumis à la résistance de l'air seulement et entraînés dans le mouvement de translation du navire.

Si, dans l'équation différentielle considérée comme s'appliquant à un pendule, on suppose la période du mouvement propre du pendule infiniment grande, l'équation se simplifie singulièrement; elle se trouve alors satisfaite si l'angle d'inclinaison du pendule est nul. On conclut de là qu'un pendule d'une période très longue, placé à bord d'un navire, garde sa position d'équilibre verticale et peut ainsi servir à enregistrer le roulis total du bâtiment. Si l'on suppose la période du mouvement propre du pendule infiniment courte, l'équation devient non moins simple que précédemment, et elle se trouve satisfaite quand l'inclinaison du pendule est constamment égale à celle des vagues. On conclut de là qu'un pendule très court, placé à bord dans certaines con-

[1] Voir plus loin, p. 267, le tableau n° 1 inséré à la suite de cette communication.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ditions, peut rester constamment normal aux vagues, et peut servir à enregistrer le mouvement de roulis relatif par rapport à cette normale. Nous reviendrons tout à l'heure, à l'occasion de l'oscillographe double, sur les propriétés de ces pendules, propriétés qui auraient pu être établies directement, par un raisonnement assez simple et d'une portée générale, sans tenir compte des caractères particuliers du mouvement orbitaire des vagues.

Un rapprochement mérite d'être fait entre les deux pendules que nous venons de considérer et le navire pris, soit dans le cas du roulis, soit dans celui du tangage. Le tangage présente une durée propre beaucoup plus brève que celle du roulis. Le tangage doit donc se rapprocher, plus que le roulis, du mouvement du petit pendule; il doit suivre le mouvement de la normale aux vagues, tandis que le roulis, comme le mouvement du grand pendule, doit plutôt s'exécuter autour de la verticale absolue. Les observations à la mer établissent que ce sont bien là, en effet, les caractères distinctifs des deux mouvements.

Après avoir demandé les données précédentes à la théorie des vagues, il faut renoncer aux procédés de l'analyse pure et recourir, pour continuer l'étude du roulis, aux expériences du roulis artificiel en eau calme, ajoutées aujourd'hui à l'ancienne expérience de stabilité.

Admettons, dès le principe, comme un fait d'observation, que le roulis garde constamment à la mer sa période propre indépendante de celle des vagues, et que son amplitude seule varie; nous reviendrons en temps opportun sur cette loi expérimentale de l'isochronisme afin de l'approfondir.

L'isochronisme du roulis étant supposé, nous nous rendons facilement compte des conditions de concordance dans les mouvements, en raison desquelles le mouvement de la position d'équilibre du navire doit, soit augmenter, soit diminuer l'amplitude du roulis.

Si, pendant le rappel, le navire et sa position d'équilibre tournent en sens inverse, le travail du couple de stabilité est plus grand qu'il ne serait dans un rappel, par rapport à la position d'équilibre restée immobile; par suite la force vive au passage à la position d'équilibre est plus grande. Si, pendant l'abatée, le navire et la position d'équilibre tournent en sens inverses, le travail résistant du couple de stabilité, pour un même écart final par rapport à la position d'équilibre, se trouve diminué, en raison de ce qu'une partie de l'angle d'écart a été parcourue par la position d'équilibre; le navire s'éloignera de la position d'équilibre, plus qu'il ne l'eût fait, en vertu de la même force vive, si la position d'équilibre n'eût pas bougé. Ces deux circonstances réunies constituent le cas le plus favorable à l'accroissement du roulis. On démontre de la même manière que les roulis sont diminués par l'effet de la stabilité, quand les deux rotations, celle du navire et celle de sa position d'équilibre, sont de sens contraires pendant les rappels et de même sens pendant les abatées, et qu'ils restent stationnaires, sauf l'action des résistances passives, quand les deux rotations sont constamment, soit de même sens, soit de sens contraires.

Le cas du roulis croissant seul doit nous occuper. Le maximum de croissance ne peut se réaliser que si les circonstances d'accroissement ont lieu pendant toute la durée d'un roulis, et si, de plus, la position d'équilibre décrit,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pendant ce roulis, son oscillation totale; il exige donc la houle synchrone avec le roulis. Par un calcul assez facile ou même par un simple raisonnement, on trouve que ce maximum d'accroissement d'amplitude, d'un rappel à l'abatée suivante, est égal à l'inclinaison même de la vague effective, c'est-à-dire à la demi-amplitude du mouvement de la position d'équilibre.

Les grandes amplitudes supposent non seulement les grands accroissements d'un roulis à l'autre, mais encore la succession d'un grand nombre d'oscillations croissantes se suivant sans interruption. Le synchronisme, qui permet aux conditions d'accroissement de se reproduire indéfiniment, est donc, pour deux motifs, la circonstance de mer la plus défavorable aux navires au point de vue du roulis.

Les chances de synchronisme, pour un navire donné, dépendent de la période du roulis, qui se trouve ainsi déterminer non seulement la vivacité des mouvements, mais encore en partie leur amplitude. La période du roulis se mesure généralement, depuis une vingtaine d'années, sur les navires qui arment dans les ports de guerre français; il est donc facile de réunir en un tableau les périodes de roulis de tous nos types de bâtiments [1]. Pour les bâtiments de haute mer, la demi-période de roulis varie de 3 secondes à 10 secondes; elle descend à 2 secondes pour de petits remorqueurs destinés au service des ports et rades. Les très grands navires qui roulent en 10 secondes ne peuvent pas rencontrer leur houle synchrone; si parfois le synchronisme s'établit par suite de la marche du bâtiment, la mer vient alors presque de l'arrière et son inclinaison suivant le plan transversal du navire est très faible.

Les navires pour lesquels la demi-période est de 4 secondes, de 5 secondes, de 6 secondes, et ceux-ci sont en très grand nombre, sont exposés, au contraire, à rouler beaucoup par mer du travers ou un peu de l'arrière. On a eu l'occasion de vérifier en escadre la grande influence de la période du roulis sur les amplitudes, en comparant le roulis de deux types de navires semblables entre eux par la forme et la distribution des poids, mais différant par la grandeur absolue et la période propre des oscillations, le type *Océan* et le type *Thétis:* la demi-période était de 10 secondes pour le vaisseau, de 5 secondes pour la corvette; le roulis de la corvette atteignait 50 degrés d'amplitude totale, alors que, sur le vaisseau, la table à roulis n'était pas en place et qu'on s'apercevait à peine d'un mouvement. La faiblesse du coefficient de réduction donnait sans doute au vaisseau un avantage sensible, mais l'agitation excessive de la corvette tenait surtout à la fâcheuse valeur de sa période de roulis.

Il est à remarquer que les très petits navires roulant en 2 secondes ne trouvent point, dans cette faible période, un remède assuré contre le danger du synchronisme; leur service les retient, au contraire, sur des côtes et dans des passes où la demi-période des vagues est fréquemment voisine de 2 secondes. Les très grands navires sont les seuls que l'impossibilité du synchronisme avec les vagues mette à l'abri des grands roulis.

La demi-période dont nous venons d'étudier l'influence est, suivant la formule des mouvements pendulaires, proportionnelle à la racine carrée du

[1] Voir plus loin, p. 267, le tableau n° 2 inséré à la suite de cette communication.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quotient du moment d'inertie par le moment de stabilité; au degré d'approximation que comportent ces considérations générales, elle est indépendante des résistances passives. Il nous reste à étudier maintenant l'effet des résistances passives, supposé limité à l'amplitude du roulis.

Sans les résistances, l'amplitude du roulis pourrait s'accroître indéfiniment par des augmentations successives constantes, proportionnelles à l'inclinaison des vagues; mais cette amplitude subit, en réalité, d'une oscillation à l'autre, une réduction due au travail résistant de l'eau et de l'air, laquelle, indépendante de l'oscillation de la position d'équilibre, va en croissant avec l'amplitude. De là une limite que le roulis ne peut dépasser. L'amplitude a atteint son maximum, lorsque l'effet des résistances passives contre-balance l'accroissement d'amplitude le plus fort qui puisse résulter du passage d'une vague.

La décroissance d'amplitude produite par la résistance, d'un rappel à l'abatée suivante, est tout à fait impossible à calculer, mais on la mesure en observant la décroissance des roulis d'un navire mis en mouvement en eau calme et abandonné ensuite à lui-même. La courbe tracée pour représenter d'une manière contraire la décroissance en fonction de l'amplitude pourrait servir directement à la recherche du roulis maximum; il est préférable de déduire de cette courbe une formule qui donne plus de généralité aux résultats.

On trouve, par expérience, que la décroissance est sensiblement proportionnelle au carré de l'amplitude, en laissant de côté un terme, qui est négligeable pour les amplitudes supérieures à 4 ou 5 degrés. Cette loi, empirique et sans doute incomplète, est celle que le calcul indique, pour le cas d'une résistance simplement proportionnelle au carré de la vitesse comme dans les mouvements uniformes; le coefficient de décroissance, ou rapport des décroissances aux carrés des amplitudes, est, dans ce cas, proportionnel au rapport du moment de résistance au moment d'inertie. Le moment de résistance en question est la valeur du moment qui correspond à une vitesse angulaire égale à l'unité.

Sans avoir à nous préoccuper des causes très complexes dont la résistance dépend, nous trouvons, en égalant l'accroissement maximum à la diminution maximum d'amplitude, que l'amplitude est arrivée à sa plus grande valeur quand l'inclinaison effective des vagues est égale au produit du coefficient de décroissance par le carré de l'amplitude. L'amplitude maximum est donc proportionnelle à la racine carrée de la demi-oscillation de la position d'équilibre. Le rapport de la première de ces quantités à la seconde est égal à la racine carrée de l'inverse du coefficient de décroissance; cette racine est le coefficient d'ecclisité. Sur des vagues de 9 degrés d'inclinaison effective par exemple, l'amplitude maximum du roulis doit être égale au triple du coefficient d'ecclisité.

L'expérience de décroissance de roulis s'est faite pour la première fois, à Cherbourg, en 1867. Son importance a été vite comprise. Dès l'année 1872, elle était exécutée couramment par plusieurs observateurs, en France et en Angleterre. En 1878, elle a été rendue réglementaire pour la marine de guerre française. Bien que les données sur l'ecclisité soient loin d'être aussi nom-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

breuses que celles relevées pour la période du roulis, elles permettent, dès à présent, de classer les principaux types de navires au point de vue du roulis maximum [1].

Laissons d'abord de côté les bâtiments sur lesquels des mesures exceptionnelles ont été prises pour accroître la résistance de la carène dans l'eau, et considérons seulement les navires dépourvus de quilles latérales.

Le coefficient d'ecclisité est généralement moindre sur les petits bâtiments que sur les gros, bien qu'il ne suive pas une loi de croissance régulière, à cause de la variété dans les formes plus ou moins résistantes des carènes et dans la distribution des poids. Il ne dépasse pas 9 sur les avisos et les petits croiseurs ; il est égal à 11 et peut-être même à 15 sur les cuirassés. Cet avantage d'avoir un moindre coefficient d'ecclisité a une grande importance pour les petits navires, si défavorisés à un autre point de vue. Sur un bâtiment qui, à des coefficients de réduction des vagues peu différents de l'unité et à une période de roulis exposant au synchronisme avec les vagues, aurait joint le coefficient d'ecclisité d'un gros cuirassé, la navigation eût été fort désagréable et peut-être impossible.

Parmi les moyens propres à diminuer le coefficient d'ecclisité, on rencontre en premier lieu l'emploi des quilles latérales, qui avaient été déjà autrefois appliquées, mais auxquelles on donnait des dimensions insuffisantes avant les expériences qui ont permis de mesurer leur efficacité. Des quilles latérales, présentant ensemble une section longitudinale égale au dixième de la surface de la flottaison, doublent à peu près la valeur du coefficient de décroissance, et diminuent par suite du tiers le coefficient d'ecclisité ; elles ont été établies avec ces proportions à bord des canonnières *Crocodile*, *Lutin*, *Lynx*, et réalisent bien les effets prévus. Une semblable réduction d'ecclisité est une sérieuse amélioration pour de petits navires : les quilles qui la donnent ne paraissent pas accroître d'une manière sensible la résistance à la propulsion.

En attribuant au coefficient de décroissance la valeur algébrique correspondant à une résistance proportionnelle au carré de la vitesse, on peut, de l'augmentation de décroissance produite par les quilles, déduire leur coefficient de résistance dans l'eau. Ce coefficient est plus du triple de celui qui convient pour les mouvements uniformes, 165 kilogrammes au lieu de 50 kilogrammes. Il faut conclure de là que l'accélération angulaire fournit le terme le plus important de la résistance, ce qui ne doit pas surprendre, puisque la carène d'un navire, surtout lorsqu'elle est munie de quilles latérales, entraîne en roulant une grande masse de liquide, dont l'inertie est en jeu, surtout au commencement et à la fin de ces oscillations. Il est à noter, pour expliquer les lois indiquées précédemment, que la première puissance de l'accélération est, de même que le carré de la vitesse, inversement proportionnelle au carré de la période.

Les expériences faites dans le port donnent ainsi des données suffisantes pour prévoir les qualités nautiques au point de vue du roulis. La valeur de la période indique à l'avance la fréquence des grands roulis ; elle permet aussi

[1] Voir plus loin, p. 268, le tableau n° 3 inséré à la suite de cette communication.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de calculer les forces d'inertie développées à bord, pour une amplitude donnée quand on suppose le roulis soumis aux lois simples du mouvement d'un pendule ordinaire. La valeur du coefficient d'ecclisité fait connaître l'inclinaison qui peut être atteinte dans le cas le plus important, celui du synchronisme entre les vagues et le roulis; elle représente, de plus, un des facteurs de l'amplitude dans les autres circonstances.

Si l'on se préoccupe, non plus de prévoir les conséquences de la période et du coefficient d'ecclisité observés sur un navire prêt à partir, mais bien d'obtenir des valeurs avantageuses pour ces deux paramètres sur un navire à armer ou à construire, il faut recourir aux formules approximatives qui les relient aux trois données fondamentales déjà indiquées : moment de stabilité, moment d'inertie, moment de résistance.

Les calculs numériques à faire sur ce point sont assez compliqués, mais les principes généraux auxquels on est conduit sont très simples. Il est avantageux, le plus souvent, de réduire la stabilité, autant que le permet l'obligation de résister au moment d'inclinaison dû à l'action du vent et au moment des pressions de l'eau sur la carène dans les évolutions; cette règle est suivie sur la plupart des grandes lignes de paquebots, et on s'en trouve bien. Les changements dans le moment d'inertie ont des effets complexes, les uns utiles, les autres nuisibles; toutefois, certains mouvements de poids à bord peuvent amener à la fois une augmentation de la période et une diminution de l'ecclisité; tel est le cas, lorsqu'on élève des poids de la cale dans le faux pont. Il y a toujours tout bénéfice à augmenter le moment de résistance; les mesures à imaginer dans ce but se multiplieront sans doute et deviendront d'un emploi plus général, à mesure que le rôle important de la résistance sera mieux compris.

Après cette étude du roulis, qui repose moins sur une théorie proprement dite que sur des expériences raisonnées, nous arrivons aux observations faites à la mer, lesquelles portent sur le roulis et sur le tangage, les seules données que j'aie à exposer, les expériences en eau calme qui jettent tant de lumière sur la question du roulis faisant tout à fait défaut pour le tangage.

Les premiers relevés des mouvements oscillatoires du navire, à l'aide d'appareils enregistreurs, remontent, je crois, à l'année 1867; ils consistent dans les tracés obtenus aux environs de Brest à l'aide du trace-roulis à toupie de M. le vice-amiral Pâris, et dans ceux que m'a donnés, en 1867-1868, à bord du *Magenta* et de *la Flandre*, un petit pendule muni d'un pinceau. Plusieurs appareils ont été imaginés depuis lors, dont la description m'entraînerait trop loin; je citerai toutefois un appareil parfaitement exact, fondé sur l'emploi de la photographie, dont les épreuves se trouvent exposées dans la classe 67. Je me bornerai ensuite à l'énoncé des principes de fonctionnement de l'oscillographe double, cet instrument étant celui qui a servi pour toutes les expériences faites dans ces dernières années, dont j'ai à exposer les résultats; l'oscillographe double figure également à l'Exposition, classe 67.

L'oscillographe double est fondé sur la combinaison des deux pendules, l'un à très longue période et l'autre à très courte période, dont nous avons vu tout à l'heure les propriétés. Les tracés de ces pendules donnent le roulis par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rapport à la verticale, le roulis par rapport à la position d'équilibre qui suit le mouvement des vagues, et, par différence, les oscillations de la position d'équilibre. Le grand pendule n'a d'autre mouvement, par rapport à la verticale, qu'une oscillation pendulaire se produisant accidentellement, toujours facile à discerner en raison de sa très longue période. Le petit pendule, dont la position d'équilibre suit la résultante de la pesanteur et de toutes les forces d'inertie dans les mouvements complexes auquel il est soumis, s'écarte de la normale à la vague effective, d'angles proportionnels à l'accélération angulaire dans le roulis et à la distance qui le sépare de l'axe de rotation instantané du navire. L'accélération angulaire est produite, au commencement des oscillations, par le couple de stabilité, et, au moment de la plus grande vitesse, par le moment des résistances passives. L'axe de rotation du navire a une position très variable; il y a donc toujours des instants où il se trouve assez loin du petit pendule. Dans ces conditions, l'oscillographe double, toujours très exact pour l'enregistrement du roulis absolu, ne donne la période des vagues que dans les moments où le roulis a peu d'amplitude. Quand le roulis est très étendu, la comparaison des tracés des deux pendules serait plutôt propre à indiquer la position de l'axe de rotation du navire; mais il est difficile, quant à présent, de discuter les tracés à ce dernier point de vue. Dans l'avenir, quand on saura mieux interpréter chacun des deux tracés pour les cas de roulis, ou très faibles, ou très étendus, on arrivera peut-être à analyser leurs écarts, dans le cas de toutes les amplitudes possibles, de manière à en tirer des déductions utiles. Le relevé du roulis par l'oscillographe a été fait à bord de quatre bâtiments.

La première expérience a eu lieu sur *le Duchaffaut* marchant à la voile sous l'allure du plus près. Le grand pendule oscillait à peine, tandis que le petit pendule inscrivait des inclinaisons très prononcées. Le navire, en effet, appuyé par sa voilure, n'avait presque pas de roulis; le petit pendule enregistrait simplement le passage des vagues avec leur inclinaison par rapport à la verticale. L'examen des tracés explique de suite pourquoi les petits pendules, autrefois établis à bord pour la mesure de la bande, passaient pour donner, au point de vue du roulis, des indications tout à fait inexactes et indignes d'attention; le mouvement de ces pendules, par rapport au navire, est forcément tout autre que celui du navire par rapport à l'horizon.

En second lieu, une série d'expériences a été faite à bord de la canonnière *le Crocodile* marchant à la vapeur. La durée des vagues variait, en restant inférieure à celle du roulis; elle s'est approchée un jour beaucoup de cette dernière. Dans ces conditions, les oscillations du navire se sont constamment exécutées autour de la verticale, c'est-à-dire que le roulis absolu seul a présenté les caractères d'un mouvement pendulaire régulier, de période constante. L'amplitude est toujours restée très au-dessous de ce que pouvait faire prévoir la valeur, cependant très faible, de 5.5 trouvée pour le coefficient d'ecclisité; elle n'a pas dépassé 9 degrés sur un bord. Cette faiblesse de l'amplitude confirme ce que l'on pouvait attendre de l'efficacité des quilles latérales du *Crocodile* et laisse supposer de plus qu'au moment du synchronisme, la mer venait d'une direction notablement écartée du travers.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La troisième série d'expériences, exécutée sur *l'Annamite* en plein océan Atlantique, dans une traversée de Cherbourg à Toulon, est de beaucoup la plus importante de toutes. Un petit coup de vent soufflant du large amenait la grosse mer qui caractérise le golfe de Gascogne, et l'on a pu, trois jours durant, faire des observations continuelles très complètes, qui ont révélé un certain nombre de faits nouveaux.

Les tracés de *l'Annamite* sont particulièrement intéressants à examiner au point de vue de la durée du roulis, de la loi de l'isochronisme et de l'explication des controverses auxquelles cette loi, généralement acceptée, est restée l'objet de la part de quelques observateurs.

L'isochronisme ne s'est rencontré d'une manière générale, sur *l'Annamite*, que pour les mouvements au-dessus d'une certaine amplitude. Les roulis inférieurs à 7 degrés, à 8 degrés d'un bord sur l'autre, ont eu des durées très irrégulières, variant entre la durée des vagues et celle du roulis propre.

En second lieu, la période dominante de chaque journée, laquelle est bien constante pendant le cours d'une même expérience et manifestement indépendante de la durée des vagues, varie un peu, d'un jour à l'autre, avec l'intensité de la brise. La demi-période, qui avait été trouvée de 7 secondes dans l'expérience en eau calme, est descendue à 6 secondes et même 5^{s},8 pendant les journées de bonne brise, pour remonter à 7 secondes, dès que le vent fut tombé.

Enfin on a reconnu que les deux roulis simples, l'un dans le sens du vent, l'autre à l'encontre du vent, s'exécutent en des temps différents. Le roulis qui s'opère contre le vent et sous l'action d'un couple de stabilité hydrostatique plus fort, est le plus bref des deux. Cet effet, qui se relie étroitement à la variation de la durée totale sous l'action du vent, est très prononcé. La différence des deux demi-périodes, à peu près proportionnelle à l'amplitude, dépassait la moitié de la demi-période moyenne, pour les amplitudes totales de 25 degrés. Dans ces conditions, la période la plus courte se réduisait aux 4/7 de la période en eau calme; les forces d'inertie, inversement proportionnelles au carré de la période, étaient donc multipliées dans le rapport de 49 à 16, par rapport aux valeurs indiquées par l'expérience faite dans le port. Il a été souvent affirmé, par des praticiens, que le roulis à la mer présente des rappels d'une dureté extraordinaire et ne peut, au point de vue de la fatigue à bord, être assimilé à un mouvement pendulaire régulier; des observations exactes justifient et précisent cette assertion.

Ces lois concernant la durée du roulis sont sans doute générales; mais sur *l'Annamite*, le vent a plus d'action que sur la plupart des navires, en raison de l'importance considérable des œuvres mortes et de tout le fardage.

Les amplitudes de roulis n'ont pas donné lieu à des remarques aussi intéressantes que les durées. On a constaté que l'amplitude moyenne et l'amplitude maximum pour une journée se rapprochent de plus en plus l'une de l'autre, comme il était possible de le prévoir, à mesure que les vagues et les roulis se rapprochent du synchronisme. Les plus grandes amplitudes totales, relevées, ont été de 30 degrés.

La dernière série d'expériences a été faite aux environs de Cherbourg, sur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le petit remorqueur *la Navette*. Les principaux faits observés sur *l'Annamite* ont été de nouveau constatés; seulement la différence de durée, entre les deux roulis simples, exécutés suivant le vent ou contre le vent, était moins forte; la durée du roulis le plus bref était les 3/4 de l'autre, dans des conditions où, sur *l'Annamite*, elle en eût été les 3/5 seulement. Comme le bâtiment était à la disposition de l'observateur, il a été possible de le placer exactement en travers à la mer; comme, de plus, le synchronisme s'est rencontré entre les vagues et le roulis, les expériences ont été particulièrement intéressantes au point de vue de l'amplitude maximum. L'amplitude totale a atteint 45 degrés, soit 22°,5 sur un bord; le coefficient d'ecclisité de *la Navette* est 8.8; l'inclinaison des vagues, calculée d'après leur durée et leur hauteur, était de 6 degrés; le produit du coefficient d'ecclisité par la racine carrée de l'inclinaison était de 21 degrés, nombre qui diffère très peu de 22°,5. Cette vérification peut être regardée comme plus parfaite que le degré d'exactitude du calcul de l'amplitude maximum ne le comporte, et son exactitude tient peut-être à quelque légère erreur dans la mesure de l'inclinaison des vagues.

Passons maintenant à l'étude du tangage.

Pour le tangage, il ne se fait pas, avons-nous dit, d'expériences en eau calme, permettant, comme pour le roulis, de mesurer une période propre et un coefficient d'ecclisité. Pour produire artificiellement le tangage, il faudrait exercer sur le navire un effort considérable qu'aucun appareil existant dans les ports n'est capable de développer. De plus, il est à supposer que le tangage en eau calme s'éteindrait avec une rapidité extrême; la mesure de la période propre et du coefficient de décroissance serait beaucoup moins exacte que pour le roulis. Il résulte d'ailleurs de ce que nous allons voir que des expériences de tangage artificiel en eau calme, même exactes, seraient peu concluantes.

Les données sur le tangage se bornent à la valeur du couple de stabilité longitudinale, qui se calcule sur le plan des formes. Le moment d'inertie longitudinal peut aussi être évalué. Les opérations numériques sont très longues; je les ai faites pour *l'Annamite* à l'état de chargement complet, et j'ai trouvé que le rapport du moment de stabilité au moment d'inertie est environ dix fois plus fort dans le sens du tangage que dans celui du roulis. La période du tangage doit être, par suite, moins du tiers de celle du roulis; c'est là une indication importante, bien qu'elle soit isolée et qu'on ne puisse guère espérer voir le calcul du moment d'inertie longitudinal se généraliser. Pour le moment de résistance, il est impossible d'obtenir même une simple évaluation; on peut penser seulement, en raison de l'ordre élevé de la puissance des dimensions dont ce moment dépend, qu'il n'a pas une valeur moins grande que le moment de stabilité, par rapport au moment d'inertie. L'étude du tangage, en somme, dépend entièrement des observations qu'il est possible de faire à la mer.

L'oscillographe double est propre à l'observation du tangage, comme à celle du roulis. Mer debout, le grand pendule se trouve dans les meilleures conditions possibles de fonctionnement, en raison de la brièveté des mouve-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ments à enregistrer. Les mouvements propres du petit pendule, par rapport à la position d'équilibre hydrostatique du bâtiment, dépendent, de même que dans le cas du roulis, de l'amplitude du tangage relatif par rapport à cette position d'équilibre. La première loi que nous allons trouver dira précisément que le tangage relatif est nul; pour ce cas, tout au moins, les indications du petit pendule sont exactes et la loi qu'il indique bien établie. On pourrait craindre que l'inclinaison du petit pendule ne fût influencée par les accélérations et les ralentissements alternatifs dans la marche en avant du navire sur grosse mer; un calcul facile montre que cet effet est tout à fait négligeable.

L'oscillographe double a été appliqué pour la première fois à l'étude du tangage à bord de *l'Annamite*, à la fin de la traversée dont la première partie avait été consacrée à relever des courbes de roulis. Les observations faites à diverses reprises, par des mers plus ou moins grosses, mais venant toujours de l'avant ou du bossoir, ont toutes donné des résultats analogues.

La figure suivante représente un spécimen du tracé du grand pendule[1]; l'amplitude totale du tangage absolu, relevé, varie de 0° à 5°; la période est assez irrégulière.

Quant au tracé du petit pendule, il ne porte la trace d'aucune oscillation et il semblerait avoir été obtenu à l'aide d'une règle.

Le tangage relatif de *l'Annamite* restait donc constamment nul, et ce n'est pas sans surprise que l'on a vu, sur un navire aussi agité, le petit pendule tracer sur le papier une ligne aussi parfaitement droite. Le tangage absolu consistait simplement dans un mouvement oscillatoire suivant exactement celui de la position d'équilibre hydrostatique, laquelle s'écartait notablement, d'ailleurs, de la normale à la surface de l'eau, en raison de la très grande portion d'une vague que le navire occupait dans le sens de sa longueur; il y avait parfois deux vagues entières sous la carène.

Une loi aussi simple ne s'applique évidemment pas à toutes les circonstances de navigation; elle ne suffirait pas à expliquer l'ensemble des faits connus relativement au tangage. Pour me rendre compte de son degré de généralité, je me suis tout d'abord reporté aux durées moyennes, observées sur le tangage des navires naviguant de conserve dans la campagne d'essai de la première escadre cuirassée en 1863; cette campagne, entreprise pour comparer les bâtiments type *Normandie* et type *Solférino*, avec les vaisseaux *Napoléon* et *Tourville*, a donné lieu à des observations très soignées, quoique faites sans le

[1] Les figures ci-dessus sont insérées pour tenir lieu des courbes originales, elles-mêmes, mises sous les yeux du Congrès.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

secours d'appareils enregistreurs. J'ai reconnu que, pour tous les bâtiments de l'escadre de 1863, les périodes moyennes de tangage observées ne diffèrent pas plus, d'un type à l'autre, que de l'un à l'autre de deux navires de même type; ces périodes sont donc la période même des vagues relevée avec ses irrégularités. *Le Tourville*, bâtiment beaucoup plus court, a fait exception à la règle générale, et a eu des tangages un peu plus brefs (d'un septième seulement) que la moyenne de ceux des autres bâtiments. La vérification de la loi de *l'Annamite* est donc le fait le plus saillant ressortant de ces expériences.

Pour pousser l'étude plus loin, j'ai fait un grand nombre d'expériences, au large de la digue de Cherbourg, avec *la Navette*, que je faisais marcher à diverses vitesses, tantôt mer debout, tantôt mer à l'arrière. J'ai obtenu des courbes à tangage relatif nul, comme sur *l'Annamite*, et d'autres, au contraire, présentant un roulis relatif plus ou moins fort. L'ensemble des résultats peut se résumer de la manière suivante :

Vent debout, tant que la vitesse reste au-dessous d'une certaine limite, qui paraît devoir être d'autant moins élevée que le navire est plus court, le tangage relatif est nul; et le tangage absolu devient nécessairement de plus en plus bref à mesure que la vitesse augmente, mais il garde sensiblement la même amplitude. Quant la limite en question est dépassée, le roulis relatif commence à apparaître; il se présente sous la forme d'un retard à peu près constant du mouvement du navire, par rapport au mouvement de la position d'équilibre. Le retard a été trouvé, pour certaines vitesses, égal au quart de la période totale; dans ce cas, l'amplitude maximum dans le tangage relatif coïncidant avec le passage sur le sommet ou le creux des vagues, l'amplitude totale maximum n'est pas augmentée. La vitesse continuant à s'accroître, le mode de concordance des mouvements change; les maxima du tangage relatif viennent à coïncider avec les inclinaisons maxima de la position d'équilibre; le tangage absolu se trouve alors accru de tout le tangage relatif, par rapport à ce qu'il était aux faibles vitesses. En même temps que les deux mouvements prennent une concordance plus fâcheuse, l'amplitude du roulis relatif croît avec la vitesse, et il arrive ainsi un moment où l'avant du navire entre en grand dans la vague; on reçoit alors un coup de mer sur le pont; il faut arrêter l'expérience.

Quand la mer vient de l'arrière, le tangage a une période très longue, qui croît avec la vitesse du bâtiment, supposée toujours inférieure à celle des vagues; le tangage relatif reste toujours faible; l'amplitude du tangage total est à peu près constante sur les courbes inscrites par les deux pendules; on voit la trace de petits mouvements à très courte période qui sembleraient être un tangage propre.

La question importante au point de vue pratique est de réaliser, mer debout, jusqu'à la plus grande vitesse possible, la condition de nullité du tangage relatif, au delà de laquelle il n'y a plus rien à désirer. Cette propriété des navires, de suivre exactement au tangage la position d'équilibre dont ils s'écartent si fort au roulis, résulte évidemment de la différence entre les rapports du moment de stabilité et du moment de résistance au moment d'inertie, qui se rencontrent, soit pour le tangage, soit pour le roulis; par suite, elle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

doit se réaliser d'autant plus parfaitement que cette différence est plus prononcée.

La limite de vitesse pour laquelle le tangage relatif commence à se produire étant reculée, il est probable que celle pour laquelle le mode de concordance du tangage relatif et du mouvement des vagues devient dangereux, le sera également.

La première règle à laquelle on se trouve ainsi conduit, pour améliorer le tangage, consiste à diminuer le moment d'inertie longitudinal, c'est-à-dire à alléger les extrémités et à concentrer les poids au centre du bâtiment. C'est là le simple énoncé d'un vieux principe d'expérience, suivi pour obtenir des navires *s'élevant à la lame*. On obtient aussi une augmentation du moment de stabilité et du moment de résistance, plus forte que celle du moment d'inertie, en adoptant à la hauteur de la flottaison des prolongements de la carène en forme d'éperons, d'une construction aussi légère que possible. L'usage de ces prolongements se répand, du moins pour les avants des navires, qui sont vraisemblablement plus éloignés que les arrières de l'axe de rotation dans le tangage, et dont la forme a certainement plus d'influence sur la levée des navires à la lame.

On admet généralement qu'en dehors des pressions hydrostatiques et de la période de leurs oscillations, le tangage dépend, dans une mesure très appréciable, des forces hydrodynamiques exercées par l'eau sur l'avant en raison de la vitesse de propulsion. Ces forces hydrodynamiques, qui peuvent en effet influer, tout au moins, sur le mode de concordance du tangage et des vagues, dépendent des formes de la carène; un avant, taillé de manière à diminuer la composante verticale des forces hydrodynamiques, peut avoir sur le tangage une influence favorable. La recherche de l'avant le meilleur à ce point de vue ne peut guère se faire que par l'essai de formes variées. On croit avoir constaté déjà qu'il y a intérêt, au point de vue des forces hydrodynamiques comme au point de vue de la stabilité, à développer la forme en éperon et à placer l'extrémité de la saillie aux environs de la flottaison. Les faits connus jusqu'ici ne sont pas suffisants pour permettre d'aller au delà de cette indication générale, en attendant des expériences qui permettent de formuler avec certitude des conclusions plus précises. (Applaudissements.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU N° 1.

NOMS DES BÂTIMENTS.	COEFFICIENT DE RÉDUCTION DE L'INCLINAISON DES VAGUES.		
	HOULE de 25 mètres de longueur L.	HOULE de 50 mètres de demi-longueur L.	HOULE synchrome avec le roulis.
Suffren	0,28	0,46	0,96
Solférino	0,11	0,61	0,92
Couronne	0,28	0,68	0,82
Flandre	0,30	0,74	0,94
Atalante	0,35	0,79	0,89
Magicienne	0,54	0,83	0,87
Calvados	0,46	0,84	0,90
Château-Renaud	0,75	0,88	0,90
Hirondelle	0,79	0,90	0,92
Renard	0,78	0,88	0,96
Lamothe-Piquet	0,84	0,91	0,87
Corse	0,84	0,93	0,86
Crocodile	0,84	0,91	0,87

TABLEAU N° 2.

NOMS DES BÂTIMENTS.	DÉPLACEMENT.	DEMI-PÉRIODE DU ROULIS.
	tonneaux.	s
Suffren	7,580	10,15
Solférino	6,981	7,20
Couronne	6,228	5,30
Flandre	5,736	6,00
Annamite	5,224	6,28
Atalante	3,602	5,30
Magicienne	3,468	4,69
Calvados	3,171	5,50
Château-Renaud	1,700	4,40
Hirondelle	1,552	5,65
Duchaffaut	1,273	4,50
Renard	814	5,07
Lamothe-Piquet	653	3,35
Corse	307	3,00
Crocodile	466	3,60
Navette	66	2,00

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU N° 3.

NOMS DES BÂTIMENTS.	COEFFICIENT DE DÉCROISSANCE N.	COEFFICIENT D'ECCLISITÉ $C=\sqrt{\frac{1}{N}}$.
BÂTIMENTS SANS QUILLES LATÉRALES.		
Sultan (anglais)	0,0045	14,9
Suffren, armé	0,0083	11,0
La Galissonnière, armé	0,0075	11,5
Inconstant (anglais)	0,0123	9,0
Annamite, armé	0,0170	7,7
Calvados, désarmé	0,0165	7,8
Eurydice	0,0077	11,3
Volage (anglais)	0,0141	8,4
Hirondelle désarmé	0,0207	7,0
Hirondelle armé	0,0150	8,2
Renard	0,0121	9,0
Élorn	0,0160	7,9
Navette	0,0139	8,8
Chaland amphidrome	0,0121	9,0
Chaland à charbon	0,0154	8,0
BÂTIMENTS MUNIS DE QUILLES LATÉRALES.		
Lutin	0,0210	6,9
Crocodile	0,0293	5,8
Élorn quilles sous l'eau	0,0300	5,7
Élorn quilles à la flottaison	0,0400	5,0
Chaland amphidrome avec quatre quilles	0,0330	5,5
Chaland amphidrome avec deux quilles	0,0320	5,5

M. LE PRÉSIDENT. M. Bertin a bien voulu venir de Cherbourg pour faire cette communication intéressante. Elle figurera avec honneur dans les procès-verbaux du Congrès du Génie civil.

La séance est levée à midi vingt-cinq minutes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SÉANCE DU LUNDI 12 AOÛT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. TRESCA, PUIS DE M. ÉMILE TRÉLAT,
DIRECTEUR DE L'ÉCOLE SPÉCIALE D'ARCHITECTURE.

Ordre du jour : 7e Section. — Constructions publiques et particulières.

Sommaire. — Assainissement des villes, rapport de M. Durand-Claye. — Ventilation des édifices, mémoire de M. Bourdais. — Filtration naturelle de l'eau dans les villes, rapport de M. de Passy. — Observations de M. Léon Dru.

La séance est ouverte à dix heures un quart.

M. Tresca, président du Congrès, occupe au commencement de la séance le fauteuil de la présidence.

Il a pour assesseurs MM. Betocchi, Marx, Laurens, et Marché, secrétaire.

M. le Président. Nous avons aujourd'hui, Messieurs, à entendre trois communications importantes; c'est dire que nous serons obligés de les réduire à un temps déterminé, car nous devons quitter notre séance vers onze heures, onze heures et demie, M. Bourdais se proposant de vous prier d'aller visiter l'installation de la ventilation dans le Palais du Trocadéro, installation dont il vous parlera tout à l'heure.

La parole est à M. Durand-Claye pour son Rapport sur l'assainissement des villes.

COMMUNICATION
SUR L'ASSAINISSEMENT DES VILLES,
PAR M. DURAND-CLAYE,
INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

M. Durand-Claye. Vous avez été prévenus, Messieurs, par M. le Président que je ne pourrais disposer que d'un temps très limité; je ne puis donc avoir la prétention, dans une demi-heure ou trente-cinq minutes, que d'esquisser à très grands traits la question pour laquelle j'ai été porté à votre ordre du jour.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette question de l'assainissement municipal a pris aujourd'hui une importance internationale, tant au point de vue de la voie publique que de l'intérieur des maisons; elle préoccupe, à juste titre, toutes les municipalités soucieuses de remplir consciencieusement leur mission.

Dans cette enceinte même, pendant dix jours, un Congrès international d'Hygiène a réuni un grand nombre de médecins et d'ingénieurs étrangers, de médecins surtout; il s'est occupé des mesures à prendre en vue de la salubrité publique, et les séances ont été longues et intéressantes précisément sur les questions d'hygiène municipale.

Je vais avoir l'honneur, Messieurs, de faire passer sous vos yeux, sommairement, non pas les détails, mais les traits essentiels de chacune des questions qui rentrent dans cet ordre d'idées, vous laissant le soin, par la réflexion et vos recherches personnelles sur cette matière spéciale, de compléter tout ce qu'il y aurait d'imparfait dans mon exposé.

La question d'assainissement municipal a pris une grande importance quand les villes sont devenues considérables. Vous savez quels sont les chiffres des populations des principales villes; celle de Paris est d'environ 2 millions d'habitants. On en compte 4 millions à Londres; à Berlin et à Vienne, 1 million.

Quand vous avez à Paris une agglomération aussi grande d'individus, il est nécessaire que la ville soit débarrassée de tous les détritus des produits journaliers servant à la vie, à l'existence de ces individus. Le but essentiel de l'assainissement est précisément de faire disparaître le plus rapidement possible et dans les meilleures conditions ces détritus.

Dans cet ordre d'idées, il convient d'examiner successivement les points suivants :

1° Quel est le système de distribution d'eau à employer au point de vue de l'assainissement? Il ne s'agit pas d'étudier ici la théorie et la pratique de tout un système d'amenée et de distribution des eaux dans une grande ville, mais d'indiquer les conditions auxquelles, comme quantité et comme qualité, doivent satisfaire ces distributions d'eau.

2° Cet instrument général de salubrité étant indiqué, où s'applique l'assainissement? Il s'applique dans l'intérieur de la ville et hors de la ville. Dans l'intérieur, il s'applique aux habitations particulières. Il a pour but de faire sortir rapidement les détritus de toute espèce résultant de la vie des habitants.

Sur la voie publique, il a pour but de débarrasser de ces détritus l'ensemble de la ville. Une fois que vous avez fait sortir ces détritus de la ville, après les avoir enlevés de l'intérieur des habitations et de la voie publique, lorsqu'ils sont portés dans la banlieue, aux environs, il se présente un autre ordre de questions pour les municipalités : c'est de pouvoir faire disparaître ces mêmes détritus sans nuire à ses voisins de la banlieue.

Ainsi assainissement *intérieur* et assainissement *extérieur*, tels sont les deux grands problèmes dont j'esquisserai les points essentiels.

Prenons d'abord les distributions d'eau au point de vue de l'assainissement.

Vous savez, Messieurs, à quel point cette question des eaux a préoccupé les anciens. Tout le monde connaît les magnifiques travaux des Romains, et toutes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les personnes qui sont allées à Rome ont vu la campagne d'alentour sillonnée de ces aqueducs, œuvres véritablement gigantesques.

La quantité d'eau dont disposent aujourd'hui les plus grandes villes n'atteint pas à celle que s'étaient assurée les Romains; elle se montait presque à 1 mètre cube par tête et par jour. A Paris, à Londres, les chiffres tendent à se rapprocher d'une moyenne qui est à peu près de 150 litres par tête et par jour; seulement, quand on divise ainsi le cube total d'eau amenée dans une ville par le nombre d'habitants et par jour, il faut faire bien attention à l'emploi qui en doit être fait. Si vous observez ce qui se passe à Paris, par exemple, vous y voyez que la plus grande partie, les deux tiers de l'eau sont employés aux services publics qui fonctionnent dans nos rues et nos promenades. Il n'y en a qu'un tiers qui aille réellement dans les habitations particulières, opérer l'assainissement dans l'intérieur des maisons et servir à l'alimentation des habitants. Les deux autres servent à laver les rues, promenades, à arroser les jardins publics et les plantations.

A Londres, où la quantité d'eau totale employée est un peu inférieure à celle que consomme Paris, qui aurait actuellement un léger avantage dans cet ordre d'idées; à Londres, dis-je, où la quantité d'eau représente à peu près, comme à Paris, 150 litres par tête et par jour, il entre plus d'eau dans les habitations; pour les services publics, au contraire, on en dépense beaucoup moins; la proportion est à peu près renversée.

Il convient donc de bien distinguer entre les destinations que reçoit l'eau distribuée dans les villes et d'estimer, en tenant compte du climat, des habitudes locales, etc., quelle part ira dans les maisons, quelle autre part sera versée sur la voie publique. Sous cette réserve, le chiffre de 150 litres paraît être une moyenne suffisante pour les villes modernes, au point de vue des services publics comme des usages privés.

Quant à la qualité des eaux, je ne puis évidemment traiter que très sommairement cette question qui a soulevé de nombreuses controverses. Il va sans dire que la portion des eaux qui est consacrée aux usages privés doit être la plus pure possible, et que, par conséquent, s'il est possible d'avoir des sources à sa disposition, il faut capter ces sources et les amener à la ville pour les usages domestiques. La supériorité des eaux de source n'est pas discutable. Toutes les personnes qui sont allées récemment à Vienne, celles qui, à Paris, peuvent boire les eaux de la Vanne et de la Dhuys, savent à merveille combien les eaux de source sont préférables aux autres. Elles sont d'une grande pureté, ne sont jamais chargées de matières organiques et leur température ne dépasse jamais 11 ou 12 degrés centigrades. A Vienne même, elle n'est que de 8 degrés. Ces eaux ne laissent, par conséquent, rien à désirer au point de vue de la fraîcheur.

Quant aux services publics, au contraire, il serait tout à fait regrettable et peu rationnel de dépenser les sommes considérables qu'exige le captage des eaux de source, qu'il faut amener souvent de fort loin, pour les verser sur la voie publique. Pour l'arrosage, pour le nettoyage des ruisseaux, pour les squares, lorsque l'on a de l'eau de rivière plus ou moins pure, on peut la consacrer à ces services.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On pourrait croire que des eaux montées par des machines sont beaucoup plus chères que les eaux amenées par des canaux et des aqueducs. En fait, il n'en est pas ainsi. Un mètre cube d'eau de la Dhuys ou de la Vanne amené à Paris coûte actuellement, d'après les calculs de l'administration de la ville, en tenant compte du capital et de l'amortissement, 7 centimes, tandis que de l'eau montée par la machine du pont d'Austerlitz, par exemple, qui est située en amont de Paris, ne coûte que 3 centimes à peu près par mètre cube.

Donc l'eau de source, qui est la meilleure, est aussi celle qui coûte le plus cher; c'est une raison de plus pour la réserver au service privé, en consacrant l'eau de la rivière, moins coûteuse, au service public.

Si vous voulez, Messieurs, vous faire une idée de la répartition des eaux de Paris à l'heure actuelle, je vous dirai qu'en 1877 on a amené, monté et distribué en moyenne par jour 291,000 mètres cubes d'eau. Sur ce total, les sources ont fourni 94,000 mètres cubes; la rivière, la dérivation du canal de l'Ourcq et les machines qui montent l'eau de la Seine, 191,000 mètres cubes, et les puits artésiens, sur lesquels on avait beaucoup compté, 6,000 mètres cubes seulement par jour. Il n'y a donc que le tiers environ des eaux qui proviennent de sources; les deux autres tiers sont des eaux de rivière, provenant de l'Ourcq et de la Seine. L'idéal qu'on doit se proposer, au point de vue de la salubrité et de l'assainissement, c'est que les 94,000 mètres cubes d'eau de source montent exclusivement dans les maisons et que les 200,000 mètres cubes élevés des rivières soient affectés aux services publics. Il faut, autant que possible, avoir (ce qu'on tend à faire aujourd'hui du reste à Paris) deux canalisations distinctes, l'une d'un petit diamètre, amenant l'eau des sources chez les particuliers, et l'autre d'un diamètre plus grand, faisant le service des eaux de rivière et les livrant à la voie publique. J'ajoute que notre éminent directeur des travaux, M. Alphand, fait étudier en ce moment même pour Paris un projet d'après lequel on élèverait au besoin dans cette ville 500,000 mètres cubes d'eau au total, en ajoutant à ce qui existe, non pas des eaux de source (celles qui y parviennent déjà suffisent pour l'alimentation des habitants), mais des eaux de Seine obtenues par l'augmentation du nombre des machines placées à l'amont de la capitale.

Quant à la façon dont les eaux sont distribuées, tant sur la voie publique que dans les habitations, c'est une question qui exigerait un chapitre spécial et qui ne doit être traitée ici que très sommairement. Je me contenterai de faire remarquer que le caractère essentiel de la canalisation moderne, c'est que c'est une canalisation en pression. Il n'en était pas ainsi autrefois à Rome; et ce qui frappe lorsqu'on visite cette ville, c'est la multiplicité des tuyaux de conduite des eaux; c'est que, une fois amenées à un point donné de la ville, les eaux de toutes les sources étaient distribuées dans une série de tuyaux qui partaient de ce point et qui faisaient, pour ainsi dire, le service de chaque immeuble, de chaque concession d'eau particulière. Il reste encore aujourd'hui à Rome des traces de ce système.

Ainsi, il s'y trouve un aqueduc dont l'eau appartient au prince Torlonia, qui, soit dit en passant, a rendu de grands services à son pays, qui a desséché le lac Fucino, et qui porte son nom : *Acqua Torlonia*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le système moderne, au contraire, consiste à recevoir l'eau sur un point élevé, où elle est emmagasinée pour parer aux intermittences d'alimentation et aux besoins de la consommation, d'où elle part soumise à une pression de plusieurs atmosphères et est chassée dans des conduits publics qui suivent les rues et montent jusqu'au haut des maisons; elle est ensuite distribuée dans les appartements par un système de robinetterie que vous connaissez tous.

Ainsi, Messieurs, 150 litres par tête et par jour, eaux de source pour les besoins des particuliers, eaux de rivière pour les services publics, réservoirs, canalisation en pression, tels sont les traits essentiels d'une bonne distribution moderne.

Nous voici dans les maisons. Quelles sont les questions générales d'assainissement qui se présentent?

Que sort-il des maisons? Il en sort trois espèces de matières, d'abord les eaux ménagères, c'est-à-dire les eaux de lavage des cuisines. Avec les eaux ménagères, il sort quelquefois des maisons des matières de vidange; enfin, il en sort des matières solides qui sont les ordures ménagères comprenant les débris de toutes sortes (débris de cuisines, cendres, etc.).

Pour les eaux ménagères, qu'y a-t-il à faire?

Il faut autant que possible que ces eaux sortent très rapidement des maisons, et pour cela, qu'il y ait des tuyaux d'un diamètre suffisant, se rapprochant autant que possible de la verticale du haut de la maison jusqu'au sol et se rendant ensuite à la conduite publique par des appareils formant siphons; ces siphons interceptent les émanations qui pourraient remonter de l'égout vers les appartements.

Les appareils de ce genre sont extrêmement nombreux et variés; les plus simples sont des tuyaux en grès émaillé employés très couramment en Angleterre. Les Belges usent très souvent dans ce but de sortes de caisses en maçonnerie munies d'une ouverture latérale auxquelles ils donnent le nom de *coupe-air*. A Paris, on emploie les siphons ou de simples petites cuvettes en ciment où viennent aboutir les tuyaux de chute.

Entre les tuyaux de chute et l'égout public sont établis les branchements particuliers, qui sont des petites fractions d'égout établies, la plupart du temps, aux frais des propriétaires.

Un décret-loi de 1852 obligeait tous les propriétaires, à Paris, à faire un égout de $2^m,30$ de haut sur $1^m,30$ de large; c'était, comme vous le voyez, les dimensions d'un véritable égout public; elles étaient réellement exagérées et elles ont été réduites considérablement. Ces branchements n'ont plus besoin d'avoir à présent que $1^m,80$ de hauteur. On étudie même en ce moment la question de savoir s'il ne serait pas bon, surtout dans les quartiers pauvres, où le décret-loi de 1852 n'a pas pu être exécuté, parce qu'il entraînait de trop fortes dépenses, d'imiter ce qui se fait en Angleterre et en Belgique, où l'on emploie tout simplement des tuyaux en poterie ou en briques ayant de 25 à 40 centimètres de diamètre, et qui vont de chaque maison à l'égout public. Il est à craindre toutefois qu'il ne se forme des engorgements dans des tuyaux de cette nature, tandis que, avec les galeries de Paris, vous pouvez visiter plus facile-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment votre branchement, y installer les appareils de distribution d'eau et, si des inconvénients quelconques s'y produisent, y porter remède vite et facilement; par conséquent, de ce côté, la perfection est plus grande à Paris, mais la dépense un peu plus forte. C'est d'ailleurs une question difficile à trancher d'une manière absolue, vu les intérêts divers en présence.

La seconde série des matières qui sortent des maisons sont les vidanges. La question des vidanges est très controversée à Paris. Elle ne l'est plus guère à l'étranger; au Congrès d'Hygiène, elle a été discutée vivement dans une des sections. Vous connaissez, Messieurs, le système ancien de Paris. Je ne parle pas des villes où il n'existe rien du tout en fait de système, et où le procédé de vidange consiste simplement à aller prendre les matières dans les maisons et à les transporter d'une façon plus ou moins barbare dans les environs de la ville.

A Paris, jusqu'à présent, le système réglementaire a été celui des fosses d'aisances. Ce sont des excavations maçonnées et cimentées, qui sont placées sous les maisons et dont les dimensions sont d'environ 3 mètres dans chaque sens, et où sont recueillies toutes les immondices des habitations. Il se produit des fermentations qui donnent lieu à une infection déplorable; par les infiltrations, le sous-sol et les eaux souterraines sont gravement polluées.

Par les tuyaux d'évent qui ventilent les fosses et montent au-dessus des maisons, on répand au-dessus des toits de nos habitations une couche d'air infect. Au moment de la vidange, vous connaissez tous les horribles odeurs qui se répandent dans tout un quartier.

Par conséquent, au point de vue de la salubrité, je parle ici en mon nom personnel, ne voulant engager en rien l'administration de la ville de Paris, je considère le système des fosses comme déplorable. Je n'admettrai jamais qu'il soit conforme aux règles élémentaires de la salubrité de laisser au-dessous des maisons, pendant un an et quelquefois dix-huit mois, 20 ou 30 mètres cubes de matières fécales en fermentation.

Il y a un autre système qui consiste à envoyer la totalité des matières à l'égout. Dans ce système, les cabinets d'aisances, munis d'appareils hydrauliques, ont des tuyaux de chute à forte pente, allant porter à l'égout public les matières de vidanges qui s'y mêlent avec les eaux. Au point de vue de la salubrité intérieure, ce système est incontestablement préférable; nous verrons tout à l'heure les difficultés qu'il peut créer au point de vue des services publics; mais au point de vue de l'assainissement des maisons particulières, on peut affirmer que le système qui permet d'enlever les matières avant qu'elles aient fermenté, est préférable à celui qui laisse séjourner sous les maisons ces matières en fermentation.

Il y a en ce moment, à Paris, un système mixte qui est très vivement recommandé et que l'Administration a même imposé aux propriétaires de toutes les maisons de l'avenue du Nouvel-Opéra. On le nomme système diviseur; il consiste dans deux cylindres concentriques, dont le premier, percé de trous, ne conserve que les matières solides, tandis que les matières liquides, s'échappant par les trous, vont tomber dans le second cylindre qui les conduit à l'égout.

Des personnes qui combattaient avec ardeur le système de l'écoulement di-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rect de toutes les matières dans l'égout sont très partisans aujourd'hui de ce système diviseur ou des *tinettes-filtres*. Je m'applaudis de leur conversion, mais je ne la comprends pas. L'examen d'une certaine quantité de matière fécale et d'urine donne ce résultat : que les sept huitièmes de l'azote et des matières fermentescibles se trouvent dans l'urine. Ce sont donc les urines qui sont dangereuses surtout, au point de vue de la salubrité, et non ce qui inspire à tout le monde le plus de répugnance, les matières solides. Or, dans le système diviseur, ce sont justement les urines qui vont à l'égout et avec elles une grande partie des matières fécales qui sont délayées par les eaux des water-closets. C'est donc l'écoulement direct et total à l'égout, dissimulé et compliqué.

Le système diviseur est appliqué à peu près à la cinquième partie des maisons de Paris. Ce système venant à se propager, on finira par s'apercevoir que c'est au fond la même chose que celui de l'écoulement direct à l'égout, avec des complications et des dépenses inutiles; mais je ne conteste pas qu'il soit peut-être prudent et utile de composer momentanément avec des répugnances instinctives et d'arriver au système rationnel par un intermédiaire qui est en tous cas un progrès considérable sur le vieux système barbare des fosses.

C'est du reste par un chemin détourné que s'est établi à Bruxelles le système de l'écoulement total et direct qui s'y trouve actuellement en usage. Il y a un règlement sur les bâtisses, de 1857, qui interdit l'écoulement des solides à l'égout public, et qui permet l'écoulement des liquides. On a fait alors des tuyaux destinés soi-disant aux liquides, mais qui ont entraîné tout à l'égout. Il n'y a plus de fosses d'aisances à Bruxelles; en moins de vingt ans elles ont toutes disparu; et l'administration supérieure n'est pas allée voir s'il restait ou non des matières solides dans les maisons. J'espère donc qu'à Paris aussi, le système diviseur sera un acheminement vers le système direct de l'écoulement de toutes les matières à l'égout public.

Il me reste à parler d'une troisième catégorie de matières qui sortent des maisons; ce sont les ordures ménagères. Vous savez, Messieurs, comment on procède à Paris; depuis le siège, on voit sortir le matin, vers sept ou huit heures, de toutes les maisons, des boîtes et des paniers de formes et de dimensions diverses, remplis de débris de toute espèce; des tombereaux passent, on y charge les ordures et elles sont portées dans la campagne, où elles forment ce qu'on appelle des gadoues, et servent principalement à la culture des légumes, si développée dans les environs de Paris.

Or, ce système, qui se pratique convenablement aujourd'hui, a été longtemps l'objet des critiques les mieux justifiées. Jusqu'à la guerre, tous les soirs à huit ou neuf heures, toutes les ménagères de Paris jetaient leurs ordures en tas, où elles restaient toute la nuit baignées par l'eau des ruisseaux, et ce n'était que le lendemain matin qu'on les enlevait; lorsque le préfet de la Seine demandait à supprimer ce système barbare, il éprouvait toujours une fin de non-recevoir empruntée au chiffonnage. Il y avait en effet 6,000 chiffonniers médaillés à Paris et 3,000 individus appelés voltigeurs qui étaient des chiffonniers irréguliers et non autorisés. Pour rendre service à cette population et éviter des émeutes dans les faubourgs, l'administration centrale se refusait toujours à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

supprimer l'abus intolérable du séjour des ordures pendant la nuit entière sur la voie publique; il fallait laisser les moyens de vivre à ces 9,000 individus qui, chaque nuit, venaient fouiller avec leurs crochets et parpillots ces tas immondes.

Le siège arriva; alors avec les populations de la campagne rentrées dans Paris, il n'y eut plus moyen de laisser toutes ces matières séjourner sur la voie publique. Il y eut un arrêté pris dès le commencement du siège, en septembre 1870, qui prescrivit de ne descendre les ordures ménagères que le matin dans la rue, et personne n'a songé à réclamer; les chiffonniers font leur travail hors de Paris.

Voici donc les matières descendues des maisons, arrivées sur la voie publique; les tombereaux vont les porter dans les campagnes; mais cet enlèvement des matières et les opérations générales de balayage sont une cause de dépense considérable pour la ville; ainsi, en ce moment, le service municipal dépense plus de 2 millions pour faire le service des ordures et des boues. Vous savez que, depuis quelques années, il y a une loi qui force les propriétaires à prendre une part assez considérable de la dépense du balayage; mais, malgré cela, c'est 2 millions environ par an que la ville doit dépenser en subventions aux entrepreneurs qui emportent les ordures hors de la ville.

Quant aux eaux ménagères, aux eaux pluviales, à celles des ruisseaux, comment les faire sortir de la ville?

A l'aide du réseau des égouts, les Romains avaient créé au milieu des marais du Forum le *cloaca maxima* qui roule aujourd'hui les eaux d'égout de la Rome moderne. Dans la plupart des villes, les égouts ont pris naissance lorsqu'ils se sont trouvés créés par la nature sous forme de ruisseaux. Tandis que toutes nos grandes villes étaient traversées par des ruisseaux ou par de vieilles rivières dans lesquelles descendaient toutes les eaux de la ville, à Paris c'était le ruisseau de Ménilmontant qui venait aboutir près d'ici, au pont de l'Alma, et qui charriait à ciel ouvert toutes les ordures de la capitale. Il fut couvert au XVIII[e] siècle par Turgot, prévôt des marchands. Aujourd'hui il existe à Paris 800 kilomètres d'égouts en comprenant les branchements particuliers; ces égouts viennent se réunir de proche en proche dans des égouts plus considérables et enfin dans des égouts de grand type, parallèles à la rivière, qu'on appelle collecteurs, qui interceptent toutes les eaux sales au moment où elles allaient tomber dans la rivière et les conduisent au-dessous de la ville. Je n'ai pas besoin d'insister sur les travaux considérables qui ont été faits. Il y a, à Paris, quelque chose comme 20 kilomètres de grands collecteurs qui ont été construits presque tous par M. Belgrand, dont la mort est venue nous surprendre et nous affliger au moment même de l'ouverture de l'Exposition. A Londres, il y a 132 kilomètres de grands collecteurs; à Bruxelles, 12 kilomètres.

Les surfaces assainies par un pareil réseau d'égouts sont, à Paris, de 7,800 hectares; à Londres, de 30,000; à Bruxelles, de 1,200.

Ces quelques chiffres vous donnent une idée de la surface énorme qu'est appelé à assainir un égout collecteur. Quant à la construction des égouts, je ne peux pas insister ici longuement sur leur forme; vous savez cependant qu'il

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

y a aujourd'hui deux systèmes en présence pour la construction des égouts : le système anglais et le système français. Dans le système anglais, les égouts sont de véritables conduites, circulaires en général, de diamètre plus ou moins grand; les grands atteignent 2 à 3 mètres, et les petits ne dépassent pas 20 à 30 centimètres. Ces égouts sont fermés, on compte sur l'afflux constant des eaux pour en faire un lavage continu, et il n'y a pas de curage régulier. Dans le système français, plus cher, il faut le dire d'abord, les égouts se composent de deux parties : la partie basse, que l'on appelle la cuvette, et la partie haute, vide en temps ordinaire, qui sert à la circulation des ouvriers et des appareils de curage. La cuvette fait le service des eaux sales ordinaires, et l'espace libre où circulent en temps normal les ouvriers sert, en cas d'orage, à écouler rapidement toutes les eaux qui tombent en quantité considérable sur la surface de la ville.

Le système anglais est certainement moins coûteux de premier établissement; il peut s'exécuter rapidement, et on comprend que des villes qui, comme Berlin, n'avaient rien en fait d'égouts, l'adoptent pour faire un premier pas dans la voie de l'assainissement.

Mais il implique l'absence ou du moins la rareté des matières solides encombrantes, qui viendraient promptement obstruer des conduites de faibles dimensions, difficilement accessibles; aussi peut-on affirmer qu'à Londres, la voie publique est moins bien tenue qu'à Paris; comme on ne peut chasser dans les égouts les matières solides, le nettoyage des ruisseaux se fait des extrémités vers leur partie centrale où des tombereaux viennent charger la boue solide. A Paris, vous voyez le contraire; vous voyez des balayeuses pousser des deux côtés les matières solides vers les ruisseaux, l'eau descend dans les égouts chargée de matières solides; de là la nécessité constante de visiter les égouts et de les curer constamment. Le système de curage qui fonctionne à Paris et à Bruxelles est très simple; vous avez tous probablement, Messieurs, visité déjà les égouts ou vous êtes sur le point de les visiter. Ce système consiste en ceci : dans cette partie, formant cuvette, on met une vanne portée dans les petits égouts par un wagonnet, dans les grands par un bateau, de sorte que l'eau circulant derrière cette vanne mobile vient former un gonflement qui, d'une part, fait avancer l'appareil automatiquement, et qui, d'autre part, établit sur la vanne un courant d'une grande intensité dû à la surélévation de l'eau en amont et poussant devant soi des bancs considérables de vases, atteignant jusqu'à 200 et 300 mètres cubes. A Paris, moyennant une dépense de 1,500,000 francs environ, le service du curage se fait dans d'excellentes conditions; il y a un mouvement continu de toutes les vases, de toutes les parties solides de proche en proche, des extrémités vers la Seine.

J'ajouterai que l'adoption de ce type a aussi l'avantage de permettre d'y placer toutes les conduites d'eau; ainsi, toute la canalisation, à Paris, est placée dans les égouts, sauf dans les rues privées de galeries souterraines; lorsqu'une fuite se produit, on peut descendre dans l'égout et procéder aux réparations sans ouvrir la chaussée; si, au contraire, l'égout est petit, vous êtes obligé de mettre les conduites au milieu des rues et d'ouvrir continuellement des tranchées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Voici sommairement indiquée la façon dont les eaux sortent des grandes villes. Il y a cependant un point que je ne dois pas passer sous silence avant de quitter la question des égouts: c'est ce qui se passe à Paris au pont de l'Alma. Il fallait faire passer les eaux d'égout de la rive gauche sur la rive droite. On l'a fait au moyen d'un siphon formé d'un double tube en tôle de un mètre de diamètre; le système est exposé au complet dans l'exposition de la ville de Paris, et je n'entre pas dans les détails. Le curage du tube se fait au moyen d'une boule-citerne, système très ingénieux qui a été imaginé par M. Belgrand. On lâche une boule d'un diamètre un peu plus petit que le siphon, elle fait l'office de vanne et finit par entraîner à l'autre extrémité toutes les matières solides. Ce système est tellement juste que j'ai eu occasion à Gennevilliers d'en voir, il y a deux ans, une application imprévue. Nous avons un tube de 60 centimètres qui passe sous le tablier d'un pont à Saint-Ouen; un jour les eaux n'arrivaient pas, on était fort inquiet, quand on vit déboucher une masse énorme de saletés poussée par le cadavre d'un gros chien de Terre-Neuve qui était venu faire automatiquement un service analogue à celui de la boule du pont de l'Alma.

Messieurs, M. le Président me fait un signe qui veut dire que je n'ai plus que quelques minutes; il me resterait cependant à traiter toute la seconde partie de l'assainissement municipal, l'assainissement *extérieur*, et à vous dire ce que deviennent les matières hors de la ville.

Les trois genres de matières auxquelles nous avons affaire sont les matières solides, c'est-à-dire : 1° les ordures; 2° les eaux d'égout; 3° les vidanges.

Quant aux matières solides, je n'y reviens pas. Je vous dirai seulement, comme j'avais l'honneur de vous l'indiquer tout à l'heure, que les gadoues sont à peu près de la même composition que le fumier et servent aux cultivateurs des environs, moyennant l'infection de tout le voisinage des lieux de dépôt, à produire les beaux légumes de la banlieue parisienne.

Quant aux vidanges, la question est délicate, lorsqu'elle est séparée des eaux d'égout.

Lorsque les eaux d'égout et les vidanges sont réunies, il n'y a plus qu'un problème : l'épuration et l'utilisation de la masse totale du *sewage* des Anglais.

Il y a des personnes qui s'effraient outre mesure de ce mélange des vidanges aux eaux d'égout; il suffit, pour apprécier sainement cette question, de prendre le cube total des eaux d'une ville et de voir dans quelle proportion y entrerait la vidange. En Angleterre, on a fait des études sur cette question, et on a vu que la différence entre les eaux des villes qui envoient leurs vidanges aux égouts et celles qui ne les envoient pas, n'est pas aussi considérable qu'on pourrait le croire. Dans un mètre cube de matières d'eaux dans lesquelles il y a les vidanges, il y a environ 77 grammes d'azote au mètre cube, et dans les villes où la vidange est séparée, on peut compter 50 grammes d'azote. Par conséquent on ne peut pas dire que les matières, que les eaux soient très dissemblables, et si les eaux d'égout reçoivent la vidange, la question en dehors des villes est une au lieu d'être double, et à l'intérieur on a les avantages incontestables que j'ai développés tout à l'heure de la suppression du sys-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tème barbare des fosses. Mais il faut tenir compte de la situation actuelle des villes, comme Paris, qui ne pratiquent pas encore l'écoulement à l'égout; que font-elles de leurs vidanges? A Paris, il y a des tonneaux de vidanges dont vous voyez l'attirail bruyant et infect fonctionner toutes les nuits; ces tonneaux transportent les matières au dépotoir municipal, situé près du marché aux bestiaux à la Villette. C'est un établissement très bien tenu, les matières qui y arrivent sont versées dans des caves; de là, des machines à vapeur installées par M. Mary, inspecteur général des ponts et chaussées, refoulent les liquides à 10 kilomètres jusqu'à la voirie de Bondy. On lave tous les matins ces caves. Si l'un de vous entrait au dépotoir en passant dans ce quartier éloigné, il serait étonné de la propreté avec laquelle est tenu cet établissement. Mais une fois la matière envoyée à Bondy, la question devient plus complexe. Jusqu'à Cagneux, les matières étaient abandonnées pour être traitées à court délai par une compagnie, la Compagnie Richer, devenue la Compagnie Lesage aujourd'hui, qui se contentait de faire sécher les matières les plus épaisses à l'air libre. Jugez de l'infection! 16 hectares couverts de matières fécales en décomposition! Lorsque la dessiccation avait commencé, il y avait des familles à qui on donnait une partie de ces séchoirs, à la tâche, — tant de mètres carrés étaient payés tant; — c'était à elles d'exploiter le plus vite possible ces matières; c'était une opération répugnante, mais qui était le privilège de Prussiens: c'était presque toujours des familles de Silésiens, de Poméraniens, qui entreprenaient cet ouvrage peu séduisant. Cependant, plusieurs années avant la guerre, la Compagnie Richer avait commencé à entrer dans la voie du progrès et avait installé une usine où elle traitait les matières pour faire du sulfate d'ammoniaque, en évaporant les liquides dans des citernes distillatrices et les traitant par l'acide sulfurique.

Depuis 1870, cette même Compagnie a monté plusieurs usines autour de Paris, notamment à Billancourt et à Maisons-Alfort, où elle pratique un traitement vraiment perfectionné des vidanges. La poudrette est préparée par dessiccation sur des plaques métalliques, chauffées par les chaleurs perdues de l'usine à sulfate d'ammoniaque; cette opération a lieu sous des hangars clos et couverts. A Maisons-Alfort, les eaux résiduaires servent à fertiliser une ferme de près de 150 hectares.

Mais il faut avoir les ressources de cette Compagnie et une grande expérience de ce genre d'opérations pour faire quelque chose de convenable. Malheureusement, il y a un certain nombre de voiries, près de Paris, qui ne répondent à aucune de ces conditions : ce matin même, en me rendant au Congrès, j'ai senti, comme tous les voyageurs d'Orsay et de Sceaux, les émanations fétides d'établissements de ce genre situés aux environs d'Arcueil.

Aujourd'hui, l'établissement municipal, la voirie de Bondy, est dans une période de transformation depuis que la Compagnie Lesage s'est retirée; depuis 1878, aucune solution satisfaisante ni pratique n'est intervenue, malgré plusieurs adjudications ou tentatives d'adjudications. Toutes les nuits, depuis sept ans, la ville de Paris a envoyé 1,000 à 1,500 mètres cubes de vidanges dans la Seine, à Saint-Denis. En ce moment, il y a à Bondy de récents adjudicataires qui font tous leurs efforts pour améliorer la situation et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

créer pour leur compte une usine de sulfate d'ammoniaque et des installations dans lesquelles toutes les matières seront traitées en vases clos. Réussiront-ils ? Je ne puis pas vous en donner l'assurance, parce que nous sommes encore à la période des essais.

De tous ces faits, Messieurs, il résulte jusqu'à l'évidence que lorsque les vidanges sont isolées des eaux d'égout, elles présentent un grand embarras pour les villes, ainsi que cela se présente à Paris. Ce n'est pas à dire pour cela que, par une sorte de révolution, il faille réclamer et obtenir une suppression immédiate et absolue des fosses et heurter des habitudes ou même des préjugés qui ont pour eux une longue pratique. Il serait également puéril de nier les difficultés nouvelles qui viendraient entraver la question d'épuration des eaux d'égout, dans ces villes où la suppression des fosses n'est pas encore un fait accompli et où l'addition brusque des matières de vidanges serait de nature à susciter des objections, sinon justifiables en théorie, du moins plausibles en pratique.

Il nous reste précisément à traiter cette question des eaux d'égout. Elle a été discutée bien souvent et quelques mots suffiront pour rappeler la situation présente, à Paris et à l'étranger. Dès le début de nos études et de nos travaux sur ce sujet, la Société des ingénieurs civils de Paris, dont je vois devant moi tant de membres éminents, a bien voulu s'intéresser à ce problème; j'ai eu l'honneur en 1870 de lui exposer mes premières recherches, nos premiers résultats.

J'ai conservé l'excellent souvenir de l'accueil qui m'a été fait et je sais que depuis lors un grand nombre de mes auditeurs ont visité les travaux de la plaine de Gennevilliers.

Je dirai en deux mots ce qui a été fait, ce que nous espérons et ce qui se fait à l'étranger.

Vous me permettrez tout d'abord, Messieurs, de poser nettement la question au point de vue de l'épuration et de l'utilisation, ou, si vous l'aimez mieux, au point de vue municipal et au point de vue agricole.

En Angleterre, aussi bien qu'en France, quelques personnes ont, en quelque sorte, pris la question au rebours. Elles ont compté le nombre des mètres cubes que vomissent nos collecteurs, elles ont dit : les égouts de Paris versent par an 100 millions de mètres cubes en Seine; chaque mètre cube contient 50 grammes d'azote, le kilogramme d'azote vaut 2 francs, c'est donc 10 millions de francs perdus chaque année pour l'agriculture, c'est donc un bénéfice de 10 millions de francs que la ville de Paris perd volontairement chaque année.

Messieurs, la conclusion est à la fois exacte et fausse; oui, l'agriculture, si on lui livre les eaux d'égout, peut en tirer en théorie des millions; mais il faut élever les eaux; il faut établir des machines, des conduites; il faut exploiter les usines, surveiller les appareils de distribution. Et toute cette partie technique est chère, très chère. Les municipalités doivent-elles reculer devant cette dépense? Non; elles sont tenues de ne pas infecter les banlieues; elles sont tenues d'assurer l'assainissement des fleuves qui les traversent, comme elles sont tenues de balayer leurs rues, de payer leurs sergents de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ville ou d'entretenir un corps de pompiers. Elles doivent arriver à l'assainissement, à la salubrité par les meilleurs procédés comme aussi par les moins coûteux, mais sans se préoccuper de je ne sais quel devoir philosophique de restitution qui reste le domaine de l'agriculteur.

Si l'utilisation agricole, si l'emploi des eaux d'égout sur le sol apparaît comme le plus parfait, comme l'unique moyen d'épuration, les deux points de vue ont un trait d'union, et l'on ne peut que s'applaudir de voir la restitution, au moins partielle, des éléments fertilisants au sol, constituer la méthode la plus saine et la plus économique d'assainissement municipal. Mais même dans cette situation, qui ressort d'une manière éclatante de tous les faits acquis en France et à l'étranger, le rôle des municipalités et des cultivateurs est absolument différent; les villes doivent *épurer* le plus économiquement possible, c'est-à-dire sur l'espace le plus restreint; les cultivateurs doivent tirer le meilleur parti possible et *utiliser* jusqu'aux derniers éléments fertilisants des eaux d'égout; ils doivent donc chercher à employer ces eaux sur l'espace le plus grande possible; cette distinction fondamentale a été indiquée en termes excellents dans le remarquable rapport rédigé par M. Schlœsing en 1876 au sujet des projets de la ville de Paris.

Quels procédés a-t-on proposés ou payés pour purifier les eaux d'égout? On a d'abord songé aux procédés mécaniques à la filtration. Toutes les matières dissoutes qui forment les deux tiers des impuretés s'en vont avec les eaux. Vous avez de l'eau clarifiée, mais vous n'avez pas d'eau purifiée. Les filtres s'encrassent; les dépôts sont difficiles à manier et insalubres. On s'est adressé aux réactifs chimiques, à la chaux, au sulfate d'alumine, aux sels de fer, etc. On produisait dans la masse des eaux, grâce à leur caractère, généralement alcalin, des précipités plus ou moins gélatineux qui formaient une espèce de collage et entraînaient au fond des bassins les parties solides. Mais l'action était nulle en fait sur des matières dissoutes; comme par la filtration mécanique, les eaux étaient clarifiées et non épurées; on ne savait que faire des dépôts encombrants et médiocrement riches en matières fertilisantes; la dépense était considérable, un centime au minimum, rien qu'en réactifs, par mètre cube.

Là n'était pas la solution.

C'est dans le sol naturel que devrait se trouver le procédé le plus simple, le plus parfait.

L'eau d'égout est répandue par de nombreuses rigoles sur un sol naturellement ou artificiellement perméable. Elle traverse ce sol, baigné d'air, et si l'épaisseur est suffisante, elle se transforme par oxydation, laissant au passage à la végétation la faculté de puiser les éléments fertilisants qui lui sont nécessaires, mais arrivant en tout cas au sous-sol, non plus seulement clarifiée, mais complètement épurée.

M. Frankland en Angleterre, M. Schlœsing en France ont étudié cette question et l'ont élucidée de la manière la plus complète.

MM. Schlœsing et Muntz ont fait une expérience des plus frappantes : Elle consiste à prendre un tube dans lequel il y a du sable, du gravier, non pas d'humus, mais de la silice presque absolument pure. Il se fait une opéra-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion de filtration à la surface, puis l'eau, en traversant le tube, s'oxyde; les matières organiques agitées, l'urée ou autres produits se transforment en azotates minéraux; l'eau filtrée et oxygénée n'offre plus les éléments de dangereuse fermentation qu'elle renfermait avant l'opération.

Cette transformation radicale semble s'exécuter sous l'influence de ferments spéciaux analogues à ceux qui ont été étudiés dans les admirables travaux de M. Pasteur. Dans les premiers moments de la filtration, ou bien quand on imprègne le sable de chloroforme, la transformation n'a plus lieu; c'est que, dans le premier cas, les ferments ne sont pas développés et que, dans le second cas, leur action est momentanément suspendue.

Messieurs, je suis forcé par l'heure de brusquer ma conclusion. Quant à ce qui se fait à Paris, la plaine de Gennevilliers est ouverte à tout le monde et vous pouvez, comme les membres du Congrès agricole ou du Congrès d'Hygiène, parcourir les terrains autrefois infertiles, aujourd'hui luxuriants de cette plaine. Vous pouvez puiser dans les puits ou au débouché de nos tuyaux de drainage l'eau de la nappe souterraine, la goûter, l'analyser et constater l'absolue purification des eaux d'égout qui ont pu atteindre cette nappe à travers le sol perméable de la presqu'île (le titre en azote non oxydé est descendu de $0^{k},050$ au mètre cube, à moins de $0^{k},002$).

Vous verrez toute une population de cultivateurs, usant des eaux fertilisantes que la ville met jusqu'ici gratuitement à leur disposition, estimant avec raison qu'elle en est encore à la période d'épuration et considérant ces intelligents cultivateurs comme ses collaborateurs. Vous jugerez de la qualité et de la quantité des produits maraîchers qui ont aujourd'hui leur place marquée sur le marché de Paris, comme aux expositions horticoles, au premier rang de leurs similaires, sortis des jardins de la banlieue.

Et tenez, j'aperçois parmi vous mon excellent camarade, M. Orsat, qui nous a donné un rapport bien intéressant sur les résultats généraux obtenus dans la plaine de Gennevilliers. La Commission d'études, dont il était rapporteur, a fait une enquête minutieuse sur les diverses parcelles de terrain de la commune; elle a trouvé que depuis la guerre l'irrigation a été portée de 20 à 400 hectares et que les terres de la dernière classe cadastrale sont montées d'une valeur locative de 100 à 450 francs l'hectare.

Nous marchons donc avec confiance dans la voie où nous sommes entrés; nous espérons compléter l'œuvre de Gennevilliers en étendant l'irrigation sur d'autres terrains similaires de la vallée de la Seine, et notamment sur les fermes domaniales d'Achères, où la ville trouverait d'un seul coup 1,500 hectares qui compléteraient sa surface d'épuration.

A Bruxelles, on tente, à peu près dans les mêmes conditions qu'à Paris, d'utiliser les eaux d'égout. M. Van Miarlo, ingénieur de la ville de Bruxelles, qui est ici, pourrait vous fournir à cet égard de plus amples renseignements. En Angleterre, plus de quarante villes épurent et utilisent leurs *sewages* par l'application à la culture, à dose plus ou moins forte. A Berlin, on a choisi deux grands terrains d'une superficie totale de 1,500 hectares, pour mettre à profit également les eaux d'égout amenées de la ville, en les épurant.

Voilà, Messieurs, bien sommairement, les indications que j'ai pris la liberté

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de vous présenter sur des questions qui préoccupent tant de municipalités et qui doivent tenir une place chaque jour plus considérable dans le vaste et beau domaine du génie civil. Permettez-moi de vous remercier de votre bienveillance; je serai trop heureux si je vous ai intéressés aux efforts que fait la ville de Paris, et avec elle les grandes capitales de l'Europe, pour assurer à ses habitants le plus précieux des biens, la santé. (Applaudissements.)

M. LE PRÉSIDENT. Vous nous avez tellement intéressés que vous m'avez rendu bien coupable. Mais j'espère que, grâce à votre intervention, les membres du Congrès voudront bien m'excuser de ne pas vous avoir donné un temps plus long pour continuer vos appréciations sur une question aussi intéressante. Vos paroles ont été recueillies et j'espère bien que, dans nos comptes rendus imprimés, vous compléterez ce que vous aviez l'intention de nous dire encore, si vous en aviez eu le temps.

Nous avons la pensée de publier tout ce qui a été dit dans les séances du Congrès et, certainement, rien ne sera perdu de ce que nous aurions entendu aujourd'hui.

M. Bourdais, après la séance, se propose de nous faire visiter les appareils de ventilation du Palais du Trocadéro.

(M. E. Trélat remplace M. Tresca au fauteuil de la présidence.)

M. LE PRÉSIDENT. La parole est à M. Bourdais.

COMMUNICATION

SUR LA VENTILATION DES ÉDIFICES,

PAR M. BOURDAIS,

ARCHITECTE DU PALAIS DU TROCADÉRO.

M. BOURDAIS. Je serai très bref, Messieurs. J'aurais voulu débuter par vous faire un historique, même rapide, des salles de spectacle des temps les plus reculés jusqu'à nos jours. Mais le temps va me manquer. Je dirai seulement, en quelques mots, que ces salles de spectacle, que les amphithéâtres anciens étaient de dimensions colossales.

Ainsi, pour ne citer que quelques exemples, nous avons le Colysée de Rome, qui a 175 mètres de longueur sur 76 mètres de large. Vous avez les restes du théâtre de Bacchus, qui avait 76 mètres de diamètre; le théâtre à Sparte était de 110 mètres, à Argos de 180 mètres. Les dimensions de nos théâtres modernes ne se sont pas étendues jusqu'ici au delà de 30 mètres. C'est la dimension du grand Opéra nouveau; la scène a 15 mètres.

Lorsque l'étude de l'Exposition universelle a introduit cette idée de l'érection d'une salle de théâtre pouvant contenir un grand nombre d'individus, on a compris que, pour donner satisfaction à ce grand nombre de spectateurs, il ne fallait pas s'en tenir à une salle plus petite qu'une salle de 50 mètres de diamètre. Comme il arrive le plus souvent que dans les salles de spectacle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

relativement restreintes, on entend mal, la question d'acoustique dans une salle de 50 mètres s'est posée à l'architecte.

Les hésitations ont été très grandes d'abord, étant donné surtout qu'avec une très haute autorité, un architecte qui avait étudié le plus vaste théâtre moderne, avait déclaré que le hasard seul était le grand maître de l'acoustique, et qu'il n'y avait pas à chercher ailleurs; qu'on pouvait réussir si le hasard s'en mêlait, et que, dans le cas contraire, on ne réussissait pas.

Nous avons cru pouvoir chercher à entrer dans une voie toute différente et plus rationnelle, en nous appuyant sur les données que la physique a établies, et sur des lois qui sont aujourd'hui parfaitement démontrées, surtout sur les lois relatives à la réflexion du son. Les sons, on le sait, se propagent dans l'espace dans toutes les directions autour de leur centre d'émission. La vitesse de marche des rayons sonores a été mesurée; elle varie un peu, il est vrai, selon les pressions barométriques, mais ces variations sont peu importantes. On peut regarder la vitesse de 340 mètres par seconde comme une mesure moyenne exacte.

S'il s'interpose, sur la marche des rayons sonores, un obstacle quelconque, le son se comporte de deux manières différentes, suivant la nature même de cet obstacle; ou il est absorbé, ce qui arrive lorsque l'obstacle est extrêmement flexible ou rugueux, comme une étoffe, par exemple; ou bien il est renvoyé et réfléchi, quand l'obstacle est dur et lisse, comme le marbre ou le fer. Dans ce dernier cas, la réflexion du son se produit suivant une loi qui peut se formuler ainsi :

Le rayon émis et le rayon réfléchi restent dans un même plan perpendiculaire à la surface réfléchissante, et les angles que ces rayons forment avec cette surface, et que l'on appelle angle d'incidence et angle de réflexion, sont égaux entre eux.

Ce phénomène de réflexion est celui qui renforce, prolonge ou trouble l'effet acoustique des salles d'audition, suivant que le rayon sonore réfléchi arrive à l'oreille plus ou moins longtemps après le rayon sonore directement émis.

Si la surface répercutante est très rapprochée de l'organe d'émission, les rayons directs et réfléchis arriveront presque en même temps à l'oreille du spectateur: il y aura renforcement du son.

Si la surface répercutante est un peu plus éloignée, il y aura prolongement du son.

Si la surface répercutante est très éloignée, il y aura audition distincte du son direct et du son réfléchi; en un mot, il se produira ce qu'on appelle un écho.

Le renforcement est toujours utile; le prolongement est souvent désirable, c'est ce qui produit les salles sonores; l'écho est toujours à redouter.

Mais quelle est la mesure de la distance en deçà ou au delà de laquelle il y aura écho ?

Nous allons l'établir. La science expérimentale a démontré que notre oreille est impressionnée par un même son pendant un intervalle de un dixième de seconde; c'est en dedans de cette limite que peut se produire un renforcement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

utile par l'effet de la réflexion, et c'est, au contraire, au delà que la répétition devient distincte et s'appelle écho, portant avec lui tous les inconvénients que l'on sait.

Si nous rappelons que le son parcourt 340 mètres par seconde, nous en conclurons que le dixième de cet espace, soit 34 mètres, correspond à la limite de différence des chemins que devront parcourir les rayons directs et les rayons réfléchis, limite au-dessous de laquelle les effets de renforcement seront utiles et au delà de laquelle ils seront nuisibles.

Mais ce chemin comprend l'aller et le retour du rayon indirect; donc la surface réfléchissante devra être placée à une distance maximum de 17 mètres de l'organe sonore.

Tel est le principe fondamental sur lequel a été établie la salle du Trocadéro : toute surface située à plus de 17 mètres de l'orchestre a été rendue absorbante; ce sont les murs, c'est la voûte, c'est la salle entière où se tient le public. On y a tendu une étoffe en bourre de soie sur laquelle, à l'avance, toute la décoration avait été peinte; par contre, toute surface située à moins de 17 mètres de l'orchestre pouvait être répercutante, afin de renforcer le plus possible le son émis dans les seules conditions possibles et d'autant plus utiles que l'absorption forcée par tout le reste de la salle devait tendre à la rendre absolument sourde, surtout si l'on considère son immense étendue et le nombre si considérable des spectateurs qui devaient y être appelés.

Mais quelle devait être la forme de cette surface répercutante?

On comprend que, pour être réellement utile, il ne suffisait pas qu'elle pût renvoyer vers la salle des rayons réfléchis, il fallait encore qu'elle ne les renvoyât que sur la nappe même occupée par le public. Les murs de l'orchestre ne purent satisfaire à ces conditions, parce que, étant forcément verticaux, les rayons d'incidence venant de l'orchestre situé au-dessous devaient, par l'effet de la réflexion, prendre forcément une direction de bas en haut, qui les eût renvoyés dans les parties hautes et non occupées de la salle; ce fut donc uniquement sur le tracé de la voûte de l'orchestre que tout l'effet de renforcement du son par réflexion dut être obtenu.

Pour atteindre ce but, on décomposa la voûte en dix fuseaux et chacun d'eux en dix zones; puis, pratiquant dans la salle même une division analogue sur les différentes parties occupées par les sièges, on obtint sur chacune de ces deux surfaces 100 divisions qui durent, dans la pensée des architectes, se correspondre l'une à l'autre, chaque centième de la voûte correspondant à un centième de la salle.

Par une épure, la direction de ces 100 éléments de surface de la voûte fut déterminée de position pour satisfaire aux effets de réflexion dont nous avons parlé précédemment, et enfin c'est tangentiellement à ces éléments qu'une surface curviligne, enveloppée par ces réflecteurs élémentaires, fut tracée.

La division avait été faite en 100 parties égales en surface dans la voûte pour 100 parties égales entre elles dans la salle.

Pouvait-on, après cette étude, passer sans crainte à l'exécution? Un scrupule vint aux architectes et les détermina à faire une première expérience. Mais l'expérience directe et en grand était absolument impossible, on le comprend.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'idée vint d'un modèle en petit, exécuté en cuivre repoussé, argenté et poli, qui servirait à expérimenter l'effet d'une réflexion optique substituée à celui d'une réflexion acoustique.

La loi de réflexion des deux fluides est, nous l'avons dit, la même. L'expérience fut organisée. L'effet en fut immédiatement probant. Une lumière électrique placée au centre de l'orchestre fut répercutée d'une manière égale par la voûte argentée sur toutes les places du petit modèle de la salle, et rien que sur ces places. Mais ce résultat, si frappant en lui-même, suggéra cependant une nouvelle idée : c'est que, par une pareille disposition; le renforcement des sons allait être égal indistinctement pour toutes les places.

En devait-il être ainsi? Toutes les places avaient-elles réellement besoin de ce renforcement? N'était-il pas, au contraire, évident que les places rapprochées de l'orchestre pouvaient s'en passer absolument? et les places les plus éloignées ne devaient-elles pas être bien plus avantagées?

Poser la question, c'était la résoudre. En effet, un nouveau tracé fut exécuté, qui augmentait considérablement l'importance des parties réfléchissantes correspondant aux dernières places et diminuait de beaucoup, au contraire, celles qui correspondaient aux premiers bancs du parquet.

Tel est le principe du tracé de cette voûte, appelée conque acoustique.

Elle fut exécutée avec un soin extrême, construite en briques creuses, puis recouverte d'une série d'enduits lissés successivement jusqu'à siccité et durcissement complet.

L'effet pratique de cette conque est aujourd'hui indiscutable: on entend aussi distinctement aux places situées à 70 mètres de l'orchestre qu'aux premiers fauteuils du parquet. Telle est la solution aussi satisfaisante que possible de la première partie du problème: le renforcement du son.

En est-il de même de l'étouffement du son sur les parois des murs et de la voûte de la salle? Il faut savoir le dire, il n'en est pas absolument ainsi. En effet, soit que l'étoffe employée ne soit pas assez épaisse, soit que, par l'effet de son application sur enduit de céruse, elle ait perdu une partie de ses propriétés absorbantes, il est certain que, sous l'effet de grands *fortissimo* et surtout sous l'influence de certains timbres, l'absorption n'est pas absolument complète, comme le voulaient les architectes, et il se produit quelquefois un écho.

Mais ce qu'il convient de faire remarquer, c'est que ce défaut tend à s'atténuer de jour en jour, par suite sans doute de modifications naturelles dans la nature superficielle de la bourre de soie qui tend la salle, et que, loin de détruire la théorie précédemment développée, l'imperfection signalée l'affirme, au contraire, de la manière la plus frappante. Si un faible écho se produit encore, combien n'eût-il été plus intense et tout à fait insupportable, si les murs et les voûtes n'avaient pas été tendues d'étoffe; si, en un mot, les constructeurs n'avaient pas pris pour guide les lois incontestables de l'acoustique, en ce qui touche la vitesse de propagation et la réflexion du son?

Le jour où l'on pourra doubler l'épaisseur encore insuffisante de l'étoffe qui recouvre les murs et la voûte, nul doute que le problème ne soit pratiquement et complètement résolu dans ses deux termes extrêmes : faire bien

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

entendre de loin les *pianissimo*, n'obtenir aucun excès de sonorité sous l'effet des *fortissimo*.

L'expérience qui vient d'être faite sur une échelle immense démontre, par les résultats obtenus, que les principes sur lesquels on s'est établi sont à l'abri de toute critique. Le degré d'absorption des étoffes a été la seule inconnue du problème, c'est ce qu'on appellerait scientifiquement le coefficient d'absorption. Aucune expérience n'avait été faite précédemment sur ce sujet; il y a là un nouveau champ d'études à parcourir pour agir à coup sûr dans les constructions futures des grandes salles de spectacle.

En effet, Messieurs, les murs et la voûte de la grande salle ont été tendus d'étoffe. Il fallait la choisir dans des conditions toutes particulières. La question d'acoustique n'était pas la seule en jeu ; il y avait aussi la question de décoration. Il fallait, par conséquent, que l'on pût appliquer sur cette étoffe un certain genre de peinture et y faire des dorures. Le grain de l'étoffe entrait donc comme un élément important dans le choix à faire. Nous nous sommes arrêtés à la bourre de soie, disposée sur une certaine épaisseur; et nous croyons que c'est seulement le marouflage qui a produit la résonance que vous entendez sous l'effet des *fortissimo* de l'orchestre, et sous l'effet de certains timbres. Quand les échafaudages pourront être montés de nouveau et la voûte reprise, nous avons l'espoir fondé de faire disparaître les inconvénients qui existent encore aujourd'hui.

Il est certain que si nous comparons, par exemple, la salle qui a été combinée suivant les données que je viens d'exposer, à celle-ci, où rien n'a été prévu, c'est dire qu'on ne savait pas, quand on l'a construite, à quoi elle servirait; il y avait de grandes fenêtres aux deux bouts, on a voulu y placer des tableaux pour faire une exposition de portraits historiques; on y a tendu des toiles, tout cela s'est fait un peu au hasard, suivant les besoins révélés au jour le jour, de sorte que rien n'a été préparé.

Je crois qu'on peut conclure de la mauvaise disposition acoustique de cette salle, que les rayons sonores directs sont la plupart du temps insuffisants et à très petite distance, pour bien faire entendre, car le mauvais effet de la salle ne vient pas d'une fâcheuse répercussion, nous avons des toiles partout, un absorbant à peu près complet, et la meilleure preuve, c'est qu'il n'y a pas d'écho; le défaut de satisfaction vient de l'insuffisance du volume de la voix.

Transportez-vous dans la grande salle, et vous verrez qu'à 70 mètres de distance, vous entendez un orateur qui parle d'une voix très faible. On y a joué un menuet de Boccherini; il a été joué plusieurs fois par les orchestres de Milan et de Turin; on entendait les *pianissimo* les plus délicats, et on peut dire que les *piano forte* mêmes ne donnent lieu à aucune espèce de répercussion. Il n'y a que lorsqu'on arrive aux grands coups de tam-tam de grosse caisse, et surtout aux *fortissimo* des cuivres, que la répercussion a lieu. Il y a là une question de timbres qui est à étudier, sur les effets desquels j'appelle toute votre attention, car le problème est nouveau et loin d'être résolu dans toutes ses parties, et d'avoir été examiné sur toutes ses faces. Nous avons essayé de mettre en application certaines lois connues, déterminées de l'acoustique, et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

s'il reste encore quelques défauts, nous avons la satisfaction de voir que, dans une certaine mesure, nous avons résolu une partie du problème.

Je veux dire quelques mots du tracé optique. Je pourrai remettre à la visite que je me propose de faire dans les sous-sols du palais, avec ceux d'entre vous qui voudront bien m'accompagner, une digression plus complète du système général de ventilation.

Si des sièges peuvent être placés sur un seul et même plan, dans une salle relativement restreinte, un inconvénient des plus graves résulterait d'une disposition semblable si la salle était très grande. En effet, le tracé général du sol doit avoir pour principe fondamental de démasquer chaque rang de spectateurs d'une quantité déterminée, par rapport au rang qui précède. Si vous vous donnez la peine de faire une épure de ce tracé, depuis le premier rang de spectateurs jusqu'au fond de la salle, vous verrez que la jonction de ces divers points n'est pas du tout une ligne droite ; c'est une courbe, puisque c'est une même augmentation d'ordonnées, pour des différences de plus en plus grandes comme longueur d'abcisse. La salle du Trocadéro a été tracée suivant ce principe. Les six premiers rangs sont en pente inverse de la pente habituellement en usage; le sixième rang est au minimum de hauteur.

Je vais vous donner, si M. le Président le permet, une idée générale du système de la ventilation dont vous verrez les détails dans les sous-sols.

Nous avons été frappés de voir, dans presque toutes les salles de spectacle, quel que soit du reste le genre de ventilation adopté, soit par la ventilation dite naturelle, soit par l'application de moyens mécaniques, que lorsqu'on ouvre les portes soit des couloirs, soit des loges, la salle est presque toujours en dépression, et par conséquent, c'est l'air extérieur qui s'introduit; or, comme cet air n'est pas à une température convenable, — en hiver, il est toujours trop froid, il est même une cause de gêne considérable, — nous avons donc adopté en principe un système tout contraire, et nous avons voulu avoir dans la salle un excès de pression. Pour déterminer cette pression, nous avons reconnu qu'il nous faudrait une charge totale de 6 millimètres d'eau. Cette charge est assez considérable, et par conséquent donnait de grands inconvénients pour l'ouverture et la fermeture, faute de portes, de sorte que nous avons songé à la décomposer en deux, en pression positive de 3 millimètres et en pression négative de 3 millimètres ou à peu près; nous laissant la faculté, au moyen de variations possibles dans la vitesse de nos organes d'insufflation ou d'aspiration, de régler la pression effective dans la salle, suivant les cas ou les saisons.

Il s'agissait de déterminer aussi quelle serait la situation des bouches d'arrivée d'air. Lorsque la bouche d'arrivée d'air se trouve près d'un spectateur, la veine qui entre, après avoir parcouru un tuyau, garde sa figure et sa forme sur une grande longueur; et par conséquent, si faible que soit cette vitesse, à moins de faire des ouvertures très nombreuses, elle incommode. Il n'en est pas de même lorsqu'un spectateur est placé à côté d'une bouche de sortie, parce que la veine qui entre dans le tuyau est immédiatement épanouie; et à une très faible distance de l'orifice même de la bouche, on ne sent pas du tout la vitesse de l'air, elle est diminuée dans une proportion considérable. Pénétrés

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de ce principe, étant donné surtout que nous voulions couvrir toute la surface du plancher par le plus grand nombre de spectateurs, nous avons été convaincus qu'il fallait faire arriver l'air par le haut; nous avons ouvert dans la grande salle, au cintre de la voûte, une ouverture dans laquelle l'air arrive avec une vitesse de 80 centimètres. Cette ouverture a 15 mètres de diamètre, et nous avons fait sortir l'air par des bouches en aussi grand nombre qu'il y a de spectateurs : il y a 5,000 bouches de sortie, et la vitesse, à l'orifice même de ces bouches, est d'au moins 33 à 40 centimètres, c'est-à-dire que cette vitesse tombe immédiatement à 5 ou 6 centimètres à une distance de 15 ou 20 centimètres de la bouche. Il faut mettre la main tout à fait à l'orifice pour sentir cette vitesse. Nous avons deux organes mécaniques qui produisent la marche de l'air; une hélice qui souffle dans la salle et une autre qui l'enlève de la salle. Je n'insisterai pas sur les détails, vu le peu de temps qui me reste. Nous pourrons aller dans les sous-sols comme dans la salle examiner les machines à vapeur, les hélices, une partie de la grande canalisation, voir quelles sont les dispositions de détail qui ont été prises pour obtenir une répartition aussi uniforme que possible de la sortie de l'air.

Je ne veux ajouter qu'un mot en terminant, relativement à la question de température. Nous avons été frappés de la possibilité de tempérer soit par de la chaleur positive, soit par de la chaleur négative, en mettant en communication notre système général de ventilation avec les sous-sols. Nous avons construit, comme vous le savez, sur des carrières qui développent des surfaces considérables de piliers, de sols et de ciels, et étant donné que la température des sous-sols reste constante, nous avons voulu nous constituer un approvisionnement d'air dans les carrières mêmes; c'est pour cela que notre cheminée d'alimentation traverse le ciel de ces carrières et est mise en communication avec elles. Dans les premiers jours, nous avions ouvert trop complètement les trappes de mise en communication avec les sous-sols, et nous avions un refroidissement trop considérable; le public s'en est plaint, nous aurions pu arriver à 10, 12 et peut-être 15 degrés de refroidissement de l'air. Nous avons reconnu qu'il ne fallait pas abaisser la température de plus d'un dixième, pour que le spectateur se trouve dans un milieu agréable et n'éprouve aucun effet nuisible. C'est pour cela que, à 20 degrés de température extérieure, nous rafraîchissons de 2 degrés et nous faisons entrer l'air à 18 degrés. Pour 30 degrés, nous l'introduisons à 27 degrés environ. Quant au reste, je vous demanderai la permission de vous l'expliquer dans les sous-sols. (Applaudissements.)

M. le Président. Messieurs, vous m'approuverez certainement si j'exprime en votre nom des remerciements à M. Bourdais pour sa communication extrêmement intéressante. C'est la première fois que, dans un champ d'application de construction, on tente les résultats que MM. Bourdais et Davioud ont tentés dans cet établissement. Certainement, ce qu'ils vous ont dit vous a montré avec quelle délicatesse, quel savoir et quelles connaissances de toutes les ressources scientifiques ils ont mis les bonnes chances de leur côté.

La parole est à M. de Passy.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

COMMUNICATION

SUR LA FILTRATION NATURELLE DE L'EAU DANS LES VILLES,

PAR M. G. DE PASSY,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES EN RETRAITE.

M. G. DE PASSY. Messieurs, des diverses questions que soulèvent les distributions d'eau je ne retiens, pour la traiter devant vous, que celle des filtres naturels. J'exposerai le système, le plus généralement suivi, de galeries latérales, établies dans le but de filtrer naturellement les eaux de rivière, de manière à les rendre propres à l'alimentation publique. Je discuterai l'efficacité de ce système d'après les résultats qu'il produit. Et si, comme je l'espère, j'arrive à vous faire partager mon opinion sur la provenance des eaux de ces galeries filtrantes, il me sera facile de justifier la préférence à donner à un autre système, plus rationnel et plus logique, beaucoup plus facile et beaucoup moins coûteux, et dont l'application, pour la même nature de sous-sol, me paraît être la solution la plus complète de cette question *de l'eau fraîche en été et limpide en toute saison.*

Les eaux de rivière ne sont pas toujours claires et limpides. Elles se troublent lors de la fonte des neiges, à la suite des grandes pluies d'orage, aux moindres crues des affluents. Il n'en est pas qui puissent être dispensées d'un filtrage en grand lorsqu'elles doivent servir de base à la distribution d'eau d'une ville.

Ce filtrage peut se faire naturellement ou artificiellement.

Le choix dépend des circonstances dans lesquelles on se trouve placé.

Mais le filtrage naturel doit être préféré, toutes les fois qu'on est en présence d'une rivière à fond de sable et de gravier et à forte pente.

Un filtre naturel consiste dans l'établissement, latéralement à la rivière dont on veut clarifier les eaux, à une distance de l'une de ses rives qui varie de 30 à 40 mètres, à une profondeur qui descend jusqu'à 3 mètres au-dessous de l'étiage, d'une galerie perméable dont le produit arrive au puisard de la machine, machine hydraulique ou machine à vapeur, d'où les eaux sont aspirées par un jeu de pompes pour être refoulées au réservoir.

C'est le système adopté aujourd'hui d'une manière presque générale.

La galerie latérale a pour objet de recueillir les eaux de la rivière, débarrassées des matières solides qu'elles tiennent en suspension et ramenées à la température de celle des sources.

La galerie de Toulouse est établie dans une alluvion de la Garonne; celle d'Angers, dans une île de la Loire, aux Ponts-de-Cé; celle de Lyon, dans la vallée du Rhône, au Petit-Drotteau; celle de Nîmes, en amont de la ville, sur la rive droite du Rhône.

De ces galeries de filtration, les unes, comme celles de Toulouse et d'Angers, sont complètement perméables. On a ouvert dans l'alluvion du fleuve une tranchée à la profondeur arrêtée d'avance, $1^{m},14$ au-dessous de l'étiage de la Garonne, pour Toulouse; $2^{m},90$ au-dessous de l'étiage de la Loire, pour Angers.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au fond de cette tranchée, on a établi un petit aqueduc dallé, entièrement à pierre sèche, avec une section de $0^m,60$ sur $1^m,50$, strictement nécessaire au passage d'un homme pour le nettoyer au besoin. Le vide compris entre l'aqueduc et les parois de la fouille a été rempli en cailloux ou en galets bien lavés, et le dessus a été remblayé en ayant soin de rétablir, dans leur ordre naturel, les diverses couches de l'alluvion dans laquelle la tranchée a été ouverte.

Les autres, comme celles de Lyon et de Nîmes, ne reçoivent l'eau que par le fond qui repose sur la couche de sable et de gravier dont le sous-sol est formé. Ce sont de véritables galeries d'égout, à très grande section et à très forte épaisseur. A Lyon, le radier a été descendu à 3 mètres au-dessus de l'étiage du Rhône et la galerie a 5 mètres de largeur dans œuvre; à Nîmes, le radier est au niveau de l'étiage du fleuve et l'ouverture de la galerie est de 11 mètres entre les culées.

Dans la construction des galeries de filtration, on s'est attaché le plus souvent à leur donner de très grandes largeurs. En ne les rendant perméables que par le fond, on a cru devoir augmenter considérablement la surface filtrante, afin d'élever dans une notable proportion leur produit par mètre courant. C'est là une erreur. Darcy et Dupuit, dans leurs études très remarquables sur les lois d'écoulement de l'eau à travers les sables, ont établi que le débit d'une galerie filtrante est, pour ainsi dire, indépendant de sa largeur.

Il ne suffit pas que la galerie donne de l'eau claire; il faut surtout qu'elle fournisse d'une manière permanente le volume nécessaire à tous les besoins. C'est le développement, plus encore que la largeur, qui paraît être l'élément dominant dans ce système de galeries latérales. Mais cet élément principal conduit lui-même à de graves erreurs d'appréciation.

A Toulouse, on a dû ajouter à la première galerie une seconde, puis une troisième, et porter ainsi, après coup, de 108 mètres à 400 mètres, la longueur des galeries filtrantes. A Angers, on est arrivé, par des allongements successifs, à donner à la galerie 150 mètres de développement.

A Lyon, la galerie de 120 mètres ayant été reconnue insuffisante, on lui a accolé un premier bassin filtrant de 44 mètres sur 38 mètres, et trompé une seconde fois dans les prévisions, on y a ajouté un deuxième bassin présentant une surface plus grande encore que celle du premier, ce qui répond, en longueur parallèle à la rive, à 360 mètres environ de développement. A Nîmes, on a tenu sans doute à escompter les mécomptes de l'avenir. C'est la seule justification de la longueur de 500 mètres donnée, du premier coup, à la galerie qui, de plus, présente, comme nous l'avons dit plus haut, cette double particularité d'avoir une ouverture libre de 11 mètres et son radier placé au niveau de l'étiage du Rhône.

Dans les conditions où elles sont établies, avec leur radier à un niveau invariablement fixé, les galeries de filtration sont soumises à toutes les variations du régime de la rivière.

Les eaux de la rivière descendent-elles à l'étiage? Elles cessent, sauf peut-être celles de Nîmes qui auraient tous les droits possibles à cette exception, de fournir, malgré leur nouveau développement, le volume d'eau correspondant à la dotation normale de l'alimentation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A Angers, le débit d'extraction descend de 4,000 à 1,000 mètres cubes par vingt-quatre heures. Il y a lieu de remarquer que cette diminution de débit se produit en été, pendant la période où les besoins étant plus impérieux, l'alimentation devrait être plus considérable.

La rivière est-elle en crue? L'eau des galeries, sans excepter celle de Nîmes, se ressent du trouble des eaux de la rivière et devient plus ou moins louche.

Quant à la température de l'eau dans la galerie, le peu de profondeur du radier au-dessous de l'étiage fait qu'elle tient le milieu entre la température des eaux de surface et la température des eaux de fond de la rivière.

Tels sont les résultats obtenus, au prix d'énormes sacrifices, par les galeries latérales de filtration.

Ils se résument ainsi :

Insuffisance du volume d'eau pendant la période d'étiage de la rivière;

Insuffisance de limpidité pendant la période des crues;

Température égale, en toute saison, à celle du milieu ambulant.

Ces galeries répondent-elles du moins au principe même de leur établissement, qui est de filtrer les eaux de rivière?

Si l'eau recueillie dans la galerie était l'eau de la rivière, filtrée à travers le massif de sable et de gravier dans lequel elle est établie, cette eau aurait la même composition chimique que l'eau de la rivière et marquerait par conséquent le même degré hydrotimétrique.

Or, à Toulouse, l'eau puisée dans la Garonne marquant 13 degrés, l'eau de la galerie filtrante marquait 16 degrés; à Angers, l'eau puisée dans la Loire marquant 7 degrés, l'eau de la galerie marquait 11 degrés; à Lyon, l'eau puisée dans le Rhône marquant 15 degrés, l'eau de la galerie marquait 23 degrés; à Nîmes, l'eau puisée dans le Rhône marquant 15°,5, l'eau de la galerie marquait 21 degrés.

L'eau qui arrive dans la galerie de filtration ne provient donc pas seulement de la rivière, elle provient surtout de la nappe souterraine que l'on rencontre dans tous les thalwegs à fond de sable et de gravier et à pente rapide.

Il n'est pas un ingénieur qui, dans des fondations de pont ou de barrage, n'ait eu à lutter contre la puissance de cette nappe sous-fluviatile par l'emploi de nombreux engins d'épuisement et qui n'ait été à même de constater que les épuisements faits sur l'une des rives abaissaient son niveau sur la rive opposée.

Cette nappe souterraine est formée et entretenue par les eaux de source qui descendent des versants de la vallée, s'introduisent dans la couche perméable formée de sable et de gravier, y cheminent en vertu de la pression due à leur altitude, avancent vers la rivière sous laquelle elles coulent comme les eaux de la surface, mais avec une vitesse peut-être moindre, en raison de l'excessive largeur de leur lit, par suite des obstacles naturels qu'elles rencontrent dans la masse filtrante. Les eaux de la nappe souterraine sont indépendantes de celles de la rivière. La galerie de filtration en recueille l'eau superficielle et une partie des eaux de la rivière. C'est ce qui explique la différence de degré hydrotimétrique qui existe entre l'eau de la galerie et l'eau de la rivière. Lorsque

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le niveau de la rivière s'élève, dès que la pression due à ce relèvement devient assez forte pour augmenter, au delà d'une certaine limite, la vitesse d'écoulement à travers le filtre, les eaux de la rivière entrent dans la galerie avant d'avoir été débarrassées complètement de leur limon. C'est ce qui explique le trouble que l'on remarque, à l'époque des crues, dans les eaux des galeries de filtration.

On comprenait difficilement comment les galeries de filtration continuaient à fonctionner sans avoir besoin d'être nettoyées. Les partisans de ce système sont d'accord pour soutenir que la clarification des eaux, par filtration naturelle comme par filtration artificielle, ne s'effectue pas à l'intérieur de la masse filtrante, mais bien à la surface extérieure; que c'est là que reste le dépôt, sur une très faible épaisseur, et que, dans le régime des rivières à forte pente, ce dépôt est sans cesse entraîné et renouvelé par le courant, sans qu'il puisse en résulter le moindre encombrement intérieur. Cette explication n'est pas admissible; s'il en était ainsi, comme l'a écrit, dans ses études sur le bassin de la Seine, M. Belgrand, dont la mort est une grande perte pour la science hydrologique et un véritable deuil pour la famille des ponts et chaussées, lorsque la rivière opère le nettoiement de ce filtre naturel en remuant les sables et graviers qui en forment la surface, les matières limoneuses en suspension seraient entraînées par l'eau même qui se filtre, et pénétreraient plus avant dans la masse de ces sables et graviers, dont elles ne tarderaient pas à oblitérer complètement tous les petits canaux. Le filtre deviendrait rapidement imperméable.

La véritable raison de la persistance de la filtration des galeries, c'est que ces galeries ne reçoivent que des eaux claires provenant de la nappe souterraine.

Du moment où il est établi, d'une part, que les galeries filtrantes, non seulement ne filtrent qu'en quantité insignifiante les eaux de la rivière, mais encore qu'elles sont troublées par elles en temps de crue et, d'autre part, qu'elles sont entretenues exclusivement par la nappe sous-fluviatile dont les eaux sont naturellement claires et limpides, elles perdent beaucoup de leur intérêt et de leur importance.

Au drainage superficiel qui a pour conséquence l'insuffisance de débit, de limpidité, de pureté et de fraîcheur, il est plus rationnel, il est plus logique de substituer le drainage vertical qui remédiera certainement à ces inconvénients. Et ce système devra être préféré, à la condition que les eaux de la nappe souterraine ne marqueront pas plus de 20 à 24 degrés à l'hydrotimètre, ce qui les classera parmi les eaux reconnues très propres aux usages domestiques et industriels.

Il est facile de démontrer que la quantité d'eau qu'on peut obtenir d'un puits est beaucoup plus considérable que celle qu'on obtiendrait d'une galerie filtrante d'une assez grande longueur.

Supposons une galerie filtrante d'une longueur indéfinie établie au milieu d'un massif. Appelons 2 L l'épaisseur de ce massif, q le volume d'eau extrait par seconde, H la hauteur de l'eau dans la galerie lorsqu'on en extrait le volume q par seconde, 2 r la largeur de la galerie et p le coefficient de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

perméabilité de la masse filtrante, le produit de la galerie par mètre courant et par seconde sera donné par la formule de Dupuit :

$$q = \frac{1}{p} \frac{H^2 - h^2}{L - r}$$

r étant très petit par rapport à L, on voit que, comme nous l'avons dit plus haut, le débit d'une galerie filtrante est pour ainsi dire indépendant de sa largeur.

Le produit d'un puits dans les mêmes conditions de diamètre, pour la même dénivellation $H - h$, sous l'action de la pompe, sera, d'après la formule de Dupuit :

$$q' = \frac{\pi}{p} \frac{H^2 - h^2}{log\left(\frac{L}{r}\right)}$$

ce qui fait ressortir que le débit d'un puits est également presque indépendant de son diamètre.

Négligeant r par rapport à L, on a :

$$q' = q \times \frac{\pi L}{log L} = 3,14\, q \frac{L}{log L}$$

Pour L = 100^m, on aurait $q' = 68\, q$

Pour L = 200^m, on aurait $q' = 118\, q$

Pour L = 1,000^m, on aurait $q' = 455\, q$

On est donc fondé à conclure que le volume d'eau qu'on peut espérer par mètre linéaire d'une galerie filtrante n'est qu'une très petite fraction de ce que donnerait un puits dans les mêmes conditions de dénivellation.

La position plus ou moins excentrique du puits dans le massif filtrant est, comme son diamètre, sans influence appréciable sur son débit. On est donc libre du choix de son emplacement, et il ne faut pas chercher à lui donner un diamètre plus grand que celui qui convient à la facilité du travail de creusement, 1 mètre à 1^m,50.

Qu'on emploie une colonne métallique en fonte ou en tôle pour former les parois du puits, ou qu'on exécute ces parois en briques et ciment en montant les maçonneries au fur et à mesure que descend la couronne sur laquelle elles reposent, la dépense du puits sera toujours très peu importante, quelle que soit sa profondeur.

Elle sera notamment diminuée, si on fait usage pour extraire les déblais de l'ingénieux appareil que M. Chanoit, ingénieur civil, hydraulicien distingué, a imaginé, et dont il a fait l'application à Dôle, au puits qu'il a ouvert pour l'alimentation de la ville dans le massif filtrant de la rivière du Doubs, plutôt que de recourir à l'établissement d'une galerie latérale.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cet appareil, qu'il appelle *cloche à piston*, se compose d'une cloche en fonte dans laquelle se meut un piston sans frottement et qui est terminée à sa base par un clapet dont le siège porte un trépan. Dès que l'on est arrivé à l'eau dans le fonçement du puits, on enfonce la cloche à piston, on fait monter brusquement le piston, et la cloche se remplit de sable, de gravier et même de galets; six hommes, sur une chèvre à treuil, suffisent pour manœuvrer une cloche à piston de 30 centimètres de diamètre avec un piston de 70 centimètres de course. Et alors même que pour assurer, dans la plus large mesure, le service de l'alimentation, il deviendrait nécessaire de creuser plusieurs puits et de les relier entre eux par des tuyaux de fonte, voire même par de petits aqueducs en maçonnerie; les frais d'établissement de ces puits et de leurs raccords seraient insignifiants, comparativement aux frais d'établissement de galeries filtrantes suivant le système appliqué à Toulouse, à Angers, à Lyon et à Nîmes, qui grèvent de un demi-centime à un centime chaque mètre cube d'eau qu'elles fournissent à l'alimentation. (Applaudissements.)

M. LE PRÉSIDENT. La parole est à M. Léon Dru.

M. Léon DRU. Je désire confirmer le fait énoncé par l'honorable M. de Passy, de l'existence des nappes souterraines sous le thalweg des cours d'eau.

J'ai eu souvent occasion de faire des recherches dans les alluvions, et dans celles de la Loire, par exemple, en sondant le lit du fleuve à 12 ou 15 mètres de profondeur, j'ai rencontré non seulement des niveaux, mais des nappes artésiennes qui jaillissaient bien au-dessus de l'étiage.

Cet exemple, comme beaucoup d'autres d'ailleurs, confirme bien le fait de l'existence dans les alluvions de niveaux qui sont indépendants du régime des fleuves.

On doit, pour effectuer les prises d'eau en berge, tenir compte de la nature du sol, pour connaître les qualités du filtre.

Ainsi, dans la vallée de la Seine on a reconnu que les dépôts d'alluvions étaient en bien des endroits d'une composition variable. A Paris, elles sont plus compactes; sur la rive droite j'y ai rencontré bien des fois des couches vaseuses et argileuses, de sorte que l'on ne peut pas toujours comparer ces mêmes dépôts entre eux, surtout ceux qui dépassent un peu le centre du thalweg.

L'examen de ces sortes de terrains fait remarquer que la perméabilité n'est pas constamment la même suivant le remous occasionné par les eaux, il y a des différences sensibles dans les alluvions; les plus grossières sont généralement à la base, mais elles s'entremêlent souvent avec des argiles et d'autres dépôts de transport.

En résumé, on ne peut donc établir partout des puits dans les alluvions, il est nécessaire de les placer dans des conditions favorables, c'est-à-dire dans les terrains les plus perméables.

M. LE PRÉSIDENT. Les considérations que vous apportez ne sont pas, Monsieur, des objections contre les théories exposées par M. de Passy?

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Léon Dru. Nullement, Monsieur le Président.

Je désirais appeler l'attention sur le choix des modes de captage, puisque c'est toujours dans les alluvions une question de filtre; et les faits que j'ai signalés au sujet de la circulation sous les thalwegs confirment bien l'opinion émise par M. de Passy.

La séance est levée à midi.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SÉANCE DU MARDI 13 AOÛT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BETOCCHI,

INSPECTEUR DU GÉNIE CIVIL D'ITALIE.

Ordre du jour : 5e SECTION. — PHYSIQUE ET CHIMIE INDUSTRIELLES.

SOMMAIRE. — TRANSFORMATION DU TRAVAIL MÉCANIQUE EN CHALEUR. APPLICATION À LA PRODUCTION INDUSTRIELLE DU FROID, mémoire de M. J. Armengaud jeune. — Observations de M. Ribourt sur la FABRICATION DE LA GLACE ARTIFICIELLE. — CHAUFFAGE PAR GAZOGÈNES. Applications à la métallurgie, à la céramique et aux produits chimiques. Rapport de MM. Fichet et Périssé.

La séance est ouverte à dix heures dix minutes.

M. BETOCCHI occupe le fauteuil de la présidence, assisté de MM. GÉRARD et TESSIÉ DU MOTAY, vice-présidents, et de MM. BRULL, PÉRISSÉ, et ORSAT, secrétaire.

M. LE PRÉSIDENT. Messieurs, je tiens à vous dire combien je suis flatté d'être appelé à l'honneur de présider cette importante séance. Je dois cet honneur au pays que je représente, l'Italie. Je donne la parole à M. Armengaud jeune pour sa communication sur la transformation du travail mécanique en chaleur, et son application à la production industrielle du froid.

MÉMOIRE

SUR LA TRANSFORMATION DU TRAVAIL MÉCANIQUE EN CHALEUR. APPLICATION À LA PRODUCTION INDUSTRIELLE DU FROID.

PAR M. J. ARMENGAUD JEUNE,

INGÉNIEUR CIVIL.

Considérations générales.

M. Jules ARMENGAUD jeune. Messieurs, une des plus grandes découvertes dont le XIXe siècle ait à s'honorer est, sans contredit, l'ensemble de ces lois et de ces principes qui constituent une branche spéciale de la science, à laquelle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

on a donné le nom de *Thermodynamique*, ou Théorie mécanique de la chaleur. Si la France a fourni avec Sadi-Carnot l'idée première de l'assimilation de la chaleur et du mouvement, et, avec Régnault, une série de mesures et de données précises qui ont permis de vérifier cette conception, les nations qui nous environnent ont largement contribué à l'édification de cette science : l'Allemagne avec Meyer et Clausius, l'Angleterre avec Joule et Tyndall, de telle sorte qu'on peut dire que la thermodynamique est une œuvre vraiment internationale. Dans cette courte et incomplète énumération, je n'aurais garde d'oublier, au milieu de ces noms illustres, celui de M. Hirn qui représente si bien la part de notre chère Alsace dans l'histoire de cette admirable découverte.

La théorie mécanique de la chaleur, ainsi que le dit si justement M. Zeuner, dans son remarquable ouvrage, offre un enchaînement de théorèmes et de faits indépendants de toute idée préconçue sur l'essence de la chaleur. Toutefois, pour la satisfaction de l'esprit, il n'est pas inutile de faire quelques hypothèses sur la nature du calorique, surtout en les rapprochant de celles qui se rattachent à la constitution des corps.

L'opinion la plus généralement admise consiste à concevoir un corps comme formé de points matériels, atomes du corps et de l'éther, qui agissent les uns sur les autres et qui possèdent chacun un certain mouvement d'oscillation ou de rotation autour de leurs centres d'action, de telle sorte qu'il y a toujours dans un tel système une certaine force vive emmagasinée. C'est ce mouvement moléculaire non appréciable à l'œil qui est supposé correspondre à la chaleur sensible du corps, et est susceptible aussi de se manifester extérieurement par des effets de lumière ou d'électricité. C'est ce même mouvement qui est en jeu dans les actions chimiques. Tel est le lien philosophique qui établit la corrélation des forces naturelles.

De l'idée de la chaleur considérée comme mouvement ou comme force vive intérieure, on arrive sans transition à celle de sa transformation en travail mécanique extérieur et réciproquement. C'est le premier principe fondamental de la thermodynamique, le seul qui serve essentiellement de base aux développements mathématiques qui conduisent aux autres théorèmes de cette science.

On peut l'énoncer ainsi :

La production de tout travail mécanique est accompagnée de la disparition d'une certaine quantité de chaleur, et réciproquement la destruction d'un travail mécanique ou de la force vive équivalente est accompagnée de la production d'une certaine quantité de chaleur.

Le rapport entre la quantité de travail produit ou dépensé et la quantité de chaleur disparue ou gagnée est constant; à une calorie correspond un travail de 425 kilogrammètres. C'est ce nombre trouvé dans l'expérience de M. Joule, et auquel Meyer a donné le nom d'*équivalent mécanique de la chaleur*.

Pendant longtemps, les contradictions apparentes que présente ce principe avec ce qui se passe dans les opérations industrielles où la chaleur et le travail se trouvent en rapport, ont fait hésiter les ingénieurs à adopter les idées de la nouvelle théorie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette hésitation n'a commencé à être vaincue que depuis les expériences célèbres auxquelles M. Hirn a soumis la machine-vapeur. Personne d'entre nous n'ignore que, le premier, il expliqua le phénomène de la condensation qui accompagne la détente de la vapeur. Ce fut une véritable révélation. A partir de ce moment, on a compris tout l'avantage qu'on pouvait tirer de l'observation des principes de la thermodynamique, si remarquables par leur simplicité, comme toutes les grandes lois de la nature.

N'est-ce pas à l'enseignement fourni par cette théorie que nous sommes redevables de ces perfectionnements considérables que les machines à vapeur ont subis depuis vingt ans, et qui ont tous eu pour objectif une meilleure utilisation de la chaleur. On croyait que, après l'illustre Watt, il ne resterait plus que des améliorations de détail à apporter dans la construction des machines à vapeur, lorsque tout à coup l'annonce du chiffre qui exprime l'équivalent mécanique de la chaleur jeta le trouble dans les esprits, et aussi, dois-je le dire, fit naître l'espérance dans ceux qui croient à la constance du progrès.

D'après cette équivalence de la chaleur, un kilogramme de houille, qui développe, on le sait, environ 8,000 calories, devrait théoriquement fournir un travail de $8{,}000 \times 425$, c'est-à-dire de 12 chevaux-vapeur ou au moins de 6 chevaux, si l'on tient compte de ce fait que la moitié du calorique seulement est communiquée à la chaudière. On voit combien ce rendement théorique est supérieur au meilleur rendement obtenu en pratique, lequel seulement, pour des machines d'une grande puissance, a pu descendre à un kilogramme de houille par cheval.

Déjà le système Corliss, paru pour la première fois en 1867, et les systèmes Wolff et *compound*, dont l'Exposition nous offre des types si remarquables, ont réalisé des économies sensibles estimées, par M. de Fréminville, respectivement à 12 p. o/o et à 17 p. o/o. Mais, malgré ces améliorations, on voit quel chemin il reste encore à parcourir, si l'on tient à ne pas gaspiller la houille, à épuiser cette source féconde qui, au dire des géologues, dans un temps relativement prochain, menacerait de se tarir.

Pardonnez-moi, Messieurs, ces considérations que j'abrège pour ne pas abuser de votre attention. Mais elles m'ont paru nécessaires pour préparer le sujet que j'ai à traiter devant vous.

Ce n'est pas, en effet, de la transformation de la chaleur en travail mécanique dont j'ai à m'occuper aujourd'hui, je me propose d'étudier la partie réciproque du principe fondamental, c'est-à-dire la conversion du travail mécanique en chaleur.

Travail mécanique transformé en chaleur perdue.

La force motrice, développée dans les machines à vapeur, est transmise par les récepteurs, c'est-à-dire les machines-outils, à la matière qui doit être transformée pour nos besoins. La matière est rebelle à cette transformation, et la résistance qu'elle oppose à l'effort moteur provoque un dégagement de chaleur. Tout le monde a remarqué l'échauffement d'un morceau de métal qu'on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lamine, que l'on estampe, que l'on perce, que l'on déforme d'une façon quelconque. En mesurant les calories développées, on trouverait qu'elles correspondent au travail de déformation produit ou au travail moteur consommé, dans le rapport de une calorie pour 425 kilogrammètres.

La déformation résultant de l'effort exercé peut être permanente ou temporaire. Ce dernier cas se présente lorsqu'il s'agit des corps élastiques, par exemple, d'un ressort d'acier que l'on bande, d'une masse d'air que l'on comprime, ou de l'eau mise en pression dans un accumulateur.

Le travail pourra alors être restitué, et cette restitution sera, à son tour, accompagnée d'une absorption de chaleur, autrement dit d'un refroidissement.

Je reviendrai plus loin sur cette question.

Ainsi, toute destruction définitive ou momentanée de travail mécanique est nécessairement accompagnée d'un dégagement de chaleur. Toutefois cette chaleur n'apparaît pas toujours dans des conditions qui en rendent la constatation facile. Elle se disperse facilement par rayonnement ou par conductibilité, sans laisser de trace de son passage. Pour en avoir la sensation, il importe que l'action mécanique se concentre sur une surface peu étendue; il faut que la chaleur se trouve accumulée dans un espace restreint, pour pouvoir manifester son existence par l'effet de son intensité.

Je citerai, comme exemples : le choc du fer d'un cheval faisant jaillir des étincelles sur le pavé; l'échauffement, et souvent la combustion, des sabots des freins qui, par la friction, enrayent la marche d'une voiture. Cet échauffement, dans les trains de chemins de fer, atteste la quantité de force vive énorme qu'il a fallu absorber dans un très court intervalle de temps.

Je suis tout naturellement amené à parler des expériences à l'aide desquelles M. Tresca, notre honorable président, a pu recueillir et, pour ainsi dire, fixer et évaluer la chaleur développée par une action mécanique.

En soumettant au forgeage une barre de platine iridié placée sur l'enclume lorsqu'elle est encore à la température voisine de celle du rouge, M. Tresca a vu apparaître sur les côtés de la pièce deux lignes lumineuses en diagonale.

Il a constaté que ces deux lignes correspondaient aux zones de plus grand glissement, là où se dépense la plus grande somme de travail et où, par conséquent, se produit le maximum de chaleur, et ce en quantité suffisante pour se traduire en impression lumineuse.

Une autre expérience, faite dans le même ordre d'idées, consiste à enduire la barre métallique, qui peut être en métal quelconque, d'une couche de cire ou de suif sur ses faces latérales. Sous l'action d'un coup de mouton, on voit fondre la cire en regard de la plus grande dépression produite. Par là on peut estimer la chaleur développée et la comparer au travail fourni par la chute même du mouton.

Messieurs, vous voyez que ces expériences éclairent d'un jour nouveau le rôle de la chaleur dans les actions mécaniques. Vous reconnaîtrez avec moi que celui qui en est l'auteur a fait faire un pas important à la science de la thermodynamique.

Mais, dans ces exemples, la chaleur n'est, en quelque sorte, qu'une conséquence tout à fait secondaire et souvent même nuisible de l'emploi du travail.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il nous tarde d'arriver aux applications qui font revêtir au principe que nous examinons un véritable caractère d'utilité.

Le programme avait d'abord spécifié deux de ces applications : la production mécanique du froid, ou les machines frigorifiques, et la production de la lumière par les machines dynamo-électriques.

Le temps qui m'est donné ne me permettra que de traiter la première de ces questions.

Rôle du travail mécanique dans les machines frigorifiques.

Comment intervient le travail mécanique dans les machines frigorifiques?

Quelle est la valeur correspondant à l'unité de froid engendrée?

Quelles sont les conditions théoriques auxquelles doivent satisfaire les meilleurs appareils frigorifiques?

Enfin, parmi les différents systèmes qui figurent à l'Exposition, quels sont ceux qui semblent posséder le meilleur rendement?

Telles sont les questions que je vais maintenant aborder, et qui pourront, je l'espère, soulever une discussion intéressante de la part de quelques-uns de mes auditeurs.

La nécessité de produire artificiellement du froid n'a pas besoin d'être démontrée. Dans les pays chauds, dans nos climats tempérés, pendant l'été, les difficultés du transport de la glace, l'insuffisance des provisions faites pendant l'hiver obligent à recourir à des moyens artificiels de produire le froid. C'est moins pour les usages domestiques que pour certaines industries, que les machines frigorifiques sont devenues indispensables.

Je citerai les brasseries, les stéarineries, la fabrication de certains produits chimiques, notamment de la nitroglycérine, base de la dynamite.

Malgré l'intérêt qu'il y aurait à m'étendre sur les différents modes d'application du froid, je resterai dans le cadre de mon sujet, qui comprend la manière dont on engendre le froid et non celle dont on l'emploie.

Vous n'ignorez pas, Messieurs, qu'il y a trois méthodes principales de produire artificiellement le froid :

La fusion de certains sels chimiques;

L'évaporation des liquides volatils tels que l'éther, l'ammoniaque et l'acide sulfureux,

Et la détente des gaz, de l'air en particulier.

Ces méthodes sont fondées sur cette propriété qu'ont les corps d'absorber de la chaleur lorsqu'ils passent de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état gazeux. La chaleur qui accompagne le changement d'état n'augmente pas la température du corps, elle s'y emprisonne en quelque sorte; c'est pour cela qu'on l'appelle chaleur latente de fusion, chaleur latente de vaporisation. Dans le cas des gaz, c'est leur passage d'un état plus dense à un état moins dense qui entraîne l'absorption d'une certaine quantité de calorique.

Au premier abord, on peut s'étonner de voir prendre les machines frigorifiques comme exemples d'une application du principe de la transformation du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

travail mécanique en chaleur. Si je ne parlais à des ingénieurs qui sont tous initiés aux notions nouvelles, on pourrait croire à l'énoncé d'un paradoxe.

Vous savez tous, Messieurs, que telle n'est pas ma pensée. Il suffit, en effet, de réfléchir un instant à ce qu'est et doit être le fonctionnement d'une machine frigorifique, pour reconnaître qu'une telle machine n'a d'autre but que de provoquer un déplacement de chaleur. De là, à l'intervention d'un mouvement et, par suite, à une force à dépenser, il n'y a qu'un pas.

Le liquide volatil ou le gaz est le corps intermédiaire que l'on met en mesure de se vaporiser ou de se détendre au contact des corps à refroidir. Or, dès que ce corps est à l'état de vapeur ou de gaz détendu, il faut le ramener à son état primitif, le reconstituer tel qu'il était, pour le rendre apte à se transformer de nouveau. Mais cette reconstitution, qui est nécessaire pour permettre d'utiliser constamment la même masse de l'agent intermédiaire, et pour obtenir une production continue, ne peut se faire sans l'aide d'un certain effort extérieur, effort destiné soit à refouler la vapeur, pour aider à sa liquéfaction, soit à comprimer le gaz. C'est à ce moment qu'il y a anéantissement de travail et par suite dégagement de chaleur.

On se débarrasse de cette chaleur au moyen d'une eau dite de refroidissement que l'on fait circuler autour d'un corps intermédiaire et qui l'emporte au dehors. En réalité, une machine frigorifique a donc pour effet de faire passer la chaleur d'un corps froid sur un corps plus chaud.

Or, d'après le postulatum posé et vérifié par Clausius, la chaleur ne peut se transporter d'elle-même d'une source de température inférieure à une source de température supérieure. Il faut pour cela dépenser une certaine quantité de travail mécanique, et cette quantité est proportionnelle à la différence des températures extrêmes toutes les fois que les changements d'état du corps intermédiaire s'effectuent suivant un cycle réversible.

C'est là une des manières d'exprimer la deuxième loi fondamentale de la thermodynamique.

Pour bien comprendre cette intervention du travail mécanique, il importe de suivre dans chaque espèce de machine frigorifique les évolutions du corps intermédiaire. Je le ferai le plus brièvement possible, en commençant par la machine à air qui présente le rôle du travail sous une forme plus saisissable.

Production du froid par la détente de l'air.

L'historique de la production mécanique froid par l'air est si peu connu, que je vous demande la permission de le résumer en quelques mots.

C'est un Américain, J. Gorrie, qui paraît avoir combiné la première machine fondée sur la détente de l'air. Cette machine est décrite au long dans une patente prise en Angleterre, en 1850, au nom de M. Newton, le représentant de l'inventeur.

Bien que la construction de cette machine paraisse avoir été étudiée avec soin, elle n'a pas joui d'autant de réputation que celle qui a été inventée dix ans après par l'Irlandais Kirk, et mise en usage dans quelques raffineries en Angleterre. Ensuite arrive le système imaginé en 1869, par M. Windhausen,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de Brunswick, qui a eu quelques succès en Allemagne. En France, le même problème a été, depuis 1872, l'objet de plusieurs tentatives, dont la dernière est représentée par la machine de M. Paul Giffard, qui figure à l'Exposition.

Les machines de ces divers systèmes ne diffèrent que sous le rapport de la construction et de dispositifs souvent très ingénieux. Il faudrait un volume pour en donner la nomenclature.

Je m'arrêterai seulement sur le principe de ces machines qui est le même pour toutes. Le voici :

Une masse d'air est d'abord comprimée dans un corps de pompe à une certaine tension, puis rafraîchie et ramenée à sa température initiale par une certaine quantité d'eau qui a absorbé la chaleur dégagée pendant la compression; ensuite cette masse d'air est envoyée dans une capacité close, contre un piston où elle se détend brusquement en exerçant un travail mécanique qui est utilisé pour restituer une partie du travail consommé par compression. L'abaissement de température qui se produit pendant la détente est la source de froid que l'on emploie pour refroidir des corps ou faire de la glace.

Réduite à sa plus simple expression, la machine frigorifique à air se composerait d'un cylindre unique muni d'un piston, des deux côtés duquel s'exerceraient deux actions contraires : d'une part, la compression de l'air, et de l'autre, la détente de ce fluide comprimé contre-balançant l'effet de la compression. C'est cette disposition bien simple qui avait été adoptée d'abord par M. Windhausen. Mais ce dernier est revenu plus tard à la disposition qui avait été originairement indiquée par Gorrie, et que l'on retrouve dans la machine Giffard.

Cette disposition plus rationnelle comporte deux capacités distinctes pour la compression et la détente, c'est-à-dire un cylindre compresseur et un cylindre détenteur dont les pistons sont mis en connexion, de façon que le travail de détente soit restitué au cylindre de compression et vienne ainsi en déduction du travail moteur exigé par la machine.

On comprend que ces deux capacités ne sont pas égales: le cylindre de compression est plus grand que le cylindre de détente dans le rapport des températures que possède l'air en entrant dans l'un et en sortant de l'autre.

Les deux travaux mécaniques correspondant à ces capacités ont pour résultante le travail moteur exigé par la machine. Ce travail est dépensé pour produire du froid, ce qui paraît une anomalie avec le principe qui veut qu'au contraire, cette dépense conduise à une génération de chaleur.

Or, cette équivoque est bien vite dissipée, si l'on réfléchit que, dans cette machine, il y a concomitance de production de chaleur par la compression, et de production de froid par la détente. La première est plus grande que la seconde. En fait, l'eau de refroidissement, en s'échauffant, emporte plus de calories que l'air n'est ensuite capable d'en enlever aux corps à refroidir. La différence est une chaleur réellement gagnée, et si on la mesure, on trouve qu'elle équivaut exactement au travail théorique qui serait absorbé par la machine, dans le rapport de une calorie pour 425 kilogrammètres.

Ainsi se trouve vérifié d'une manière indiscutable, dans le jeu des machines frigorifiques d'air, le principe de la transformation du travail mécanique en chaleur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Je présenterai maintenant quelques observations sur le rendement des machines frigorifiques à air en général.

Dans un essai, que celui qui a l'honneur de vous parler a fait sur la théorie de la production mécanique du froid, il a recherché et posé les conditions qu'on devait remplir pour obtenir le meilleur rendement, c'est-à-dire la plus grande somme de froid, avec la moindre dépense de force motrice. Ces conditions sont exprimées dans deux formules que je traduirai en langage ordinaire.

L'abaissement de température produit par l'air dans son passage dans la machine est proportionnel à la température absolue ambiante et augmente avec le degré de compression ou celui de la détente.

La température initiale de l'air étant de + 20 degrés, elle descend à — 28, — 52, — 86, — 107 au-dessous de zéro, pour des pressions de 1 et 1 1/2, 2, 3 et 4 atmosphères.

D'après ce résultat, on serait conduit à pousser très loin la compression préalable de l'air, si l'on veut avoir un grand abaissement de température, c'est-à-dire produire un froid intense. Mais si l'on prend le rapport de ce travail résultant au nombre de calories négatives produites, on trouve qu'il est représenté par une fonction du degré de compression, laquelle augmente avec ce degré.

Or, ce rapport, c'est le coût de la calorie négative en force motrice, c'est-à-dire le prix de revient du froid produit. Le calcul montre que cette force croît comme les nombres 33, 64, 102, 131, etc., pour des pressions de 1, 1 1/2, 2, 3, 4 atmosphères. Il résulte de là que, contrairement à ce que fait supposer la première formule, on a tout intérêt à construire des machines à basse pression, produisant une température très rapprochée de celle des corps à refroidir, voisine de zéro, s'il s'agit de faire de la glace. C'est parce que cette indication n'a pas été observée, parce que l'on a cherché à atteindre un abaissement de température sans utilité pour les applications industrielles, que les machines frigorifiques à air, exécutées jusqu'à ce jour, ont exigé des forces excessives, occasionnant une dépense énorme de combustible. Cette dépense, d'après les déclarations mêmes de Kirk et de Windhausen, n'a jamais été inférieure à un kilogramme de houille par kilogramme de glace, tandis que, ainsi que nous allons le montrer plus loin, l'autre méthode de production du froid par les liquides volatils peut donner facilement 4, 8 et jusqu'à 10 kilogrammes de glace par kilogramme de houille.

Ajoutons aussi qu'il faut donner à la machine à air des dimensions colossales, en raison de la petite densité de l'air et de sa faible chaleur spécifique. En prenant le volume comme point de comparaison, on constate qu'il faut 4,000 mètres cubes d'air pour produire la même quantité de froid qu'avec un mètre cube d'acide sulfureux.

C'est cette infériorité de rendement qui a toujours fait échouer le procédé de la génération mécanique du froid, malgré les avantages de toutes sortes que présente l'emploi de l'air, corps inoffensif et gratuit, sur l'emploi des autres corps intermédiaires, inflammables comme l'éther ou irrespirables comme l'ammoniaque ou l'acide sulfureux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Machines frigorifiques à liquides volatils.

Je suis maintenant conduit à passer rapidement en revue et à comparer, toujours au même point de vue du travail, les machines frigorifiques à liquides volatils. C'est par là que je terminerai cette étude.

L'Exposition a l'avantage, pour la première fois, de rassembler les types les plus divers de ces machines. En effet, on y remarque dans la section anglaise deux machines à éther, l'une aux noms de Siebe et Gormand, et l'autre au nom de l'*Atlas Engine Company*; dans la section suisse, une machine à ammoniaque pur, du Dr Linde, exécutée par MM. Sulzer frères, de Winterthur. On trouve dans la section française la machine à solution ammoniacale du système primitif de M. Carré, construite par MM. Mignon et Rouart; la machine nouvelle de M. Carré, son appareil à acide sulfurique. Enfin, on peut visiter la machine à éther méthylique de M. Tellier, à bord de son bateau *le Frigorifique*, en station près de la berge de la Seine, du côté du Trocadéro.

Toutes ces machines exigent pour fonctionner une certaine force motrice.

Nous allons établir tout à l'heure quelle est la relation de cette force motrice avec la quantité de froid engendré.

Si l'on conçoit de l'éther ou autre liquide même moins volatil, placé dans un vase à grande surface et exposé à l'air libre, on verra le liquide s'évaporer et produire du froid qu'on pourra utiliser. Or, cette évaporation naturelle n'amène qu'une lente absorption de chaleur, et cette faible source frigorifique finit par s'épuiser dès que l'éther a disparu en vapeurs. Le but de la machine est à la fois d'activer cette évaporation, de recueillir les vapeurs, de les condenser, et de renouveler aussi rapidement que possible cette série d'évolutions, dont le résultat est le déplacement de chaleur qui engendre le froid.

Tel est le principe du fonctionnement de la machine à éther imaginée par Jacques Perkins en 1832, modifiée par Harrisson en 1856, et amenée en 1862, par le Dr Siebe, au degré de perfectionnement où nous la voyons aujourd'hui. La machine consiste essentiellement en une pompe mise en communication, d'une part, avec un réfrigérant d'où elle aspire l'éther, et, d'autre part, avec un condenseur où elle le refoule pour le ramener à l'état liquide. Les vases contenant les corps à refroidir, l'eau à congeler, sont plongés à l'intérieur du réfrigérant, dans un bain formé d'une solution saline dite liquide incongelable, qui a pour but d'emmagasiner le froid produit et qui joue, en quelque sorte, à l'égard de la chaleur négative, le même rôle que le volant d'un moteur vis-à-vis de la force motrice.

C'est du type de la machine à éther que dérivent toutes les machines à liquides volatils, celle à éther méthylique de M. Tellier, comme celle plus récente de M. Pictet à acide sulfureux, celle de M. Linde à ammoniaque pur et celle de M. Vincent à chlorure de méthyle.

Ainsi, dans ces machines, pour régénérer le liquide, c'est-à-dire pour condenser les vapeurs, on les comprime avec une pompe et on enlève par une circulation d'eau la chaleur développée par la compression. C'est ce travail de compression qui représente la force motrice exigée par la machine. Le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

retour à l'état liquide a donc lieu par les actions combinées de la pression et du refroidissement, méthode qui, indiquée par M. Faraday, vient d'être appliquée avec tant de succès par MM. Cailletet et Pictet pour liquifier l'oxygène, l'air, l'hydrogène, enfin tous les gaz considérés jusqu'ici comme permanents.

Je suis bien aise en passant d'avoir saisi cette occasion de rappeler ces magnifiques travaux, qui marqueront dans l'année de l'Exposition déjà si féconde en merveilleuses découvertes.

Pour ramener l'ammoniaque à l'état liquide, M. Carré a eu recours à une autre méthode de régénération. Cette méthode très ingénieuse est fondée sur l'affinité considérable que possède l'eau pour le gaz ammoniac, dont elle dissout environ cinq cents fois son volume à la température ordinaire. C'est cette affinité qu'il faut vaincre pour rendre libre l'ammoniaque et lui permettre ainsi d'absorber de la chaleur pendant son passage de l'état liquide ou dissous à l'état gazeux. On réalise cette séparation au moyen de la chaleur en portant la solution ammoniacale à une température de 130 à 150 degrés dans une chaudière chauffée à feu nu ou par un faisceau tubulaire à vapeur. Or, cette chaleur communiquée à la chaudière dans la machine Carré n'est pas autre chose qu'une forme spéciale du travail mécanique. On peut donc dire que la cause de la génération du froid dans cette machine est au fond la même que dans les autres machines à liquides volatils.

Comparaison entre les différents modes de production artificielle du froid.

La théorie mécanique de la chaleur nous offre une formule générale qui permet de comparer entre eux tous les modes de production mécanique du froid par les liquides volatils.

Si l'on examine attentivement le jeu d'une des machines frigorifiques que je viens de mentionner, on remarque que le liquide volatil suit précisément en sens inverse les mêmes évolutions que l'eau dans la machine à vapeur. J'entends ici la machine thermique théorique, celle dans laquelle les changements d'état de l'eau s'effectueraient dans le cylindre moteur, en constituant un cycle réversible. On peut donc appliquer la même formule que donne à ce sujet M. Zeuner dans son ouvrage, au chapitre intitulé : Du travail disponible des machines à vapeur.

On peut mettre cette formule sous la forme :

$$L = 425 \times M \times r \frac{t' - t}{t + 273}$$

L est le travail.

M exprime en kilogrammes la quantité de vapeur qui passe par seconde dans la machine.

r est la chaleur latente du liquide.

$\frac{1}{273}$ est le coefficient de dilatation, sensiblement le même pour tous les gaz et toutes les vapeurs.

Mais ce qu'il est surtout intéressant d'apprécier, c'est le coût en force mo-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trice de l'unité de froid engendré, autrement dit le rendement de la machine. Ce rendement est donné par le rapport :

$$F = 425 \times \frac{t' - t}{273 + t}$$

On voit par cette formule, d'où se trouve éliminée l'expression de la chaleur latente, qu'en principe le choix du liquide volatil est indifférent, et que, pourvu que la différence des températures extrêmes soit la même ainsi que la température d'évaporisation t, les divers systèmes que j'ai passés en revue devraient donner théoriquement la même quantité de froid pour une même quantité de travail.

Mais, en pratique, les températures t et t' s'imposent, aussi bien la température t qui doit être forcément inférieure à zéro, que t' qui est la température à laquelle se fait la condensation des vapeurs. Celle-ci, en effet, est déterminée en ayant égard à la température ambiante, et à celle de l'eau que l'on a à sa disposition pour le rafraîchissement dans le condenseur.

La conséquence à tirer de cette analyse est que les liquides volatils à choisir sont ceux dont les changements d'état dans la machine peuvent s'effectuer entre des limites de température présentant le moins d'écart possible, la limite inférieure étant le plus rapprochée que l'on pourra de zéro, point d'utilisation industrielle du froid.

Plusieurs corps semblent pouvoir satisfaire à ces conditions, puisqu'en ayant recours à l'emploi de la compression, on peut faire varier les tensions de leurs vapeurs saturées, de manière à obtenir des points d'ébullition et de liquéfaction correspondant aux températures assignées.

Au nombre des corps qui se prêtent éminemment bien à ces modifications, je citerai l'acide sulfureux qui, à 25 degrés, se liquéfie à une pression de 3 atmosphères environ, et la triméthylamine récemment appliquée par M. Tellier. Cet alcali organique, qui a été découvert par M. Wurtz et que l'on tire en assez grande abondance des vinasses, bout à + 10 degrés, sous la pression ordinaire, et peut s'évaporer à — 10 degrés en présence de l'eau sous un vide de 20 centimètres.

Toutefois, pour se guider dans le choix de tel ou tel de ces corps, il importe d'envisager la question au point de vue pratique, de tenir compte de la valeur de la chaleur latente, de la densité des vapeurs, afin de réduire le plus possible les proportions des machines eu égard à la même production dans un temps donné.

Vous comprendrez, Messieurs, qu'il ne m'appartient pas de me prononcer dès à présent, car je dois laisser le champ libre à la discussion. Dans cette question intéressante de la production mécanique du froid, j'ai dû me borner à présenter des considérations générales et à poser des principes empruntés à la science de la thermodynamique.

Je m'estimerai heureux si j'ai pu réussir, par ces quelques exemples, à mettre en relief le rôle considérable que joue le principe fondamental de la thermodynamique dans certaines applications industrielles, et à vous faire ainsi entre-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

voir l'importance des services que cette branche nouvelle de la science est appelée à rendre à l'art de l'ingénieur. (Applaudissements.)

M. le Président. La parole est à M. Ribourt.

M. Ribourt. A la suite de l'intéressante communication de M. Armengaud sur les principes qui ont guidé ceux qui ont fait des recherches scientifiques sur la production du froid, je demande la permission de dire quelques mots des **Applications industrielles du froid, au moyen de différents appareils.**

La première de ces applications des machines frigorifiques porte sur la production de la glace, dans le but de satisfaire à la consommation. Nous nous trouvons immédiatement en présence de la distinction qu'on doit faire entre la glace opaque et la glace transparente; cette distinction et la préférence qu'on peut donner à la seconde sur la première sont purement et simplement une affaire de préjugé. Il n'y a aucune différence, tant pour la chaleur latente de fusion, que pour la constitution chimique et même hygiénique de la glace. La seule différence, c'est que la glace opaque tient, emprisonné entre ses cristaux, de l'air.

L'eau qu'on emploie pour produire la glace contient de l'air en dissolution, et, suivant la température à laquelle on fait la congélation, l'air qui se dégage au moment où elle s'opère se trouve emprisonné en tout ou partie, et à l'état plus ou moins divisé, dans les cristaux de glace. Si l'on plonge dans un liquide incongelable porté à une certaine température au-dessous de zéro un vase métallique contenant de l'eau, et si ce bain est extrêmement froid, l'eau se gèle d'abord près des parois du vase, la cristallisation est très brouillée; l'air se trouve immédiatement séparé de l'eau à l'état de petites bulles, ce qui donne lieu à la formation d'une glace blanche et parfaitement transparente.

Si la température du bain est très voisine de zéro, à 2 ou 3 degrés, il se produit un phénomène de surfusion; l'eau reste au-dessous de zéro, et peut rester longtemps sous cette température, sans qu'il se produise de congélation apparente; mais la moindre circonstance, comme la projection dans l'eau d'un cristal de glace ou d'un corps étranger quelconque, amène immédiatement la congélation.

La température remonte à zéro, et il se produit des congélations différentes suivant que la température est de 2, 3 ou 5 degrés. Il se forme, à cette hauteur thermométrique, une série d'aiguilles qui viennent emprisonner entre elles des bulles d'air, et si l'on casse un morceau de cette glace, on voit aussitôt toutes ces aiguilles extrêmement fines, dirigées vers le centre.

Pour produire de la glace transparente, on se sert de différents procédés; le premier est employé en Angleterre; c'est la machine Sydley, dans laquelle l'eau est agitée par des palettes mises en action au moyen d'un mouvement de renvoi quelconque. Une autre mécanique agit sur l'eau à une température très voisine de zéro. M. Turettini, directeur de la Société Raoul Pictet et C^ie^, a eu l'idée de produire un entraînement par un excès d'air au moment de la congélation. Dans la bâche qui contient l'eau à congeler, on produit, au moyen de l'air comprimé, une sorte de barbotage se traduisant par l'expulsion de grosses

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bulles qui amènent l'entraînement de l'air contenu dans l'eau. La glace ainsi formée est à l'état transparent; tous les cristaux de glace sont suffisamment rapprochés les uns des autres pour que la lumière y passe sans s'arrêter et par conséquent donne lieu à une transparence parfaite. On obtient ainsi de la glace transparente dans un bain à 20 degrés au-dessous de zéro, ce qu'on n'avait pas pu faire jusqu'ici.

Il se présente en même temps un fait qui est assez intéressant au point de vue de certaines applications industrielles qui sont maintenant à l'étude. Il se produit une séparation des sels dissous dans l'eau, et la glace transparente qui est ainsi formée se trouve composée d'eau presque chimiquement pure.

Dans les eaux de la Vanne qui sont ici à Paris, et qui contiennent une proportion relativement faible de sels, on arrive à éliminer jusqu'à 90 p. 0/0 des sels dissous, dans la partie de la glace qui est transparente. Si l'on achève de cette manière la congélation d'une bâche qui contient de l'eau, on voit se réunir au centre, sous la forme d'une lame, tous les sels et toutes les impuretés organiques qui se trouvaient contenues dans l'eau.

Il y a une petite application, qui pourra prendra probablement de l'extension, pour la concentration des eaux minérales, concentration qui s'est faite jusqu'ici au moyen de la distillation. Au moment où l'eau est assez concentrée, la température s'élève à 110 ou 120 degrés au-dessus de zéro, et les sels dissous dans l'eau peuvent subir certaines modifications; tandis qu'en opérant à la température de zéro, l'altération des sels est bien moins sensible. On est arrivé à traiter ainsi l'eau de la Bourboule de manière à obtenir une concentration très importante, qui se traduit par 1.8 à l'aréomètre de Baumé.

On a étudié également des applications nouvelles pour la séparation de la majeure partie des sels contenus dans les eaux ammoniacales, dans le traitement des eaux vannes, par exemple, où l'on est forcé d'agir sur des quantités considérables d'eau avant d'arriver à produire une solution ammoniacale suffisamment concentrée.

Il y a un autre procédé qui consiste à séparer déjà une grande partie de l'eau au moyen de la congélation, accompagnée d'un barbotage par insufflation d'air. On réalise ainsi une économie très grande de charbon. Quand on vaporise l'eau, on a à supporter une consommation de charbon qui équivaut à 600 calories par kilogramme, tandis que la congélation ne donne lieu qu'à une dépense de 100 calories. Si l'on calcule le rendement de la machine frigorifique au point de vue du charbon consommé, on peut dire qu'on atteint 50 p. 0/0 d'économie par rapport à la quantité d'eau congelée, si l'on fait la comparaison avec les résultats de la vaporisation.

Une application très importante est celle qui a rapport à la fabrication et à la conservation de la bière. La fabrication de la bière comporte une fermentation; et il est important, pour que la bière soit de bonne qualité, que cette fermentation ne porte que sur un genre ou deux de germes qui s'oxydent pour donner lieu à la fermentation alcoolique. La température de fermentation de la bière varie, suivant les brasseries et suivant les pays, entre 10 et 12 degrés; au moment de la fermentation la température s'élève, et elle monterait très rapidement à 15 ou 20 degrés, ce qui, dans quelques cas, donne lieu à la for-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mation d'alcools d'un goût différent et qui ne sont pas acceptables comme bière. Pour combattre cet échauffement, on a, de tout temps, employé la glace. Jusqu'ici on se servait de glace naturelle pour combattre la fermentation qui se produit dans des cuves, et on y plongeait des appareils en tôle étamée ou galvanisée qui contenaient la glace, qui fondait et refroidissait suffisamment le brassin pendant la fermentation. La manipulation de ces appareils, qu'il faut renouveler assez fréquemment, est assez difficile pour qu'il se produise souvent des germes accessoires qui nuisent à la qualité de la bière. Aussi depuis longtemps déjà, en Angleterre, avait-on remplacé ce système dit *des plongeurs* par des anneaux métalliques, des tuyaux ou serpentins placés à l'intérieur des brassins mêmes, et dans lesquels on faisait circuler de l'eau froide. Les machines à glace se sont particulièrement bien prêtées à ce genre de refroidissement, en ce sens que ces machines se trouvent placées dans une partie de l'usine souvent très éloignée des cuves, et forment le point de départ d'une circulation qui va dans tous les points de l'établissement où il est nécessaire de conduire du froid : dans les caves, dans les cuves à fermentation, dans les serpentins dont je viens de parler, et aussi dans les endroits où l'on conserve le brassin, qui doit être refroidi quand il sort des cuves, où l'on a mélangé l'orge et le houblon à l'eau chaude.

Ainsi, la machine à glace produit sur place de la glace qui ne subit aucune manipulation, qui, par conséquent, évite tout frais de transport, et tout le refroidissement de l'usine se fait au moyen d'une simple circulation dans les conduits avec une pompe qui détermine le retour des liquides après réchauffement dans la machine frigorifique.

Une application récente des machines frigorifiques a été la conserve des denrées alimentaires. Depuis fort longtemps, à bord des navires par exemple, pour conserver longtemps les denrées alimentaires, ou pour les empêcher de fermenter, on a employé la glace qui entoure tout l'approvisionnement du navire dans un endroit qui est disposé à cet effet. On a cherché à étendre cette conserve des viandes, pour importer en Europe les viandes que l'on se procure à très bon marché dans l'Amérique du Sud et du Nord. Le navire de M. Beyssire, *le Frigorifique*, a été une des premières applications de ce système. Il y a en ce moment une société qui est fondée pour rapporter de la côte du Sénégal des poissons; c'est la Société des forges et chantiers de la Méditerranée qui a construit les appareils. La machine est placée dans un point central du bateau; elle rayonne au moyen de conduits dans toute la cale de manière à maintenir l'intérieur du navire qui contient le poisson ou la viande à une température très basse et déterminant la congélation de toute la masse.

La Compagnie transatlantique a également fait des essais; mais, à l'imitation de ceux qui ont été faits en Angleterre, on entretient la viande à une température basse dans le navire refroidi au moyen de glace naturelle, ce qui prouverait que la température de 2 ou 3 degrés seulement au-dessus de zéro est suffisante pour la conservation. Il y a à cet égard deux opinions, celle qui consiste à dire qu'il suffit de se trouver en dessous de la température déterminée par M. Pasteur pour la non-existence des germes, c'est-à-dire 2 ou 3 degrés au-dessus de zéro, et l'autre opinion qui consiste à dire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qu'il faut descendre à la congélation de la matière pour obtenir la conservation parfaite.

Il y a encore l'application des machines frigorifiques dans les stéarineries; cette application consiste à profiter de la différence de température de fusion de l'acide stéarique, de l'acide margarique et de l'acide oléique. L'acide stéarique se trouve dissous dans l'acide oléique, et en abaissant la température à un degré voisin de zéro, c'est-à-dire 1 ou 2 degrés, on obtient la cristallisation de l'acide oléique, et on le recueille sur des trémies.

Une autre application très ingénieuse des machines frigorifiques a été faite à Milan dans une magnanerie. Il s'agit de retarder l'éclosion des cocons de vers à soie jusqu'à l'époque de la maturité des feuilles de mûrier. Cette application s'est faite chez M. Suzanni, avec une machine du système Raoul Pictet et Cie; elle refroidit la salle où se trouvent les cocons jusqu'à l'époque déterminée pour l'éclosion.

Une autre application consiste dans la production du sulfate de soude au sein des eaux mères des marais salants. On a du sulfate de magnésie et du chlorure de sodium; on sait qu'à une température variant entre zéro et 2 ou 3 degrés il se produit une double décomposition, et le sulfate de soude est cristallisé. La première application des machines frigorifiques pour cette production a été faite avec une machine Carré, à Arles.

Il y a eu aussi des essais, en cours de réalisation, pour utiliser la séparation, par la congélation, de l'eau et du sucre en dissolution. Ce serait une question très intéressante si elle recevait une solution, parce que la dépense qu'on doit faire pour vaporiser l'eau qui dissout le sucre contenu dans la betterave est considérable et qu'on pourrait faire des économies importantes, si l'on arrivait à en séparer au moins une grande partie par la congélation chimique. Cet essai n'a pas encore été couronné de succès, mais il se continue et il est probable qu'on arrivera à une solution à cet égard. (Applaudissements.)

M. le Président. Je remercie MM. Armengaud et Ribourt des renseignements très intéressants qu'ils nous ont donnés.

La parole est à M. Fichet pour traiter des procédés et applications du chauffage par gazogènes.

MÉMOIRE

SUR LES PROCÉDÉS ET APPLICATIONS DU CHAUFFAGE PAR GAZOGÈNES.

PAR MM. A. FICHET ET S. PÉRISSÉ,

INGÉNIEURS CIVILS.

Complication apparente. — Lorsqu'on se trouve pour la première fois en présence d'une installation de chauffage par gazogènes, on est frappé tout d'abord de la complication apparente, et l'on est tenté de se demander si c'est bien un progrès que de chercher à substituer ces appareils aux foyers ordinaires à grilles qui se présentent avec des caractères incontestables de simplicité.

Cependant, voilà bientôt quarante ans que les ingénieurs les plus éminents

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

se sont préoccupés de remplacer les foyers métallurgiques par des gazogènes.

Pendant vingt ans, leurs efforts persévérants n'ont pu arriver à faire entrer les nouveaux appareils dans la pratique, et ce n'est que depuis les travaux de Siemens que l'emploi des gazogènes est devenu vraiment industriel.

Pourquoi tous ces efforts et ces tentatives renouvelées malgré les insuccès?

Inconvénient des grilles. — C'est que les foyers à grilles, si simples en apparence, présentent en réalité de nombreux inconvénients et exigent, pour être bien conduits, des chauffeurs habiles que l'on ne rencontre pas toujours, à beaucoup près.

Perméabilité des maçonneries. — En effet, s'agit-il de produire dans les fours une température très élevée, avec une grille ordinaire? Il faut pousser le feu et l'on n'y arrive qu'en forçant le tirage. Mais, en même temps que l'aspiration de la cheminée active la combustion sur la grille, elle fait rentrer de l'air froid par toutes les fissures et par les pores de la maçonnerie. Ces rentrées d'air abaissent la température de la flamme, bienheureux quand elles n'ont pas d'inconvénients plus graves.

Peu de personnes se font, de prime abord, une idée exacte des quantités d'air qui peuvent traverser des maçonneries sous l'influence de pressions très faibles.

On met le fait en évidence par l'expérience bien connue qui consiste à éteindre une bougie au travers d'une brique ordinaire bien enchâssée par son pourtour dans un cadre fermé en avant et en arrière par deux vitres munies d'ajutages. En soufflant par un ajutage, on éteint la bougie placée devant l'ajutage opposé. Il y a quelque temps, au cours d'expériences faites sur un foyer à gaz, on a pu constater que l'appel d'une cheminée suffisait à faire passer par heure 1,000 mètres cube d'air par les parois du foyer.

Les murs du fourneau avaient été faits exprès avec un soin extrême, avaient 45 centimètres d'épaisseur, et la surface perméable était d'environ 10 mètres carrés; il passait donc 100 mètres cubes d'air par heure et par mètre carré de surface de maçonnerie.

Rentrée d'air par les portes. — Outre les rentrées d'air par les murs, qui font partie du régime normal des foyers à grilles, il y a les rentrées d'air accidentelles qui troublent ce régime. Pour charger la grille, il faut ouvrir la porte du foyer. Pour décrasser le feu, il faut maintenir longtemps la porte ouverte, et, pendant tout ce temps-là, l'air s'engouffre dans les fours.

On a bien cherché de toutes les façons à remédier à ces inconvénients, il existe des appareils nombreux inventés dans ce but, mais jusqu'ici leur complication les a fait abandonner au bout de quelque temps.

Foyers soufflés. — L'un des meilleurs remèdes consiste à fermer les cendriers et à y envoyer de l'air sous pression au moyen de ventilateurs; mais, outre l'embarras qu'occasionne une force motrice au lieu d'une cheminée, les foyers soufflés ont des défauts qui leur sont propres.

Il faut arrêter le vent chaque fois que l'on ouvre la porte, pour que la flamme ne revienne pas à la figure du chauffeur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La très haute température qui se développe dans le foyer amène souvent une fusion pâteuse des cendres et rend les décrassages longs et pénibles.

L'air cherchant naturellement, en traversant la masse combustible, les passages les plus faciles, il se forme fréquemment dans la couche de charbon des trous par lesquels l'air s'échappe en jets formant dards de flamme, pendant qu'à côté la combustion se fait dans de mauvaises conditions. Il faut, pour empêcher ces jets ou chalumeaux, une grande attention de la part du chauffeur lorsqu'il charge la grille.

Maximum de température dans le foyer, hors du four. — On reproche avec raison aux foyers ordinaires, employés au chauffage des fours, d'avoir le maximum de température hors du four dans le foyer et non pas sur la sole où la chaleur doit être utilisée.

Pour combattre cette mauvaise répartition de la chaleur, on donne aux fours des sections différentes suivant leur longueur, mais c'est au détriment de leur capacité, de la facilité du service et de leur solidité.

Cet inconvénient est plus grave encore avec les foyers soufflés, car la combustion à l'air forcé produit en général un excès de température dans les foyers. De là, destruction rapide des parois des foyers et souvent de la partie antérieure des fours, et en tout cas mauvaise répartition de la chaleur.

Ces inconvénients et bien d'autres encore ont amené les ingénieurs à chercher les moyens de perfectionner les foyers, et ces recherches ont abouti à l'emploi des gazogènes, dont l'usage tend de plus en plus à se répandre.

Définition des gazogènes. — Un gazogène est un foyer d'un genre particulier, dans lequel les combustibles solides sont transformés, par distillation et combustion partielle, en combustibles gazeux. Cette transformation, quand elle s'effectue dans un gazogène bien construit et en bonne allure, a pour effet de fournir aux appareils qu'il s'agit de chauffer un courant continu de gaz combustible dont l'ouvrier règle le débit suivant ses besoins.

Ce gaz, à son arrivée dans le four à chauffer, est mélangé avec de l'air au moyen de brûleurs convenablement disposés, et la combustion a lieu à l'endroit même où la chaleur doit être utilisée. Ce fait est très important et doit être signalé comme une dès causes du succès des gazogènes.

La conduite d'un four à gaz se réduit dès lors à la manœuvre intelligente de trois registres.

Trois registres. — Le premier règle l'arrivée du gaz.

Le second, celle de l'air.

Le troisième, le départ des produits de la combustion. Il faut toujours, et c'est une condition indispensable au succès, que le gaz et l'air arrivent dans le four avec une certaine pression, de telle sorte qu'il ne soit pas nécessaire de les y appeler par l'aspiration de la cheminée qui n'est plus qu'un évacuateur.

Cette condition remplie, tous les inconvénients des foyers ordinaires disparaissent.

Flamme neutre, oxydante, réductrice. — Si l'on ne veut que chauffer, on règle les proportions d'air et de gaz pour que la combustion soit complète.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on veut produire une flamme réductrice, on met un peu de gaz en excès.

Si l'on veut faire une flamme oxydante, c'est l'air qui doit être en excès.

Pas de rentrée d'air. — Avec le chauffage au gaz, il suffit de fermer un peu le registre de la cheminée pour maintenir dans le four la même pression qu'au dehors, sans aucune rentrée d'air. On peut ainsi travailler aussi longtemps que l'on veut avec des portes ouvertes, sans modifier la composition chimique de la flamme.

Quelquefois il faut remplir tout le four de flammes; d'autres fois il faut que la combustion soit complète dans un espace réduit.

Rien de plus facile avec les fours à gaz.

Brûleurs. — Dans le premier cas, on fera arriver le gaz et l'air en lames épaisses, parallèles et animées de vitesses égales; dans le second, on les divise en lames minces ou en jets auxquels on donne des vitesses et des directions différentes pour favoriser les remous et les mélanges. Les brûleurs doivent donc être étudiés avec le plus grand soin en vue des résultats à produire, et l'ouvrier doit manœuvrer ses registres avec précaution et intelligence.

Conduite des gazogènes. — Il y a plusieurs façons de conduire les gazogènes.

Quand il ne s'agit pas de produire des températures très élevées, on les mène en allure lente; ils fonctionnent alors pour ainsi dire tout seuls. L'allure lente peut permettre l'obtention des températures élevées, lorsque les gaz sont préalablement chauffés dans des générateurs.

La marche en allure vive nécessite plus de soins et une construction différente pour permettre à l'ouvrier d'être maître, dans une certaine mesure, de la composition et de la température des gaz combustibles.

Pour tirer des gazogènes tout le parti possible, il est nécessaire qu'ils soient disposés en vue de la nature des houilles que l'on doit y brûler. L'expérience seule peut servir de guide à cet égard.

En tous cas, les conditions générales à remplir sont les suivantes :

Conditions générales. — Le combustible, chargé par la porte supérieure, doit descendre régulièrement; il ne doit pas être resserré pendant la distillation, afin qu'il ne se forme pas de cavités dans la masse qui doit cependant toujours être perméable à l'air.

Le décrassage en marche doit être facile et doit s'effectuer sans déranger l'allure de la combustion. Il faut réduire au minimum les collages contre les parois, et la température de la masse incandescente doit être comprise entre certaines limites, qui dépendent un peu de la nature du combustible et surtout de la composition que l'on veut donner aux gaz combustibles.

On peut réunir en batterie plusieurs gazogènes pour chauffer un seul four, et l'on peut aussi distribuer entre plusieurs fours le gaz d'un seul appareil.

Position des gazogènes par rapport aux fours. — Où doit-on placer les gazogènes par rapport aux fours qu'ils ont à chauffer? C'est là une question bien délicate et sur laquelle les avis sont partagés. Il y a quinze ans, dans les ins-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tallations Siemens, on les plaçait toujours dans des cours, hors des ateliers, loin des fours à chauffer. Les gaz combustibles chauds s'élevaient dans une cheminée, se refroidissaient dans un long tuyau horizontal et redescendaient ensuite à 3 ou 4 mètres en contre-bas des fours, ayant acquis dans ce parcours, par suite de leur refroidissement, une pression due à la différence de poids des deux colonnes ascendante et descendante.

Les goudrons, les huiles essentielles et les poussières se déposaient en grande partie pendant le trajet. Des regards et des tampons permettaient de retirer les dépôts, et, pour terminer le nettoyage, on flambait la conduite en y faisant passer un fort courant d'air.

Depuis une dizaine d'années, on remarque une tendance manifeste à s'éloigner de ces dispositions. On place les gazogènes plus près des fours, en contre-bas, pour que les gaz arrivent directement aux brûleurs, presqu'à leur température de formation. On évite ainsi les pertes de chaleur dues au refroidissement du gaz et la perte de combustible due à la condensation partielle des goudrons.

Néanmoins, certaines usines donnent encore la préférence aux gazogènes placés à distance, pour éviter les inconvénients de la présence des combustibles dans les halles de travail.

La question de l'allure à donner aux gazogènes est assez importante; il est nécessaire d'entrer à ce sujet dans quelques détails.

Composition des gaz. — Les gaz des gazogènes peuvent être considérés comme un mélange d'hydrocarbures et d'hydrogène provenant des matières volatiles de la houille, d'acide carbonique provenant de la combustion du carbone sur la grille, d'oxyde de carbone résultant de la dissociation qu'éprouve l'acide carbonique en traversant la couche épaisse de combustible incandescent, et enfin d'azote.

La proportion des hydrocarbures dépend surtout de la nature de la houille employée et leur composition varie avec la température de la masse.

L'hydrogène libre provient en grande partie de la vapeur d'eau qui traverse le foyer.

La quantité d'azote est indépendante de la nature du combustible et de la marche de l'appareil, mais les proportions relatives d'acide carbonique et d'oxyde de carbone dépendent en partie de la construction de l'appareil et surtout de la manière dont on le conduit.

Théorie du gazogène. — La théorie de la combustion du carbone dans les gazogènes est établie aujourd'hui de manière à ne laisser aucun doute; on peut la résumer de la façon suivante :

Tout l'oxygène de l'air commence par se transformer en acide carbonique en traversant la première couche de charbon cokéfié qui repose sur la grille.

Si la combustion est vive, cet acide carbonique, formé à haute température, en s'élevant au travers de la couche poreuse de coke incandescent, est converti en oxyde de carbone, et la transformation peut s'opérer d'une manière presque complète si la couche est assez épaisse.

Le refroidissement produit par la dissociation est considérable, puisque,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour chaque kilogramme de carbone passant de l'état d'acide carbonique à l'état d'oxyde, il y a 3,134 unités de chaleur absorbées.

Cet oxyde de carbone doit, en outre, en arrivant à la partie supérieure de la couche de combustible, opérer la distillation de la houille, ce qui occasionne un nouvel abaissement de sa température.

Allure lente. — En fait, quand l'appareil est construit et conduit pour opérer la transformation, aussi complète que possible, de l'acide carbonique en oxyde de carbone, la température des gaz sortants ne dépasse pas 600 à 700 degrés, soit le rouge sombre.

C'est ce que l'on appelle marcher en basse température ou en allure lente.

Allure chaude. — D'autres fois, au contraire, il est nécessaire que les gaz sortant du gazogène possèdent une température beaucoup plus élevée, 800 degrés, 900 degrés et quelquefois 1,000 degrés.

On appelle cela marcher en allure chaude.

Pour obtenir ce résultat, il faut ne pas refroidir autant le gaz, et pour cela, ne pas opérer aussi complètement la transformation de l'acide carbonique.

On a ainsi un gaz moins riche en oxyde de carbone, mais beaucoup plus chaud et qui convient mieux pour certaines opérations.

En général, quand on marche en allure chaude, on ne s'attache pas à avoir une composition de gaz toujours constante, et, à certains moments des opérations, on rend tout à coup le gaz plus riche en combustible, en faisant une forte charge de houille, ou plusieurs petites charges répétées.

Cette houille fraîche tombant dans un milieu très chaud distille rapidement et fournit pendant sa distillation du gaz d'éclairage qui ajoute momentanément de la puissance calorique.

On peut, par ce moyen, donner un coup de feu s'il est nécessaire.

La marche en allure chaude est plus délicate que celle en allure lente; elle exige de la part des ouvriers une surveillance pour ainsi dire constante.

Un gazogène étant en marche, il est nécessaire de pouvoir à tout moment contrôler la production du gaz et sa richesse.

Analyse des gaz. — Les praticiens ont, à cet égard, plusieurs points de repère, tels, par exemple, que l'aspect de la grille, la pression plus ou moins forte dans le gazogène ou dans les conduits de gaz, la couleur de la surface du combustible incandescent, celle du gaz non allumé et celle de la flamme qu'il produit en brûlant.

Tous ces indices sont précieux, et la plupart du temps ceux qui conduisent les gazogènes n'en ont pas besoin d'autres. Toutefois il existe des moyens exacts de suivre et de contrôler la marche des appareils et, en première ligne, il faut citer l'analyse des gaz.

Tous les ingénieurs connaissent aujourd'hui l'appareil imaginé par M. Orsat pour faire en quelques minutes l'analyse industrielle des gaz des foyers. — Au moyen d'un aspirateur, on remplit du gaz à analyser une cloche de 100 centimètres cubes; puis on envoie successivement ce gaz dans trois éprouvettes contenant : la première, une dissolution de potasse caustique; la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seconde, du pyrogallate de potasse, et la troisième, du protochlorure de cuivre.

La première dissolution absorbe l'acide carbonique, la seconde l'oxygène et la troisième l'oxyde de carbone. Chaque fois que l'on a absorbé un gaz, la diminution de volume en indique la quantité. Il reste, à la fin, l'azote et les carbures d'hydrogène. On peut ainsi, en deux minutes, faire une analyse quantitative qui fournit des renseignements précieux pour la conduite des foyers. On arrive, de cette façon, à régler l'allure des gazogènes, à comparer entre eux les divers combustibles et à donner aux chauffeurs des instructions précises pour leur emploi.

Influence de l'azote. — La présence dans les gaz des gazogènes d'une très forte proportion d'azote a pour effet de diminuer leur combustibilité. C'est à ce point que ces gaz refroidis ne peuvent presque pas brûler avec de l'air froid. Quand on allumé avec peine un jet de gaz froid, le moindre vent éteint la flamme. Il n'en est pas de même si le gaz ou l'air a été préalablement chauffé, et, s'ils sont chauds l'un et l'autre, cela n'en vaut que mieux.

Emploi de l'air chaud. — Dès que l'on a commencé à essayer les gazogènes, on s'est donc préoccupé des moyens de chauffer le gaz et l'air avant de les mettre en présence, et, pour cela, on a songé tout naturellement à se servir de la chaleur perdue des fours en installant des appareils de chauffage sur le parcours des produits de la combustion, entre la sortie des fours et la cheminée d'évacuation; de là les noms de régénérateurs ou récupérateurs de chaleur donnés aux appareils construits à cet effet. Comme ce chauffage préalable a pour but de produire dans les fours, par la combustion des gaz chauds, des températures extrêmement élevées, on a construit les appareils en matériaux réfractaires, afin de retirer de la récupération tout le parti possible.

Il existe bien des systèmes de récupérateurs, mais la pratique n'en a sanctionné qu'un petit nombre : on peut les classer en deux catégories : ceux à action alternative et ceux à action continue.

Régénérateurs à renversements. — Leur invention est due à Siemens; ce sont les plus anciens; on les emploie surtout quand on pratique le refroidissement du gaz à sa sortie du gazogène. On les place en général sous les fours.

Ils se composent de quatre chambres accolées, en maçonnerie. Deux sont consacrées au chauffage du gaz, et les deux autres au chauffage de l'air. Chaque chambre est remplie d'*empilages* de briques disposés à claire-voie et laissant entre elles des intervalles pour le passage des gaz. Au moyen de registres, on fait communiquer les chambres par leur partie inférieure tantôt avec les arrivées d'air ou de gaz, tantôt avec la cheminée. Toutes communiquent avec le four par leur partie supérieure.

Pendant que les produits de la combustion sortant du four descendent dans deux chambres et chauffent les empilages, les deux autres qui viennent d'être chauffées servent, l'une à la montée du gaz, et l'autre à celle de l'air, qui, tous deux, s'échauffent en passant entre les intervalles des briques empilées. Toutes les heures environ, on fait le renversement; les chambres qui ont cédé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leur chaleur aux gaz montants sont réchauffées à leur tour par les gaz descendants et réciproquement.

Récupérateurs à chauffage continu. — Pour remédier à certains inconvénients que l'on reproche aux régénérateurs à mouvements alternatifs, et pour réduire beaucoup les frais d'installation, on a construit des récupérateurs à chauffage continu. Leur emploi paraît tout indiqué chaque fois que l'on prend les gaz des gazogènes sans les refroidir et qu'il n'y a par conséquent que l'air à chauffer. Il en existe un grand nombre de types, les uns bons, les autres mauvais. Ce n'est pas ici le lieu de porter un jugement sur tels ou tels de ces appareils, c'est à celui qui en a besoin de se renseigner avant de faire son choix. Les qualités que l'on doit rechercher sont surtout les suivantes :

Résistance sans dislocation aux variations de température;

Grande puissance sous un volume réduit;

Facilité de nettoyage et de visite, même pendant la marche;

Faible résistance opposée au mouvement des gaz.

Conductibilité à chaud des terres réfractaires. — Dans ces appareils, l'échange de température entre les gaz descendants qui viennent du four et les gaz ascendants qui s'y rendent a lieu par la conductibilité au travers des parois en terre réfractaire. A froid, la terre réfractaire conduit très mal la chaleur; mais à la température rouge il en est tout autrement, et plus on chauffe, plus la matière devient conductrice. Au blanc, la terre se laisse traverser par la chaleur presque aussi bien que le métal. On a pu fondre le cuivre dans un courant d'air sortant d'un récupérateur de ce genre. Diverses mesures prises au calorimètre ont montré qu'avec certains appareils l'air peut être chauffé à plus de 1,000 degrés, soit à une température supérieure à celle du gaz fourni par le gazogène. Il y aurait beaucoup à dire sur la manière d'employer les récupérateurs, et sur le choix des températures qu'il convient de donner à l'air et aux gaz combustibles. Il semble résulter d'études récentes qu'il n'y a pas avantage, pour la production des hautes températures, à chauffer au delà de certaines limites les gaz combustibles et surtout l'air. Mais les expériences sur les températures élevées sont si difficiles qu'il faut craindre qu'un temps assez long ne s'écoule encore avant que cette question des récupérateurs ne soit complètement résolue.

Perméabilité. — On pourrait objecter à l'emploi des terres réfractaires, dans la construction des récupérateurs, leur perméabilité, qui les laisse traverser par les gaz.

Effectivement, c'était là une grave objection, et il a fallu, comme pour les cornues à gaz d'éclairage, installer une fabrication spéciale pour amener les terres à une composition et à un point de cohésion qui assurent pratiquement leur imperméabilité.

Là encore l'analyse des gaz a donné des indications précieuses et a permis de s'assurer qu'avec des appareils bien construits, il n'y a pas de mélange entre les deux courants gazeux de compositions différentes qui circulent de chaque côté des parois. On sait d'ailleurs, par des expériences déjà anciennes,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que les gaz éprouvent une grande résistance à passer dans des conduits étroits, portés à haute température.

Détails techniques. — Après avoir indiqué les principes généraux de la construction des gazogènes et des récupérateurs, il faudrait, pour compléter cet exposé sommaire, entrer dans des détails de construction et expliquer notamment :

Quelles sont les dispositions des grilles des gazogènes, et comment elles varient avec les combustibles ;

Pourquoi l'on emploie tantôt des barreaux droits ou inclinés, tantôt des grilles en échelons.

On peut, par une étude sérieuse, déterminer :

Quelles sont les quantités de combustible à brûler par heure et par mètre carré, en allure lente et en allure vive; quelles sont les épaisseurs de combustible dans un cas et dans l'autre ;

Quels sont les moyens à prendre pour éviter la formation des voûtes et pour maintenir la porosité dans la masse incandescente;

Quelle est l'influence de l'eau sur les grilles et dans les cendriers ;

Quelles sont les dispositions à prendre pour décrasser en marche sans déranger l'allure ;

Quelles sont les précautions à prendre pour éviter les explosions lors des allumages et pour faciliter les nettoyages et l'entretien ;

Passant ensuite de la production du gaz à son mode d'emploi, il faudrait indiquer :

Quelles sont les diverses formes de brûleurs employé;

Pourquoi et dans quel cas il convient de faire choix des unes ou des autres;

Quelles sont les sections à donner aux orifices;

Quels sont les moyens de réglage;

Comment il faut procéder pour obtenir des flammes longues ou courtes, oxydantes ou réductrices.

Tous ces détails ont leur importance que connaissent bien les spécialistes, mais qui ne peuvent guère faire partie d'une étude d'ensemble.

Avantages généraux de l'emploi des gazogènes. — Il sera plus intéressant d'expliquer quels sont les avantages généraux obtenus en pratique par l'emploi du chauffage par gazogènes, et de montrer comment certains de ces avantages ont pu, dans quelques cas, dépasser en importance ceux qui résultaient de l'économie du combustible. Peu de personnes se font une idée nette du très minime effet utile réalisé, au point de vue du chauffage, dans les industries qui emploient les hautes températures. Un des hommes les plus éminents qui se sont occupés de cette question, M. Grüner, a publié à ce sujet, en 1875, dans les *Annales des mines*, une série de renseignements du plus haut intérêt.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En voici quelques-uns :

RENDEMENTS THÉORIQUES DE CERTAINS FOURS.

Fours	ordinaires pour fusion de l'acier en creusets		1,7 à 2 p. o/o.
	Siemens pour acier en creusets		3 à 4
	à pots de verrerie	système ordinaire	3
		chauffage Siemens	5,5 à 6
	à réverbère pour fusion de la fonte sur sole	système ordinaire	8
		système Ponsard et Siemens	18 à 20
	à réchauffer	le fer, système ordinaire	6 à 10
		système Ponsard	15 à 20
Chaudières à vapeur			60

La récupération de la chaleur qui fait gagner 20 p. o/o dans le cas où l'ai seul est chauffé, et 30 p. o/o quand on réchauffe aussi le gaz, ne suffirait pa à expliquer une économie de combustible qui dépasse 50 p. o/o, ainsi qu cela est établi par les chiffres précédents; l'explication résulte de ce fait qu'en augmentant beaucoup l'intensité du chauffage, on a pu abréger considérable ment la durée des opérations et réduire ainsi les pertes proportionnelles au temps, qui sont très importantes, mais dont la mesure n'a pu être faite jusqu'ici que par différence.

On voit, par ces résultats, les progrès faits et ceux qui restent encore à faire; seulement il est bon d'indiquer que, à côté des résultats obtenus, on en constate d'une autre nature qui ont souvent plus d'importance. Ainsi, dans la plupart des cas, on a diminué le déchet sur les matières premières, et on a obtenu des rendements plus élevés.

Dans le réchauffage du fer, par exemple, on a diminué le temps du chauffage des paquets, tout en les portant à plus haute température. On a, par suite, réduit le déchet; la scorie, plus liquide, a pu être éliminée plus complètement, le martelage et le laminage ont été plus parfaits, et la qualité du produit s'est trouvée améliorée. D'autres fois, grâce aux formes et aux dimensions nouvelles que l'on a pu donner aux fours, on a rendu possibles certaines opérations qui ne l'étaient pas auparavant. La fusion du verre sur sole en est un exemple.

Pour terminer cette revue générale du chauffage par les combustibles gazeux, il ne sera pas sans intérêt de citer quelques applications et quelques résultats obtenus, en commençant par les chauffages, peu énergiques pour terminer par ceux qui emploient les plus hautes températures.

Revivification du noir animal. — La condition essentielle du succès dans cette industrie est d'obtenir une grande régularité de chauffage, car de la température à laquelle se fait l'opération dépend en grande partie la qualité du produit.

Le chauffage au gaz a été appliqué tout d'abord à d'anciens fours, et les premières tentatives ont été couronnées de succès. Depuis lors, les formes ont été modifiées à plusieurs reprises en vue d'obtenir, sous un faible volume, des fours de grande puissance, et l'on arrive aujourd'hui, avec des appareils qui n'occupent pas plus de 13 mètres carrés sur le sol, à revivifier par vingt-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quatre heures plus de 20,000 kilogrammes de noir en ne dépensant que 4 à 5 kilogrammes de combustible par 100 kilogrammes de noir. Le service se fait avec un seul ouvrier qui peut conduire deux fours voisins.

Le gazogène et le four peuvent être chargés l'un et l'autre pour une marche de vingt-quatre heures.

Le noir cuit, sortant du four, descend dans un réfrigérant métallique formant récupérateur, et c'est la chaleur même du noir cuit qui chauffe l'air destiné à la combustion du gaz.

Le four une fois réglé, sa température demeure absolument invariable; l'alimentation se fait d'une façon continue et régulière par le haut, pendant que le noir revivifié et refroidi s'écoule par la partie inférieure dans les wagonnets de service.

Fabrication de l'acide acétique. — On retire ce produit de l'acide pyroligneux brut, obtenu par la distillation du bois. L'acide brut est saturé par la soude et donne un sel impur chargé de matières organiques et goudronneuses.

On se débarrasse des impuretés en maintenant, pendant un certain temps, le pyrolignite de soude à la température de 240 degrés, à laquelle les goudrons et autres impuretés sont décomposés. Cette température de 240 degrés est elle-même très voisine de celle qui correspond à la décomposition de l'acétate de soude. Il en résulte que si l'on chauffe un peu trop, on perd de l'acide acétique qui a une grande valeur; si l'on ne chauffe pas assez, la purification n'a pas lieu.

L'application des gazogènes, en permettant de régler le chauffage au point voulu et de maintenir indéfiniment la température convenable, a rendu de grands services à cette industrie en donnant le moyen d'obtenir, dans un minimum de temps et avec un minimum de combustible, le maximum de rendement.

Fours à sel de soude. — Il s'agit dans cette fabrication d'évaporer des lessives concrètes de soude sur la sole d'un four à réverbère, puis de maintenir pendant plusieurs heures le sel obtenu à la température rouge pour permettre à l'ouvrier de le granuler dans une flamme oxydante sans que les grains éprouvent un commencement de fusion qui les collerait ensemble.

Le chauffage au gaz a remplacé avec avantage dans cette fabrication l'usage du charbon à longue flamme employé précédemment. De plus on évite, par l'emploi du gaz, les parcelles de noir de fumée que les foyers à houille produisaient toujours et qui venaient salir le sel et en diminuer la valeur.

Fabrication de la soude caustique. — Elle consiste à maintenir, pendant plusieurs heures, à l'état de fusion ignée dans des chaudières de fonte, le produit de l'évaporation à sec des lessives caustiques brutes et à envoyer de l'air dans le bain porté au rouge. Comme l'opération n'avance pas si le bain n'est pas assez chaud, on pousse le feu jusqu'au point où l'on craint de brûler les chaudières, et souvent il arrive que, par suite d'un coup de feu, une chaudière est mise hors de service. L'emploi du gaz évitant le rayonnement d'un foyer direct ménage les chaudières tout en permettant de les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

maintenir à la température la plus convenable pour l'achèvement rapide des opérations. On pourrait citer une installation qui comprend une batterie de 16 grandes chaudières de $1^m,80$ de diamètre, chauffées par un seul gazogène et par un seul chauffeur, et qui fonctionne depuis bientôt quatre ans sans interruption. Toutes les chaudières sont indépendantes les unes des autres, et reçoivent le gaz de la conduite générale au moyen de petits branchements munis de registres. Un récupérateur unique fournit l'air chaud à toutes les chaudières.

Fabrication du bichromate de potasse. — L'opération principale consiste à oxyder le minerai de fer chromé, réduit en poudre fine, en présence de la potasse et de la chaux, à la température du rouge cerise, sur la sole d'un four à réverbère.

Il faut le rouge cerise pour que l'oxydation ait lieu, et si l'on dépasse cette température, la potasse fond et enveloppe comme d'un vernis chaque parcelle de minerai en le protégeant contre toute oxydation. Il n'y a plus qu'à vider le four et à recommencer avec une nouvelle charge.

Le chauffage au gaz a permis de passer les charges en huit heures au lieu de douze et d'obtenir un titre de rendement plus élevé de un quart à un tiers, avec environ 20 p. 0/0 d'économie sur le combustible. Ces résultats ont été obtenus grâce à l'emploi d'un récupérateur de très grandes dimensions qui fournissait au four des masses considérables d'air porté à une haute température et, par suite, dans des conditions très favorables pour une prompte oxydation.

Fabrication de la baryte au moyen du sulfate naturel. — Une des opérations principales de cette fabrication consiste à opérer la réduction du sulfate de baryte en sulfure de baryum sur la sole d'un four à réverbère.

On forme un mélange intime de sulfate pulvérisé et de charbon et on brasse ce mélange à la température du rouge blanc jusqu'à ce que la réduction soit opérée.

Naturellement il faut tenir la porte du four ouverte. Avec les anciens fours, il se produisait des rentrées d'air froid qui non seulement refroidissaient la sole, mais oxydaient constamment la surface du sulfure formé, détruisant ainsi une partie du produit qui prenait naissance.

L'emploi du gaz et de l'air arrivant avec un peu de pression dans le four a supprimé toutes les rentrées d'air, et ce fut un premier avantage.

On en obtient un autre plus important par l'emploi d'un gazogène sans grille, système Ponsard, alimenté avec de l'air très chaud venant d'un récupérateur.

Par cet artifice, le gaz combustible fut produit à une température si élevée que, pour chauffer le four au blanc, on n'eût besoin que d'en brûler une faible partie, de sorte que le four fut traversé par un courant de gaz chauds puissamment réducteurs.

Le succès fut complet et dépassa toutes les espérances. L'usine de Courrières, où les nouveaux fours furent installés, marchait auparavant avec 16 à 18 fours à réverbère munis de foyers à grilles. On les remplaça par 3 nouveaux fours qui furent construits successivement et dont 2 seulement étaient maintenus en marche, le troisième servant de rechange.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les anciens fours, on traitait par jour et par four 1,425 kilogrammes de sulfate avec une dépense de 110 kilogrammes de houille par 100 kilogrammes de sulfate.

Le chauffage au gaz donne les résultats suivants :

1er four.	Sulfate traité par jour	5,700 kilogr.
	Houille consommée par 100 kilogrammes de sulfate	57
2e four.	Sulfate traité	11,400
	Houille consommée par 100 kilogrammes de sulfate	47
3e four.	Sulfate traité	17,000
	Houille consommée par 100 kilogrammes de sulfate	42

Ainsi le four n° 3, chauffé au gaz, a produit douze fois plus que chacun des anciens fours, et la consommation de houille par 100 kilogrammes a été réduite dans la proportion de 110 à 42.

Voilà des chiffres qui se passent de tout commentaire.

Fabrication de la soude et de la potasse par le procédé Leblanc. — Au point de vue des réactions chimiques, cette fabrication présente la plus grande analogie avec la précédente; aussi devait-on s'attendre à des résultats de même nature.

Cela n'a pas manqué et, pour la potasse notamment, on a pu terminer en quarante-cinq minutes des opérations qui, avec les fours ordinaires, demandaient trois heures et demie. On a pu constater ici ce fait assez curieux, que la quantité de houille consommée pour le chauffage du four était à peu près indépendante de la quantité de produit fabriqué dans un temps donné.

On ne peut s'expliquer ce résultat qu'en admettant que la chaleur apportée par le foyer ne sert qu'à maintenir le four à la température convenable en réparant les pertes de chaleur dues aux causes extérieures, et que, d'autre part, les matières qui entrent dans la composition des mélanges fournissent la chaleur nécessaire aux réactions qui se passent sur la sole du four.

Applications du chauffage au gaz à la fabrication du gaz d'éclairage. — L'emploi de gazogènes pour la fabrication du gaz d'éclairage remonte à l'année 1863, époque à laquelle la Compagnie parisienne fit établir les fours à étages de l'usine de Vaugirard.

A cette époque, les ingénieurs n'avaient pas encore les connaissances pratiques qu'ils ont acquises depuis; il fallut à plusieurs reprises modifier l'installation qui en définitive finit par coûter fort cher. Aussi se passa-t-il longtemps avant que la Compagnie parisienne se décidât à faire de nouvelles applications des gazogènes.

La seconde application eut lieu à l'usine de Saint-Mandé et fut étudiée par les ingénieurs de la Compagnie. On simplifia beaucoup par rapport à ce qui avait été fait à Vaugirard, on supprima le refroidissement du gaz, on plaça les gazogènes en contre-bas des fours, à trois étages plus bas, mais dans le même bâtiment et non plus dans les cours. Au lieu d'avoir une batterie de gazogènes réunissant leurs gaz dans un collecteur, pour les partager entre les divers fours d'une batterie, on fit un gazogène spécial à chaque four. C'était déjà un pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grès comme simplification, mais la complication était encore grande et le service pénible.

Pendant ce temps, l'emploi des gazogènes s'était répandu dans un certain nombre de petites usines, où des installations économiques fournissaient de très bons résultats, tant au point de vue de la facilité du chauffage que comme économie de combustible et bonne conservation des fours et des cornues.

Ainsi on arriva, dans des fours simples à huit cornues, à distiller par jour 7,000 kilogrammes de houille avec un rendement en gaz de 30 mètres cubes par 100 kilogrammes et une consommation de combustible de 17,5 kilogrammes de coke par 100 kilogrammes de houille distillée. Au lieu de constructions à plusieurs étages, on laissa les fours au rez-de-chaussée en se contentant d'enterrer le gazogène d'environ $1^{m},50$ dans le sol à l'arrière du four. On a pu par ce moyen effectuer un certain nombre de transformations d'anciens fours et leur appliquer sans grande dépense le chauffage par le gazogène.

Enfin, dans ces derniers temps, lors des agrandissements de l'usine d'Ivry, la Compagnie parisienne, adoptant un certain nombre des dispositions en usage dans les petites usines, fit construire un autre type de fours n'ayant plus qu'un seul étage en contre-bas du sol des ateliers, et ce nouveau type fonctionne aujourd'hui d'une manière satisfaisante.

Bien des études ont été faites pour appliquer les gazogènes à la fabrication du gaz d'éclairage, et les inventeurs ont paru surtout préoccupés de perfectionner les moyens de récupération de la chaleur. Les divers types créés dans cette voie donnent tous à peu près les mêmes résultats, comme dépense de combustible, et cela doit être, car si l'on songe que le poids de l'air comburant qu'il faut chauffer ne représente guère que la moitié du poids des produits de la combustion, on voit que dans ces conditions la récupération ne porte que sur la moitié de la chaleur perdue.

Il y a encore des progrès à faire assurément, mais l'on pourrait s'étonner que les succès déjà obtenus n'aient pas jusqu'ici engagé les grandes usines de province à suivre la voie tracée par la Compagnie parisienne.

A l'étranger, en Suisse et en Allemagne notamment, de grands progrès ont été accomplis dans ces derniers temps dans la construction des fours et l'on pourrait citer plusieurs installations récentes tout à fait remarquables sous ce rapport.

Application du chauffage par gazogènes à l'industrie céramique. — Les premiers essais pour appliquer le chauffage au gaz à cette industrie sont déjà anciens. On les fit à Limoges dans une fabrique de porcelaine; malgré toute la persévérance que l'on mit à les recommencer plusieurs fois, le succès ne répondit pas aux désirs et les projets durent être abandonnés.

De nouveaux essais furent entrepris dans une usine des environs de Paris, à la suite de l'Exposition de 1867, et aboutirent à la création d'un four continu pour la cuisson des poteries communes qui fonctionna en 1871. Ce four était formé de 28 galeries parallèles qui étaient chauffées en leur milieu et parcourues horizontalement par les produits à cuire. On les entrait crus par une extrémité et ils sortaient cuits par l'extrémité opposée. Les brûleurs, disposés au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

centre de l'appareil, envoyaient de la flamme dans chaque galerie, et l'on pouvait voir là un exemple frappant de la facilité que donne l'emploi du gaz pour éviter les rentrées d'air. Toutes les galeries étant ouvertes à leurs deux extrémités, on pouvait brûler à l'entrée un papier sans que la flamme fût ni attirée ni repoussée dans le four, malgré 56 portes ouvertes.

Ce four servit longtemps à faire des essais sur la cuisson des pâtes céramiques, sur la conductibilité des terres à diverses températures, sur le temps que doivent durer le petit feu et le grand feu et le refroidissement des pièces et produits de formes et de natures diverses. Tous ces essais aboutirent à la construction dans le même établissement d'un groupe de 14 fours, chauffés par un seul gazogène, qui distribue le gaz sans le refroidir au moyen de canaux en maçonnerie construits dans l'épaisseur du sol.

Ces fours ont fonctionné dès le premier jour et fonctionnent encore aujourd'hui, et depuis lors il a été fait plusieurs applications du même système.

Il n'y a pas de récupérateur de chaleur; l'air nécessaire à la combustion du gaz passe sur les produits déjà cuits qui sont en refroidissement et s'échauffe à leur contact en traversant plusieurs fours successifs pour arriver enfin à très haute température dans le four en cuisson.

Les produits de la combustion sortant de ce four passent dans une série de fours suivants, où ils servent à la préparation et produisent l'effet d'un petit feu.

Dans les types de fours qui ont été construits depuis, on a supprimé la division en chambres successives et il n'y a plus qu'une longue galerie annulaire sans séparations. On a par ce moyen économisé sur les frais de construction et on peut pousser la cuisson plus loin.

Le grand intérêt qui s'attache en céramique à la cuisson au gaz est de pouvoir être maître à tout moment de la température et de pouvoir éviter les rentrées d'air.

Avec les anciens fours, quel qu'en soit le système, la conduite du feu est toujours difficile, et tous les céramistes reconnaissent que la cuisson est un moment dangereux pendant lequel la matière court de grands risques. Constamment il y a des pièces manquées, déformées, fendues; quelquefois des cuissons entières ne réussissent pas.

Quand il s'agit de cuire au grand feu, c'est-à-dire aux plus hautes températures possibles, il arrive un moment où il n'y a presque plus de différence de température entre la flamme qui fournit la chaleur et le four qui la reçoit. De là une dépense de combustible qui ressemble à du gaspillage. Il faut sécher le bois, le fendre en bûchettes et introduire ces bûchettes presque continuellement dans les alandiers; et il est d'autant plus difficile de produire des flammes très chaudes que la plupart du temps, pour éviter les colorations mauvaises des pièces, il faut cuire à la flamme oxydante, c'est-à-dire avec excès d'air.

L'emploi du gaz, permettant d'opérer la combustion avec de l'air chaud, donne le moyen d'arriver avec des flammes oxydantes aux températures les plus élevées. L'ouvrier qui conduit le four est maître de son feu et de la composition de la flamme, puisque ni l'un ni l'autre ne peuvent varier qu'en manœuvrant les registres, tandis qu'avec les foyers la composition de la flamme

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et sa température varient incessamment depuis le moment où l'on vient de charger jusqu'à celui où la grille est dégarnie.

Bien que datant déjà de plusieurs années, on peut dire que l'application du gaz à la céramique ne fait que commencer, et qu'il n'y a presque rien de fait en présence de tout ce qui reste à faire dans cette voie.

Les mêmes fours qui servent pour les matières céramiques peuvent être employés pour la cuisson de la chaux et des ciments. Toutefois la construction se simplifie quand on ne veut cuire que des produits communs qui ne craignent pas les rentrées d'air.

Fusion de la fonte au four à réverbère. — Une importante application de la fusion de la fonte au four à réverbère a lieu dans les ateliers Bessemer, soit pour la fusion du *Spiegeleisen*, soit pour celle de la fonte elle-même à traiter au convertisseur.

Fonte Bessemer. — La fusion de la fonte Bessemer, faite d'une façon continue, en rechargeant les réverbères dès que la coulée antérieure est terminée, consomme en général 50 p. o/o de houille. Ce chiffre élevé s'explique par l'obligation d'obtenir une fonte portée à une haute température, pour faciliter l'opération.

Aux forges de Saint-Étienne, un four à gaz fait dix fusions de 3,600 kilogrammes de fonte en vingt-quatre heures. Le gazogène dépense 10 à 11 p. o/o de houille, mais à cette dépense il faut ajouter le combustible (mélange de houille et d'escarbilles) brûlé à un petit four qui réchauffe la fonte au rouge sombre et qui dépense environ moitié du gazogène. C'est donc un total de 15 à 18 p. o/o de houille, et on obtient une fonte plus chaude qu'au four ordinaire.

Fusion du Spiegeleisen. — Dans la fusion du Spiegeleisen, la consommation de combustible n'est pas le point capital; ce qu'il faut surtout chercher à réaliser, c'est la conservation de la teneur en manganèse, et le four à gaz seul permet d'arriver à ce résultat; aussi la plupart des aciéries françaises ont-elles adopté le four Ponsard pour cette opération.

La perte de manganèse dans cet appareil est à peu près nulle : elle ne dépasse pas une demi-unité sur douze, alors que dans les fours ordinaires on perdait de 3 à 7 unités et dans les cubilots 2 1/2 à 3 1/2 unités sur la même teneur de 11 à 12.

Soudage du fer. — La consommation de combustible est très variable suivant la nature des échantillons fabriqués; on peut admettre une moyenne de 500 à 600 kilogrammes par tonne de fer au four ordinaire. Dans les fours à gaz, on arrive à réduire la consommation de plus de 50 p. o/o et on est même descendu en marche continue à 200 kilogrammes par tonne du poids chargé.

Ainsi, aux fours du moyen mill des forges de Pont-l'Évêque, on charge au four, par poste de douze heures, 8 à 10 tonnes de paquets en 9 à 10 charges, pour lesquelles le gazogène consomme environ 2 tonnes de houille.

Mais l'économie de combustible n'est pas la seule à considérer dans le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réchauffage du fer; un autre chef d'économie importante réside dans la diminution des déchets obtenus avec le chauffage au gaz.

Dans les fours précités, dont la mise en marche date de 1874, la mise au mill du fer s'est maintenue entre 1,082 et 1,090 (moyennes générales annuelles), l'économie sur les déchets de fer atteignant environ 40 kilogrammes par tonne de fer laminé, par rapport aux fours ordinaires que ces appareils ont remplacés.

Fusion du verre. — La fusion du verre s'effectue au four ordinaire dans de grands pots tenant chacun 700 à 800 kilogrammes de matières, placés au nombre de 6 à 8 dans un même four; la consommation de houille est de 2 à 3 kilogrammes par kilogramme de verre suivant la nature de la fabrication.

Le four Siemens à pots, des verreries de M. Hütter, à Rive-de-Gier, ne consomme que $1^k,10$ par kilogramme de verre à vitres.

Le chauffage au gaz a permis de fabriquer le verre non plus dans des pots, mais sur la sole même du four; d'où une grande économie résultant de la suppression des pots.

Deux systèmes de fours à bassins sont entrés dans la pratique industrielle. L'un conserve le travail intermittent comme dans les fours à pots, et avec le chauffage Ponsard on arrive à fabriquer, par jour, 5,500 à 6,000 bouteilles, avec une dépense de $1^k,10$ environ par kilogramme de verre.

L'autre système, dû à M. Siemens, emploie un double bassin, l'un pour la fusion, l'autre pour le travail, de telle sorte que celui-ci est continu. Dans ces conditions, des fours récemment installés ont une production triple de celle d'un four ordinaire en ne dépensant que 1 kilogramme de houille par kilogramme de verre brut.

Fabrication de l'acier sur sole. — Cette fabrication, essayée à plusieurs reprises avant l'adoption du four à gaz, a toujours échoué par suite de circonstances qu'il serait trop long d'indiquer; mais on peut dire, sans crainte de se tromper, que c'est grâce au chauffage Siemens que la fabrication industrielle de l'acier par le procédé Martin est devenue possible.

Le chauffage au gaz a permis de développer d'une façon régulière une température extrêmement élevée, tout en maintenant une nature de flamme convenable pour l'opération. Le chauffage Siemens, à doubles régénérateurs, est exclusivement employé pour la fabrication de l'acier sur la sole du four; c'est lui qui permet d'obtenir, pour l'air et pour le gaz, les températures initiales les plus élevées et qui assure le mieux la régularité de la chauffe pendant toute la durée de l'opération, qui varie de sept à douze heures.

La dépense de houille brûlée au gazogène est descendue, dans les fours Martin-Siemens, jusqu'à 400 kilogrammes par tonne de lingots produits, non compris la dépense d'un petit four à chauffer dans lequel une partie des matières est portée au rouge avant d'être chargée. Le consommation du combustible est même moindre au four Pernot-Siemens, dont le mouvement rotatif de la sole produit un mélange incessant qui active l'opération.

Les résultats comparatifs qui viennent d'être exposés sont par eux-mêmes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

assez éloquents pour mériter l'attention des ingénieurs. Il n'en faudrait pas conclure cependant que, en l'état actuel de la question, on doive en toutes circonstances préférer le chauffage au gaz au chauffage à grilles. Celui-ci a un caractère de simplicité qu'on ne peut pas méconnaître, mais le temps apportera aussi des simplifications au chauffage au gaz. Jusqu'ici on s'est préoccupé d'appliquer le nouveau procédé aux industries pour lesquelles le chauffage ordinaire était ou impuissant ou trop onéreux. A mesure que les installations se multiplient, les fours gazogènes se perfectionnent et le champ des applications est appelé à s'étendre encore pour se généraliser de plus en plus. (Applaudissements.)

La séance est levée à midi dix minutes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SÉANCE DU MERCREDI 14 AOÛT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. LE Dr BROCH, DE L'UNIVERSITÉ DE CHRISTIANIA.

Ordre du jour : 9e Section. — Industries diverses.

Sommaire. — Les nouvelles pâtes à papier et leur fabrication, rapport de M. Chatard. — Fabrication de la pâte de bois, communication de M. Stolz. — Communication de M. Störmer sur le même sujet. — Décoloration des pâtes à papier, communication de M. de Dienheim-Brochocki. — Moteurs domestiques, mémoire de M. H. Fontaine. — Observations de M. Bourdin. — Discours de clôture de M. Tresca.

La séance est ouverte à dix heures vingt minutes.

M. le Dr Broch occupe le fauteuil de la présidence.

Siègent au bureau, en qualité de vice-présidents : MM. Betocchi, Watson, Poliakoff, Trélat; M. Chatard, secrétaire.

M. le Président. L'ordre du jour appelle le rapport de M. Chatard sur les nouvelles pâtes à papier et leur fabrication.

RAPPORT

SUR LES NOUVELLES PÂTES À PAPIER ET LEUR FABRICATION,

PAR M. CHATARD,

INGÉNIEUR CIVIL.

M. Chatard. Messieurs, l'Exposition universelle de 1878 permet de constater un grand progrès et une extension considérable dans la fabrication des pâtes à papier, fabrication qui en 1867 n'était qu'à l'état naissant. Aux chiffons, matière la plus favorable à la bonne qualité des papiers, mais dont la rareté relative augmente démesurément le prix, sont venus s'adjoindre différentes matières filamenteuses dont la qualité est plus ou moins appréciée et qui, en tous cas, comblent une lacune importante dans une industrie destinée à grandir avec les développements de l'intelligence, de l'industrie et du commerce.

Actuellement les matières sur lesquelles l'industrie s'est portée pour obtenir des pâtes analogues à celles des chiffons et pouvant être employées soit seules, soit mélangées à la pâte du chiffon, sont :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le sparte ou alfa d'Espagne et d'Afrique, la paille et le bois.

Le sparte est d'un traitement facile, d'un rendement supérieur à celui du bois et de la paille, et donne des pâtes propres au plus beau papier; mais son prix est trop élevé pour que ce produit puisse être la base d'une fabrication courante en France. L'Angleterre, au contraire, qui aime les papiers solides et qui sait y mettre le prix, compte plusieurs usines qui l'emploient. Une grande société française a obtenu en Algérie une concession de 300,000 hectares, dont on estime la production à 300,000 tonnes d'alfa, et elle est en train de construire un chemin de fer pour son exploitation. Quand il sera achevé, peut-être pourra-t-on baisser les prix de vente. Ce serait à désirer.

La paille est un excellent succédané. Sa pâte est superbe de netteté et de blancheur, mais sa fibre est très courte et très faible, et cela s'explique par l'énergie relative du lessivage qu'exige la paroi extérieure de la paille, où domine la silice. Aussi, dans ces sortes de pâtes, trouve-t-on quelquefois des parcelles jaunes de cette paroi extérieure qui ont résisté aux alcalis, à la cuisson du lessivage et au travail des machines broyeuses. Sa fabrication demande un matériel important et des soins assez minutieux.

La paille, *après un triage* qui a pour but de la débarrasser des herbes étrangères, est *hachée*, *vannée*, pour opérer la séparation des nœuds, puis *portée au lessivage*. Cette opération s'effectue dans des cylindres ou des sphères, appareils rotatifs chauffés par admission de vapeur. La paille y est soumise à l'action d'une dissolution de soude pendant six heures environ, sous une pression atteignant graduellement de 4 1/2 à 6 atmosphères. La rotation des cylindres ou sphères est lente afin que l'agitation de la paille se fasse bien uniformément dans toute la masse. L'opération terminée, la pâte, séparée de sa lessive, est soumise à *un lavage méthodique*, et l'appareil le mieux approprié, spécialement au lavage de la pâte de paille, est le laveur Lespermont, qu'on rencontre partout, même en Norvège et qui réduit au minimum tout à la fois la quantité d'eau à évaporer pour régénérer la soude et celle servant au lavage de la pâte. Des laveurs, la pâte est servie aux appareils de broyage, piles à cylindre, pulpogène, raffineurs Thod, selon les usines, pour ouvrir la fibre et diviser les parties uniformément désagrégées par le lessivage. Puis a lieu le blanchiment qui se fait dans de grandes piles blanchisseuses en maçonnerie, où la pâte séjourne environ vingt-quatre heures, en présence d'une dissolution de chlorure de chaux. Enfin, la pâte blanchie et lavée est servie à des presses-pâte, sorte de machines à papier simplifiées qui la pressent, la mettent en feuilles continues et en forment automatiquement des rouleaux.

Ces pâtes entrent pour une notable partie dans la composition des papiers dont on peut voir de nombreux échantillons exposés, et dont quelques-uns présentent la composition suivante :

Chiffons	duve ou étoupe	10 p. 0/0.
	carton	10
Kaolin		15
Paille		65

Plusieurs importantes papeteries en Suède-Norvège, en France et en Bel-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gique, ont inventé elles-mêmes cette fabrication comme annexe, et nous voyons en outre figurer à l'Exposition quelques usines qui se sont créées récemment et spécialement pour s'y livrer. Celle du Thar, près Granville, se fait remarquer par la beauté de son travail et son installation des mieux comprises. Le montage de ces usines ne date guère que de 1867.

Le bois donne deux sortes de pâtes, suivant la façon dont il est traité : la pâte mécanique et la pâte chimique.

La première, pâte mécanique, a la fibre très courte et douée d'une très faible énergie au feutrage, ce qui l'exclut complètement des papiers demandant de la finesse et de la solidité; mais son bon marché en a généralisé l'emploi dans les papiers d'impression ordinaires.

Sa fabrication est des plus simples, c'est la machine qui fait tout, mais elle exige une grande dépense de travail mécanique et ne peut évidemment convenir qu'aux usines douées d'une force hydraulique considérable. On en jugera lorsque nous dirons qu'un cheval-vapeur ne produit guère que de 7 à 10 kilogrammes de pâtes sèches, au maximum, par vingt-quatre heures. Un spécimen bien compris de cette fabrication et d'une grande simplicité avait été exposé en 1867 dans la section du Wurtemberg, par M. Volter, et lui avait valu une médaille d'or, car on pressentait que ce spécimen serait le fondement d'une industrie appelée à rendre un service inappréciable dans les papeteries. De cette époque, en effet, date la grande extension donnée à la fabrication des pâtes de bois qui, toutefois, était appliquée en France, en 1850, à la papeterie de Soucher (Vosges).

Nulle part elle n'a été aussi grande qu'en Suède-Norvège, pays qui y a vu, avec raison, un moyen lucratif d'exploitation de ses immenses forêts de sapin et de l'emploi de ses grandes chutes d'eau. En 1877, on comptait 46 usines, toutes importantes, et actuellement sa production annuelle s'élève à 35,000 tonnes de pâtes sèches; l'une d'elles, l'usine de Tollhättau, appartenant à la société de Rosendhal, possède 24 meules et produit 5,500 tonnes par an de pâtes sèches, employées principalement dans la fabrication des papiers pour journaux. Cette pâte ne sert pas seulement à la fabrication des papiers, car une usine en Norvège l'emploie pour faire des ornements dont un spécimen peut se voir à la décoration tant extérieure qu'intérieure de la façade norvégienne, à l'Exposition.

Dans la pâte mécanique, le bois n'étant soumis qu'au défibrage par une meule, la pâte détient toute la matière constitutive du bois dont elle garde la dureté. Lorsqu'elle a été pressée et séchée, elle se délaye difficilement et donne fréquemment des boutons, de telle sorte que les papiers d'impression qui en renferment (et tous en renferment actuellement) mettent assez promptement hors de service les caractères d'imprimerie qui coûtent si cher. Les essences qu'on emploie le plus fréquemment sont : le sapin parce qu'il est en grande quantité, le bouleau, le tremble, le platane, à cause de la blancheur naturelle des pâtes qu'ils donnent.

La pâte chimique est d'une création industrielle toute récente et d'une fabrication moins importante que les précédents succédanés, parce qu'elle revient plus cher et parce qu'elle demande une grande habileté dans l'emploi des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

agents chimiques et dans la conduite du travail. Mais elle est de beaucoup supérieure aux autres par sa pureté, par la longueur et la solidité de sa fibre, qualités qui permettent de la comparer aux chiffons demi-durs, défilés, et la rend apte à entrer, en des proportions variées, dans la plupart des belles sortes de papiers. C'est à elle que l'avenir est sûrement réservé, c'est sur elle que doivent tendre les efforts des ingénieurs, et c'est ce que la Société industrielle de Mulhouse a parfaitement compris en instituant un grand prix pour provoquer sa production et son application en France.

On n'est arrivé à la bien fabriquer que lorsqu'on a fait agir *les alcalis* sous une *forte pression*, et la fibre résistant d'autant plus aux agents de décoloration qu'elle appartient à un végétal dont le tissu cellulaire est plus lignifié (ce qui n'ajoute pas peu à la difficulté du blanchiment), on s'est adressé d'une manière spéciale au sapin et au pin.

On choisit de préférence de jeunes arbres non gemmés, c'est-à-dire n'ayant pas été soumis à l'extraction de la résine, opération qui a pour effet secondaire de durcir le bois en y augmentant la proportion de matières incrustantes, et, par suite, d'en rendre la désagrégation bien plus difficile.

Ces arbres sont, au préalable, écorcés (travail qui se fait soit à la main, soit par l'emploi de la chaleur), puis aplatis par leur passage entre deux cylindres et enfin *découpés* en *rondelles* de 2 à 3 centimètres. Les coupeuses employées sont défectueuses en ce qu'elles donnent beaucoup de lamelles, cause de déchet, et en ce qu'elles produisent des morceaux de bois inégaux qui nécessitent un triage soit à la main, soit à la machine.

Ainsi préparé, le bois est soumis, dans des lessiveurs sphériques ou cylindriques, rotatifs ou fixes, analogues à ceux employés pour les pâtes de paille, et contenant jusqu'à 1,600 kilogrammes de bois sec, pendant deux heures, à une pression moyenne (5 atmosphères), et quatre heures à une haute pression (12 atmosphères), à l'action d'une lessive de soude caustique.

La pression agit par sa température, et la soude par son action dissolvante. Cette opération du lessivage est très importante, et de sa bonne exécution dépend la pureté des produits. Si la pression a été trop forte ou a duré trop longtemps, la fibre sera fatiguée, en quelque sorte brûlée, et les pâtes manqueront de nerf; si au contraire l'opération n'a pas été poussée assez loin, les pâtes n'étant pas complètement débarrassées de la matière incrustante et colorante du bois, on ne pourra pas arriver ultérieurement à un blanchiment bon et économique. On obtiendra des pâtes brunes, en apparence plus belles mêmes par la longueur et la solidité des fibres, que si elles étaient complètement lessivées, mais le blanchiment exigera l'emploi d'excès de chlore, ce qui entraînera une diminution notable dans le rendement et compromettra la solidité de la fibre. L'emploi de la haute pression de 12 atmosphères, à laquelle on soumet le bois pour arriver à sa désagrégation complète, est un grand écueil et a été cause du découragement de bien des fabricants, qui avaient voulu joindre cette fabrication à leur papeterie. Mais la dose de soude, la pression et le temps de l'opération étant fonction les uns des autres, au point de pouvoir faire varier l'un dans un sens, et les autres dans le sens opposé, on pourrait sans doute diminuer d'une façon notable la pression, en augmen-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tant la durée pendant laquelle elle agirait, quitte à avoir plus d'appareils lessiveurs. Il faudrait aussi préférer les cylindres à faible diamètre, et rejeter les grandes sphères rotatives de 3 mètres de diamètre, qui sont actuellement employées malgré leurs avantages incontestables pour la facilité du lessivage du bois et du déchargement de la pâte, car l'étanchéité parfaite y est impossible à maintenir; en effet, construites par la réunion de nombreux segments dont la coïncidence des trous de rivure est si difficile à obtenir avec des tôles de 20 millimètres, elles présentent trop de causes de fuite, et malgré les soins apportés à leur rivure, sous l'influence des brusques chauffages et refroidissements auxquels elles seront soumises, les rivets subissent un allongement permanent et produisent un écartement entre les tôles, cause de fuites auxquelles des matages même réitérés ne porteront jamais un remède efficace.

Le résultat du lessivage est de deux natures: d'une part la lessive noire (renfermant les composés colorés, formés pendant l'opération du lessivage par la soude, et les acides organiques provenant du bois, acétique, oxalique, ulmique et humique); d'autre part, la fibre du bois, débarrassée de sa matière incrustante, mais retenant comme une éponge une certaine quantité de lessive noire.

Ces lessives noires, tant celles provenant du simple égouttage des lessiveurs, à la fin de chaque opération, que celles provenant du lavage de la fibre (laquelle prend le nom de pâte au sortir du lessiveur), sont mélangées et traitées dans un four spécial, qui les évapore et calcine les sirops épais donnés par cette évaporation, reproduisant ainsi du carbonate de soude qui servira, plus tard, à préparer des lessives neuves après avoir été fondu et caustifié au moyen de la chaux. Et un fait digne de remarque, c'est que la soude ainsi obtenue est mieux caustifiée que celle provenant des fabriques spéciales de ce produit, probablement parce que la quantité de dissolution de carbonate de soude traitée dans chaque opération étant notablement inférieure à celle que traitent dans leurs dissolutions les fabriques de soude caustique, la réaction s'opère mieux et plus uniformément dans la masse. La proportion de soude perdue dans ces diverses opérations est d'environ 20 p. o/o de celle mise au travail.

La pâte de bois colorée en brun foncé par la lessive qu'elle retient au sortir du lessiveur est soumise à un lavage méthodique. Des laveurs elle se rend à des épurateurs qui en éliminent toutes les parcelles de bois qui auraient échappé à l'action complète du lessivage, pour être ensuite conduite à l'atelier de blanchiment, dans lequel, distribuée dans des *piles blanchisseuses*, elle est mise en contact avec une *solution de chlorure de chaux* qui fait disparaître sa matière colorante. Le blanchiment a pour but de détruire ou de modifier les matières non éliminées par le lessivage en les transformant de nouveau en produits solubles à l'eau froide. Les principes qui imprègnent la fibre étant composés en grande partie d'hydrogène, d'oxygène, de carbone et d'azote, il importe d'agir sur un de ces éléments pour amener une perturbation dans leur constitution, sans toutefois attaquer la *cellulose*, seule matière transformable en papier. Le chlore ayant une affinité des plus énergiques pour l'hydrogène, on s'adresse à sa dissolution pour modifier et détruire les matières à éliminer. Mais son emploi demande une habileté toute spéciale, autrement on court grand risque d'avoir une pâte sans consistance et dont le déchet sera considérable. En place de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chlore, on se sert également d'acide sulfureux, mais souvent alors la coloration brune reparaît au moindre contact d'une solution chlorée ou acide, ce qui rend les pâtes ainsi blanchies d'un emploi extrêmement difficile.

Un lavage à l'eau pure succède, dans la pile blanchisseuse elle-même, à l'opération du blanchiment, et la pâte blanchie et lavée est servie aux presses-pâte qui la mettent en rouleaux. La pâte, quelquefois livrée à l'état écru, c'est-à-dire pressée, est mise en rouleaux après l'épuration, sans passer par l'atelier du blanchiment.

Les pâtes mécaniques et chimiques de bois ou de paille sont expédiées aux fabricants de papier, *en rouleaux* enveloppés d'un papier d'emballage et ficelés, *soit à l'état humide* à 50 p. 0/0 d'eau, *soit à l'état sec*. Mais il paraît plus avantageux et beaucoup plus facile d'employer des pâtes encore humides, n'ayant pas été séchées artificiellement et se désagrégeant sans difficulté, malgré les frais de transport qui les grèvent d'un bon tiers par rapport à celles qui ont été séchées. En effet, le meilleur mode d'emploi de ces pâtes, adopté par les fabricants de papier, consiste à déchirer la feuille de pâte en morceaux dans leurs piles raffineuses, qui contiennent le chiffon auquel elle doit être mélangée, dans la proportion convenable pour la sorte de papier en fabrication; si la pâte a été expédiée humide, cette adjonction a lieu deux ou trois heures seulement avant que le mélange ne soit envoyé sur la machine à papier, et ce temps est très suffisant pour que la pâte soit parfaitement divisée par la raffineuse et pour que son mélange avec le chiffon soit très intimement et uniformément opéré. Si, au contraire, la pâte est sèche, elle se dilue difficilement, il faut la tremper assez longtemps dans l'eau en la soumettant en même temps à l'agitation et à un affleurement, toutes opérations entraînant une perte sensible de temps et de force, force et temps que les pâtes humides ont pour résultat important d'économiser aux fabricants de papier, n'ayant en général que bien juste la force hydraulique qui leur est absolument nécessaire. De plus, l'expérience a démontré de la façon la plus absolue que la pâte de bois artificiellement séchée (et principalement lorsque le séchage a été opéré rapidement) *est incapable de reprendre la quantité d'humidité qu'elle pouvait retenir avant cette opération*, qui a pour effet d'opérer une sorte de contraction des fibres, *une lignification nouvelle*, si l'on peut s'exprimer ainsi; laquelle les rend éminemment cassantes, de souples qu'elles étaient auparavant, les empêche de se désagréger complètement, et par conséquent de se mélanger aussi intimement au chiffon, malgré l'emploi d'un battage plus long et plus énergique sous la pile. Il est vrai de dire que les pâtes humides, surtout celles blanchies, arrivent assez vite à se moisir, si on les tient enfermées dans leur enveloppe ou dans un endroit confiné, ce qui serait un obstacle aux expéditions lointaines, mais on ne saurait trop en recommander l'emploi pour les faibles distances, d'autant que la moisissure qui se forme n'est que superficielle et n'attaque en rien l'intérieur de la feuille, et que ces moisissures disparaissent par un faible traitement au chlorure de chaux.

C'est encore en Suède où la fabrication des pâtes chimiques de bois s'est le plus propagée. Il y a actuellement plus de 7 usines produisant environ 7,000 tonnes de pâtes sèches, dont la plus importante est celle de Berywick. La création de ces usines ne remonte guère qu'à 1872. Leurs pâtes sont en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

général assez fibreuses, mais manquent de pureté et de blancheur, défauts qui en arrêtent l'emploi malgré le bas prix auquel elles sont proposées.

Le Danemark a envoyé des pâtes superbes qui, sans contredit, sont les plus belles de l'Exposition comme solidité, longueur et finesse des fibres; malheureusement elles sont écrues, et nous ne savons si le blanchiment leur laisserait ces qualités remarquables.

La Belgique est représentée à l'Exposition par deux fabriques : l'usine du Visée et celle de MM. de Nager et Cie, à Villebrock. Cette dernière a une exposition importante par l'espace qu'elle occupe; et ses nombreux échantillons, très joliment arrangés, se ressemblent tellement qu'on est porté à croire qu'ils proviennent tous de la même essence de bois. Ils sont assez beaux, mais manquent de nerf et de pureté.

L'Autriche-Hongrie n'a qu'un exposant qui travaille par lessivage méthodique et continu, procédé analogue à celui employé en Allemagne dans les sucreries. L'opération, qui dure dix à douze heures, se fait dans une série de 12 chaudières cylindriques placées verticalement et se résume à faire produire, avec une pression de 5 à 6 atmosphères, deux courants inverses, l'un d'une lessive de soude et l'autre de bois en fragments, dans le parcours desquels le bois reçoit successivement douze fois l'action de la lessive de soude, de plus en plus pure, tandis que la lessive de soude agit le même nombre de fois et successivement sur la pâte de plus en plus chargée de matières constitutives du bois. Cet appareil est fort compliqué et demande des soins qui nécessitent des ouvriers spéciaux, mais il donne des pâtes très belles quoique manquant de blancheur.

Enfin la France ne possède que deux établissements où l'on fabrique la pâte chimique : l'usine de Clairefontaine (Vosges) et celle de Mios (Gironde). La première, l'usine de Clairefontaine, montée en 1876, produit près de 80 tonnes par an, et emploie différentes essences de bois, telles que le pin sylvestre, le sapin des Vosges, l'épicéa, le bouleau, etc. Sa production est complètement absorbée par sa papeterie et entrerait pour 30 p. o/o et jusqu'à 60 p. o/o dans la composition des papiers courants. Elle l'emploierait même seule pour certaines sortes spéciales, comme le constatent des échantillons exposés. Ses pâtes paraissent belles, mais sont difficiles à apprécier, parce qu'elles ont subi une pression énergique et un lustrage qui tendent à augmenter le feutrage et la solidité apparente.

La deuxième, l'usine de Mios, se fait remarquer par la pureté et la blancheur de ses pâtes, comparativement à celles des autres exposants, même étrangers. Montée en 1872 par M. Tessié du Motay, réorganisée en 1874 par l'ingénieur Lespermont, elle n'entra en plein fonctionnement industriel que l'année suivante, à la suite de nouvelles innovations et changements dans son matériel, opérés par son habile directeur actuel, M. Pecarrière. Située en pleines landes, elle y trouve abondamment et à bon marché du pin maritime, seule essence qu'elle traite. Ce bois est plus dur à travailler que le sapin, l'épicéa; mais aussi sa fibre est bien plus résistante et peut être employée pour les papiers fins. Au début, l'usine de Mios ne produisait que 288 tonnes de pâtes sèches par an; mais, après de bien patientes recherches, qui ont servi aux usines créées après elle, après des difficultés vaincues de toutes sortes (dont l'hésitation des fabricants de papier à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

adopter franchement cette matière première nouvelle n'était pas la moindre), elle est arrivée à une production annuelle de 1,300 tonnes, et est à la veille d'atteindre 1,800 tonnes par an. Avant elle on n'avait jamais fait de belles pâtes chimiques en France, et c'est à son directeur que revient l'honneur d'y avoir introduit leur fabrication industrielle et de les avoir fait admettre, d'une manière courante, dans la fabrication des papiers fins. Les progrès réalisés dans le travail de Mios permettent de livrer des pâtes d'une pureté parfaite et d'une régularité constante de qualité et de nuance, mérite qui assure au fabricant de papier la production d'un papier toujours le même, résultat bien difficile à obtenir avec des chiffons dont la variété de provenances, de qualité, d'usure et de coloration entraîne une inégalité forcée dans le produit.

Un procédé qui a reçu une extension notable dans ces dernières années, en Suède, est la fabrication de la pâte dite *demi-chimique*, obtenue par la réduction à la meule des rondelles ou des billots de bois cuits, soit à la vapeur, soit dans l'eau ou dans une lessive faible. Ces pâtes reviennent à très bon marché, et conviennent particulièrement à la fabrication du carton, des papiers d'emballage, de tenture et de doublage. L'usine de Munkedal, en Suède, en produit plus de 1,500 tonnes.

L'emploi des succédanés permet aux fabricants de papier, plus ou moins dépourvus de force hydraulique, d'éviter tout chômage, de grossir leur production journalière sans emploi de force ni d'eau, sans augmentation de matériel ni de main-d'œuvre, sans aucune mise nouvelle de fonds, ce qui présente un bien grand avantage aux papeteries, et diminue, en définitive, sensiblement la proportion des frais généraux sur chaque rame de papier fabriqué.

L'Angleterre consomme presque toute l'exportation des pâtes de bois de Suède et de Norvège, ainsi que la plus grande partie de leur production de papier d'impression ordinaire pour les journaux, papiers dans lesquels les pâtes de bois préparées tant par la voie mécanique que par la voie chimique, ainsi que celles de paille, entrent pour 85 p. o/o.

Le meilleur succédané du chiffon est, sans contredit, la pâte chimique de bois; sa fibre est longue et résistante, sa pureté très grande, et à toutes les qualités du chiffon elle joint celle d'une plus grande appétence pour l'encre et pour la couleur en général. Elle revient, il est vrai, trop cher, comparativement aux sortes les plus ordinaires de chiffons; mais son prix est inférieur à celui des belles sortes et l'on ne saurait trop en recommander l'emploi, particulièrement dans les papiers blancs à écrire des nos 2, 3 et 4. Nous citerons, à l'appui de ce conseil, l'exemple que donne la papeterie de Clairefontaine, qui consomme elle-même toute sa production, qu'elle déclare atteindre une centaine de tonnes. C'est à la pâte chimique de bois que l'avenir est sûrement réservé. Elle a certainement encore bien des progrès à réaliser pour arriver à une fabrication facile et économique, mais quand on considère la rapidité avec laquelle cette industrie si nouvelle a su vaincre les difficultés innombrables qu'elle a rencontrées à son début, on ne peut douter de son succès final. (Applaudissements.)

M. le Président. La parole est à M. Stolz.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

COMMUNICATION

SUR LA FABRICATION DE LA PÂTE DE BOIS,

PAR M. STOLZ,

INGÉNIEUR DÉLÉGUÉ DE LA NORVÈGE AU CONGRÈS.

M. Stolz. Je me rends à l'appel que M. le Président a bien voulu faire aux ingénieurs de Norvège, et viens vous fournir quelques renseignements sur la fabrication de la pâte de bois, qui a pris un si grand développement, dans notre pays, pendant ces dernières années.

Parmi les matières destinées à remplacer les chiffons qui deviennent de plus en plus rares, pour la fabrication du papier, la pâte de bois prend le premier rang.

La Norvège, qui produit de grandes quantités de sapins blancs, peu résineux, éminemment propres à cette fabrication, où se rencontrent d'énormes chutes d'eau, au voisinage des forêts et des ports d'exportation, et qui trouve dans ses rivières une eau limpide et à peu près chimiquement pure, réunit la plupart des conditions nécessaires pour pouvoir fournir aux autres pays une partie considérable de la pâte à papier dont ils peuvent avoir besoin.

Aussi la production y a-t-elle fait des progrès considérables pendant les sept dernières années, comme l'indique le tableau suivant de l'exportation annuelle de la pâte de bois, d'après la statistique officielle de Norwège :

ANNÉES.	QUANTITÉS EXPORTÉES.	VALEUR.
	kilogrammes.	francs.
1870	500	42,000
1871	1,500	230,000
1872	3,000	485,000
1873	4,000	436,000
1874	6,000	646,000
1875	8,500	950,000
1876	12,000	1,630,000
1877	15,000	1,980,000

Les produits de l'année 1877 proviennent de 25 fabriques, contenant environ 70 appareils à défibrer, occupant 1,000 ouvriers et disposant d'une force motrice de 8,000 chevaux.

8 fabriques indigènes de papier et de carton consomment, en outre, une quantité de pâte qu'on peut évaluer à la moitié de celle qui a été exportée.

Dans les pays voisins, en Suède et en Finlande, la fabrication de la pâte

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de bois a pris d'autre part, grâce à des conditions analogues, un développement non moins rapide.

Il faut reconnaître que l'augmentation de la production de ce produit a été malheureusement exagérée; un grand nombre des usines qui y participaient avaient été fondées avec un capital insuffisant et furent obligées de vendre à tout prix.

Tandis qu'en 1872, les 3,000 tonnes exportées avaient une valeur de 485,000 francs (162 francs la tonne), les 4,000 tonnes exportées en 1873 ne valaient que 436,000 francs (109 francs la tonne).

Mais depuis quelques années, l'équilibre paraît s'être rétabli; les prix sont devenus plus favorables et les usines de Norvège ont repris le travail, et comme il est probable qu'on ne procédera pas à la construction de fabriques nouvelles, on peut admettre que le chiffre de 1879, 15,000 tonnes, ne sera pas considérablement dépassé, au moins dans un avenir prochain.

On emploie à présent, presque exclusivement, le sapin blanc. Au début, la pâte provenant du bois de tremble était recherchée, surtout en France, à cause de sa blancheur; mais sa fibre étant moins résistante, on y a renoncé presque complètement.

Les sapins, de même que ceux destinés à la construction, sont abattus en hiver, et l'on préfère les jeunes arbres dont le diamètre ne dépasse pas 20 à 25 centimètres.

Arrivés à l'usine, ils sont coupés en morceaux de 320 millimètres de longueur, écorcés puis fendus, les plus petits en deux et les gros en quatre parties. Les parties résineuses des branches sont soigneusement élaguées et l'on procède au défibrage.

Les machines employées pour cette opération sont construites d'après le système Voelter, avec des modifications de peu d'importance. Ce système est suffisamment connu et je n'en dirai rien de plus.

On emploie des défibreurs à axe horizontal et à axe vertical, mais aucun des deux systèmes ne paraît jusqu'ici l'emporter sur l'autre.

La pâte obtenue, soit en cartons plus ou moins épais, soit sous une forme irrégulière, est soumise à l'action de presses hydrauliques, à une pression de 2 tonnes environ, qui la délivrent de la plus grande partie de l'eau adhérente. Elle sort de la presse à l'état de *pâte humide* contenant 50 p. o/o d'eau, prête à être exportée.

Une partie de cette pâte est encore, avant d'être exportée, séchée à l'air chaud, pour fournir la *pâte de bois séchée.*

La pâte humide est préférée le plus souvent; mais les fabriques de l'intérieur préfèrent la pâte séchée dont les frais de transport sont moindres.

Pour l'expédition en Angleterre, la pâte est emballée en caisse de 100 kilogrammes chacune; pour la France et la Belgique, on l'exporte en balles. L'emballage en caisses est estimé le meilleur système, mais il est plus coûteux.

La pâte mécanique offre, jusqu'à présent, la plus énergique résistance aux efforts qu'on a faits pour la blanchir; sa fibre est courte et peu souple, aussi l'emploi en est-il réduit à la fabrication des papiers qui n'exigent qu'une force inférieure.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On fait avec la pâte mécanique, sans mélange, le papier d'emballage. Dans le papier d'imprimerie, il entre jusqu'à 75 p. o/o de pâte mécanique, le reste se composant de chiffons ou de pâte chimique. Le papier à écrire peut contenir souvent 25 p. o/o de pâte mécanique, sans que la qualité en soit réduite.

La pâte de bois se vend actuellement, livrée au Havre, 270 francs les 1,000 kilogrammes si elle est *sèche*, et 130 francs si elle est *humide*. Le fret de Christiania au Havre est de 22 francs la tonne, mais il est reconnu que ces prix ne laissent presque pas de bénéfices aux fabricants.

En Angleterre, le prix de la pâte humide est de 5 livres à 5 livres 10 schellings: il était, il y a dix ans, de 8 livres.

Les premiers défibreurs provenaient de la fabrique de M. Voelter, à Wurtemberg, mais aujourd'hui les usines de Norwège fournissent les machines nécessaires; les meules viennent toutes de l'étranger.

Un défibreur à axe vertical à 8 bois est livré au prix de 4,000 francs, y compris la transmission; un tel appareil peut fournir 2,500 kilogrammes de pâte par semaine et exige 100 à 120 chevaux de force.

Un défibreur à axe horizontal coûte 2,600 francs et demande 70 à 80 chevaux de force.

Dans la fabrication de 1,000 kilogrammes de pâte humide, il entre 2,330 mètres cubes de bois valant de 8 fr. 50 cent. à 16 fr. 50 cent.

Les frais de production moyens, y compris intérêts, administration et transports, pour 1,000 kilogrammes de pâte sèche livrée au Havre, sont estimés à 196 francs.

Telles sont, Messieurs, les quelques indications que je puis vous fournir et qui, puisées à la source même de cette fabrication nouvelle, étaient de nature à vous intéresser.

(Applaudissements.)

M. le Président. La parole est à M. Störmer, délégué de la Norvège, sur la même question.

M. Störmer. La Norvège, à cause de l'abondance de ses chutes d'eau, était appelée à développer surtout la fabrication de la pâte de bois *mécanique*, aussi celle de la pâte *chimique* ne compte en Norvège qu'une seule fabrique, tandis qu'il s'en est constitué 7 en Suède.

Il y eut beaucoup d'illusions à la naissance de cette industrie, mais l'imperfection des premiers appareils fit perdre beaucoup d'argent aux promoteurs et toutes les usines durent suspendre leur marche jusqu'à ce qu'elles eussent reconstitué leur capital et transformé leurs appareils.

Les causes des mauvais résultats obtenus dans les premières usines ont été, spécialement, l'imperfection des *lessiveurs* et les grandes pertes de *soude*.

Les lessiveurs étaient des cylindres ou horizontaux, système Lee, ou verticaux, système Sinclair.

Ces appareils, semblables à des générateurs de vapeur, étaient entourés de maçonnerie et chauffés à feu nu.

Après avoir introduit la lessive et le bois, on chauffait, et l'on portait la tem-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pérature jusqu'à ce que la pression atteignît 9 à 10 atmosphères; on éteignait alors le feu; on laissait l'air froid circuler autour des lessiveurs afin de les refroidir et quelquefois même on activait le refroidissement en amenant de l'eau froide sur les tôles du lessiveur.

On comprend que des chaudières exposées à de telles variations de température devaient être promptement détruites. En effet, ces chaudières demandèrent tant de réparations, par suite de fuites, et occasionnèrent tant d'interruptions dans la fabrication, qu'à l'unanimité ce mode de chauffage fut condamné; il ne reste plus aujourd'hui qu'une seule fabrique où il soit employé, et encore les lessiveurs y sont-ils rotatifs, ce qui atténue les effets de l'inégalité de chauffage des tôles.

Actuellement on a substitué au chauffage à feu nu le chauffage par la vapeur introduite directement dans la lessive ou circulant dans des tuyaux disposés à l'intérieur de la chaudière.

La vapeur est produite par des chaudières Sinclair ou Belleville.

En outre, les lessiveurs horizontaux ont été abandonnés et l'on n'emploie plus que des lessiveurs verticaux ou sphériques, fixes ou rotatifs.

Le travail bien conduit, on peut obtenir dans chacun de ces lessiveurs chauffés à la vapeur d'excellentes pâtes, sans éprouver aucun des inconvénients signalés de ceux chauffés à feu nu.

On avait rencontré un autre écueil dans la perte de soude et la grande consommation du combustible employé pour récupérer la petite quantité de soude qu'on pouvait regagner.

La soude entre dans une grande proportion dans la fabrication de la pâte chimique, puisque, pour 1,000 kilogrammes de pâte, il faut employer environ 1,000 kilogrammes de soude caustique.

A l'origine, on se croyait si sûr de bénéfices considérables, que l'on considérait comme sans importance la perte de 500 kilogrammes de soude par tonne de pâte.

Aussi les appareils destinés à récupérer la soude étaient-ils très primitifs et laissait-on perdre la soude contenue dans les eaux de lavage.

Cette partie de la fabrication a été depuis beaucoup améliorée.

Les fours à réverbère, où la lessive était directement introduite, sont maintenant munis de grands évaporateurs où la chaleur perdue du four est utilisée à concentrer préalablement les lessives avant leur arrivée dans le four.

La perte de 50 p. 0/0 de soude est ainsi réduite à 30 et même à 20 p. 0/0, tout en ne consommant que moitié du combustible qu'on brûlait autrefois.

Mais une perte de 20 p. 0/0 est encore trop grande, et il y a sur ce point des progrès à réaliser.

La pâte, telle qu'elle est obtenue après la cuisson et le lavage, est toujours remplie d'impuretés, mais, actuellement, toutes les usines sont munies d'épurateurs, et la pâte fournie est suffisamment pure.

Cependant, la pâte chimique, même épurée, a été difficilement acceptée par les fabricants de papier, et cela a tenu surtout à ce qu'ils ne savent pas la bien traiter en ce qui concerne le blanchiment et la dissolution.

La pâte chimique se blanchit plus difficilement que les chiffons et la pâte

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de paille, et doit être soumise à un traitement différent : c'est pour ce motif que plusieurs fabricants de pâte ont commencé à blanchir eux-mêmes leurs pâtes avant de les vendre.

Mais lors même que la pâte ne laisse rien à désirer, la fabrication du papier peut ne pas réussir si on la fait passer, avec la pâte de chiffon non finie, dans des batteuses à lames tranchantes au lieu de la dissoudre doucement dans une pile avec des lames non coupantes. Les fibres fines de la pâte chimique sont alors découpées et deviennent trop courtes, de sorte que le papier manque de solidité.

Maintenant que les fabricants de papier connaissent assez les propriétés et les avantages de la pâte de papier, la résistance à son emploi a cessé et elle est appréciée à sa juste valeur.

Ce n'est pas, comme nous l'avons vu, sans de grands sacrifices d'argent et de travail que cette jeune industrie est devenue ce qu'elle est aujourd'hui. Les commencements ont été pénibles, mais il est certain que l'avenir lui appartient. (Applaudissements.)

M. le Président. La parole est à M. de Dienheim-Brochocki, pour la communication de son travail sur la décoloration des pâtes à papier.

MÉMOIRE

SUR LE CHLOROZONE ET SES APPLICATIONS VARIÉES,

NOTAMMENT AU BLANCHIMENT ET AU BLANCHISSAGE EN GÉNÉRAL DE TOUTES MATIÈRES, FIBRES, TISSUS, PÂTES À PAPIERS, À CARTONS, ETC.,

PAR M. DE DIENHEIM-BROCHOCKI,

INGÉNIEUR CIVIL.

M. de Dienheim-Brochocki. Messieurs, le système actuel de blanchiment, en ce qui concerne l'action spéciale du chlore, consiste dans la mise en contact direct de la matière à blanchir, soit avec le chlore, gazeux et sec, soit avec la dissolution aqueuse de l'hypochlorite de chaux.

Dans le premier cas, le chlore détruit la matière colorante en agissant sur son hydrogène et forme avec lui l'acide chlorhydrique : $Cl + H = H\,Cl$ qui, au fur et à mesure de sa formation, agit d'une manière destructive sur la matière ligneuse, et ne blanchit pas entièrement la masse sans la détruire en grande partie.

Dans le second cas, l'acide hypochloreux du chlorure de chaux, devant agir par son oxygène et par son chlore, se trouve trop intimement lié à sa base, pour avoir la tendance prononcée de se porter sur l'hydrogène de la matière colorante; ce n'est que grâce à l'acide qu'on y introduit et qui le déplace par rapport à cette base que son action devient active.

Il en résulte :

1° Une perte en acide hypochloreux qui s'échappe de la masse, grâce à l'action plus ou moins énergique de la décomposition de l'hypochlorite;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2° Une action nuisible et immédiate portée sur la fibre par l'acide additionné ;

3° Une action destructive plus ou moins lente, due à la chaux qui, sous forme de sels insolubles, s'incruste dans les pores des fibres et dont aucun lavage ne peut la débarrasser en totalité.

Quant aux hypochlorites alcalins, connus dans le commerce sous les noms d'eau de Javel ou de liqueur de Labarraque, ils présentent aussi dans le blanchiment des inconvénients qui les rendent difficilement applicables.

Faibles ou concentrés, relativement à leur richesse en pouvoir décolorant, ils sont toujours très alcalins, par suite, trop corrosifs et difficilement blanchissants, sans l'aide d'un acide qui active la réaction et neutralise l'excès d'alcali.

Résultant d'une fabrication longue, désagréable et dangereuse, lorsqu'il s'agit d'un produit concentré, le prix de revient en est forcément très élevé ; et, en effet, les deux moyens connus et employés dans l'industrie pour la fabrication de ces hypochlorites sont les suivants :

1° Saturation d'une lessive alcaline (carbonate ou oxyde) par un courant de chlore gazeux obtenu par le manganèse suivant une formule quelconque ;

2° Double décomposition de la dissolution du chlorure de chaux unie à celle d'un carbonate alcalin.

Dans le premier cas, l'opération industrielle *dure vingt-quatre heures*. La base doit se trouver en *fort excès*, dans la dissolution, car autrement la décomposition aurait certainement lieu.

Il est difficile de donner au produit une force chlorométrique dépassant 35 à 39 degrés Baumé, ce qui laisse un tiers environ de base en excès. Au delà de cette limite, la saturation chloreuse devient difficile ; un échauffement de la matière, nonobstant la réfrigération, est inévitable. Sa décomposition, plus ou moins rapide, en est la conséquence.

Le produit, d'ailleurs, est des plus instables, perdant très rapidement la plus grande partie de son pouvoir décolorant ; il est cher, très caustique et difficilement transportable durant la saison d'été.

Sa formule est la suivante :

$$2\,NaO + 2\,Cl = NaO, ClO + NaCl.$$

Dans le second cas, ni le chlorure de chaux, ni le carbonate alcalin ne se dissolvant à une température froide et nécessaire dans cette circonstance, au delà d'une limite restreinte, le produit obtenu par leur double décomposition est plus pauvre encore en principes décolorants que le produit obtenu par le moyen ci-dessus décrit.

L'opération elle-même, quoique simple en principe, devient longue et vétilleuse à cause des multiples lavages du précipité. Elle donne en résultat un produit de 25 degrés chlorométriques contenant dans sa dissolution une quantité semblable de chlorure de calcium, ce qui, dans le blanchiment, se retrouve sous forme de carbonate ou de sulfate de chaux, suivant le mode de traitement appliqué.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ici encore, comme dans le cas précédent, le produit est trop alcalin et des plus instables. Son prix de revient est également trop élevé.

D'autres résultats, et à un compte plus avantageux, peuvent être obtenus dans le blanchiment par le chlorozone, produit d'une opération rationnelle, simple et peu coûteuse.

Le chlorozone peut être acide ou alcalin, liquide ou solide.

On l'obtient à *froid* en saturant une lessive alcaline caustique par un courant d'*acide hypochloreux uni à un courant d'air.*

Nous savons qu'en décomposant un hypochlorite alcalin ou alcalino-terreux par un acide ou un courant électrique, on dégage de l'acide hypochloreux libre ou du chlore, suivant les circonstances. Exemples :

$$(CaO,ClO + CaCl) + 2A = 2\,CaO,A + 2\,Cl.\ (\text{Chlore.})$$
$$(CaO,ClO + CaCl) + A = CaO,A + CaCl + ClO.\ (\text{Acide hypochloreux.})$$
$$(MO,ClO^5) + 3\,HCl = MCl + 3\,HO + 3\,ClO.\ (\text{Acide hypochloreux.})$$

Nous savons aussi que l'oxygène de l'air, à l'état naissant, s'unit au chlore gazeux et forme avec lui de l'acide hypochloreux, et que l'eau à la température ordinaire en dissout deux cents fois son volume.

Nous savons enfin qu'un courant d'acide hypochloreux, passant en excès à travers la dissolution alcaline, oxyde, carbonate ou chlorure, transforme ces sels en chlorate.

Partant de ces données, si, d'une part, nous produisons de l'*acide hypochloreux* par la décomposition d'un hypochlorite ou d'un chlorate, à l'aide d'un acide uni à un courant d'air, et si, d'autre part, nous saturons de ce gaz une dissolution *alcaline*, celle de la soude, par exemple, il est évident que le produit obtenu sera le *chlorozone* en question, acide ou alcalin, suivant la proportion des équivalents de la base en dissolution et de l'acide hypochloreux qui la sature.

D'après la théorie, cette réaction devait nous produire un hypochlorite alcalin pur, sel extrêmement instable. Grâce cependant à une action continue, sous l'influence du courant d'air constant, le produit définitif de l'opération est un sel triple, et, suivant les cas, conforme à une des formules ci-dessous :

$$\text{Chlorozone acide : } NaO + XHO + (200 - X)\,ClO = NaO,ClO^5 + XHO + (199 - X)\,ClO.$$
$$\text{Chlorozone alcalin liquide : } (4\,NaO + XHO) + 4\,ClO = NaO,ClO^3 + 2\,NaO,ClO + NaCl + XHO.$$

Le premier, aussi bien que le second, peut être amené à un pouvoir décolorant des plus considérables.

Il est évident que si l'on supprime dans la fabrication le courant d'air aspiré, et si l'on dédouble la quantité d'acide décomposant, on dégagera du *chlore* et non de l'*acide hypochloreux*. Le produit définitif sera donc un hypochlorite commun. Exemples :

$$(CaO,ClO + CaCl) + 2A = 2\,CaO,A + 2\,Cl.$$
$$2\,Cl + 2\,NaO = NaO,ClO + NaCl.$$

Le chlorozone alcalin marquant 40 degrés Baumé et de 100 à 120 degrés

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chlorométriques, devient facilement cristallisable à basse température, mais les cristaux obtenus fondent facilement à la moindre chaleur. Son usage, à cause de cela, est impraticable.

Le contraire a lieu si l'on solidifie le chlorozone par l'absorption de son excès d'eau, moyennant un sel alcalin hydrométrique. Dans ce cas, ni la température trop basse, ni le maximum de la richesse chlorométrique du chlorozone ne sont plus exigibles.

Le carbonate de soude desséché, par exemple, ajouté au chlorozone en proportion variée, suivant la densité du liquide, sous la température de + 6 degrés à + 8 degrés centigrades, forme une masse compacte, se laissant mouler ou greneler, et devenant d'autant plus dure que la température sous laquelle on a opéré était basse. Elle ne se ramollit qu'à la chaleur persistante de 30 degrés. Durcie de nouveau par l'abaissement de la température, elle résiste mieux à la chaleur ambiante et ne perd rien de ses qualités décolorantes, si l'on a soin de la garder à l'abri des contacts de l'air, de la lumière et de l'humidité.

Le chlorozone alcalin liquide, marquant 30 degrés Baumé et 50 degrés chlorométriques, est très *stable* et peut être gardé durant plusieurs mois; il est, par conséquent, facilement transportable.

A quantité égale de *base* et de *chlore*, le pouvoir décolorant du chlorozone est *double* de celui d'un hypochlorite alcalin du commerce obtenu, comme nous l'avons dit, par un courant de *chlore*. Exemples :

$$\text{(Chlorozone)}\ 4\,NaO + 4\,ClO = (NaO,ClO^3 + 2\,NaO,ClO + NaCl) + XH =$$
$$(4\,NaCl + 8\,HO) + (X - 8)\,H.$$
$$\text{(Hypochlorite)}\ 4\,NaO + 4\,Cl = 2\,(NaO,ClO + NaCl) + XH =$$
$$(4\,NaCl + 4\,HO) + (X - 4)\,H.$$

Son emploi est précieux pour les teinturiers et les blanchisseurs de linge, car, en dehors de ses principes décolorants, il possède encore, grâce à sa base alcaline, le pouvoir saponifiant.

Quant au chlorozone acide, il doit être employé immédiatement après sa fabrication, ce qui exige que cette fabrication se fasse dans l'endroit même de l'application. Il est destiné principalement au blanchiment des matières *végétales écrues*, telles que : pâtes à papier, fibres de tissus de coton, de lin, de chanvre, etc.

En comparaison avec le chlorure de chaux, il est à remarquer que le chlorozone, *à quantité égale de chlore* et *à trois quarts moins de base*, enlèvera *trois fois plus d'hydrogène* à la matière colorante que ledit chlorure de chaux. Exemples :

Chlorure de chaux : $2(CaO,ClO + CaCl + A) + XH = 2\,(CaO,A + CaCl + HO + HCl) + (X - 4)\,H.$

Chlorozone : $(NaO,ClO^5 + 3\,ClO) + XH = NaCl + 9\,HO + 3\,HCl) + (X - 12)\,H.$

Dans le premier cas, il y a 4H, dans le second cas, 12H, enlevés à la matière colorante, et ceci suivant la réaction ci-après :

$$(NaO,ClO^5 + 3\,ClO,HO) + XH =$$
$$(NaO,ClO^5 + 6\,HO + 3\,HCl) + (X - 6)\,H =$$
$$(NaCl + 9\,HO + 3\,ClO) + (X - 6)\,H =$$
$$(NaCl + 12\,HO + 3\,HCl) + (X - 12)\,H.$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les appareils servant à la fabrication du chlorozone sont des plus simples, très peu coûteux et ne demandent qu'un emplacement insignifiant.

Ils se composent :

1° D'un générateur de gaz hypochloreux, capacité close, de 150 litres environ ;

2° De deux saturateurs, également clos, de 200 litres environ ;

3° D'un aspirateur d'air, fonctionnant à la vapeur ou au courant d'eau.

Ces appareils communiquant entre eux par un tuyautage fixe.

L'aspiration d'air, à travers le générateur et les saturateurs, a pour avantages :

1° De contribuer à la formation d'acide hypochloreux dans le générateur, grâce à une partie de l'oxygène de l'air, abandonné au profit de cette réaction ;

2° De modérer la réaction chimique dans le générateur ;

3° D'éloigner toute fuite de gaz dans les appareils et, par suite, d'empêcher leur explosion possible, en réduisant la pression intérieure du gaz à son minimum ;

4° Et enfin de faciliter l'achèvement complet de la réaction, produisant l'acide hypochloreux dans le générateur, ainsi que d'en extraire les dernières traces de gaz.

L'acide hypochloreux, en traversant les liquides contenus dans les deux saturateurs, les sature en proportions inégales. Le premier reçoit le maximum et le deuxième le minimum de saturation. La base tenue en dissolution dans le premier sera transformée en chlorate, et celle du second en hypochlorite de soude.

L'excès de gaz hypochloreux ne sera absorbé que par l'eau de la dissolution du premier saturateur. L'opération dure une heure environ.

La saturation étant finie, on arrête l'appareil d'aspiration, et l'on vide simultanément le contenu des appareils dans une cuve chargée de la matière à blanchir, convenablement lessivée, et lavée d'abord aux acides et à l'eau.

L'action chimique de ce bain sur la matière colorante est très rapide, presque instantanée et nullement destructive, car elle est due principalement à l'action de l'oxygène naissant, comme il est démontré par la réaction suivante (l'eau de la dissolution y étant sous-entendue) :

$$[(NaO,ClO^5 + 3ClO + HO) + (NaO,ClO + HO)] + XH =$$
$$(NaO,ClO^5 + NaO,ClO + 5HO + 3HCl) + (X - 6)H =$$
$$(NaCl + NaO,ClO + 8HO + 3ClO) + (X - 6)H =$$
$$(NaCl + NaO,ClO + 11HO + 3HCl) + (X - 12)H =$$
$$(2NaCl + \ldots 13HO + 3HCl) + (X - 14)H.$$

Le mélangeur de la cuve doit fonctionner dès le commencement; le contact de l'air et le mouvement de la matière aident beaucoup à sa décoloration.

Celle-ci une fois obtenue, les résidus du bain décolorant peuvent avanta-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

geusement servir pour préparer la lessive, ou bien encore ils peuvent être repris et saturés de nouveau d'acide hypochloreux.

Il résulte de là que si certaines matières à blanchir exigeaient plusieurs traitements répétés et durant peu de temps, plutôt qu'un seul passage énergique dans le bain de chlorozone, il serait facile d'y arriver par ce système de transvasement et de saturation successive du liquide blanchissant. Dans certains cas, il serait même très avantageux d'opérer la saturation de la liqueur alcaline sur la matière que l'on veut blanchir.

Il est évident qu'après l'action du chlorozone, la matière blanchie doit être soigneusement lavée.

L'action blanchissante de l'ozone se traduit encore par un phénomène particulier, qui a pour effet de *renforcer* la matière ligneuse au point de vue de la résistance de ses fibres, ainsi que cela a lieu dans le blanchiment sur les prés.

Le prix de revient de chlorozone par 100 kilogrammes de matière à blanchir ne dépasse en rien le prix de chlorure de chaux, actuellement employé pour le blanchiment d'une quantité pareille de matière, et les avantages de l'emploi du premier sur le second sont les suivants :

1° Suppression d'une préparation défectueuse et longue du bain décolorant de chlorure de chaux;

2° Suppression de l'emploi des acides que l'on met pour activer la réaction du bain décolorant, mais au détriment sensible de l'acide hypochloreux, qui s'échappe, et de la fibre elle-même, qui s'altère;

3° Suppression du contact direct de la matière à blanchir avec la chaux qui, sous forme de sels insolubles, s'incruste dans les fibres, résiste aux lavages et finit à la longue par détruire la fibre;

4° L'action décolorante des plus rapides, et nullement destructive, accompagnée de l'action saponifiante, due à la base alcaline soluble, d'où économie de temps, de matières premières et de frais généraux;

5° Suppression des lavages intermittents à l'eau et aux acides, entre plusieurs bains décolorants, un seul bain de chlorozone d'une force convenable pouvant blanchir toute matière végétale, sans qu'on ait besoin de répéter le traitement, d'où économie de main-d'œuvre, d'acide, d'eau, de machines, d'outils et de combustible;

6° L'utilisation des résidus du bain décolorant, ceux provenant du bain de chlorure de chaux étant sans aucun emploi.

En dehors de ces avantages, notons encore que la matière substituante, qui est toujours le résultat de blanchiment par chlorure de chaux, et dont la propriété est de ternir le blanc obtenu, ne se forme presque pas du tout, lorsque le chlorozone a été convenablement employé. Ceci s'explique facilement, sachant que ladite matière substituante est le résultat de la combinaison du chlore avec quelques principes de la matière colorante, et que le chlorozone ne blanchit que par l'action directe de l'ozone, qui constitue la partie prédominante de sa composition; le chlore n'y étant qu'en partie moindre, il se porte toujours sur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la base alcaline de la dissolution où il forme des sels solubles et, par conséquent, enlevables par le lavage.

Notons encore que l'introduction du chlorozone dans le blanchiment n'exige aucun changement du matériel existant. Le coût des appareils nécessaires pour la production du chlorozone ne dépasse pas une somme de 1,000 à 1,500 francs, et l'emplacement qu'ils demandent est de 5 mètres carrés environ au-dessus du niveau de la pile.

On supprime le réservoir à chlorure de chaux dont la dissolution devient désormais inutile.

La fabrication du chlorozone ne dure qu'une heure environ; elle est des plus simples et des plus faciles; chaque ouvrier peut la conduire.

M. LE PRÉSIDENT. Messieurs, au nom du bureau, je remercie ces Messieurs des renseignements exacts qu'ils nous ont donnés sur l'industrie intéressante de la fabrication des pâtes de papier. C'est une de celles qui ont pris naissance après la dernière Exposition à Paris, en 1867. Auparavant, il existait quelques petites fabriques, mais qui étaient peu connues; ce n'est qu'après l'Exposition de 1867 et l'exposition particulière de M. Flécot, l'inventeur de cette industrie, qu'elle a pris de grands développements dans presque tous les pays où il y avait les matières premières, le bois propre à faire ce papier et des forces motrices à bon marché, des chutes d'eau. C'est une des preuves, mais ce n'est pas la seule, que les Expositions universelles ne sont pas des expositions de luxe, comme on l'a quelquefois dit, mais qu'elles rendent bien, par le grand développement qu'elles donnent à l'industrie, les dépenses qu'elles entraînent. (Applaudissements.)

La parole est à M. Fontaine pour sa communication sur les moteurs domestiques.

COMMUNICATION

SUR LES MOTEURS DOMESTIQUES,

PAR M. FONTAINE,

INGÉNIEUR CIVIL.

Exposé.

M. Hippolyte FONTAINE. Messieurs, la machine à vapeur a exercé une immense influence sur les transactions commerciales et sur les progrès de l'industrie. C'est grâce à elle que la fabrication d'une foule d'objets est devenue plus économique, et que le bien-être matériel des masses s'est augmenté dans une grande proportion. Mais on peut reprocher à cette merveilleuse création d'avoir amené la centralisation manufacturière, c'est-à-dire une des causes les plus funestes au développement moral de la classe ouvrière.

Si l'on parvenait à fractionner la force motrice et à en introduire l'usage à domicile pour une foule d'industries, on aurait fait faire un grand pas à la question sociale: car tous les membres de la famille pourraient concourir au bien-être commun, dans la mesure de leurs forces et de leurs facultés; les enfants

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seraient moins exposés aux accidents, et la vie d'intérieur serait pour eux plus digne et plus calme que celle des manufactures.

Cette division du travail moteur produirait aussi d'excellents effets dans la couture mécanique, qui s'est si rapidement propagée, malgré les fatigues qu'elle occasionne à un grand nombre d'ouvrières.

Déjà bien des tentatives ont été faites, en Europe et en Amérique, pour doter la petite industrie d'un moteur spécial, pouvant s'installer dans le logement même de l'ouvrier; mais soit que le problème présentât de trop grandes difficultés, soit que les inventeurs n'eussent pas été suffisamment encouragés, le travail en chambre se fait encore presque exclusivement au moyen de la force musculaire des artisans.

Il y a là une situation regrettable qui mérite de fixer l'attention des ingénieurs, car elle n'est guère en rapport avec les progrès réalisés dans presque toutes les branches de l'activité humaine.

Personnellement, nous avons beaucoup médité sur cette question et nous croyons qu'une des causes qui ont retardé le plus la construction de bons appareils, c'est le bruit qui s'est fait autour des mauvais.

On a essayé des moteurs à ressorts, des moteurs électriques, des moteurs à air chaud, etc., et, en présence d'un insuccès complet, on est devenu extrêmement défiant et très peu disposé à tenter de nouvelles expériences. C'est donc un devoir de faire justice des pseudo-moteurs qu'on rencontre encore aux expositions, et d'indiquer aux inventeurs la meilleure direction à suivre dans leurs études, et aux acheteurs les appareils existants les plus convenables.

Tel est le but de notre communication.

Moteurs à ressorts.

Les mécanismes munis de ressorts, dont on rencontre plusieurs spécimens à l'Exposition, ne sont pas des moteurs proprement dits, car ils ne peuvent développer aucun travail par eux-mêmes. Ces appareils possèdent seulement la propriété de pouvoir emmagasiner une petite quantité de force motrice sous l'action d'un effort musculaire et de restituer ensuite cette force motrice dans des conditions toutes différentes de celles qui ont accompagné son emmagasinage. Ainsi, en agissant lentement, avec un effort assez considérable pendant un temps très limité, sur une manivelle, on accumule un certain travail qu'on peut utiliser pour actionner un petit arbre à mouvement rapide, s'arrêtant sous une faible résistance, mais pouvant tourner pendant un temps relativement long. Dans la couture mécanique, un appareil de cette nature présenterait l'avantage de remplacer les pédales par des manivelles, si le travail absorbé par les ressorts et les transmissions n'était pas trop considérable par rapport au travail total. Malheureusement, il n'y a qu'une faible partie du travail utilisé, et la fatigue éprouvée dans le remontage est loin d'être compensée par l'effet utile obtenu.

Quelques chiffres sont nécessaires pour bien fixer les idées.

Dans une lame d'acier agissant par flexion, on ne peut, sans dépasser la limite d'élasticité, emmagasiner qu'une certaine quantité de travail. Cette

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quantité varie naturellement avec la qualité et les dimensions du métal; mais, même en employant le meilleur acier connu, et en le réduisant à l'état de ressort de montre (ce qui est la condition la plus favorable pour l'emmagasinage du travail), on ne peut dépasser 40 kilogrammètres par kilogramme de métal.

Avec de l'acier Bessemer et des lames de ressort à l'usage des suspensions de voitures, le maximum est de 12 kilogrammètres; avec de l'acier fondu d'Essen et des ressorts de 8 centimètres de largeur sur 12 millimètres d'épaisseur, on peut atteindre 20 kilogrammètres.

En dépassant cette limite, on fatigue les ressorts outre mesure et leur élasticité devient rapidement insignifiante.

En 1862, M. Babcock, professeur de mécanique à New-York, après une série d'expériences très précises, était parvenu à emmagasiner 25 kilogrammètres dans un kilogramme d'acier, mais il conseillait de ne pas dépasser la moitié de ce chiffre.

Les progrès réalisés récemment dans la fabrication de l'acier permettent d'augmenter notablement la limite qu'on pouvait alors atteindre, et le chiffre de 20 kilogrammètres n'est nullement exagéré.

Supposons qu'on veuille emmagasiner le travail nécessaire pour faire marcher une machine à coudre pendant une heure et admettons que le travail de cette machine à coudre corresponde à 1 kilogrammètre par seconde, il faudrait, si l'appareil donnait 50 p. 0/0 d'effet utile, un ressort pesant $\frac{3,600 \times 2}{20} = 360$ kilogrammes. Et pour remonter ce ressort colossal, il serait nécessaire de développer 6 kilogrammètres par seconde pendant vingt minutes.

Le moteur Schreiber et Salomon, exposé dans la section autrichienne, va nous permettre de montrer combien notre évaluation de 50 p. 0/0 dans le rendement des appareils à ressorts est exagérée. (Nous n'avons, d'ailleurs, pris un coefficient si élevé que pour répondre à l'avance à cette objection qu'en diminuant les frottements, on pourrait faire un appareil pratique avec un faible poids de ressorts.)

Dans le moteur Schreiber et Salomon, il y a deux ressorts d'un poids total de 20 kilogrammes. Pour leur remontage complet, il faut faire 60 tours de manivelle. L'effort à exercer sur la manivelle est en moyenne de 3 kilogrammes pendant toute la course du ressort; la circonférence décrite par la manivelle est 75 centimètres.

Le travail total nécessaire au remontage est donc de $60 \times 3 \times 0,75 = 1,350$ kilogrammètres. A raison de 6 kilogrammètres par seconde, il peut être obtenu en quatre minutes environ.

Si donc, on n'avait rien perdu dans l'opération, on pourrait déjà critiquer l'appareil, en ce sens que chaque kilogramme d'acier contiendrait la quantité énorme de 67 kilogrammètres, c'est-à-dire plus du triple de ce qu'il est prudent de ne pas dépasser. Mais les frottements d'une vis sans fin et d'une série d'engrenages ont suffisamment protégé le ressort, et, en réalité, il n'est pas trop tendu, car, en revenant à son point de départ, il ne rend que 234 kilogrammètres, c'est-à-dire 17 p. 0/0 du travail dépensé.

La perte due au frottement et aux déformations du ressort est donc de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

87 p. o/o. Nous savons bien que la plupart des moteurs à vapeur, eu égard au travail mécanique réellement renfermé dans le combustible, n'ont pas un rendement supérieur, mais ils ne dépensent que du charbon, tandis que les moteurs à ressorts consomment de la force musculaire, c'est-à-dire la plus coûteuse et la plus précieuse de toutes les forces motrices.

Les ressorts du moteur autrichien ont pu élever un poids de 50 kilogrammes à 5 mètres, ce qui donne 250 kilogrammètres ou 18 p. o/o de rendement, mais c'est là l'extrême limite de leur efficacité.

Les détails qui précèdent sont rigoureusement exacts, et ne sont pas d'ailleurs contestés par MM. Schreiber et Salomon. On peut en voir la confirmation dans une brochure de M. Rudinger, professeur de l'École polytechnique de Vienne, brochure que les exposants nous ont remise quand nous avons examiné et essayé leurs appareils.

Il résulte de là que toutes les fois qu'un inventeur de moteurs à ressorts déclare qu'en remontant son appareil pendant quelques minutes, cet appareil est ensuite capable de faire de la couture pendant une heure, on peut affirmer que l'effet produit ne correspond qu'à quelques centièmes de kilogrammètre et ne convient nullement pour un travail de famille un tant soit peu sérieux.

Un appareil emmagasinant un peu de force motrice peut sans doute avoir quelques applications; ainsi dans des travaux très intermittents de couture, l'ouvrière pourrait tourner, de temps à autre, une manivelle sans arrêter son travail; un dentiste pourrait actionner une petite perceuse tout en conservant, pendant le perçage, la liberté de ses mouvements, etc. etc.

Mais alors il est inutile de chercher la solution du problème dans une machine à ressort; il serait très préférable d'employer tout simplement un poids que l'on remonterait beaucoup plus facilement qu'un ressort et qui restituerait une plus grande partie du travail dépensé. Avec un poids de 100 kilogrammes élevé à 3 mètres, on aurait un accumulateur très économique et moins susceptible de se détériorer. Il est bon de remarquer que la couseuse autrichienne pèse 80 kilogrammes et qu'elle n'est pas plus transportable que ne le serait une potence avec contrepoids.

En résumé, pour les travaux continus, exigeant environ 1 kilogrammètre par seconde, l'emploi des appareils à ressorts ne vaut absolument rien, et pour les petits travaux intermittents, n'exigeant qu'une force motrice plus minime encore, il vaut mieux employer des poids que des ressorts.

Moteurs électriques.

Nous serons très bref, car on ne rencontre pas à l'Exposition actuelle une aussi grande quantité de moteurs électro-magnétiques que dans les Expositions précédentes, et les appareils exposés ne sont que des réminiscences des inventions de MM. Jacobi, Larmanjat, Breton, Roux, etc. etc., qui avaient si vivement appelé l'attention en 1855.

Il y a bien par ci par là quelques dispositions originales dans les détails, mais, à part la machine Gramme, à fonction renversée, on ne peut rien si-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gnaler de saillant, rien qui soit susceptible de faire avancer d'un seul pas la question des moteurs domestiques électriques.

Les inventeurs intelligents qui, naguère encore, s'occupaient du perfectionnement de ce genre d'appareil ont abandonné leurs recherches dès qu'il a été dûment constaté qu'avec une faible dépense de force motrice on pouvait produire une grande quantité d'électricité. Ils se sont dit, avec beaucoup de raison, que toutes leurs combinaisons, fussent-elles à la fois ingénieuses, simples et économiques de construction, ne parviendraient jamais à produire un travail moteur utilisable dans l'industrie sans grandes dépenses d'électricité. Il suffit, en effet, de savoir qu'une machine magnéto-électrique, actionnée par un seul homme, développe autant d'électricité que 6 éléments Bunsen de 20 centimètres de hauteur, nouvellement chargés, pour conclure qu'il faudra toujours avoir plus de 6 éléments Bunsen à sa disposition lorsqu'on voudra actionner une machine de la force d'un homme.

La machine Gramme a été imaginée pour transformer le travail mécanique en électricité, mais elle est réversible, c'est-à-dire qu'elle peut également transformer l'électricité en travail, et comme elle n'a ni commutateur inverseur de courants, ni bielle, ni manivelle, ni point mort, comme son effet est continu et qu'on peut faire passer les pôles magnétiques inducteurs excessivement près des bobines induites, cette machine constitue un très bon moteur électro-magnétique.

A la suite d'une série d'expériences exécutées avec cette machine et d'autres moteurs électriques, nous avons reconnu qu'avec un courant donné, elle produisait un travail double de celui obtenu avec le meilleur des autres systèmes et que le maximum de travail mécanique engendré par une pile Bunsen était de 1 kilogrammètre par seconde avec 3 éléments, 6 kilogrammètres avec 8 éléments et 9 kilogrammètres avec 12 éléments. Nous avons également reconnu qu'on peut, sans s'écarter trop de la vérité, considérer le travail mécanique de 1 kilogrammètre par seconde comme l'équivalent d'un élément Bunsen de 0,20, et prendre, pour coefficient de rendement de la machine Gramme, 0,75 dès que l'on atteint la force de 6 kilogrammètres, et cela, soit qu'on transforme l'électricité en travail, soit qu'on transforme le travail en électricité.

La dépense occasionnée par un élément Bunsen s'élève, tous frais compris, à 10 centimes par heure; pour obtenir 10 kilogrammètres par seconde, il faudrait donc dépenser $\frac{0^f10 \times 10}{0,75} = 1$ fr. 33 cent. par heure.

Si, comme dans les expériences faites par M. Edmond Becquerel, on ne tenait compte que du zinc dissous, la dépense serait évidemment moins forte, mais elle serait encore considérablement plus grande que celle occasionnée par les autres sources de force motrice.

Est-il nécessaire, en présence de ces chiffres, de parler des inconvénients de la manipulation d'une pile, des dangers qu'elle présente dans un ménage, de son odeur insupportable, etc. etc.? Nous ne le croyons pas, et, d'ailleurs, puisque les inventeurs renoncent d'eux-mêmes à la lutte, il est inutile d'insister davantage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La seule application judicieuse qu'on puisse faire des machines magnéto-électriques réversibles consiste dans le transport des forces à distance. Pour obtenir ce résultat, il suffit d'actionner une première machine magnéto-électrique par un moteur quelconque et d'envoyer le courant produit dans une deuxième machine qui devient moteur à son tour. La transmission se compose simplement d'un petit câble en cuivre, protégé par une enveloppe isolatrice qu'on peut enterrer si on le désire et auquel on peut faire suivre des contours quelconques. Lorsqu'on se sert de machines Gramme, le rendement, après la double transformation, est d'environ 50 p. o/o du travail initial. On peut voir, classe 54, une presse typographique et un ventilateur mus de cette manière, et se rendre compte de la simplicité d'une pareille installation.

Emploi de l'eau en charge.

Dans les villes ayant des distributions d'eau, on peut utiliser les moteurs hydrauliques pour le travail en chambre. De prime abord, cette solution séduit beaucoup; elle paraît même être plus simple, plus pratique, plus rationnelle que toutes les autres. En fait, elle n'est guère supérieure à celles dont nous venons de parler, car il y a très peu de villes où l'eau soit assez abondante pour assurer convenablement les services prévus lors des installations; et il ne faut pas établir des forces motrices qui dépensent énormément d'eau au détriment des usages courants publics et particuliers.

La pression, d'autre part, varie beaucoup d'un quartier à l'autre, et l'installation d'un moteur hydraulique dans une chambre n'est pas sans amener de petits ennuis : l'humidité, la gelée, les arrêts forcés provenant des réparations dans la canalisation ou du manque d'eau, etc., nous en passons et des plus graves.

Mais, encore ici, c'est la question économique qui domine le débat; et, comme les prix de l'eau en charge sont variables suivant les localités et l'importance des concessions, nous prendrons pour exemple dans nos calculs la ville de Paris, qui, d'une part, est dotée d'un bon service d'eau, et qui, d'autre part, possède une foule d'industries basées sur le travail en chambre.

La pression de l'eau à Paris atteint 40 mètres dans les parages de la Seine, et 10 mètres seulement dans les quartiers élevés. Dans plus de la moitié des maisons, l'eau ne peut s'élever jusqu'aux étages supérieurs.

Le prix, pour l'eau de la Dhuys et de la Seine, est de 33 centimes le mètre cube lorsque le débit ne dépasse pas 5 mètres cubes par jour; 27 centimes de 5 à 10 mètres cubes; 22 centimes de 10 à 20 mètres cubes. L'eau de l'Ourcq coûte moitié moins cher, mais elle n'a pas une pression suffisante pour être utilisée comme force motrice.

En admettant une charge moyenne de 20 mètres et un rendement de 60 centimètres pour le moteur, la quantité d'eau nécessaire pour développer un travail mécanique de 6 kilogrammètres par seconde sera de 1,800 litres à l'heure et de 18 mètres cubes en dix heures. La dépense quotidienne atteindra 4 francs par jour.

La plupart des villes de France étant dans des conditions inférieures à Paris, au double point de vue du prix de revient de l'eau et de l'importance de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

petite industrie, il est inutile de multiplier les exemples pour démontrer que l'eau en charge, amenée à grands frais ou élevée par des machines spéciales pour l'alimentation des villes, n'est nullement économique lorsqu'on veut l'utiliser comme force motrice.

Il y a cependant des cas où elle peut rendre des services; ainsi, pour la manœuvre des ascenseurs et des monte-plats, chaque fois que le travail est très intermittent, ou bien lorsqu'on peut utiliser l'eau après l'avoir fait passer par le moteur. Enfin, il existe des villes où l'eau a une haute pression, où elle se vend à un prix modéré. Par exemple, à Lille, l'eau ne coûte que 7 centimes le mètre cube et possède une pression moyenne de 30 mètres; en Suisse, la plupart des villes sont largement pourvues d'eau en charge, etc. Il y a donc lieu d'examiner quels sont les moteurs qui conviennent le mieux pour ces applications. L'Exposition en contient cinq qui ont chacun leurs avantages: ce sont ceux de MM. Schmid, Wyss, Coque, de Pezerat et Turner.

Le moteur Schmid est des plus ingénieux; il se compose d'un bâti dans l'intérieur duquel se trouvent ménagés les conduits d'entrée et de sortie de l'eau, d'un cylindre oscillant, d'un arbre coudé, d'un récipient d'air et de deux flasques longitudinales. Le contact du cylindre sur son siège de distribution est facile à régler, ce qui permet d'établir un joint convenable sans frottement exagéré.

Les appareils Schmid sont assez répandus, près de 300 fonctionnent en Suisse et une vingtaine à Lille. Leur prix est peu élevé, leur marche si régulière, qu'à Lille, la Compagnie des eaux les accepte comme compteurs; il suffit alors d'y adjoindre un totalisateur indiquant le nombre de tours.

Le moteur Coque, qui figure dans l'exposition de M. Bourdon, ressemble en principe aux machines à vapeur verticales. L'eau est mise en communication avec les deux côtés du piston au moyen d'un petit tiroir, et le mouvement du piston est transmis à l'arbre par une bielle et une manivelle. Ce moteur est également muni d'un réservoir d'air qui amortit le choc occasionné par les changements de vitesse et absorbe le travail en excès pendant que la vitesse est à son maximum pour le restituer pendant la période inverse.

Le moteur Pezerat est à cylindre oscillant et à distribution par robinet. Une coulisse permet de régler la course du piston et par suite l'intensité du travail suivant la pression de l'eau et les besoins de l'atelier.

Le moteur Turner est également à cylindre oscillant et à distribution par robinet, mais il diffère du précédent par son agencement général et par l'addition d'un récipient d'air.

Le moteur Wyss se compose essentiellement d'une petite turbine bien ajustée dans son enveloppe et bien étudiée au point de vue de l'effet utile.

Nous ne signalons cet appareil qu'à cause de sa bonne construction, car le plus petit modèle exposé développe 30 kilogrammètres, c'est-à-dire une force trop considérable pour un travail de chambre.

Sous le bénéfice des considérations qui précèdent, nous dirons que le moteur Schmid est, à tous les points de vue, celui qui convient le mieux pour l'utilisation de l'eau en charge des villes, lorsqu'il s'agit de développer un travail de 3 à 20 kilogrammètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Petits moteurs à vapeur.

Si nous passons maintenant à l'examen des moteurs à vapeur, nous remarquons tout d'abord que, parmi les mécaniciens qui ont cherché la solution du moteur domestique dans l'emploi de la vapeur, beaucoup ont limité leurs études au récepteur, sans se préoccuper du générateur. C'est pourquoi les appareils exposés sont généralement médiocres. On ne voit guère que des machines à grande consommation, ou des combinaisons chimériques : les turbines à vapeur et la machine rotative dominent. Nous en avons vu une qui produisait 9 kilogrammètres par seconde à la vitesse insensée de 3,000 tours à la minute.

Nous n'avons à vous signaler que deux moteurs complets, l'un exposé classe 54, dans la galerie des machines, et l'autre dans l'annexe des pompes sur les berges de la Seine.

Le premier est un moteur vertical qui mesure, recepteur et chaudières réunis, 30 centimètres de diamètre et 80 centimètres de hauteur. Il est chauffé au moyen du gaz d'éclairage.

Le générateur est formé d'un corps cylindrique, d'une boîte à fumée placée à l'intérieur, au milieu de la hauteur, et d'un faisceau tubulaire en cuivre. Le gaz se consume dans 24 brûleurs Bunsen, et les produits de la combustion, après s'être élevés dans les tubes jusqu'à la boîte à fumée, redescendent le long d'un bouilleur central pour se rendre à la cheminée. Celle-ci est reliée à la chaudière par un tuyau horizontal, ce qui permet de l'éloigner plus ou moins du générateur.

Le gaz, arrivé à un robinet placé à la partie supérieure de la chaudière, traverse un régulateur et se rend aux brûleurs par un tuyau vertical.

Le régulateur possède un tube plissé, fixé directement sur la chaudière et agissant, comme une véritable soupape, de bas en haut pour intercepter le passage du gaz. Lorsqu'on chauffe l'appareil et que la vapeur atteint sa pression normale, l'écoulement du gaz se proportionne automatiquement à la dépense de vapeur et aux pertes de chaleur dues au rayonnement. En d'autres termes, si l'on ne fait pas tourner la machine, la longueur des flammes est presque nulle et le peu de gaz qui brûle ne fait que maintenir la pression à son maximum; au contraire, si la machine fonctionne, les flammes s'allongent et la consommation du gaz suffit au renouvellement de la vapeur employée. Mais qu'on marche ou qu'on reste en repos, la tension de la vapeur ne peut jamais, en aucun cas, dépasser la limite fixée d'avance par le constructeur. Le régulateur remplit l'office d'une soupape de sûreté avec cette différence qu'au lieu d'agir sur l'effet, en livrant passage à un excès de vapeur, il agit sur la cause en empêchant toute vapeur en excès de se former.

L'appareil ne s'alimente pas pendant la marche, la chaudière contient l'eau nécessaire pour fournir 6 kilogrammètres pendant quatre heures. Après chaque période de quatre heures, on renouvelle l'eau. La consommation de gaz est de 130 litres par kilogrammètre et par heure.

La machine fonctionne sans bruit; sa marche est très régulière.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Elle était destinée sans doute à un certain succès, si, d'une part, l'inventeur, poursuivant ses études, eût substitué le charbon au gaz pour le chauffage en combinant un régulateur pour l'introduction progressive de l'air comburant, et si, d'autre part, l'Administration n'eût exigé qu'on installât sur sa microscopique chaudière tous les appareils de sûreté : soupapes, niveaux d'eau, robinets de jauge, etc., imposés aux chaudières ordinaires.

L'inventeur protesta en disant qu'il n'y avait aucune comparaison à établir entre les puissants générateurs et l'humble bouillote destinée à actionner une machine à coudre; que, puisque la pression ne pouvait jamais dépasser la limite fixée et qu'on n'alimentait pas en marche, les soupapes et les niveaux d'eau étaient sans utilité. Rien n'y fit; l'ordonnance de 1855 était là, il fallut se soumettre. Or, il arriva que la chaudière était si menue qu'on ne put y fixer tous les appareils de sûreté exigés, ou que ceux-ci étaient si petits, si petits, qu'ils fonctionnaient excessivement mal.

Notre inventeur interrompit donc ses travaux, et son moteur est aujourd'hui ce qu'il était en 1872, à l'Exposition de Lyon, un joli spécimen de petite machine à vapeur, ni plus ni moins.

Cela est regrettable, car avec un peu de tolérance administrative et un supplément d'études dans les détails, la petite industrie eût possédé un bon outil.

Le moteur exposé sur les berges de la Seine est assez volumineux; il est loin d'être étudié aussi minutieusement et construit avec autant de précision que le précédent, mais il a l'avantage d'être chauffé au charbon et de n'être alimenté d'eau et de combustible que pendant les arrêts.

On emplit la chaudière d'eau et le foyer de charbon, on allume le feu, et l'appareil fonctionne deux heures sans surveillance ni danger.

Il y a là le germe d'un moteur pratique et nous souhaitons que l'inventeur, M. Saive, puisse le féconder.

Moteurs à gaz.

Il nous reste à examiner les moteurs à gaz et à constater tout d'abord qu'ils ont fait de grands progrès depuis quelques années.

Ces moteurs offrent aujoud'hui la meilleure solution pratique pour le travail en chambre et la petite industrie.

Trois d'entre eux, exposés dans la galerie des machines, ont déjà fait leurs preuves : nous voulons parler des moteurs Hugon, Langen et Otto, et de Bischopp.

Malgré leurs qualités exceptionnelles, nous ne parlerons pas des nouveaux moteurs Otto et Simon, parce que, jusqu'à ce jour, il n'en a pas été construit d'assez petits.

Le moteur Hugon, de 15 kilogrammètres, est à double effet, l'explosion se faisant alternativement sur chacune des faces de son piston. Il exige un espace de $1^{m},70$ sur $1^{m},50$, ce qui est assez considérable. Sa dépense est d'environ 500 litres de gaz et 100 litres d'eau à l'heure.

Il fait peu de bruit, fonctionne régulièrement et coûte 1,200 francs.

Plusieurs moteurs Hugon sont en usage en France et à l'étranger depuis une dizaine d'années et partout ils donnent satisfaction aux acquéreurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous ne pouvons leur reprocher que leur prix, qui est encore trop élevé pour les ouvriers, et leurs dimensions un peu exagérées.

L'appareil Langen et Otto, qui a été si remarqué à l'Exposition de 1867, produit le travail moteur d'une façon toute différente.

Au lieu d'être horizontal, il est vertical et l'explosion a lieu sur un piston libre. Cette explosion sert seulement à soulever le piston et à créer derrière celui-ci une raréfaction d'air, en vertu de laquelle la pression atmosphérique 700 agit au retour pour développer le travail effectif.

Le plus petit modèle produit 18 kilogrammètres avec 350 litres de gaz et 100 litres d'eau à l'heure. Les dimensions sont de 900 millimètres sur millimètres, son prix est de 1,500 francs.

L'avantage de ce système est d'avoir une détente libre permettant au gaz de sortir à une faible pression et à une basse température, ce qui se traduit par une faible consommation de gaz. Malheureusement, cette expansion libre du piston n'a pu être obtenue qu'au moyen d'une crémaillère, d'un pignon et d'un déclic qui, non seulement occasionnent un bruit très désagréable de ferraille, mais entraînent à de fréquentes réparations.

Le moteur Bischopp se distingue des précédents par cette particularité, qu'il permet de fractionner beaucoup plus le travail : les trois types existants correspondent, en effet, aux forces de 3, 6 et 25 kilogrammètres.

Le système appartient à la classe des moteurs à gaz verticaux, qui utilisent l'explosion à l'ascension du piston. Le mélange explosif est cantonné au bas du cylindre, et il existe entre ce mélange et le piston une sorte de matelas d'air qui se chauffe et se comprime pendant l'explosion, pour se refroidir et se détendre immédiatement après.

L'inventeur, préoccupé de faire un appareil simple et facile à conduire, s'est surtout attaché à perfectionner les organes d'émission et d'admission, et il a combiné une transmission de mouvement latérale fort ingénieuse, lui permettant de donner à la course du piston une longueur convenable sans élever démesurément le centre de gravité de l'appareil.

Le moteur Bischopp est à simple effet, en ce sens que le gaz n'agit que pendant la course ascendante; cependant le vide partiel qui s'opère en sens inverse facilite la régularité du mouvement et évite un volant trop pesant.

Mais les qualités essentielles de cet appareil sont surtout la suppression de l'eau pour le refroidissement et la suppression du graissage du piston et du tiroir. Le refroidissement s'opère par des surfaces rayonnantes en fonte représentant cinq fois la surface extérieure du cylindre.

Le piston et le tiroir sont équilibrés et étudiés de telle sorte qu'ils peuvent fonctionner sans gripper dans un milieu fortement chauffé.

Grâce à la suppression du graissage du piston et du tiroir, ces organes ne s'encrassent jamais, et ce moteur peut fonctionner jour et nuit sans interruption ni surveillance.

Dans une application réalisée au mois de mai de l'année dernière, pour l'étamage des tuyaux en fer, un moteur Bischopp a marché seul, sans qu'on y touchât, pendant quarante-sept jours et quarante-sept nuits, c'est-à-dire jusqu'à l'achèvement du travail à effectuer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

C'est là un fait extrêmement remarquable, qu'aucune machine connue n'eût pu réaliser.

Le type de 6 kilogrammètres dépense 330 litres de gaz à l'heure, ce qui, à Paris, correspond à une dépense d'environ 10 centimes. Il coûte 500 francs.

Nous ne décrirons ni les moteurs à air chaud ni les moteurs à pétrole, aucun d'eux n'ayant donné de bons résultats pour les mêmes travaux. Nous signalerons seulement les moteurs Brayton et Rider, comme étant les appareils les plus perfectionnés, dans ce genre, pour la petite industrie.

Notre conclusion ressort clairement de l'examen auquel nous venons de nous livrer. Dans l'état actuel des choses, nous croyons qu'il faut conseiller aux acheteurs l'emploi des petits moteurs à gaz, et aux chercheurs l'idée d'un petit moteur à vapeur chauffé avec du charbon et muni d'un régulateur automatique de combustion. (Applaudissements.)

M. Tresca. Messieurs, quelque diligence que nous ayons faite, il nous reste bien peu de temps à consacrer à la communication pour laquelle je donne la parole à M. Bourdin. Je le prierai donc d'exposer en quelques mots les considérations générales qu'il voulait développer, d'autant plus que moi-même j'aurai ensuite besoin de faire appel, pendant un moment, à votre indulgence, pour vous présenter les résultats généraux du Congrès.

Nous demandons, en conséquence, à M. Bourdin de vouloir bien être aussi bref que possible.

COMMUNICATION DE M. BOURDIN.

M. Bourdin. Il me sera d'autant plus facile d'être court que M. Fontaine vient de passer en revue, d'une façon aussi complète que possible, la plupart des petits moteurs admis à l'Exposition. J'ajoute que M. Fontaine est lui-même l'auteur d'une jolie petite machine à vapeur qui répondait à la tendance de domestication, pour ainsi dire, de la machine à vapeur. Je m'associe complètement aux regrets que tout le monde éprouve de voir que cette machine n'ait pu être répandue, par suite des empêchements qu'y a apportés l'Administration.

Je crois, comme M. Fontaine, que les machines à gaz, le moteur Bischopp en particulier, sont appelés à un très grand succès, attendu qu'elles suppriment complètement toute production de force de la part de l'ouvrière qui se sert continûment de la machine à coudre, et dont la santé serait certainement compromise par des machines qui absorbent souvent 3 ou 4 kilogrammètres par seconde. Mais il y a dans l'industrie une foule de machines pour lesquelles on cherche des moteurs et toutes n'en ont pas vraiment besoin. Je citerai notamment les petites machines à coudre des lingères qui n'absorbent qu'une fraction de kilogrammètre par seconde. Il est plutôt utile de chercher à perfectionner les appareils servant à produire ces fractions de kilogrammètre au moyen de la force musculaire. Il est bon d'exercer la force musculaire, Messieurs, et non pas de la supprimer complètement. Tous les jours on conseille aux gens de faire un peu d'exercice pour se bien porter. Faire de l'exercice, c'est produire des kilogrammètres. Il importe, par contre, de ne pas

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dépasser la quantité de kilogrammètres que comporte un exercice hygiénique, comme, par exemple, la promenade à pied.

Quelle est donc la quantité de kilogrammètres qu'on dépense dans la promenade à pied et quelle quantité en absorbent certains outils? Nous ne parlons ici que des outils qui sont employés par les femmes. Je me suis livré à des recherches à cet égard; j'ai consulté les livres. Il en est un, entre autres, que nous avons tous entre les mains et qui, en fait d'erreurs, contient quelques énormités. Je veux parler de l'*Aide-mémoire* de Claudel. C'est un peu notre faute à tous, Messieurs, nous nous en servons depuis notre enfance; nous aurions dû faire rectifier ces erreurs depuis longtemps. Ainsi, je trouve à la page 15 de ce livre, édition de 1877, le tableau des quantités de travail moyennes et journalières produites par les moteurs animés dans diverses circonstances.

M. Tresca. Ne pensez-vous pas, Monsieur, que la question qui est à l'ordre du jour est exclusivement celle des moteurs domestiques et non pas une digression théorique et pratique sur les différentes quantités de travail qu'il est possible d'obtenir de la force musculaire?

Je vous demande pardon de vous presser un peu, mais nous sommes nous-mêmes pressés.

M. Bourdin. Monsieur le Président, quand j'ai demandé, dans la section, la parole sur les moteurs domestiques, j'ai indiqué que c'était pour compléter l'étude à laquelle on doit soumettre ces moteurs, en examinant la question de savoir si l'on peut employer, sagement et sans danger pour la santé, une partie des forces musculaires qu'il est nécessaire aux ouvriers et aux ouvrières de dépenser pour se bien porter. Je crois que traiter ainsi cette question des moteurs, c'est l'éclaircir, et c'est pourquoi j'ai fait quelques recherches sur la quantité de kilogrammètres que la force humaine peut produire sans danger.

On lit donc, à la page 15 du livre de Claudel, qu'un homme qui se promène produit 97 kilogrammètres et demi à la seconde, c'est-à-dire presque autant qu'une machine à vapeur de la force d'un cheval et demi. Or, il résulte des expériences qui me sont personnelles, que les femmes de taille moyenne, pesant de 50 à 60 kilogrammes, n'oscillent verticalement en marchant que de 14 à 16 millimètres; en supposant une vitesse maxima de deux pas à la seconde, nous trouvons un maximum qui varie entre $1^{kgm},40$ par seconde et $1^{kgm},92$, selon la taille et le poids de l'ouvrière. J'ai fait aussi des expériences sur la quantité de kilogrammètres absorbé par les machines à coudre Howe, Wheeler, Peugeot et Reimann, qui sont très répandues et connues de tout le monde. J'ai mesuré, aussi exactement que je l'ai pu, cette quantité, et pour cela, il faut employer une unité spéciale, le grammètre, c'est-à-dire la quantité de force nécessaire pour élever un gramme à un mètre de hauteur. J'ai fait le calcul par point de couture. La machine Wheeler et Wilson absorbe 40 grammètres et fait 10 points de couture à la seconde; la machine Peugeot absorbe 80 grammètres et fait 7 points; la machine Howe absorbe 120 grammètres et fait également 7 points dans le même espace de temps; la machine Reimann absorbe 65 grammètres et fait, comme la Wheeler, environ 10 points

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la seconde. Vous voyez que nous n'arrivons pas même au kilogrammètre à la seconde, pour un très bon travail de couturière. Avec 10 points à la seconde, on arrive à faire 36,000 points à l'heure, c'est-à-dire environ 36 mètres de couture, payés en moyenne 2 ou 3 centimes; c'est un travail très rémunérateur et environ décuple de celui que ferait l'ouvrière si elle n'avait que son aiguille.

On reproche beaucoup de choses aux machines à coudre actuelles; je crois que les plus grands inconvénients qu'on leur impute tiennent aux défauts du barotrope, l'instrument à pédales qui sert ordinairement à les faire marcher. Cet instrument absorbe en résistances passives (voir l'*Aide-mémoire* de M. le général Morin, édition 1871) environ 3 kilogrammètres. On ne peut produire que 6 kilogrammètres par seconde avec un barotrope mû par un homme, et M. le général Morin déclare qu'au bout de quatre heures de ce travail, des hommes, même très exercés, se trouvent fatigués.

En présence de ce peu d'effet utile et de cette fatigue, j'ai cherché quels étaient les défauts du barotrope. Était-ce à ces défauts qu'il fallait attribuer tous les inconvénients qu'on a allégués pour les machines à coudre? On a dit, par exemple, qu'elles rendaient les femmes malades; on a donné à cet égard plusieurs explications, et je ne puis m'empêcher de trouver qu'en général on s'est contenté d'explications bien légères. — On a prétendu que la manœuvre de l'instrument, entraînant le frottement des jambes l'une contre l'autre, était extrêmement malsaine. On a alors imaginé un barotrope encore plus mauvais que l'autre, car il oblige à tenir les jambes dans une position d'immobilité relative qui est des plus pénibles. Là n'était pas la raison; car, lorsqu'on marche, il se produit aussi un frottement des jambes: ce n'est donc pas la friction qu'il faut accuser.

Est-ce la trop grande quantité de kilogrammètres absorbés? C'est possible; car, avec des barotropes mal faits, une machine peut exiger 3 à 4 kilogrammètres par seconde; c'est une trop grande dépense de force pour une ouvrière. La limite qu'indiquait M. Fontaine, celle d'un kilogrammètre à un kilogrammètre et demi, ne devrait pas, en réalité, être dépassée; c'est à peu près, comme je le disais tout à l'heure, ce que donne la promenade hygiénique. Le barotrope ordinaire, celui qui fonctionne au moyen d'une bielle et d'une manivelle, a, selon moi, un énorme inconvénient sur lequel j'appelle l'attention du Congrès.

La bielle et la manivelle sont des organes mécaniques d'une simplicité admirable lorsqu'il s'agit d'emmagasiner dans un volant le travail du piston d'une machine à vapeur. En est-il de même lorsqu'il s'agit d'emmagasiner des efforts musculaires? Évidemment non, car, si nous sommes à 10 ou 15 degrés du point mort, le peu d'espace parcouru par la tête du piston donne il est vrai peu de travail, mais en revanche dépense peu de vapeur; dans le cas d'une pédale ordinaire au pied, au contraire, si l'on fait un effort musculaire à 10 ou 15 degrés du point mort, le travail recueilli par le volant est insignifiant, la dépense dynamique de l'ouvrier est tout aussi considérable que s'il y avait un espace notable parcouru, tout le travail produit a été employé au massage des chairs; il y a *fatigue*, comme cela arrive toutes les fois que la résistance d'une machine est supérieure momentanément à la puissance de l'ouvrier.

L'habileté des gagne-petit, des vélocipédistes, des tourneurs de roues, ha-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bileté qui ne s'acquiert que par une longue habitude, consiste à ne contracter leurs muscles qu'au moment où la manivelle est presque perpendiculaire au diamètre qui passe par les points morts et à soutenir au contraire le pied dans les moments où la composante tangentielle est égale ou inférieure au frottement produit par la composante normale.

Je serais bien heureux, en vérité, mes chers collègues, si je trouvais parmi vous un certain nombre d'alliés qui voulussent bien se joindre à moi. Nous demanderions peut-être à notre bienveillant Président de nous prêter son concours au Conservatoire des arts et métiers, pour que nous puissions faire ensemble quelques expériences sur la façon dont les kilogrammètres sont recueillis par le barotrope. Il y a des appareils récents, très ingénieux; par exemple celui de M. le Dr Marey, qu'il a nommé les *semelles exploratrices*, avec lequel on peut mesurer facilement l'effort fait par telle ou telle partie du pied. On peut enregistrer tout cela et je crois que la conclusion à laquelle nous arriverions sera celle-ci: qu'il faut renoncer au barotrope à manivelle pour adopter le barotrope à encliquetage.

J'ai apporté ici deux spécimens de barotropes, de mêmes dimensions à peu près; l'un est un barotrope à encliquetage adopté et construit par moi; l'autre, un barotrope ordinaire, celui de MM. Wheeler et Wilson: tous les deux servent à faire marcher une machine à coudre identique. On peut, à la première inspection, en mettant le pied sur la machine, sentir déjà la différence. Mais je crois qu'il y a lieu de faire des expériences tout à fait sérieuses et consciencieuses. Pour cela, il est bon d'être plusieurs, c'est le meilleur moyen de ne pas se tromper. Si donc M. le Président n'y voit pas d'inconvénient, je ferai appel à ceux de nos collègues de bonne volonté qui voudront bien faire ce petit travail, qui pourra être communiqué avec le rapport fait par M. Fontaine, rapport extrêmement intéressant et lumineux. J'espère arriver à démontrer à la Commission, ce qui était ma conclusion, qu'il faut renoncer au barotrope à manivelle, parce que le pied y est condamné à une cadence et à un mouvement qui ne sont pas ceux du pied, soit dans la marche ordinaire, soit dans l'ascension d'un escalier, etc. Dans ces mouvements ordinaires, l'éloignement de la semelle par rapport au centre de gravité est essentiellement uniforme; le corps cherche d'instinct à éviter les variations de puissance vive, aussi les meilleurs marcheurs sont-ils ceux qui sautent le moins en marchant; et les personnes qui souffrent le moins en montant un escalier sont celles dont le corps subit le moins d'oscillations verticales. Il est donc nécessaire, pour les machines à coudre, de vérifier exactement la cause du mal, qui tient, je crois, à la mauvaise disposition des pédales. Il y a là une question très importante à résoudre, et vous avez, Messieurs, toute compétence pour en faire l'étude. Les médecins, à qui l'on renvoie généralement cette question, sont trop complètement étrangers aux mesures dynamométriques et à la notion du kilogrammètre pour en trouver la solution; je dois sans doute faire exception pour le Dr Marey; mais enfin ces connaissances ne sont pas communes dans le corps médical, et je suis convaincu que c'est la Société des ingénieurs civils qui a le plus de compétence pour juger cette question, et, quand on est compétent, il ne faut pas reculer devant un avis à donner. (Applaudissements.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. LE PRÉSIDENT. Je remercie les orateurs que le Congrès vient d'entendre, pour les éclaircissements qu'ils nous ont donnés sur le sujet des moteurs domestiques, qui touche à une des graves questions sociales de notre temps, puisque c'est seulement par là que la petite industrie peut lutter contre la grande. On connaît l'importance morale et sociale qu'il y a à soutenir la petite industrie, et nous espérons bien que les renseignements précieux qui viennent de nous être fournis serviront utilement cette cause. (Applaudissements.)

La parole est à M. Tresca.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLÔTURE DU CONGRÈS.

ALLOCUTION DE M. TRESCA, PRÉSIDENT.

M. Tresca. Messieurs, par une suite de circonstances fortuites, j'ai été appelé à accepter l'honneur que vous avez bien voulu me faire en me demandant de prendre la présidence de votre Congrès. Je ne l'aurais fait en aucune façon, si je n'avais su pouvoir compter sur les avis et sur la bienveillance de mes amis, MM. Couche, Duverger et Surell, entre autres, qui, comme moi, faisaient partie de la Commission officielle des Congrès, et surtout si je n'avais su pouvoir compter sur l'aide bienveillante de mes autres amis, MM. Mangon et Trélat; si enfin M. Boulé, ingénieur en chef des ponts et chaussées, n'avait pas promis, n'avait pas offert de donner aussi ses soins à cette entreprise.

Et cependant il n'y avait pas tant à s'effrayer; il m'a semblé que les choses avaient marché d'elles-mêmes et qu'en définitive ce qu'il y avait de mieux à faire était de rester complètement à l'écart. Vous avez vu que, grâce aux soins que chacun a pris, nous sommes arrivés à un certain résultat qu'il me faut maintenant rappeler; et, aujourd'hui qu'il s'agit de résumer toutes vos discussions, je sens tout le poids de la responsabilité que j'ai prise et je vous demande votre indulgence pour les quelques mots que j'ai à vous dire à ce sujet.

Ce n'est pas la première fois que l'on a cherché à réunir les hommes de science et les ingénieurs pour conférer ensemble pendant les Expositions.

Nous assistons aujourd'hui à la sixième Exposition internationale, et cette même entreprise a été tentée sans succès cinq fois; c'est donc complètement à votre bienveillance, à votre activité, à la présence de nos collègues étrangers que l'on doit attribuer le succès que nous avons eu cette fois et dont je me propose de passer en revue les différents éléments.

Le mot Congrès était un peu ambitieux pour des discussions dans lesquelles nous n'avions qu'à causer de nos préoccupations habituelles, et il était bien entendu tout d'abord que nous n'avions pas la prétention de prendre des décisions; dans les sujets qui nous occupent, c'est le temps et l'expérience qui font la lumière, et, par conséquent, tout ce que nous avions à faire, c'était d'écouter les communications de tous nos collègues et de nous borner à en tirer profit. Quelles sont les causes des insuccès que, dans la même direction, on a rencontrés dans les précédentes Expositions? Il y en a une principale qui aurait pu nous faire sombrer aussi,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

c'est que les étrangers qui viennent à Paris, les ingénieurs qui veulent étudier l'Exposition, les industriels qui y ont apporté leurs produits et qui ont à les faire valoir, sont tous occupés ailleurs; le grand attrait de l'Exposition, c'est le Champ de Mars, et ce ne pouvait être la tranquille discussion de nos séances du Trocadéro. Il a fallu que M. le Ministre de l'agriculture et du commerce prît en main la question d'un peu haut et que nous ayons pu profiter de la publicité qui avait été donnée à son entreprise pour que nous ayons, sans bruit, réussi à faire un peu de bien dans les questions qui sont de notre domaine.

Il s'agissait d'organiser à propos de l'Exposition un certain nombre de conférences; il s'agissait de connaître les opinions des uns et des autres, et il nous avait semblé qu'en vous laissant la liberté complète du sujet, il était cependant nécessaire à l'avance de régler un peu notre temps; c'est pour cela que nous avons adopté pour cette réglementation, la réglementation même des différentes classes de l'Exposition. Les exemples sur lesquels pouvaient s'appuyer nos différents collègues dans les explications qu'ils nous ont données se trouvaient à l'Exposition même, et dès lors les différents sujets que vous avez pu aborder se présentaient naturellement à l'esprit.

En ce qui concerne la classe 50, Mines et Métallurgie, il nous est arrivé, au commencement de nos études, une bonne fortune toute particulière. M. Siemens, le grand métallurgiste, est venu présider notre première réunion, et je crois qu'en la mettant ainsi sous l'égide d'un des plus grands ingénieurs de notre époque, cette première séance a été pour beaucoup dans la bienveillance qui a depuis lors présidé à toutes nos réunions. Dans cette première séance vous vous rappelez la communication de M. Lippmann. Je dirai qu'elle se traduit par ce grand fait, que dans l'état actuel de l'art des sondages, il nous est possible de sortir au jour tout un monument des formations souterraines. Les exemples qui sont dans le Champ de Mars montrent bien la puissance à laquelle l'art du sondage est arrivé de nos jours; et quant à la communication de M. Brüll sur les transports par chaînes flottantes, n'avons-nous pas vu, quelques jours plus tard, dans la conférence de M. Guinotte, qu'il y avait là un procédé de transport tout à fait économique et important, car il nous a fait voir qu'en définitive c'était tout bonnement la réalisation d'une véritable rivière de matières minérales allant du point d'extraction jusqu'au point d'expédition? Donc les deux questions que votre première section avait choisies étaient par elles-mêmes des questions importantes, et le jour qui s'est fait sur ces deux questions est un résultat intéressant de nos conférences.

Le lendemain il s'agissait de l'agriculture et du génie rural. Mon ami et confrère M. Hervé-Mangon présidait; il nous a montré ce qu'est devenu dans ces derniers temps le labourage à la vapeur et combien il était im-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

portant, surtout en agriculture, de savoir utiliser le mieux possible les forces mécaniques, pour arriver aux plus grands résultats. Je ne vous apprendrai rien en vous rappelant qu'il a ici supputé le nombre de gouttes de sueur que coûtait naguère une goutte du plus mauvais vin, et il en a conclu qu'il y avait lieu de remplacer ces sueurs, pour une grande part, par la force des machines; il nous a montré comme une agriculture nouvelle qui devait sortir, avec une production plus ample et avec des fatigues bien moindres, des nouveaux procédés qui sont maintenant en cours de réalisation.

Les machines occupent à l'Exposition une grande place et nous ne pouvions manquer de leur accorder quelque attention; mais combien l'attention que nous devions leur accorder était-elle devenue plus respectueuse et plus charmante lorsque nous avons pu décider le doyen de nos mécaniciens, le vénérable général Morin, mon cher et mon meilleur ami, à venir présider cette séance dans laquelle il devait être question d'un des plus grands problèmes à résoudre dans cette sorte de matière!

M. Cornut vous a dit qu'il existait un certain nombre d'associations qui prenaient en main la surveillance des chaudières à vapeur. Chaque progrès est acheté au prix d'un certain nombre de peines, au prix d'un certain nombre d'accidents; mais, si vraiment il est possible d'éviter ces accidents dans une certaine mesure, c'est bien en ayant recours à ces associations amies, qui épousent les intérêts de l'industriel, qui, au lieu d'exercer sur lui une pression administrative, vont, au contraire, au-devant des vérifications qu'il n'a pas le temps de faire et le remplacent, dans son propre intérêt et dans l'intérêt de ses ouvriers. M. Cornut vous a dit que depuis deux ans, et grâce à l'association de Mulhouse, il était arrivé ceci : c'est qu'il n'y avait plus eu d'accidents de machines à vapeur. C'était là vraiment une des questions les plus importantes que nous puissions mettre en discussion.

Quant à la discussion soulevée par la communication de M. Bourdon et de M. Casalonga, elle se rattache à la nécessité d'adopter des mesures communes dans tous les pays. Il n'est pas nécessaire de montrer combien il serait important qu'il en fût ainsi, et tous, tant que nous sommes, combien de fois avons-nous été dans l'obligation de ne pas connaître exactement les résultats qui avaient été obtenus en pays étranger, sur la résistance des matériaux, par exemple, parce que nous n'avions pas le temps de faire les calculs de comparaison qui nous étaient nécessaires? Mais cette question a pris son vol; mais depuis 1867 le système métrique est devenu obligatoire en Allemagne, en Autriche, en Turquie; il est facultatif aux États-Unis et en Angleterre. Maintenant que le ballon est lancé, nous arriverons nécessairement au résultat que nous devons attendre. Avant dix ans, le système métrique sera le système universel, et avant dix

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ans aussi il arrivera que les organes des machines et surtout que tous les résultats obtenus par les physiciens seront, ils le sont déjà pour la plupart, exprimés en mesures métriques. Et alors voyez quelle facilité de renseignements, quelle facilité de correspondance sera obtenue! C'est là un résultat inévitable qui s'est trouvé préparé, ainsi que vous le disait si bien tout à l'heure notre président, M. Broch, c'est un de ces progrès qui sont le résultat nécessaire et favorable de ces grandes expositions.

Il m'est difficile de parler, vu mon incompétence, de la communication qui vous a été faite par M. de Préaudeau, et aussi des communications qui sont venues à la suite. Mais ce qu'il y a de certain, c'est que nous autres Français, nous pouvons bien un peu nous enorgueillir de ce que les grands barrages de rivière ont pris naissance dans notre corps des ponts et chaussées.

Quant aux procédés nouveaux de montage des ponts métalliques, la communication de M. Seyrig a été d'un grand intérêt, car il nous a montré, au lieu de matériaux simplement et péniblement juxtaposés, qu'un pont pouvait être construit dans les circonstances actuelles comme par un bond à l'aide duquel on relie tout d'un coup les deux rives. En ce qui concerne les chemins de fer, nous avons eu la bonne fortune de pouvoir déférer la présidence à notre collègue, M. Wischnégradski, vice-président du VI^{e} groupe du Jury, qui avait dans ses attributions tous les travaux du génie civil.

Dans cette séance, vous vous rappelez quels ont été les antagonismes de bon aloi qui se sont produits entre les deux systèmes de frein, le frein à air comprimé et le frein à vide, qui ont tous deux leurs avantages, mais pour lesquels la compétence d'un personnage anglais est venue indiquer certaines différences.

Ce qu'on n'a peut-être pas assez dit, c'est que si le frein continu est aussi une des nécessités de la mécanique, le principe du frein continu et automatique se trouve dans les travaux de notre vieux camarade Achard, le précurseur mal récompensé d'un système dont on nous a exposé d'une façon complète tous les résultats.

Quant aux machines de tramways, nous avons eu la douleur d'être obligés d'abréger la discussion après les indications générales très bien données par M. Mallet. Nous avions à entendre M. Mékarski et M. Francq, l'un, le représentant de la machine à air comprimé; l'autre, le représentant de la machine à eau chaude. Ils ont bien voulu, à ma sollicitation, remettre leurs communications à un peu plus tard, et vous apprendrez avec grand plaisir que nous avons pris jour avec eux.

Samedi, à neuf heures, nous nous réunirons à la place Moncey, et M. Mékarski nous promet de nous conduire dans ses ateliers. Samedi, à une heure trente-cinq minutes, nous prendrons le chemin de fer de la rive droite pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Rueil où nous trouverons en fonction les machines de M. Franck qui nous conduiront jusqu'à Marly. Vous recevrez d'ailleurs des indications précises à cet égard, et si j'en parle ici, par avance, c'est seulement pour avoir l'occasion de m'exprimer dans la mesure du possible sur le regret de ce qu'il ne nous a pas été permis d'entendre ces deux inventeurs dans les explications certainement fort intéressantes qu'ils avaient à nous donner.

En ce qui concerne la navigation fluviale et maritime, trois communications d'un grand intérêt nous ont été faites. Avec les indications qui nous ont été données par M. Abernethy, je dis que le doute n'est pas possible sur l'établissement de nouvelles communications entre la France et l'Angleterre. Dès que nous pouvons trouver une voie par eau, ces communications doivent être faites par des procédés analogues à ceux qu'il a indiqués, c'est-à-dire au moyen de bateaux porte-trains, et il nous semble que la donnée qui sera le plus utilement réalisée dans l'avenir n'est pas la solution qu'étudie l'art du mineur, lorsqu'il s'agit d'établir entre les deux nations, à travers la Manche, une communication souterraine.

Vous avez pris un excessif intérêt à la communication de M. Bertin. Il a fait une étude toute particulière du roulis et du tangage à la mer, et s'il en résulte, par les explications qu'il a données, qu'on puisse calculer le navire, pour un trajet déterminé, en lui assurant un roulis minimum et moins de tangage, il faut bien reconnaître cependant que s'il est sur la voie de données, de règles sûres et de connaissances précises, il est aussi sur la voie d'un nouveau sujet de découvertes et de travaux qui doivent, dans l'avenir, amener à d'importants résultats.

M. Durand-Claye, avec la parole claire que vous lui connaissez, vous a indiqué le fond de nos connaissances sur une question qui n'était pas facile à vous présenter, car il s'agissait des vidanges et des égouts. Mais vous l'avez écouté avec l'intérêt que commande cette question d'actualité et de réelle importance, et il serait vraiment désirable que vous puissiez aller voir ces grands travaux de Gennevilliers pour vous rendre compte de l'étendue des applications déjà réalisées et des résultats qui ont été obtenus.

M. de Passy vous a présenté, à la suite de ce sujet, des considérations sur la distribution de l'eau dans les villes et sur leur filtrage, et a complété, de la façon la plus heureuse, les indications qui avaient été données par M. Durand-Claye.

C'est dans cette même séance que M. Bourdais vous a parlé de la salle des fêtes du Trocadéro; M. Trélat, avec une expérience consommée des salles de théâtre, vous disait: C'est la première fois que les conditions d'acoustique sont envisagées à un point de vue vraiment scientifique; et ce qu'il vous disait était vrai.

Il y a un certain nombre d'années, sous la présidence de notre illustre et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

regretté confrère M. Regnault, ayant eu à m'occuper des dispositions intérieures de la salle du nouvel Opéra, savez-vous où nous en étions arrivés au point de vue des règles à suivre? Nous nous étions résignés à dire ceci : Puisqu'il faut faire la salle plus grande que celle de l'ancien Opéra, et que la salle ancienne est favorable sous le rapport de l'acoustique, comme nous n'avons aucune règle qui puisse nous conduire à en chercher les effets, nous allons augmenter d'un dixième les dimensions de l'ancienne salle, pour faire construire la nouvelle, et c'est ce principe qui a prévalu.

Sans aucun doute, les indications données il y a quelques jours par M. Bourdais sont la marque d'un pas fait en avant dans une question difficile, et nous ne saurions douter que, dans cet ordre d'idées comme en ce qui concerne la ventilation, ses préoccupations l'ont amené à un résultat certain.

Hier M. Betocchi a bien voulu nous prêter le concours de sa présidence et l'on a discuté devant lui des questions d'une grande actualité. Les machines frigorifiques sont, en effet, l'un des instruments les plus nouveaux, les plus importants de l'industrie. Grâce à cette classe de machines, la conservation des richesses alimentaires se trouve affranchie des questions de temps et de distance, et peut-être que l'étude des machines frigorifiques est la plus importante de celles que l'on puisse, aidé de la chimie et de la physique, mener à bonne fin, pour en tirer les conséquences désirables; à la suite de la communication si compétente de M. Armengaud sur ce point, il nous a été donné d'entendre la communication fort intéressante sur les applications du chauffage par les appareils gazogènes, faite par MM. Fichet et Périssé, qui marque aussi une étape dans les progrès du bon emploi de combustible.

Loin de moi la pensée de discuter ce progrès. Mais quand nous voyons ce qu'il nous coûte, il est bien nécessaire de répéter encore que chaque pouce de terrain gagné, en matière d'industrie, ne peut être obtenu qu'au prix de sacrifices considérables, et, à ce propos, je profiterai de ce que j'ai la parole pour vous lire un passage d'une lettre que je reçois à l'instant de l'un des vice-présidents de la Société des ingénieurs civils, M. Jordan.

Il s'agit de M. Whitwell, l'un des métallurgistes les plus éminents, que le jury de l'Exposition vient de récompenser largement. Il est mort sur le champ de bataille, dans des circonstances qui nous rappellent, dit M. Jordan, celles dans lesquelles nous avons perdu, il y a quelques années, l'un de nos camarades, M. de Mastaing, tué dans des essais qu'il faisait en conduisant une turbine à sucre.

Voici ce que je lis dans la lettre de M. Jordan :

« MM. Whitwell et Cie sont au nombre des principaux maîtres de forges du nord de l'Angleterre; ils possèdent à Stockton une importante usine, Thornaby Ironwoorks, où

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

se trouvent des hauts fourneaux, des laminoirs, etc., où l'esprit éclectique de Thomas Whitwell, l'un des associés, a réuni les inventions et les perfectionnements qui l'avaient frappé, pendant ses voyages fréquents, en France, en Westphalie, en Belgique. Parmi ces importations se trouvent des fours à réchauffer au gaz, d'un système nouveau, alimentés par des gazogènes analogues à ceux des fours Siemens ou Ponsard. En faisant sa tournée du matin, Thomas Whitwell remarqua qu'un de ces fours ne fonctionnait pas bien et qu'il s'était, par suite d'une fuite, accumulé de l'eau dans le cendrier du gazogène. Il y descendit avec un contremaître pour examiner les causes de la maladie de ce gazogène et retira quelques-uns des barreaux de la grille inférieure de l'appareil. Malheureusement le registre du four se trouva abaissé au même moment, de sorte qu'il se produisit, dans la fosse du gazogène, une violente irruption de gaz et de flammes, accompagnée de la génération d'une quantité considérable de vapeur. Lorsque Thomas Whitwell et le contremaître purent arriver au jour par l'échelle qui dessert la fosse des gazogènes, ils étaient grièvement brûlés et ils ne survécurent que quelques heures. »

L'Exposition n'est pas encore terminée et voilà déjà une des victimes du progrès. C'était bien le moins qu'il fût payé un tribut à sa mémoire au moment où nous nous réunissons pour la dernière fois. (Applaudissements.)

Aujourd'hui encore, Messieurs, j'ai eu la bonne fortune, profitant de l'obligeance de M. Broch, de pouvoir l'amener à présider la séance dans laquelle devait être traitée la question relative à la pâte de papier. M. Broch ne vous a pas dit qu'il est l'un des promoteurs de cette industrie dans son pays, et ce qu'il ne vous a pas dit non plus, mais ce que nous vous disons nous-même, c'est que nous nous sommes trouvé touché de l'intervention de ces ingénieurs étrangers qui, en dépit du temps et de la distance, sont venus nous prêter, avec l'élévation de vues que vous avez reconnue dans leurs mémoires, leur appréciation sur une des industries vitales de leur pays, faisant ainsi acte d'adhésion au Congrès, tout en y apportant le tribut de leurs lumières. (Applaudissements.)

Mais vous le savez depuis longtemps, en Suède et en Norvège, c'est là que se trouvent ceux que nous appelons et que j'appellerai aujourd'hui, dans une circonstance un peu officielle, les Français du Nord. Il ne faut pas nous étonner de leur excessive bienveillance, et nous les remercions du fond du cœur de la peine qu'ils ont prise en venant ici nous apporter les conseils de leur expérience. (Applaudissements.)

M. le Président vous disait que la question des moteurs domestiques était une question de morale et de bien-être. Nous pourrions ajouter que le problème, en partie résolu par M. Fontaine, qui n'a pas voulu se nommer, est le grand problème des petits progrès; mais comme le progrès serait universel, il est certain que la question de la construction d'un bon moteur domestique serait d'un intérêt puissant, aux différents points de vue qui vous ont été indiqués.

Messieurs, pendant ces réunions trop courtes que nous avons, dans certaines circonstances, dû encore diminuer, faute de temps, nous avons eu une autre sorte de séances.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Un certain nombre de nos collègues ont bien voulu nous apporter, sous différentes formes, le tribut de leur expérience, et traiter *ex professo* un certain nombre de questions. Je me rappelle encore le sentiment qui nous animait tous à la fin de la conférence de M. Malézieux. Il a su montrer aux étrangers le cas que nous faisions des grands travaux accomplis en Amérique, en même temps qu'il a su nous les exposer dans un langage toujours élégant et clair.

M. Bréguet nous a indiqué quelques-unes des applications de l'électricité; peut-être n'a-t-il pas assez insisté sur le point que traitait tout à l'heure M. Fontaine : l'électricité, ce n'est pas un moyen de travail, c'est un moyen d'avis à transmettre; c'est, en définitive, un messager rapide et fidèle, à la condition qu'on ne lui demandera jamais que des indications; nous ne devrons pas oublier que c'est dans cette voie que l'électricité a produit tant de merveilles, et que c'est dans cette voie que nous devons nous attendre à lui voir encore rendre des services inespérés.

Pourquoi avons-nous eu une conférence sur la dynamite, Messieurs? Parce que la dynamite, c'est la poudre du génie civil et de la civilisation. Vous avez vu, en effet, dans la conférence de M. Roux, quels sont les services qu'elle peut rendre à l'art des mines et à tous les travaux de l'art de l'ingénieur.

M. de Passy nous disait hier: Tant vaut l'eau, tant vaut l'agriculture, et nous l'avons suivi avec le plus grand intérêt dans les larges vues d'organisation qu'il vous a si bien présentées. Sur ce point, cependant, il nous est arrivé un malheur, et nous devons encore vous réserver une communication de M. Chatard, qui s'était trouvée placée dans notre programme d'une manière un peu erronée; et nous ne pouvons faire autre chose, pour nous excuser envers lui, que de le prier de reporter sa communication sur l'*Aménagement des eaux,* à la séance prochaine de la Société des ingénieurs civils, c'est-à-dire à après-demain, et c'est encore là, Messieurs, un rendez-vous où j'espère qu'il nous sera donné de vous recevoir.

Enfin nous avons encore un regain pour ce soir : la communication de M. Armengaud jeune sera évidemment un travail des plus intéressants, et comme une extension de quelques vues très exactes qui nous ont été présentées tout à l'heure, au sujet des machines à gaz, dans la communication de M. Fontaine.

Donc, Messieurs, nous n'avons pas perdu notre temps, et nous avons à remercier tous nos collègues étrangers d'avoir bien voulu se joindre à nous dans cette circonstance, et nous apporter le concours de leurs lumières et de leurs talents. Nous avons surtout à remercier les Gouvernements étrangers, l'Italie, la Suède et la Norvège, dont nous parlions tout à l'heure, qui n'ont pas dédaigné de nous envoyer des délégués auxquels nous regrettons de ne pouvoir pas faire un accueil plus digne d'eux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Et maintenant que j'ai terminé cette revue trop rapide, voulez-vous, Messieurs, me permettre quelques observations? Notre illustre corps des ponts et chaussées a exposé au Champ de Mars ses plus beaux modèles; tous les pays, l'Autriche, la Belgique, l'Espagne, la Hollande, la Hongrie, les États-Unis, l'Italie y ont également apporté des albums et des spécimens en relief de leurs travaux les plus importants. A voir l'ardeur qui, de toutes parts, a été consacrée à ces travaux, on reconnaît immédiatement un égal désir pour tous de doter chacune de ces contrées des mêmes bienfaits; sous ce rapport, tous les peuples avancés en civilisation réussissent presque au même degré, et si quelques-uns restent encore en arrière dans les constructions mécaniques, on peut dire qu'au point de vue des travaux publics, tous marchent au même rang; notre siècle est celui des grands travaux d'intérêt général, et les galeries mêmes du Champ de Mars vous montrent qu'il y excelle.

Pendant que vous étiez retenus ici par vos savantes discussions, de l'autre côté de la Seine, le Jury international terminait ses délibérations, et distribuait définitivement, entre tous les mérites, les récompenses dont il disposait. Dès lors que nous nous sommes promis le secret des dernières délibérations, je ne pourrais vous citer aucun des lauréats; mais ce que je puis vous dire, c'est que la seule classe 66, celle qui représente le mieux vos aspirations, compte, à elle seule, la huitième partie des prix de premier ordre qui seront décernés, et que, à y regarder de plus près, on reconnaît que le génie civil, sous toutes ses formes, recevra plus du tiers de la totalité des récompenses. J'avais donc raison de dire que ces travaux sont bien ceux qui caractérisent notre siècle, et j'espère que, comme moi, vous trouverez là, Messieurs, une raison de plus pour nous réunir encore à l'avenir, et pour créer d'une manière permanente entre nous un lien plus durable, dont nos cordiales discussions de cette année nous font espérer une aussi cordiale conservation. (Vifs applaudissements.)

M. le Président. Avant de lever la séance, j'ai à cœur, et je suis sûr en cela de me rendre le fidèle interprète de cette assemblée, de présenter nos remerciements à mon illustre confrère, à M. Tresca, pour le travail assidu qu'il a consacré à ces réunions, car c'est surtout lui qui en a supporté le fardeau, et pour le résumé si éloquent qu'il vient de nous présenter, et qui a été, pour nos séances, un final des plus brillants.

Je remercie donc M. Tresca au nom du Congrès. (Applaudissements prolongés.)

La séance est levée à une heure moins vingt minutes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

ARRÊTÉ DU MINISTRE DE L'AGRICULTURE ET DU COMMERCE AUTORISANT LE CONGRÈS 1

COMITÉ D'ORGANISATION 2

LISTE DES MEMBRES DU COMITÉ D'ORGANISATION 3

PROGRAMME DU CONGRÈS 4

LISTE GÉNÉRALE DES MEMBRES DU CONGRÈS 7

COMPOSITION DU BUREAU DU CONGRÈS 20

ORDRE DES TRAVAUX 21

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES.

SÉANCE DU LUNDI 5 AOÛT 1878. — MINES ET MÉTALLURGIE 23

SOMMAIRE. — ALLOCUTION DE M. TRESCA, PRÉSIDENT DU CONGRÈS. — L'ART DU SONDAGE, mémoire de M. Lippmann; discussion : MM. Brüll, Périssé, pour M. Chatelain absent, Lippmann, Taillard. — TRANSPORTS SOUTERRAINS ET AU JOUR PAR CHAÎNES FLOTTANTES, mémoire de M. A. Brüll; observations de M. Mékarsky.

SÉANCE SUPPLÉMENTAIRE DU SAMEDI 10 AOÛT 1878. — MINES ET MÉTALLURGIE (Suite). 61

SOMMAIRE. — Communication de M. L. Taskin sur un PROCÉDÉ POUR LE PERCEMENT DES GALERIES. — Communication de M. Guinotte sur les TRANSPORTS PAR CHAÎNES FLOTTANTES; discussion : MM. Mékarsky, Guinotte, Tresca, de Quillacq.

SÉANCE DU MARDI 6 AOÛT 1878. — AGRICULTURE ET GÉNIE RURAL 79

SOMMAIRE. — Discours de M. Hervé-Mangon, président. — LABOURAGE À VAPEUR, mémoire de M. Decauville, présenté par M. le comte de Salis; discussion : MM. Debains, Ganneron, le comte de Salis, de Cossigny. — Discours de M. Hervé-Mangon sur les MACHINES AGRICOLES.

SÉANCE DU MERCREDI 7 AOÛT 1878. — MACHINES 103

SOMMAIRE. — SOCIÉTÉS DE SURVEILLANCE DES APPAREILS À VAPEUR, rapport de M. Cornut; discussion : MM. Testud de Beauregard, Thomasset. — UNIFICATION DANS LES DIMENSIONS DES ORGANES DE MACHINES, mémoire de M. Casalonga. — DE L'UNITÉ DU CHEVAL-VAPEUR, mémoire de M. E. Bourdon; discussion : MM. Casalonga, Paul Le Gavrian.

SÉANCE DU JEUDI 8 AOÛT 1878. — ROUTES, RIVIÈRES ET CANAUX 131

SOMMAIRE. — BARRAGES MOBILES EN RIVIÈRE, rapport de M. de Préaudeau. — BARRAGES EN COURS D'EXÉCUTION EN FRANCE, rapport de M. Caméré. — BARRAGES MOBILES SUR LA MEUSE, rapport de M. Hans. — Dépôt d'une notice sur les modèles d'écluses à plan incliné qui figurent à l'Exposition. — Observations de M. Boulé, président.

PROCÉDÉS DE MONTAGE DES PONTS MÉTALLIQUES, mémoire de M. Seyrig. — Observations de M. Clavenad.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Séance du vendredi 9 août 1878. — Chemins de fer..... 169

Sommaire. — Freins continus pour chemins de fer, mémoire de M. Georges Marié; discussion : communication de M. Georges Hardy; observations de M. Kapteyn. — Note de M. Achard sur le Frein électrique, lue par M. Deprez; reprise de la discussion : Sir Henry W. Tyler, M. Banderali. — Machines pour tramways, mémoire de M. Mallet; observations de M. Tresca.

Séance du samedi 10 août 1878. — Navigation fluviale et maritime..... 214

Sommaire. — Communications entre la France et l'Angleterre à travers le Pas-de-Calais, mémoire de M. Abernethy. — Observations de M. H. Tyler. — Note de M. James Brunlees sur les Fondations en lit de rivière et au bord de la mer, présentée par M. Bergeron. — Touage sur chaîne noyée, mémoire de M. Imbert. — Communication de M. Détraux. — Communication de M. Bertin sur les Lois du tangage et du roulis à la mer.

Séance du lundi 12 août 1878. — Constructions publiques et particulières.... 269

Sommaire. — Assainissement des villes, rapport de M. Durand-Claye. — Ventilation des édifices, mémoire de M. Bourdais. — Filtration naturelle de l'eau dans les villes, rapport de M. de Passy. — Observations de M. Léon Dru.

Séance du mardi 13 août 1878. — Physique et chimie industrielles..... 297

Sommaire. — Transformation du travail mécanique en chaleur. Application à la production industrielle du froid, mémoire de M. J. Armengaud jeune. — Observations de M. Ribourt sur la Fabrication de la glace artificielle. — Chauffage par gazogènes. Applications à la métallurgie, à la céramique et aux produits chimiques, rapport de MM. Fichet et Périssé.

Séance du mercredi 14 août 1878. — Industries diverses..... 329

Sommaire. — Les nouvelles pâtes à papier et leur fabrication, rapport de M. Chatard. — Fabrication de la pâte de bois, communication de M. Stolz. — Communication de M. Störmer sur le même sujet. — Décoloration des pâtes à papier, communication de M. de Dienheim-Brochocki. — Moteurs domestiques, mémoire de M. H. Fontaine. — Observations de M. Bourdin. — Discours de clôture de M. Tresca.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOMENCLATURE DES CONFÉRENCES FAITES AU PALAIS DU TROCADÉRO

PENDANT L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878.

1er VOLUME.

INDUSTRIE. — CHEMINS DE FER. — TRAVAUX PUBLICS. — AGRICULTURE.

Conférence sur les Machines Compound à l'Exposition universelle de 1878, comparées aux machines Corliss, par M. DE FRÉMINVILLE, directeur des constructions navales, en retraite, professeur à l'École ntrale des arts et manufactures. (Lundi 8 juillet.)

Conférence sur les Moteurs à gaz à l'Exposition de 1878, par M. Jules ARMENGAUD jeune, ingénieur il. (Mercredi 14 août.)

Conférence sur la Fabrication du gaz d'éclairage, par M. ARSON, ingénieur de la Compagnie parisienne gaz. (Mardi 16 juillet.)

Conférence sur l'Éclairage, par M. SERVIER, ingénieur civil. (Mercredi 21 août.)

Conférence sur les Sous-produits dérivés de la houille, par M. BERTIN, professeur à l'Association ytechnique. (Mercredi 17 juillet.)

Conférence sur l'Acier, par M. MARCHÉ, ingénieur civil. (Samedi 20 juillet.)

Conférence sur le Verre, sa fabrication et ses applications, par M. CLÉMANDOT, ingénieur civil. amedi 27 juillet.)

Conférence sur la Minoterie, par M. VIGREUX, ingénieur civil, répétiteur faisant fonctions de profesir à l'École centrale des arts et manufactures. (Mercredi 31 juillet.)

Conférence sur la Fabrication du savon de Marseille, par M. ARNAVON, manufacturier. (Samedi 3 août.)

Conférence sur l'Utilisation directe et industrielle de la chaleur solaire, par M. Abel PIFRE, ingéur civil. (Mercredi 28 août.)

Conférence sur la Teinture et les différents procédés employés pour la décoration des tissus, par BLANCHE, ingénieur et manufacturier, membre du Conseil général de la Seine. (Samedi 21 septembre.)

Conférence sur la Fabrication du sucre, par M. VIVIEN, expert-chimiste, professeur de sucrerie. amedi 14 septembre.)

Conférence sur les Conditions techniques et économiques d'une organisation rationnelle des chens de fer, par M. VAUTHIER, ingénieur des ponts et chaussées. (Samedi 13 juillet.)

Conférence sur les chemins de fer sur routes, par M. CHABRIER, ingénieur civil, président de la Comgnie des chemins de fer à voie étroite de la Meuse. (Mardi 24 septembre.)

Conférence sur les Freins continus, par M. BANDERALI, ingénieur inspecteur du service central du tériel et de la traction au Chemin de fer du Nord. (Samedi 28 septembre.)

Conférence sur les Travaux publics aux États-Unis d'Amérique, par M. MALÉZIEUX, ingénieur en f des ponts et chaussées. (Mercredi 7 août.)

Conférence sur la Dynamite et les substances explosives, par M. ROUX, ingénieur des manufactures l'État. (Samedi 10 août.)

Conférence sur l'Emploi des eaux en agriculture par les canaux d'irrigation, par M. DE PASSY, ingéur en chef des ponts et chaussées, en retraite. (Mardi 13 août.)

Conférence sur la Destruction du phylloxera, par M. ROHART, manufacturier chimiste. (Mardi 9 juillet.)

2e VOLUME.

ARTS. — SCIENCES.

Conférence sur le Palais de l'Exposition universelle de 1878, par M. Émile TRÉLAT, directeur de cole spéciale d'architecture. (Jeudi 25 juillet.)

Conférence sur l'Utilité d'un Musée des arts décoratifs, par M. René MÉNARD, homme de lettres. udi 22 août.)

Conférence sur le Mobilier, par M. Émile TRÉLAT, directeur de l'École spéciale d'architecture. (Samedi août.)

Conférence sur l'Enseignement du dessin, par M. L. CERNESSON, architecte, membre du Conseil unicipal de Paris et du Conseil général de la Seine. (Samedi 31 août.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Conférence sur la Modalité dans la musique grecque, avec des exemples de musique dans l différents modes, par M. Bourgault-Ducoudray, grand prix de Rome, membre de la Commission des aud tions musicales à l'Exposition universelle de 1878. (Samedi 7 septembre.)

Conférence sur l'Habitation à toutes les époques, par M. Charles Lucas, architecte. (Lundi 9 sept.

Conférence sur la Céramique monumentale, par M. Sédille, architecte. (Jeudi 19 septembre.)

Conférence sur le Bouddhisme à l'Exposition de 1878, par M. Léon Feer, membre de la Société ac démique indo-chinoise. (Jeudi 1er août.)

Conférence sur le Tong-King et ses peuples, par M. l'abbé Durand, membre de la Société acad mique indo-chinoise, professeur des sciences géographiques à l'Université catholique. (Mardi 27 août.)

Conférence sur l'Astronomie à l'Exposition de 1878, par M. Vinot, directeur du *Journal du Ci* (Jeudi 18 juillet.)

Conférence sur les Applications industrielles de l'électricité, par M. Antoine Breguet, ingénieu constructeur. (Jeudi 8 août.)

Conférence sur la Tachymétrie. — Réforme pédagogique pour les sciences exactes. — Rectification d fausses règles empiriques en usage, par M. Lagout, ingénieur en chef des ponts et chaussées. (Mardi 10 sept

Conférence sur les Conditions d'équilibre des poissons dans l'eau douce et dans l'eau de me par M. le docteur A. Moreau, membre de l'Académie de médecine. (Mercredi 25 septembre.)

3e VOLUME.

ENSEIGNEMENT. — SCIENCES ÉCONOMIQUES. — HYGIÈNE.

Conférence sur l'Enseignement professionnel, par M. Corbon, sénateur. (Mercredi 10 juillet.)

Conférence sur l'Enseignement des sourds-muets par la parole (méthode Jacob Rodrigues Pereir **et l'application de la méthode aux entendants-parlants**, par M. F. Hément, inspecteur de l'enseigneme primaire. (Jeudi 11 juillet.)

Conférence sur l'Enseignement des sourds-muets dans les écoles d'entendants, par M. E. Grosseli vice-président de la Société pour l'enseignement simultané des sourds-muets et des entendants-parlan (Jeudi 12 septembre.)

Conférence sur la Gymnastique des sens, système d'éducation du jeune âge, par M. Constant Delhez, professeur à Vienne (Autriche). (Lundi 19 août.)

Conférence sur l'Unification des travaux géographiques, par M. de Chancourtois, ingénieur en ch au corps des Mines, professeur de géologie à l'École nationale des Mines. (Mardi 3 septembre.)

Conférence sur l'Algérie, par M. Allan, publiciste. (Mardi 17 septembre.)

Conférence sur l'Enseignement élémentaire de l'Économie politique, par M. Frédéric Passy, memb de l'Institut. (Dimanche 25 août.)

Conférence sur les Institutions de prévoyance, d'après le Congrès international, au point de vue l'intérêt français, par M. de Malarce, secrétaire perpétuel de la Société des Institutions de prévoyance France. (Lundi 16 septembre.)

Conférence sur le Droit international, par M. Ch. Lemonnier, président de la Ligue internationale la paix et de la liberté. (Mercredi 18 septembre.)

Conférence sur les Causes de la dépopulation, par M. le docteur A. Desprès, professeur agrégé à Faculté de médecine, chirurgien de l'hôpital Cochin. (Lundi 26 août.)

Conférence sur le Choix d'un état au point de vue hygiénique et social, par M. Placide Cou ancien membre de la Commission du travail des enfants dans les manufactures. (Mardi 30 juillet.)

Conférence sur les Hospices marins et les Écoles de rachitiques, par M. le docteur de Pietra-Sant secrétaire de la Société française d'hygiène. (Mardi 23 juillet.)

Conférence sur le Tabac au point de vue hygiénique, par M. le docteur A. Riant. (Mardi 20 août.)

Conférence sur l'Usage alimentaire de la viande de cheval, par M. E. Decroix, vétérinaire princip fondateur du Comité de propagation pour l'usage alimentaire de la viande de cheval. (Jeudi 26 septembre

---

AVIS. — On peut se procurer chaque volume à l'**Imprimerie Nationale** (rue Vieille-du Temple, n° 87) et dans toutes les librairies, au fur et à mesure de l'impression.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires