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

Titre général : Etudes sur l'exposition universelle Paris 1878, Annales et archives de l'industrie au XIXe siècle
Auteur : Exposition universelle. 1878. Paris
Titre du volume :

Mots-clés : Exposition universelle (1878 ; Paris)

Description : XLVIII-540 p. ; 24 cm
Adresse : Paris : Librairie scientifique, industrielle et agricole E. Lacroix, 1878

Cote de l'exemplaire : CNAM 8 Xae 268.1

URL permanente : http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE268.1

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 4/9/2010

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDES SUR L'EXPOSITION DE 1878

TOME PREMIER

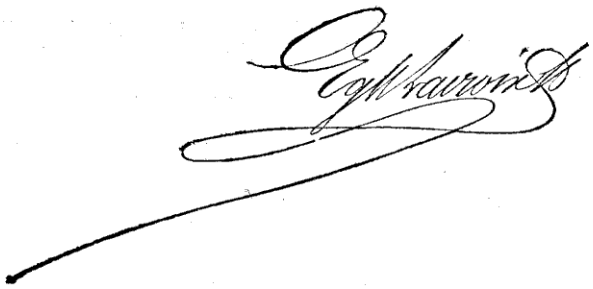
INTRODUCTION GÉNÉRALE.
HYDRAULIQUE — LES CHEMINS DE FER, TRAMWAYS,
ROUTES ET CHEMINS. — LA CORDERIE.
LES PORTS DE COMMERCE. — NOTES COMPLÉMENTAIRES.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous nous réservons le droit de traduire ou de faire traduire cet ouvrage en toutes langues. Nous poursuivrons conformément à la loi et en vertu des traités internationaux toute contrefaçon et traduction faite au mépris de nos droits.

Le dépôt légal de cet ouvrage a été fait en temps utile, et toutes les formalités prescrites par les traités sont remplies dans les divers États avec lesquels il existe des conventions littéraires.

Tout exemplaire du présent ouvrage qui ne porterait pas comme ci-dessou notre griffe, sera réputé contrefait, et les fabricants et les débitants de ces exemplaires seront poursuivis conformément à la loi.



Paris. — Imprimerie et librairie de E. LACROIX, rue des Saints-Pères, 54.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Y² 3917
8° Xae 112
8° xae 268

ÉTUDES

SUR

L'EXPOSITION DE 1878

ANNALES ET ARCHIVES DE L'INDUSTRIE AU XIX^e SIÈCLE

(2^e PARTIE)

PUBLIÉES PAR MM.
LES RÉDACTEURS DES *ANNALES DU GÉNIE CIVIL*
AVEC LE CONCOURS D'INGÉNIEURS ET DE SAVANTS FRANÇAIS ET ÉTRANGERS

E. LACROIX

Chevalier de la Légion d'honneur. — Ancien officier d'infanterie de marine.
Ingénieur civil. — Membre de l'Institut Royal des Ingénieurs de Hollande, de la Société Royale des Ingénieurs de Hongrie, de la Société industrielle de Mulhouse, de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, etc.

Directeur de la Publication.

TOME PREMIER

INTRODUCTION GÉNÉRALE. — HYDRAULIQUE.
LES CHEMINS DE FER, TRAMWAYS, ROUTES ET CHEMINS. — LA CORDERIE.
LES PORTS DE COMMERCE. — NOTES COMPLÉMENTAIRES.

1 vol. grand in-8 de XXXII-540 pages, avec 114 figures intercalées dans le texte et 45 planches in-f°.

Ouvrage honoré de la souscription de M. le Ministre de la Marine

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE
Eugène LACROIX, Imprimeur-Éditeur
du *Bulletin officiel de la Marine*, Libraire de la Société des Ingénieurs civils de France, de la Société des Conducteurs des ponts et chaussées, etc.
54, RUE DES SAINTS-PÈRES, 54
(Près le boulevard Saint-Germain)

Propriété de l'Éditeur. Reproduction du texte et des planches interdite.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDES SUR L'EXPOSITION DE 1878

TOME PREMIER

INTRODUCTION GÉNÉRALE. — HYDRAULIQUE.
LES CHEMINS DE FER, TRAMWAYS, ROUTES ET CHEMINS. — LA CORDERIE.
LES PORTS DE COMMERCE. — NOTES COMPLÉMENTAIRES.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale. — Essais sur l'origine et les progrès de l'Industrie, par M. Hector DUFRÉNÉ, ingénieur civil.

	Pages
I. *L'industrie préhistorique.*	
1° Premier âge de la pierre.	1
2° Age du Renne.	3
3° Age de la pierre polie.	»
4° Age du bronze.	5
II. *L'industrie mythique.*	6
III. *L'industrie historique.*	15
L'Égypte	»
La Chaldée.	19
La Chine.	»
Les Aryas	20
Les pasteurs.	22
Les Israëlites.	25
Les Étrusques.	27
Le Caucase.	28
Les Phéniciens.	29
Ninive et Babylone.	31
Les Grecs.	33
Rome.	35
L'industrie en France avant Charlemagne.	37
Charlemagne, les croisades.	39
Les corporations. La guerre de cent ans.	39
Le XVe siècle. La Renaissance.	41
Le XVIIe siècle. Colbert.	42
L'industrie au XVIIIe siècle.	43

Hydraulique. — Les distributions d'eaux et les canaux d'irrigations, par M. Georges DUMONT, ingénieur civil.

	Pages.
PREMIÈRE PARTIE. — *Distributions d'eaux.*	
I. Volumes d'eau nécessaires.	64
Sources d'alimentation, nature et qualité des eaux.	48
Eaux potables	48
Analyse des eaux potables.	51
Eaux de pluies.	54
Citernes	55
Eaux de sources	57
Jaugeage et captage des sources.	58
Adduction des eaux. — Examen des travaux exécutés par les anciens	59
II. *Examen des travaux modernes.*	62
Dérivation des eaux de sources à Bordeaux	»
Dérivation des eaux de sources à Montpelier	63
Distribution des eaux de sources à Lille	»
Distribution des eaux de sources à Dijon	»
Distribution des eaux de sources à Paris	64
Eaux de puits, de lacs et d'étangs	65

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Eaux de fleuves et de rivières, leurs qualités. 165
Filtration des eaux de fleuve et de rivière. 67
Filtration naturelle. 68
Filtrage artificiel. 74
Filtration de l'eau dans les maisons particulières . . . 77
Réservoirs de distribution. . 78
Réservoirs d'approvisionnement. 78
Réservoir d'emmagasinement ou d'alimentation. . 79
Formules relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite 84
Tuyaux servant à l'adduction et à la distribution des eaux. 88
Différents modes de vente de de l'eau aux particuliers. . 97

DEUXIÈME PARTIE. — *Compteurs d'eau.*

1° *Compteur d'eau* 271
— Siemens 272
— d'eau Faller . . . 273
— Hirt. 275
2° *Filtrage des eaux.*
Filtres David et Manceau . . 277
Filtres à air comprimé, système Chanoit 278
Filtre Bourgeoise. 280
3° *Appareils accessoires des distributeurs d'eau :*
Robinets 281
Bornes-fontaines. 283
Borne-fontaine jaugée. . . . 286
Tuyaux et conduites d'eau. . 286
Exposition spéciale faite par la Ville de Paris. 288
Canaux. 289
Pompes à feu. 291
Usines hydrauliques. 292
Adduction et distribution des eaux de sources 293
Dérivation de la Dhuis. . . . 293
— Vanne. . . . 294
Réservoirs de Montsouris. . . 295
Système des conduites de distribution. 296
Construction des conduites.. 298

Pages

Canalisations secondaires . . 299
Système des égouts . . . . . »
Égouts principaux. . . . . »
— secondaires 300
Utilisation des eaux d'égout. 301

TROISIÈME PARTIE. — *Canaux d'irrigation.*

Considérations générales sur l'aménagement et l'utilisation des eaux 303

I. *Travaux d'assainissement.*
1° Travaux d'assainissement des landes de Gascogne. . 307
2° Travaux d'amélioration de la Dombe 307
3° Travaux d'assainissement et d'irrigation de la plaine du Forez. 308

II. *Travaux d'irrigation.*
Plus-value créée par les irrigations. 305
But des irrigations. 310
Nécessité des irrigations dans le midi de la France. . . . »
Action et qualités des eaux d'irrigation. 311
Provenance et division des eaux d'irrigation. 312
A. *Réservoirs d'approvisionnement.*
Capacité des réservoirs d'irrigation 313
Exemples de réservoirs établis récemment pour l'alimentation des villes et l'irrigation des terres. 314
Barrage du Pas du Riot. . . »
Réservoir d'approvisionnement du lac d'Orédon. . . 315
Exécution des remblais formant barrage pour les grands réservoirs d'approvisionnement. 316
Revêtement des talus des barrages construits en remblai. . . . . »
Déversoirs 317
Prise d'eau. . . . . »
Barrage de la Gileppe 318

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

B. *Dérivations de ruisseaux, de rivières et de fleuves.*

Prises d'eau et barrages en rivières pour petites irrigations 319
Prises d'eau sans barrages . »
— avec barrages . 320
Barrages fixes . . . . . »
Barrages mobiles. 321
Prises d'eau et barrages de prises d'eau des canaux d'irrigations exécutés récemment. 323
1° Barrage de prise d'eau du canal d'amenée de la Gravona . . . . . »
2° Barrage de prise d'eau et ouvrages accessoires du canal d'irrigation de la Bourne. 324
3° Barrage de prise d'eau du canal d'irrigation du Verdon. . . . . »
Tracé des canaux, pentes et profils en travers. 325

Pages.

Ouvrages d'art des grands canaux d'irrigation. 327
1° Ponts-aqueducs de Beaurivet 329
— de Malourie. 330
— de Parouvier »
— de Calèche. »
Canal d'irrigation du Rhône. »
2° Siphons . . . . . »
— du Padules. . . . »
— de Trempasse . . »
— de La Lauvière. . 331
— de Saint-Paul . . »
Souterrains. 332
Rigoles de distribution. . . . 333
Grands travaux d'irrigation entrepris en France 334
1° Canaux d'irrigation dépendant des Pyrénées. . . . . »
Canal d'irrigation de Saint-Martory. 335
Canal de l'Etelle . . . . . »
2° Canaux d'irrigation dépendant des Alpes. 336
Irrigation du bassin du Rhône »

Les chemins de fer, tramways, routes et chemins.

PREMIÈRE PARTIE : *Étude sur l'Exploitation proprement dite des chemins de fer*, par MM. COSMANN et SARTIAUX.

Pages.

I. *Préliminaires.*
Stations de passage 100
Gares de bifurcation 101
Gares de marchandises. . . . 102
Gares de triage 104
Ateliers. 110
Bâtiments. 111

II. *Appareils destinés à garantir la sécurité de l'exploitation.*
SECTION A.
Signaux optiques et acoustiques.
Feux-signaux. 115
Signaux des trains. 116
Intercommunication des trains 117
Poteaux de bifurcation. . . . »
Disque à plusieurs transmissions 118

Pages.

Slot-signal 119
Disque à moteur électro-magnétique . . . . . »
Photo-avertisseur. 120
Contrôleur du fonctionnement des disques 121
Contrôleur autrichien 123
Disques bas. . . . . »
Disques à deux feux. . . . . »
Disque automoteur du système Pignel. . . . . »
Disque automoteur du système Moreau. 124
Disque de correspondance. . 125
Indicateurs de direction . . . 126
Aiguilles en pointe. . . . . »
Indicateur pour aiguille triple »
Indicateur d'aiguilles. . . . . »
Sémaphores 127

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Sonneries d'annonce de la marche des trains . . . . . »
But des sonneries d'annonce. »
Types divers de sonneries. . 128
Sonneries allemandes, 1er type »
Sonneries françaises, 2e type. 129
Sonneries allemandes, 3e type
Sonneries autrichiennes, 4e type 131
Sources d'électricité des sonneries d'annonce 132
Sonneries anglaises 133
Pédale d'annonce pour les passages à niveau 134
Contrôleurs d'aiguilles . . . 135
But des contrôleurs d'aiguilles »
Contrôleur électrique du système Lartigue 135
Appareils à contacts fixes (définitions) 136
Sifflet électro-automoteur. 137
Protection électro-automatique des gares 138
Appareils à contact fixe du système Sauvajon 139
Application des contacts fixes à la manœuvre des freins.. 142
Appareil Brunius . . . . . »
Contact fixe anglais . . . . . »
Système Baillehache . . . . . »

Section B. — *Organisation des signaux.*

1° Appareil du block-system (classification) 143
Appareil Tyer . . . . . »
Indicateur Regnault 144
Appareils du second groupe. 147
Appareils Siemens et Halske. 149
Electro-sémaphores Lartigue Tesse et Prud'homme. . . »
Electric-slot-signal. 152
Block-system automatique . 153
Discussion du block-system . »
Longueur des sections. . . . 155
Dépenses d'installation . . . 156

2° Appareils pour la circulation sur une seule voie : circulation sur les lignes à voie unique. 157
Block and staff-system. . . . »

Pages

Sonneries d'annonce. 158
Electro-sémaphore Lartigue. »

3° Appareils d'enclenchement : but et définition . 159
Enclenchements Saxby et Farmer. 160
Block and interlocking system. 162
Enclanchement des barrières de passage à niveau. . . . . »
Mécanismes divers d'enclenchement. 163
Exemples d'application des enclenchements 164
Enclenchement à distance. . 165
Pédales de calage et verrous d'aiguille. . . . . »

Section C. — *Des freins.*

1° État actuel de la question des freins 167
Résumé des essais antérieurs à 1867. . . . . »
Freins continus. . . . . »
Freins automatiques. 168
Inconvénient des freins continus. 169
Conditions imposées aux freins contenus. . . . . »
Classification des divers systèmes de freins. 170

2° Frein automoteur Lefèvre et Darré. 171

3° Freins à chaîne et à friction. 172
Principe des freins à chaîne. »
Frein Clarke et Webb . . . . »
Frein Becker 174

4° Freins à air comprimé : Frein atmosphérique de Westinghouse 176
Frein automatique de Westinghouse 177
Frein aéro-électrique de M. Mathieux 180

5° Freins à vide : Principe général. 181
Frein Smith 182
Frein Hardy 184
Frein à vide automatique de Sanders. . . . . »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Frein automatique de Hardy. 185
Frein Wenger. 187

6° Comparaison des prix et des résultats obtenus avec les divers systèmes de freins 188
Prix comparatifs. . . . . »
Essais comparatifs des freins Smith et Westinghouse . . 189
Essais du North Eastern . . . 191
Essais du frein Sanders . . . »
Essais de Günthershausen . . 192
Essais du frein Smith 193

III. *Chauffage et éclairage sur les chemins de fer (par Cossmann.)*

Section A. — *Chauffage.*
Etat actuel de la question . . 194

1° Programme à remplir . . 195
Classification des divers systèmes. 196

2° Chauffage continu : Chauffage au gaz du système Chaumont 197
Chauffage de l'air par la vapeur empruntée à la machine. 198
Chauffage de l'air par la vapeur empruntée à une chaudière spéciale. 200
Chauffage continu des chaufferettes à eau par la vapeur. 201
Chauffage par circulation d'eau chaude. 202

3° Chauffage à discontinuité restreinte, par des poêles : avantages et inconvénients des poêles. 204
Poêles allemands. . . . . »
— autrichiens. 206
— russes. . . . . »
— Meidinger. 207
— calorifère essayé par la compagnie de l'Est. . . »

4° Chauffage à discontinuité restreinte, par des calorifères : avantages et inconvénients des appareils à air chaud . . . . . »

Pages.

Appareil Thaun . . . . . »
— Maëy 208
— des Dombes . . . . »
— Kiénast et Grandvallet. 209
Appareil Mousseron . . . . . »

5° Chauffage à discontinuité restreinte par l'eau chaude : appareils à circulation d'eau chaude. . . . . »
Emploi de l'eau surchauffée. 212

6° Chauffage à discontinuité absolue, par les procédés autres que l'eau chaude : emploi des combustibles agglomérés 212
Caisses placées sous les banquettes. 213
Caisses-chaufferettes. 217

7° Chauffage à discontinuité absolue par l'eau chaude :
Bouillottes mobiles. 218
Réchauffage par injection . . 220
— par immersion . 222

Section B. — *Eclairage des trains :*

1° Divers modes d'éclairage : Importance de l'éclairage des trains 224
Matières employées pour l'éclairage des trains. 225
Emploi et essai de l'huile végétale . . . . . »
Emploi et essai de l'huile de pétrole. 228
Emploi du gaz 229

2° Appareils d'éclairage : Forme et position des brûleurs pour l'huile végétale. 230
Lampe à pétrole. 231
Éclairage au gaz. 232
Emploi des verres colorés pour les signaux. . . . . »
Nature et forme des réflecteurs. 233
Position des lampes dans les compartiments. 234
Conclusion. . . . . »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

	Pages.
IV. *Appareils divers de l'exploitation technique.*	234
SECTION A. — *Manutention :*	
Appareils de pesage et de levage	235
Bascules	»
Grues fixes et pivotantes. . .	235
— Nepveu.	237
— roulantes et pivotantes.	238
Treuils roulants.	239
Transbordement mécanique des marchandises	»
Transbordement mécanique des masses divisibles. . . .	241
Grousokate.	242
Transbordement de la houille	243
— des liquides.	244
2° Manœuvre des wagons : Prix de revient du triage..	244
Chariots transbordeurs. . . .	246
Machine de manutention . .	248
Cabestans hydrauliques.. . .	249
Chasse-wagons.	»
Plaque tournante à mouvement élévatoire	250
Wagon plaque tournante . .	251
Attelage des wagons par le côté.	251

	Pages.
SECTION B. — *Appareils divers :*	
1° Contrôle de la vitesse et de la marche des trains. . . .	252
Contrôleur Brunot.	»
Indicateur de vitesse du système Napoli	253
Appareils de M. Le Boulangé.	»
Tachymètre électrique. . . .	256
2° Appareils divers : Contrôleur des rondes de nuit. .	257
Seismographe	258
Wagon d'expériences de la compagnie de l'Est.	»
1° Chemins de fer français .	262
2° — belges . .	264
3° — anglais. .	265
4° — allemands	266
5° — russes. . .	268
Conclusion	269
SECTION C. — *Résultats commerciaux de l'exploitation :*	
Contrôleurs électriques des cuves à eau.	
Système Lartigue.	338
— Autrichien	»
— Vérité.	339
— Hardy.	340
Appareil récepteur.	341
Système Jousselin et Gaussin.	»

DEUXIÈME PARTIE. — *Voie et matériel roulant*
par MM. P. GUILLEMANT ET A MOREAU, ingénieurs civils.

	Pages.
Introduction	345
Statistique des chemins de fer au 1er 1866 et au 1er janvier 1877.	346
I. *De la voie en général*	347
Eclissage	351
Traverses	352
Élaboration des traverses. . .	354
Voies sur longrines	»
Voies métalliques.	»
Ballast.	»
Assainissement des tranchées et remblais	355

	Pages
Disposition spéciales de certaines partie de la voie . .	»
Jonctions de voies.	»
Traversée oblique.	356
Traversée rectangulaire. . . .	357
Plaques tournantes.	»
Chariots roulants.	»
De la voie métallique des chemins de fer.	358
Traverses métalliques. (Système Massardui.).	»
Application à la voie vignole	»
Application à la voie double champignon.	»

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

	Pages.
Système Legrand.	»
— Vautherin.	359
— Brunon..	360
Voie sur longrines métalliques. (Système Hilf)	»
II. *Matériel roulant* :	
Préliminaires	361
Les voitures.	362
1° Etude de la caisse	»
2° Eclairage.	363
3° Voitures spéciales	364
1° Coupé	»
2° Coupés, fauteuils, lits . . .	»
3° Coupés-lits	»
4° Sleeping-cars.	»
5° Construction de la caisse. .	366
6° Chauffage des voitures. . .	367
7° Voitures accessoires. . . .	»
8° Matériel américain.	368
9° Types divers	369
10° Châssis proprement dits .	»
11° Suspension, ressorts . . .	370
12° Attaches des ressorts . . .	371
13° Choc et traction.	372
Ressort Brown.	375
14° Boîte à graisse	376
Boîte à huile	377
Boîte Delannoy.	»
Boîte Dietz	378
Boîte à galets	379
14° *bis*. Plaques de garde . .	»
15° Essieux	»
Epreuves des essieux	380
16° Roues.	380
17° Nombre et écartement des essieux	382
Généralité sur les wagons :	
Caisse	384
Transport des animaux. . . .	»
Marchandises délicates	385
Marchandises grossières. . . .	»
Wagons tambereaux	»
Wagons plate-formes.	386
Wagons spéciaux	»
Résumé.	»
Châssis.	387
Examen des principaux types exposé en 1878 :	
Matériel français	8
Chemins de fer de l'Est. . . .	38
Chemins de fer du Midi. . . .	391
Chemins de fer d'Orléans. . .	»
Chemins de fer de Paris, Lyon, Méditerrannée	392
Chemins de fer du Nord. . . .	»
Chemins de fer de l'Ouest . .	394
Compagnie française de matériel de chemins de fer . . .	395
Matériel étranger.	»
Belgique.	396
Autriche, wagon à bière . . .	397
Italie.	399
États-Unis.	400
Conclusion.	401
Tables et errata.	402

TROISIÈME PARTIE. — *Ponts et viaducs.*

	Pages.
Viaduc de Vezouillac.	461
Pont de Port Sainte-Marie sur la Garonne.	463
Souterrain de Pere-Ternère.	465

La Corderie, par M. Alfred RENOUARD, manufacturier.

	Pages.
I. *Matières premières employées*.	403
II. Produits de la corderie et propriétés de ces produits.	404
III. Fabrication à la main	409
IV. Fabrication mécanique du fil de *Caret*	410
V. Fabrication mécanique des cordages : premier genre de fabrication..	415
Fabrication des cordages sur une seule machine.	»
Second genre de fabrication: Fabrication successive des torons et des cables	416

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

	Pages.
Machine à toronner	»
Machines à bâler	417
Troisième genre de fabrication : fabrication par aires de cordier avec la courcuse et la fileuse en gros	418
Opérations accessoires	421

Les grands travaux publics.

(Notes supplémentaires).

	Pages
I. *Les travaux maritimes :* *Port de Dunkerque* : Ecluses à sas d'entrée du bassin de l'ouest. — Dispositions générales de l'écluse	423
Utilisation des aqueducs et des vannes des portes pour les chasses	426
Détails de la construction	427
Dépense	428
Bateau à vapeur aspirateur dragueur et porteur	428
Régime de la passe d'entrée	»
Effet des chasses agissant seules	»
Combinaison des chasses et des dragages	»
Difficulté du dragage	429
Caractères essentiels de l'appareil	»
Dispositions d'ensemble	»
Dimensions principales	430
Machine motrice	»
Pompes de pression et d'aspiration pour l'extraction des déblais	»
Elindes	431
Injecteurs	»
Tuyaux à jet pour la désagrégation des déblais	»
Equipage	432
Mode de fonctionnement	»
Dépense	433
Port du Hâvre : Agrandissement de l'avant-port du côté sud. Objet des travaux	433
Dispositions générales	»
Mode d'exécution	434
Port de Saint-Nazaire : Nouveau quai ouest du bassin à flot de Penhouët	435
Bassin à flot du port de Bordeaux	440
Forme de radoub et porte d'écluse	»
Distribution sommaire des ouvrages	»
Altitudes	»
Bassin proprement dit	441
Puits artésien	442
Ecluse	»
Pont tournant	»
Chenal d'entrée en rivière	443
Fondation, etc., etc	454
II. *Phares et balises.* Le phare du four	445
— d'Ar-Men	449
— Planier	454
Tour-balise de Lavezzi	»
Appareils pour feu fixe et scintillant	457
Appareil de feu de marée	»
— pour feux provisoires de différents caractères	459
Becs et lampes à huile minérale	»
Phares électriques	460

La marine marchande et les ports de commerce.

	Pages
Résumé historique	6
La marine marchande et les ports français	18
Les ports de la mer du Nord et de la Manche	21
Les ports de l'Océan	27
La marine marchande et les ports étrangers	36
Les ports de la mer du Nord et de la Tamise	38

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

	Pages.
Ports des côtes accidentales de la grande Bretagne	41
Ports de l'Irlande	43
Ports de la Scandinavie	44
— du Danemark	45
— de l'Allemagne	46
— des Pays-Bas, de la Belgique	48
Les ports de l'Espagne et du Portugal	49
— de l'Italie	51
— de l'Autriche	52
Ports de l'Orient : Grèce, Turquis, Egypte mer noire	51
Les ports des mers des Indes et de la Chine	53
Les ports de la Chine et du Japon	53
— de l'Océanie	54
— *de commerce de l'Amérique*	54
Ports des États-Unis	55
— du Mexique et des Antilles	56
— de l'Amérique du Sud	56

Le génie civil.

	Pages.
Les matériaux de construction	533
Marbres d'Algérie	527
Matériaux artificiels	528
Ciment de Portland	528
— Vicat	529
Béton agglomeré	530
Ciment de magnésium	532
Similipierre, similimarbre	532
Terrassement et outillage des chantière	535
Procédés divers de fondations et travaux hydraulique	536
Alimentation des villes et travaux d'architecture civile	537
Matériel des chemin de fer (Notes)	539

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES FIGURES.

Hydraulique et canaux d'irrigation.

Figures.		Pages.
1.	— Hydrotimètre	51
2.	— Galerie de filtration des eaux de la Garonne à Toulouse	70
3.	— — — du Rhône à Lyon	70
4.	— Vue intérieure d'un réservoir filtrant	71
5.	— Coupe de la galerie de filtration des eaux du Rhône à la Roche de Comps	73
6.	— Aqueduc pouvant servir à l'introduction des eaux du fleuve dans la galerie de filtration	74
7.	— Réservoir et bassin filtrant de Bettersea	75
8.	— Clarification des eaux de la Sprée à Berlin	76
9, 10.	— Coupes du réservoir d'Amiens	79
11, 12.	— Plan et coupes du réservoir du haut service de Lyon	79
13 à 15.	— Plan et coupes du réservoir de la porte d'Alais à Nîmes	80
16 à 18.	— Réservoir construit en 1875 au pied du mont Valérien	81
19.	— Manœuvre des vannes	84
20.	— Réservoir	87
21, 22.	— Tuyaux de fonte à emboîtement et cordon	89
23.	— Manchon d'assemblage	90
24.	— Tuyaux de fonte à brides	90
25.	— Joint élastique de M. Petit	91
26.	— Tuyaux en tôle de fer	92
27 à 29.	— Robinets en fonte	93
30.	— Robinet vanne	94
31, 32.	— Disposition de ventouses	95
33, 34.	— Chambre en maçonnerie	95
35.	— Vue intérieure du robinet Chameroy	96
36.	— Compteur Hirt	276
37.	— Pompe à main	279
38.	— Réservoir-filtre Chanoit	279
39.	— Vue d'un robinet-vanne de 1m,10 de diamètre	282
40, 41.	— Prises d'eau	317
42, 43.	— Martelières	320
44 à 55.	— Principaux types de profils en travers du canal de Carpentras	328
56, 57.	— Vanne de décharge construite sur le canal de Marseille	353
58, 59.	— Prise d'eau à deux vannes du canal de Peyrolles	333

Chemins de fer.

Figures.		Pages.
1.	— Poteaux indicateurs de bifurcations, à moins de 800 mètres	117
2.	— Disque électrique de M. Langie, marche des courants	119
2 *bis*.	— Détail de la roue motrice	120
3.	— Photo-avertisseur Coupan, marche des courauts	121
4.	— Commutateur Lartigue	122
5.	— Boussolle de directions (système Lartigue)	123
6.	— Disque de correspondance à double effet	125
7.	— Indicateur Walker	133
8.	— Block-system	139

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Figures.		Pages.
8 *bis.*	— Boîte de distribution	140
9.	— Brosse et sifflet sur tender	141
10.	— Brosse sur véhicule d'arrière	141
11.	— Croquis théorique des appareils Regnault, à l'état de repos	145
12.	— Croquis théorique des appareils Regnault, après l'annonce d'un train	146
13.	— Croquis théorique des quatre positions du commutateur de l'électro-sémaphore Lartigue	150
14.	— 1er Système d'enclanchement Saxby et Farmer	160
15, 16.	— Manœuvre des locks par le ressort, élévation et plan	161
17.	— Pédale de calage et verrou d'aiguilles	166
18.	— Verrou d'aiguilles à double action	166
19.	— Coupe transversale de deux véhicules accouplés	173
20.	— Détail de l'appareil pour maintenir les sabots à une distance déterminée des bandages	173
21.	— Frein Becker. Élévation et plan	175
22.	— Expériences de Güntershausen	193
23.	— Mesure des efforts de traction	259
24.	— Explorateur des pressions	260
25.	— Régulateur de pression	261
25.	— Récepteur de l'appareil Jousselin et Gaussin	342
26 à 29.	— Traverses en bois de chêne avec aubier ou en bois de hêtre	352
30.	— Jonction de voies	356
31.	— Traversée oblique	356
32.	— Système Legrand coupe transversale	359
33.	— — — Plan	359
34.	— — — Coupe du rail	359
35.	— — — Coupe au joint	359
36 et 37	— Cols de cygne de tampon	368
38.	— Crochet disposé pour recevoir un tendeur	374
39.	— Tendeur au repos	374
40, 41.	— Coupes	374
42.	— Boîte Dietz	378
43.	— Jante de roues	381
44.	— Bandage de roues	382
45.	— — dévié	382
46, 47.	— Bandages rivés ou vissés sur les jantes des roues	382

La Corderie.

Figures.		Pages.
1.	— Machine à fabriquer le fil de caret exposée par MM. Sam, Lanson et Cie de Leeds	411
2.	— Machine à fabriquer le fil caret dite à pot tournant de M. Motiron	412
3.	— Machine à fabriquer les cordes d'un seul jet	425
4.	— — à toronner	417
5.	— — à cabler	518
6.	— — dite *coureuse*	419
7.	— — dite *fileuse en gros*	420

FIN DE LA TABLE DES FIGURES.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES PLANCHES.

Hydraulique.

Planches.

I — Les canaux. Filtre de Valence, etc.
II — Pont-syphon et aqueducs.
III — Réservoirs et galerie de filtration.
IV — Distribution des eaux de Nimes.
V — Réservoirs-filtres.
VI — Compteurs d'eau et filtres.
VII — Filtrage des eaux. Bornes-fontaines.
VIII — Bornes-fontaines.
IX — Robinets, bornes-fontaines.
X — Canaux d'irrigation, déversoir, passage d'un canal, syphon, prise d'eau.
XI — Canaux d'irrigation. Barrage mobile.
XII — — — Siphon pour le passage d'une voie ferrée, etc.

Chemins de fer.

Planches.

I, II et III — Gares et stations.
IV — Central Banhof, Magdeburg. Disposition des grilles pour le triage, etc.
V — Ateliers d'Hellemmes. Stations de : Hesdin, de Villefranche, de Rosporden. Halte de la Comté. Gare de Paris.
VI — Gares et stations.
VII — Signaux : Disque à distance. Disque d'arrêt à deux feux.
VIII — — Disque automatique, indicateur de direction.
IX — — Sonneries allemandes (système Siemens).
X — — Sonneries françaises (système Vérité).
XI — — Nouvelles sonneries allemandes (système Siemens et Hadesk).
XII — Pédale d'annonce pour les passages à niveau. — Sonnerie.
XIII — — Contrôleurs électriques appliqués aux aiguilles manœuvrées à distance.
XIV — — Sifflet à électro-moteur contact fixe.
XV — Appareils divers. — Contrôleurs, etc.
XVI — de sécurité, électro-sémaphore.
XVII — d'enclanchement (système Saxby et Farmer).
XVIII — Types d'enclanchement aux bifurcations.
XIX — Frein à chaîne de M. Becker, frein automoteur Lefèvre et Doré.
XX — — à air comprimé de Westinghouse.
XXI — — à vide de Smith, frein automatique de Sanders, etc..
XXII et XXIII. — Appareils de chauffage des trains (appareils divers).
XXIV — — de chauffage des trains (Ouest et P.-L.-M.)
XXV — — pour le chauffage des chaufferettes par la vapeur.
XXVI — — pour le réchauffage des chaufferettes (Est).
XXVII — Indicateurs électriques de niveau des cuves à eau.
XXVIII — Rails et éclissages.
XXIX — Voies métalliques.
XXX — Voiture de 1re classe a quatre compartiments, des chemins de fer de l'ouest.
XXXI — Wagon tombereau à frein et guérite; wagon plat à bout tombant du chemin de fer de l'ouest.
XXXII et XXXIII — Voitures et wagons.

FIN DE LA TABLE DES PLANCHES.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDES SUR L'EXPOSITION DE 1878

TABLE GÉNÉRALE ET ALPHABÉTIQUE
DES MATIÈRES CONTENUES DANS LES NEUF VOLUMES (1).

	Tome.
Abris provisoires, abris définitifs. 505	VIII
Acier (métallurgie de l') . . . 305	
— à 352	III
Acoustique 464	VII
Aérostation : Construction, description et direction des ballons 121 à 190	V
— 98, 287	IX
Agriculture : Matériel des exploitations rurales ; bâtiments ruraux ; exploitations forestières ; produits agricoles alimentaires et non alimentaires. 115, 278	»
— République Argentine . . 500	»
— Belgique 241	»
— Algérie 152, 480	»
— Égypte 371	»
— Norwége 187	»
— Danemark 499	»
— Animaux domestiques : Race chevaline. Races bovine, ovine, porcine. Animaux de basse-cour. Race canine. 301 à 537	II
— Céréales : produits farineux et leurs dérivés. 627	»
— Usines agricoles 603	»
— Engrais et amendements 177 à 300	»
— — la Colombine (Égypte) 375	IX
— L'enseignement agricole. 99 à 130, 373 à 377	IV
— Le génie rural . . . 200 à 251	VII
Alfa (textile). 481	IX
Algérie (l') : Mines et carrières, métallurgie, la sylviculture, produits agricoles, industrie, statistiques. 519	IV
Algérie (l'). 146, 453	IX
Aliment : La viande. 193	VIII
Alizarine artificielle. 361	VI
Amidon 414	VIII
Aniline (couleurs). 383	VI
Animaux domestiques ; Animaux de ferme et volailles. 301 à 527	II
— 120, 365	IX
Anthra-violet 375	VI
Anthropologie 85	IX
Apiculture 624	II
Appareils et instruments de l'art médical, matériel de secours aux blessés sur le champ de bataille. . . . . 449 à 604	VIII
Appareils enregistreurs (carr.) 621	VI
Appareils enregistreurs (voir Méthode graphique). 329	VII
Appareils de sécurité 167	I
Appareillage (Génie civil) . . . 264	VII
Apprêts 406	VI
Aquiculture d'eau douce . . . 318	VIII
Arboriculture 32, 408	IX
Architecture : Constructions en fer des pavillons de l'Exposition de 1878. 18	»
— Édification du Palais du Trocadéro. 116	»
— Dessins et modèles. 141	»
— Le Pavillon de la Ville de Paris. 547	IV
— La charpente en fer (V. serrurerie) 29	»

(1) Chaque volume étant précédé d'une table très-détaillée des matières qu'il contient, nous n'avons donné ici que les indications générales.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

	Tome.
Architecture navale (voir Marine).	V
Argent (métallurgie de l') . . . 89	III
Arts : Les œuvres d'art à l'Exposition de 1878; peinture, sculpture, modèles d'architecture, gravure et lithographie, etc. 138, 158, 192, 209, 294, 296, 346, 414, 509 519, 529	IX
Arts industriels: Revue rétrospective, notions générales sur l'art céramique; la faïence de Rouen, la porcelaine, l'art fantaisiste, etc. 1 à 28	VII
Arts militaires: Constructions militaires; artillerie, armes à feu, armes blanches, poudre et dynamite, les torpilles, aérostation, télégraphie militaire etc. . . . . 1, 81 et 569	V
— Espagne . . . . . 203 à 375	IX
Arts textiles (les) : Coton, laine, lin, chanvre, soie, jute, phormium, etc. . . . . 1 à 64	III
— 335	IX
Astronomie. . . . . 513 à 559	V
Automates. 92	»
Avant-trains (carr.). 607	VI
Aviation (V. aérostation) . . . 121	V
Balanciers. 556	VII
Ballons (V. aérostation). . . . 121	V
Baraque-ambulance. 533	VIII
Beurre (le). 237	»
Bimbeloterie : Cartes, jouets scientifiques, automates, etc. 78	VII
Blanchiment, blanchissage. . 348 389, 395	VI
Bleu d'anthracène. 368	»
Bois (conservation des) 293	VII
Boissons fermentées (les): Le vin, la bière, le cidre, le poiré, etc. 269	VIII
Boissons fermentées. 439	»
Bonneterie et lingerie. 557	III
Boulangerie 619	II
Boutons (machines à fabriquer les). 548	VII
Brancards 455	VIII
Brasserie. 27	IX
Broderies 510	III
Bronzes d'art 360	IX
Cacolets et litières 472	VIII
Café 610	II
Caisses (carr.) 611	VI
Carrosserie et charronnage. . 545	IV
— 585	VI
Cartographie et cosmographie : Les cartes et les globes et les appareils de cosmographie . 77 à 97	»
261	IX
Céramique : Notions générales sur l'art céramique. 12	VII
— La céramique du bâtiment 98	
— 303, 320	IX
— à l'Étranger. Belgique . . 339	VII
— — Italie. 534	»
— — Suède et Norwége. 216	»
— — 572	V
Céréales. 627	II
— 534	IV
Céruléine 377	VI
Chaleur. 465	VII
Chantiers de construction : L'outillage. 277	»
Chapellerie. 419, 438	IV
Charpente. 258, 267, 284	VII
Chaudières marines (V. marine). 83	V
Chauffage et ventilation des édifices publics et privés : Études sur les combustibles, cheminées, calorifères, applications. . 1 à 27,	
— 131 à 328	IV
— 561	V
— 194	I
Chemins de fer ; tramways ; routes et chemins . . . . 99 à 270, 337	I
Chimie industrielle : La potasse et les sels neutres de potasse, iode, salpêtre et nitrate de soude 117	
— à 238	VI
— Blanchiment et blanchissage ; impressions et teintures 348	»
— (Arts chimiques.). 574	V
Chocolat (le). 612	II
Chromolithographie. 191	VIII
Ciments 263, 300, 310	VII
Civières 467	VIII
Condiments et stimulants. . . 609	II
Confiserie 609	»
Conservation des denrées alimentaires 173	IX
Constructions économiques : Maisons en carton (Russie). . . 306	»
Corail 153	»
Cordonnerie 438	IV

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

	Tome.
Couleurs (fabrication des) (V. chimie industrielle) 349	VI
Couleurs (fixation des) 386	»
Couleurs vapeurs 365	»
Coutellerie 216	IX
— 605	VII
Couverture et plomberie 271, 296	
— 299, 303	»
Crémation (la) 7	IX
Crême (la) 236	VIII
Cristaux (les) et la gobeleterie 143	
— à 168	VII
— 564	V
Cuivre (métallurgie du) 89	III
Cylindres à vapeur 477	VI
Denrées et produits alimentaires; Café, condiments et stimulants confiserie, chocolat, épices, liqueurs sucrées et fruits, miel, moutarde, vinaigre, etc. . . 602	II
Dentelles. 497	III
Dessin: L'enseignement du dessin en 1878; dans les salles d'asiles, dans les écoles primaires; cours de dessin industriel à l'étranger 119 à 142	VII
Dessin industriel (industrie des étoffes peintes). 399	VI
Distillation: appareils et modes de fabrication les plus en usage et les plus nouveaux . . 111 à 176	II
Dynamite (V. arts militaires). . 1	V
Eclairage: l'industrie du gaz, 379 à 404.	IV
— 561	V
Écoles (les maisons d'). . . . 103	IX
Éducation et enseignement; matériel des arts libéraux (grand duché du Luxembourg). . . . 324	»
Éducation des femmes en Portugal. 108	»
Éducation et enseignement en Danemark 494	»
Égouts (les eaux d'). 245	
Électricité. 489	VII
Émaux. 162	»
Engins de construction. . . . 265	»
Engins de pêche 378	VIII
Engrais et amendements 177 à 300	II
— La Colombine (Égypte). . 375	IX
Enseignement : L'enseignement agricole; enseignement général enseignement spécial, enseignement primaire, secondaire et supérieur. . . 99 à 130, 373 à 377	IV
Enseignement en Algérie. . 529	IX
Enseignement primaire, secondaire et supérieur (Italie) 529	»
— Suède et Norwège. . 179, 213	»
— Espagne. 195	»
— Suisse. 510	»
Eosine. 375	VI
Epices 612	II
Épingles (machines à fabriquer les). 549	VII
Essences (V. parfumerie) . . . 129	VIII
Essieux (carr.) 594	VI
Eventails (les) et la bimbeloterie 69 à 117	VII
— 271	IX
Excavateurs. 305	VII
Explosions (V. arts militaires). . 1	V
Fécule et amidon . . . 395 à 431	VIII
Fer (le) : Métallurgie du fer. 65 à 88	
— 118 à 140, 213 à 268	III
Ferronnerie (V. serrurerie) . . 29	IV
Fonte (la). . . . . 279 à 397	III
Fonte (la) malléable . . 298 à 304	»
Forêts: Matériel des exploitations forestières. 278	IX
— Productions forestières de l'Algérie. 149	»
(Voir aussi: Sylviculture) . . . 47	II
— Produits des exploitations et des industries forestières 282	IX
Forges: Les forges mobiles . . 317	VII
Fourrages 444	VIII
Fourrure. 217	IX
Freins. 167	I
Fromage (le). 245	VIII
Gaz (industrie du), 379 à 404	IV
Générateur solaire 479	IX
Générateurs à vapeurs. . . . 100	»
Génie civil: La construction; outillage et procédés des différents corps d'état; vitrerie, menuiserie charpente, maçonnerie, couverture et plomberie, peinture du bâtiment, cheminées de construction, engins de construction. Glaces et miroiterie, céramique, matériaux de construction, 254	
— à 327	VII
Génie rural: Machinerie agricole,	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

	Tome.
Génie rural : Machinerie agricole, dynamomètres, charrues, scarificateurs. . . . . 200 à 254	VII
Génie rural : Matériel agricole de l'Egypte moderne. 375	IX
Glaces (mobilier). 159, 323	VII
Glucoses (fabrication des). . . 425	VIII
Gobeleterie ordinaire. 156	VII
Gravure : Étude sur la gravure ; taille-douce et eau forte, gravure sur bois, procédés qui se substituent à la gravure, procédés d'impression en couleurs. . . . . 171 à 191	VIII
— Sur médaille 140	IX
— (Industrie des étoffes peintes) 401	VI
Grues. 304	VII
— 357	I
Habillement : L'habillement des deux sexes ; produits et procédés de fabrication ; le vêtement proprement dit ; la chapellerie, la chaussure ; machines servant à la confection, celles servant à la fabrication des chaussures ; les machines à coudre et les machines spéciales ; machines accessoires employées à la confection du vêtement. 405 à 518, 537	IV
Hamac-tente. 508	VIII
Hamacs 450	»
Hôpitaux. 540	»
Horlogerie : Horlogerie de précision, horlogerie ordinaire ; mécanismes divers. . . . . 287 à 348	VI
— 609	VII
Horlogerie (Suisse) 511	IX
— Autriche-Hongrie 361	»
Horticulture : Serres et matériel de l'horticulture. 617	II
— Les concours d'horticulture. 605	»
— L'horticulture en Egypte. 368	
— 420	IX
Houblon 443	VIII
Houille (la). 92	»
— Belgique 331	»
Hydraulique : Les distributions d'eaux et les canaux d'irrigation. . . 44 à 78, 271 à 337	I
— Canaux et irrigations en Egypte. 381	IX
Hydraulique : Distribution d'eau des palais du Champ-de-Mars et du Trocadéro 300	IX
Hygiène : Les progrès de l'hygiène ; influences lumineuses ; influences thermiques ; influences des qualités du sol ; influences diverses ; population, professions. 1 à 128	VIII
Impressions et teinture des tissus ; blanchiment et blanchissage ; procédés chimiques ; machines et outillage 348	»
Impressions en couleurs (chromolithographie). 191	»
Imprimerie et librairie . . 219, 352	IX
— 573	VII
— 468	VI
Indigo. 369	»
Insectes nuisibles 626	II
Instruments de musique : Autriche-Hongrie. 356, 545	IX
Instruments de précision. . . . 243	»
Instruments de précision, de physique et de navigation. 433, 543	VII
Introduction générale 1	I
Introduction à la métallurgie. 269	
— à 277	III
Joaillerie 607	VII
Lait (le). 231	VIII
Laminoirs. 563	VII
Lavage. 392	VI
Liqueurs sucrées et fruits . . . 613	II
Locomotives 81	VI
Machines à coudre. 468	IV
Machines élévatoires ; grues. 304 320	VII
Machines à travailler la pierre 314	»
Machines à vapeur : Machines locomotives, locomobiles et de tramways. 81 à 98, 239 à 286	VI
— La grande machine belge à l'Exposition de 1878 . . 526	IX
— Fixes et demi-fixes. 460, 554	VI
Machines à vapeur de navigation (V. marine) 122	V
Machines Corliss. 485	VI
— Wolff à balancier. . 522	»
Machines à composer (imp.). 591	VII
Machines-outils à travailler le bois et les métaux 513, 597	»
Machines-outils (petites) et instruments employés dans divers travaux. 543	»

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

	Tome.
Maçonnerie 258, 267, 303	VII
Magnétisme 488	»
Maisons économiques. 307, 312, 313	»
Marine et constructions navales: Marine militaire, marine marchande ; chaudières et machines marines, machines d'embarcations, appareils auxiliaires, de l'emploi de l'acier dans les constructions navales. 83, 110, 191	
— à 314.	V
Mordants 386	VI
Maroquinerie 466	»
Matériel des arts de la peinture et du dessin 229	IX
Matériel et appareils employés dans l'industrie des toiles peintes et dans la teinture en général. 408	VI
Matériel des arts chimiques, de la pharmacie et de la tannerie. 447	VIII
Médecine, hygiène et assistance publique 218	»
Menuiserie. 260, 268, 285	VII
Métallurgie : La fonte, le fer, l'acier l'or, l'argent, le cuivre, le plomb le zinc, etc . . . . . 252 à 428	III
— État actuel de la production des métaux dans les différents pays. 353, 428	»
— Les mines métalliques en Algérie 148	IX
— Note sur les métaux précieux. 594	III
Météorologie. 1	VI
Méthode graphique (la) et les appareils enregistreurs 329	VII
Méthode graphique (la), et les appareils enregistreurs, leurs applications aux sciences physiques, mathématiques et biologiques 329 à 432.	»
Miel (le). 612	II
Mines : Produits de l'exploitation des mines. 573	III
— Progrès accomplis dans l'art des mines. 580	»
Mines et métallurgie : Autriche-Hongrie. 363	IX
— Belgique 331, 527	»
— Danemark 497	»
— Algérie. 147	»
— Grand Duché du Luxembourg 326	IX
— Égypte. 435	»
Miroiterie (la). 326	VII
Mobilier (le) et ses accessoires 180	IX
— Algérie. 525	»
— Autriche-Hongrie 356	»
— Belgique 524	»
— Danemark 415	»
— Espagne 196	»
— Grand duché du Luxembourg 325	»
— Italie. 166	»
— Suède et Norwége . . . 180	»
Montage et transport des matériaux 259	VII
Mordants. 386	VI
Mosaïque 537	IX
Moteurs industriels (petits). . 575	VI
— à air chaud 575	»
— à gaz. 579	»
— à eau. 583	»
Moutarde. 611	II
Musique : Les instruments de musique . . . . . 29 à 67	VII
— 249	IX
Naphtylamine. 380	VI
Nationalités (table abrégée des matières par ordre de). XV	I
Navigation de plaisance : Construction des embarcations à la rame, à la voile et à vapeur. 425	V
Navigation aérienne (V. aérostation). 121	»
Nickel (métallurgie du). . . . 89	III
Nitro-alizarine. 367	VI
Noir d'aniline. 357	»
Objets de pansement. 546	VIII
Objets de voyage et de campement. 567	V
Optique 473	VII
Orfévrerie 538	IX
— 605	VII
Organes de distribution (machines à vapeur. 480	V
Ostréiculture (Voir pisciculture marine) 338	VIII
Outils à travailler le bois et les métaux 316	VII
Outillage en général et procédés mécaniques. 523	IX
Outremers. 382	VI

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

		Tome.
Papeterie, reliure. .	179, 221, 353	VI
—	468	»
— (Machine pour).	551	VII
Papiers peints.	604	VIII
Parfumerie (la) : Usage des odeurs ; matières premières ; procédés de fabrication	129 à 169	VIII
Parfumerie	605	»
Passementerie	543	III
Pâtisserie.	621	II
Pêche : Fabrication des filets de pêche	545	III
Peinture à l'huile, peintures diverses et dessins (V. arts)	138	IX
Peinture : La peinture en bâtiment	260, 273, 288	VII
Pharmacie (matériel de la).	574	V
Photographie (la) : Résumé historique ; renseignements pratiques, les instruments et les procédés.	169	»
—	230, 355	IX
Pierre. Machines à travailler la pierre	314	VII
Pierres artificielles.	309	»
Pisciculture.	105, 187	IX
Pisciculture d'eau douce et d'eau salée	315 à 393	VIII
Plantes alimentaires	389	»
— industrielles	393	»
— médicinales	403	»
— potagères	404	»
Plomb (métallurgie du)	89	III
Plomberie (art du bâtiment)	299	VII
Pneumatique	461	»
Poissons, crustacés, mollusques	435	VIII
Ponts et chaussées	183	IX
Ports de commerce.	131	»
Potasses (sels de), extraits des eaux de la mer.	123	VI
Presses pour divers usages.	556	VII
Produits alimentaires : La viande ; production, consommation, conservation ; le lait, la crème, le beurre et le fromage ; les boissons fermentées	193	VIII
— Russie	314	IX
— Danemark	499	»
— Grand Duché du Luxembourg	329	»
— Suède et Norwége.	185	»
Produits chimiques.	176	IX
Produits agricoles non alimentaires.	442	VII
Produits chimiques et pharmaceutiques	445	»
Produits agricoles divers	443	VIII
Régulateurs électriques.	381	VII
— Foucault.	374	»
— Yvon-Villarceau.	374	»
— des docteurs Noël et Gustave Le Bon.	376	»
Reliure	222	IX
— (Machine pour).	551	VI
Ressorts (carr.)	600	»
Roues (carr.)	588	»
Saccharimétrie : L'industrie sucrière française et exotique.	1	
—	à 46, 539 à 612	II
Salpêtre (fabrication du)	160	VI
Savonnerie.	446	VIII
Sculpture	140	IX
Secours aux blessés : Engins et matériel.	544	»
Sellerie et bourellerie	272	»
Sels de table.	611	II
Sériciculture	625	»
Serres (chauffage des).	320	IV
Serrurerie : La serrurerie et ses objets d'art ; la grosse ferronnerie ; les charpentes en fer, etc.	29 à 76, 329 à 371	II
—	270	VII
Soude (nitrate de).	211	VI
Souscripteurs : 1re liste des souscripteurs, n° 1 à 500.	233	IX
— 2me liste, n° 501 à 910.	XXXVII	I
Statuaire (la)	95	»
Suspensions (carr.)	605	VI
Sylviculture : Culture et exploitation des forêts, reboisement, les torrents et les dunes.	47 à 110,	
—	631 à 642	II
Tabacs (les).	257	IX
Tabacs.	443	VIII
Tabletterie.	466	VI
Taille-douce et eau forte	174	VIII
—	574	V
Tannerie : Cuirs et peaux	622	II
Tapissier (ouvrage du tapissier et du décorateur) ; tapis, tapisseries et autres tissus d'ameublement	541	IV

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

		Tome.
Tapissier	27	IX
Teinture	348	VI
Télégraphie électrique	99, 631	»
Tentes-voitures d'ambulance	509	VIII
Tentes	511	»
Thés	610	II
Tissage	1 à 64	III
Tissus réticulaires : dentelles, tulles, broderies, tricots, passementeries, etc.	497 à 525	»
Tissus et vêtements (Danemark)	496	IX
— Luxembourg	326	»
— Autriche-Hongrie	362	»
Torpilles (V. arts militaires)	1	V
Tonnellerie	563	VII
Tramways (locomotives pour)	279	VI
Transmissions (machines à vapeur)	478	»
Transport des blessés par eau	502	VIII
Tricots	516	III
Tulles	506	»
Typographie	71	IX
Usines agricoles : Matériel et procédés des usines agricoles et des industries alimentaires	603	II
Vannerie	466	VI
Verre à vitres	159, 322	VII
—	161, 433	IX
—	564	V
Vêtement	405 à 519	IV
Viandes et poissons, légumes et fruits	437	VIII
Vin (le)	269	»
Vignes et vins de l'Algérie	483	IX
Vinaigre	611	II
Viticulture	181	IX
Vitraux	162	VII
—	564	V
Vitrerie (art du bâtiment)	273, 289	VIII
Voiture-locomotive	284	VI
— (Poids des)	585	»
Voitures-cuisines	584	VIII
Voitures d'ambulance	474	»
Wagon-cuisine	498	II
— réfectoire	499	»
— ambulance	500	»
Yachting (le) (V. navigation)	425	V
Zinc (métallurgie du)	89	III

FIN DE LA TABLE GÉNÉRALE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LES NEUF VOLUMES.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE ABRÉGÉE DES MATIÈRES

PAR ORDRE DE NATIONALITÉS

Tome.

Algérie.

Agriculture . . . . . 470, 480 IX
Alfa . . . . . 481 »
Arts textiles . . . . . 435, 443 III
Beaux-arts . . . . . 468 IX
Description topographique. . . . 462 »
Ethnographie. . . . . 462 »
Historique. . . . . 453 »
Installations d'Algérie. . . . . 485 »
Instruction publique . . . . . 467 »
Mines et métallurgie . . . . 146, 473 »
— — . . . . . 369 III
Productions, exploitations forestières. . . . . 146 IX
Produits de la chasse et de la pêche. . . . . 146 »

Prusse ou Etats allemands (1).

Art militaire . 35,61.69.80,85,398,400 V
Chemins de fer. 128,130,174,192,198 200,204,217
Conservation des viandes . . . . 217 VIII
Enseignement agricole . . . 115,116 IV
Généralités. . . . . 10 IX
Impressions et teinture des tissus. 362 383 VI
Locomotives. . . . . 239 »
Machines à coudre . . . . . 497 IV
Machines fixes et demi-fixes . . . 505 VI
Marine. . . . . 484,514 I
Métallurgie . . . . . 329,584 III
Moteurs à gaz. . . . . 580 VI
Pisciculture . . . . . 324 VIII
Potasses. . . . . 165 VI
Ventilation . . . . . 245 IV

Alsace-Lorraine (Voir *France*).

Amérique du Sud.

Conservation des viandes . . . . 217 VIII
Enseignement agricole. . . . . 115 IV
Locomotives. . . . . 256 VI
Marine. . . . . 524 I

Tome.

Angleterre.

Agriculture. . . . . 244 VII
Animaux domestiques. 373,408,427 477,524 II
Appareils d'induction . . . . . 336 V
Appareils de l'Art médical. 431, 455 496, 511, 540, 547, 553, 586, 588, 593 VIII
Art militaire . . . . . 64,79,371,379 V
Arts textiles. . . 458,504,509,512,517 III
Aviation . . . . . 170 V
Bimbeloterie . . . . . 115 VII
Carrosserie . . . . . 590, 609, 612 VI
Catalogue de la section anglaise. 17 IX
Céramique . . . . . 150,167,320 VII
Chauffage, cheminées . . . . . 147 IV
— Poëles et calorifères. 164,173,187 194 »
Chauffage des serres. . . . . 326 »
Chemins de fer. 108,117,119,133,142 143,147,152,165,172,191 I
Constructions navales . . . 84,96,273 V
Corderie. . . . . 410 I
Diamants de la couronne IX
Éclairage au gaz. . . . . 389 IV
Enseignement du dessin. . . . . 138 VII
Fromages (les) . . . . . 257 VIII
Génie civil. . . . . 314 VII
Glaces (fabrication des) . . . . . 323 »
Gravure (la) . . . . . 178,183 VIII
Horlogerie . . . . . 311,337 VI
Hydraulique 47,74,271
Impressions et teinture des tissus. 362 433, 449 »
Installation des exposants . . . . 5,81 IX
Instruments de musique. . . . . 64 VII
Instruments de précision. 469, 478 483, 484 »
Locomotives. . . .85.239,249,256, 267 VI
Machines marines. . . 111,204,212,231 238,264,272,306,328 » 484,504 V
Machines à coudre . . . . . 477 IV
— à plisser les étoffes . . . . . 515 »
Machines outils. . . . . 516, 529 VII
Machines fixes et demi-fixes. 518, 527 545, 570 VI

(1) Que l'on ne soit pas étonné de voir figurer ici *les Prussiens*, nous avons dit en commençant que nos *Études* embrasseraient l'industrie en général (*objets exposés ou non exposés*).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tome.

Métallurgie. . . . . 256,351,371,451 III
Moteurs à gaz. . . . . 582 VI
Moteurs à pétrole. . . . . 583 »
Palais du Maradjha . . . . . 289 IX
Photographie . . . . . 185 VII
Pisciculture . . . . . 325 VIII
Radioscope . . . . . 33 VI
Saccharimétrie, filtres-presses, moulins à canne, etc. . . . 570,591,594 II
Serrurerie. . . . . 331 IV
Teinture. . . . . 353 VI
Ventilation. . . . . 236,295 IV

Annam (Royaume d')

Appareils de l'Art médical. . . . 452 VIII

Australie.

Arts textiles. . . . . 437 III
Marine. . . . . 522 I

Autriche-Hongrie.

Animaux domestiques . . . . . 513 II
Appareils de l'Art médical. 454, 456 482, 467, 540, 553, 557, 565, 584 VIII
Architecture, La façade du pavillon et les installations. . . . 6,41,345 IX
Art militaire . . . . . 58,62,398 V
Arts industriels. . . . . 360 IX
Beaux-arts . . . . . 346 »
Bimbeloterie . . . . . 116 VII
Carrosserie. . . . . 605 VI
Céramique . . . . . 359 IX
Chauffage . . . . . 193.195 IV
Chemins de fer. 123,131.162,206,338 I
Cristaux et verrerie. . . . . 358 IX
Enseignement du dessin. . . 123,140 VII
Enseignement général. . . . . 349 IX
— agricole. . . . . 115 IV
Féculerie. . . . . 430 VIII
Gravure. . . . . 179 »
Horlogerie. . . . . 341 VI
Hydraulique . . . . . 373,397 I
Imprimerie et librairie . . . . . 352 IX
Impressions et teinture des tissus. 455 VI
Instruments de musique. . . . . 65 VII
— — . . . . 356 IX
Instruments de précision. 437, 452 459, 478, 485 VII
Locomotives . . . . . 239,258,259,269 VI
Machines a coudre . . . . . 499,509 IV
Machines fixes et demi-fixes. 499, 506 544 VI
Maison d'école et le pavillon des nations . . . . . 103, 228 IX
Marine . . . . . 519 I

Tome.

Pisciculture. . . . . 321 VIII
Pisciculture. . . . . 323 »
Saccharimétrie . . . . . 587 II
Serrurerie. . . . . 335 IV
Tissus et vêtements . . . . . 362 IX
Ventilation . . . . . 235 IV
Verrerie. . . . . 151, 166 VII
Vinification . . . . . 286 VIII

Belgique.

Agriculture . . . . . 339 IX
Appareils de l'Art médical. 452, 468 511, 532, 553, 558, 565 VIII
Architecture. Pavillon de l'Exposition et description de la façade et des installations . . . . . 6,333,518 IX
Art militaire. . . . . 80,398 V
Arts textiles . . . . . 442.454.504 III
— — 334 IX
Beaux-arts . . . . . 518 »
Carrosserie. . . . . 590 VI
Chauffage. . . . . 193,194 IV
Chemins de fer. . . . . 396 I
Enseignement agricole. . . . . 341 IX
— — 115 IV
— du dessin . . . . . 122,139,167 VII
Féculerie. . . . . 430 VIII
Fromages. . . . . 257 »
Galerie des machines. . . . . 251 IX
Génie rural . . . . . 230 VII
Glaces. . . . . 323 II
Gravure. . . . . 179,185 VIII
Impressions et teinture des tissus. 364 417, 457 VI
Industrie et commerce. . . . . 331 IX
Instruments de précision . . 438, 459 VII
Locomotives . . . . . 250,261,267 VI
— pour tramways . . . . . 280.282 »
Marine . . . . . 484,516 I
— 252,307 »
Machines à coudre . . . . . 490 VI
Machines fixes et demi-fixes. 497, 503 528, 540, 543 »
Mines et métallurgie. . . . . 527 IX
— — 256,344,405 III
Poteries . . . . . 321 VII
Saccharimétrie (fabrication et appareils). . . . . 569, 578,579,580 II
Serrurerie . . . . . 341 IV

Bolivie.

Industrie et commerce . . . . . 502 IX
Nitrate de soude. . . . . 221 VI
Mines et métallurgie. . . 265,346,385 III
— — 363 IX
Papeterie et Reliure . . . . . 353 »
Photographie . . . . . 355 »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tome.

Brésil.

Constructions maritimes . . . . 524 I
Vins (les) . . . . . 322 VIII

Canada.

Les installations . . . . . 6 IX
Instruments de précision . . . . . 437 VII
Pyramide en marbre rouge. . . 39 »

Chili.

Salpêtre. . . . . 223 VI

Chine.

Appareils de l'Art médical. 454, 469 VII
Broderies (les). . . . . 513 III
Bimbeloterie . . . . . 117 VII
Instruments de musique. . . . . 85 »
Marine . . . . . 520 I
Serrurerie. . . . . 335 VI

Colonies anglaises.

Boissons fermentées . . . . . 304 VIII

Colonies françaises.

Constructions maritimes . . . . . 308 V
Impressions et teinture des tissus 448 VI
Installations (les). . . . . 85 IX
Saccharimétrie . . . . . 525 II
Vins (les). . . . . 303 VIII

Confédération Argentine.

Appareils de l'Art médical . . . . 452 VIII
Commerce et industrie . . . . . 500 IX
Notice historique. . . . . »

Danemark.

Agriculture et pisciculture. . . . 499 IX
Animaux domestiques . . . . . 530 II
Art militaire . . . . . 398 V
— textiles . . . . . 504 III
Beaux-arts. . . . . 142 IX
Chauffage. . . . . 195 IV
Éducation, enseignement et matériel des arts libéraux. . . . . 494 IX
Enseignement du dessin. . . . . 124 VII
Gravure (la) . . . . . 180 VIII
Impressions et teinture des tissus 458 VI
Industries extractives . . . . . 96 IX
Instruments de précision. . 459, 502 VII
Installations (les). . . . . 6 IX
Machines à coudre. . . . . 500 IV
Marine (constructions). . . . . 513 I
Produits alimentaires . . . . . 498 IX
Saccharimétrie. . . . . 587 II
Tissus et vêtements . . . . . 496 II

Tome.

Égypte.

Agriculture :
— historique. , ... 365 IX
— Engrais . . . . . 375 »
— Matériel agricole II
— Animaux domestiques . . . . 381 »
— Irrigations . . . . . 364 »
— Plantes alimentaires. . . . . 388 »
— industrielles . . . . . 393 »
— médicinales. . . . . 403 »
— potagères. . . . . 404 »
Art militaire . . . . . 4 V
Chemins de fer . . . . . 441 IX
Horticulture . . . . . 309,420 »
Industrie et commerce. . . . 368,431 »
— du cuir. . . . . 436 »
— du papier. . . . . 437 »
Jardinage :
— Arbres fruitiers et jardins fruitiers. . . . . 408,410 »
— arbres et plantes d'ornement. 423 »
Marine. . . . . 443 »
— 519
Pêche fluviale et maritime . . . 439 II
Verrerie et céramique. . . . . 432 II

Espagne.

Agriculture . . . . . 299 IX
Appareils de l'Art médical. 450, 456 473, 483, 516 VIII
Architecture : Les installations, les pavillons et la façade de la rue des nations. . . . . 43,44 »
Art militaire . . . . . 80 V
— — 203 IX
Arts textiles . . . . . 431,504 III
Beaux-arts . . . . . 194 IX
Enseignement (l'). . . . . 195 »
— agricole. . . . . 115 IV
— du dessin. . . . . 141 VI
Éventails. . . . . 216 »
Gravure (la) . . . . . 185 VIII
Impressions et teinture des tissus. 454 VI
Instruments de précision. . . . . 437 VII
Machines fixes et demi-fixes . . . 522 VI
Marine. 484, 516
Métallurgie. . . . . 268,395 II
Mobilier (le) . . . . . 196 IX
Serrurerie. . . . . 335 IV
Vinification . . . . . 290 VIII

États-Unis d'Amérique.

Appareils de l'Art médical. 457, 483 496, 516, 533, 540, 566, 586, 588 VIII
Aperçu général de l'Exposition . 254 IX

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

		Tome
Architecture : Les constructions du pavillon et la rue des nations.	228, 288,289	IX
Arts textiles.	534	III
Art militaire	80,136	V
Carrosserie	590, 612	VI
Chauffage.	146	IV
Chemins de fer.	375,400	I
Enseignement agricole.	115	IV
— du dessin.	124	VII
Glaces (fabrication des)	323	»
Gravure.	173	VIII
Horlogerie	345	VI
Hydraulique	47	I
Impressions et teinture des tissus.	451	VI
Industrie et commerce.	491	IX
Instruments de musique.	85	VII
Instruments de précision.	485	»
Locomotives	251	VI
Machines à coudre	475,482	IV
Machines fixes et demi-fixes.	494	VI
Machines outils.	520	VII
Marine	484,509	I
Métallurgie.	188.376,560	III
Serrurerie	334	IV
Vêtements	464	II
Vinification	301	VIII

France et Alsace-Lorraine.

Nous n'avons pas spécifié de pagination pour la France, tenant à faciliter les recherches pour les documents relatifs aux pays étrangers.

Grèce.

Art militaire	7,32	V
— Textiles.	431	III
Instruments de précision.	495	VII
Marine	519	I
Métallurgie	420	III
Vinification	298	VIII

Guatemala.

Appareils de l'Art médical	452	VIII

Hollande et colonies Néerlandaises

Animaux domestiques	312	II
Appareils de l'Art médical.	453, 464 479, 503, 509, 540, 556, 557	VIII
Arts textiles.	442	III
Céramique	15, 321	VII
Denrées alimentaires	253	VIII
Impressions et teinture des tissus	459	VI
Installation de l'Exposition.	6, 68	IX
Machines marines.	239	V
Métallurgie	426	III
Saccharimétrie	575	II

Indes.

Marine.	320	I

Italie.

Anatomie	170	IX
Appareils de l'Art médical.	463, 504	VIII
Architecture. Installation de l'exposition. Pavillons façade de la rue des nations	5,67	IX
Arts militaires	39,72,399	V
— Textiles	430,437,444,504	III
Beaux-arts	158	IX
Céramique	534	IX
Chemins de fer	399	I
Enseignement du dessin.	124,140,168	VII
Enseignement général	530	IX
Éventails	77	VII
Hydraulique	47	I
Impressions et teinture des tissus.	453	VI
Instruments de précision.	437, 452 491	VII
Marine	484 — 252, 506	V
Métallurgie	399	III
Mobilier (le).	167	IX
Mosaïque	536	»
Notice historique.	529	»
Orfèvrerie et bronze	537	II
Serrurerie.	335	IV
Soies et dentelles	539	IX

Japon.

Arts textiles.	444	III
Bimbeloterie.	117	VII
Enseignement agricole	116,335	IV
Impressions et teinture des tissus.	453	VI
Installation	6,42,44	IX
Marine	521	I
Enseignement agricole	335	IV

Luxembourg.

Arts libéraux	324	IX
Education et enseignement, matériel et procédés des beaux-arts	144	»
Industries extractives	326	»
— mécaniques.	329	»
Installations de l'Exposition.	6	»
Tissus.	326	»

Maroc.

Éventails	77	VI

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tome.

Mexique.

Arts textiles . . . . . 448 III
Boissons fermentées . . . . . 303 VII
Marine. . . . . 524 I

Monaco-Saint-Marin.

Industrie et commerce. . . . . 344 »
Les installations. . . . . 6 IX

Nicaragua.

Appareils de l'Art médical. . . . 453 VIII
Industrie et commerce . . . . . 504 IX

Orient et extrême Orient.
(Chine, Japon, Perse et Siam).

Les installations . . . . . 6,42,44 IX
La Perse . . . . . 490 »
Maison du Mandarin. . . . . 289 »
Pavillon de la Chine. 489

Pays-Bas.

Instruments de précision . . . . 438 VII

Pérou.

Appareils de l'Art médical . . . . 453 VIII
Industrie et commerce. . . . . 505 IX
Iode . . . . . 174 VI
Marine. . . . . 524 I
Métallurgie . . . . . 422 II
Saccharimétrie . . . . . 596 I
Salpêtre. . . . . 211 VI
Soude. . . . . 222 »

Les Philippines.

Marine. . . . . 522 IX

Perse.

Arts textiles . . . . . 438 III
Notice sur la Perse. . . . . 490 IX
Vinification . . . . . 300 VIII

Pologne.

Génie rural . . . . . 230 VII

Portugal.

Architecture : installations des pavillons . . . . . 6 IX
Arts textiles . . . . . 436.442,504 II
Éducation des femmes. . . . . 108 IX
Enseignement du dessin . . . . . 141 VII
Gravure. . . . . 185 VIII
Impressions et teinture des tissus. 458 VI
nstruments de précision. . . . . 438 VII

Tome.

Marine . . . . . 516 I
Métallurgie . . . . . 393 III
Vinification . . . . . 292 VII

République Argentine.

Arts textiles. . . . . 438 III
Métallurgie . . . . . 428 III

République d'Andorre.

Industrie et commerce. . . . . 506 IX

République de l'Uruguay.

Appareils de l'Art médical. . . . 453 VIII
Industrie, commerce, situation topographique, notice historique 518, 541 IX

République de Haïti.

Appareils de l'Art médical . . . 452 VIII

Industrie, commerce. . . . . 503 IX

République du Salvador.

Industrie, commerce. . . . . 507 IX
Mines et métallurgie. . . . . 426 III

Roumanie.

Enseignement agricole. . . . . 115 IX
Vinification . . . . . 299 VIII

Russie.

Agriculture : animaux domestiques 516 II
— Enseignement agricole. 115,117 IV
Anthropologie. . . . . 290 IX
Appareils de l'Art médical. 465, 480 493, 502, 584, 585 VIII
Architecture. Les pavillons de la Russie et les installations. . 5,172 IX
Arts militaires . . . . . 80;399 V
— textiles. . . . . 431,437,442 III
Beaux-arts . . . . . 291 IX
Carrosserie . . . . . 590, 609 VI
Chauffage . . . . . 194 IV
Chemins de fer. 206
Constructions économiques. . . . 306 IX
Enseignement du dessin . . 123,140 VII
Éventails . . . . . 77 II
Impressions et teinture des tissus. 362 456 VI
Instruments de précision. 437, 459 462, 491 VII
Industrie et commerce. . . . . 299 IX
Machines . . . . . 302 »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

		Tome.
Machines marines et constructions navales	304	IX
	85,264	V
	513	I
Métallurgie	268,411	III
—	302	IX
Potasses	169	VI
Produits alimentaires	304	IX
Saccharimétrie	582,587	II
Ventilation	392	IV
Vinification	299	VIII

Siam.

Appareils de l'Art médical	454, 556	VIII

Suède et Norwége.

Agriculture et Pisciculture	187	IX
Aperçu historique	206	»
Architecture. Les pavillons et la rue des nations	6,186	»
Art militaire	399	V
Beaux-arts	209	IX
Carrosserie	615	VI
Chauffage	174, 190, 191	IV
Chemins de fer	417, 142, 199	I
Enseignement (l')	213	IX
— agricole	115	IV
Horlogerie	342,345	VI
Impressions et teinture des tissus	452	»
Locomotives	251,258,264	»
Machines fixes et demi-fixes	522	VI
Machines outils	520	VII
Marine. (Construction)	308,512	V
— Machines d'embarcation	262	»
Métallurgie	260,380,382	III
Mobilier (le)	216	IX
Pisciculture	325	VIII
Saccharimétrie	587	II
Serrurerie	335	IV

Suisse.

Appareils enregistreurs	402	VII
Appareils de l'Art médical	466	»
Architecture : Installation, construction du pavillon de la rue des nations, etc.	6,509	IX
Art militaire	399	V
— textiles	504, 512	III
Beaux-arts	510	IX
Chauffage	190, 195	IV
Chemins de fer	207: 208	I
Enseignement (l')	511	IX
— du dessin	140	VII
Horlogerie	512	IX
—	508	VI
Impressions et teinture des tissus	457	II
Instruments de précision	438, 452 461, 484	II
Machines d'embarcations	264, 508	V
Machines fixes et demi-fixes	503, 520	VI
Météorologie	59	II
Méthode graphique	372	VII
Pisciculture	323	VIII
Potasse	200	VI
Serrurerie	341	IV
Vinification	290	VIII

Tunisie.

Éventails	77	VII

Turquie.

Marine. Construction	519	II
Vinification	299	VIII

Venezuela.

Appareils de l'Art médical	453	VIII

FIN DE LA TABLE PAR ORDRE DE NATIONALITÉS.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOMS DES COLLABORATEURS

Anceau (G.), ingénieur civil.
Bardin (G.), ingénieur civil.
Bénion (A.), agriculteur.
Berlioz (J.), ingénieur.
Berthieu (de) ingénieur-constructeur.
Boillot.
Bonald (Georges de) agriculteur.
Burée (Mme C.), professeur.
Chateau (Léon), directeur de l'Ecole professionnelle d'Ivry.
Collot (T.) chimiste.
Cossmann (Maurice), ingénieur civil.
Dalifol (A.), maître de forges.
Dahmer (Carl).
Delaporte (Georges), ingénieur civil.
Delchevalerie, ingénieur.
Demay (Ernest), ancien avocat au Conseil d'Etat et à la Cour de cassation.
Dépierre, chimiste.
Dufrêné (Hector), ingénieur civil.
Du Moncel (le comte Th.), membre de l'Institut (Académie des sciences), inspecteur des lignes télégraphiques.
Dumont (Georges), ingénieur civil.
Dupuis (E.), ingénieur civil des mines.
Frochot (Alexis), Inspecteur des forêts.
Galtigny (de), ingénieur-constructeur.
Garnault (E.), professeur à l'Ecole navale.
Gaudry (Jules), ingénieur civil, chef du Laboratoire des essais aux chemins de fer de l'Est.
Gobin (A.), professeur d'agriculture.
Gobin (Henry), dessinateur-graveur.
Grandvoinnet (J.), professeur de Génie rural.
Gruby, docteur en médecine.
Guillemant (Paul), ingénieur des arts et manufactures.
Hervé, professeur de l'Association polytechnique.
Horsin-Déon (Paul), chimiste au Laboratoire central des douanes.
Horsin-Déon (Léon), professeur de dessin.
Husson (François), architecte.
Lacouture (T.)., ancien élève de l'Ecole polytechnique.
Lacroix (E.), ingénieur civil.
Le Bon (le docteur Gustave).
Letort (Charles), licencié en droit, membre de la Société d'économie politique, professeur d'économie politique à l'Association philotechnique.
Loyette (A. de), ancien élève de l'Ecole polytechnique.
Luchard (E.), ingénieur civil.
Mary-Durand (docteur en médecine).
Miret.
Méo.
Morandière (Jules), ingénieur civil.
More (Lucien).
Nancey (Paul).
Nicolas (Ad.), docteur en médecine.
Nogués, ingénieur.
Petit, Chimiste.
Renouard (Alfred), filateur.
Robinson (Armand), professeur de chimie industrielle et agricole à l'Association polytechnique.
Sartiaux (E.), ingénieur civil.
Servier (E.), ingénieur des arts et manufactures.
Wazon (A.), ingénieur civil.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTAT NOMINATIF

PAR ORDRE DE DATE D'INSCRIPTION

DE MM. LES SOUSCRIPTEURS

aux Études sur l'Exposition de 1878 (1).

(deuxième liste, nº 501 à 874)

NUMÉROS d'ordre.	DATES de la souscription.	NOMS DES SOUSCRIPTEURS.	RÉSIDENCES.	DÉPARTEMENTS.	NOMBRE d'exemplaires.
	1878	MM.			
501	29 août.	Sandoz et Fischbacher (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
502	» »	Claverie (*lib.*).	—	—	1
503	» »	Agniel.	Nœux-les-Mines	Pas-de-Calais.	1
504	» »	Contet (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
505	» »	La lib. universelle (*lib.*).	Mexico.	Mexique.	1
506	» »	Noiriel (*lib.*).	Strasbourg.	Alsace.	1
507	31 »	Manzoni (*lib.*).	Rome.	Italie.	1
508	» »	Polto.	Pavie.	—	1
509	» »	Hillingworth.	Bradford.	Angleterre.	1
510	» »	Kroupsky.	St.-Pétersbourg	Russie.	1
511	2 sept.	Espinosa y Azcona.	Madrid.	Espagne.	1
512	» »	Logre (ingénieur).	Paris.	Seine.	1
513	» »	Lemaître (*lib.*).	Valenciennes.	Nord.	1
514	» »	Kramers (*lib.*).	Rotterdam.	Hollande.	1
515	3 »	Gérassimus Congos.	Patras.	Grèce.	1
516	4 »	Tzony (ingénieur).	Jassy.	Roumanie.	1
517	» »	Lefèvre (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
518	6 »	Ministre des Travaux Publics.	Lisbonne.	Portugal.	2
519					
520	9 »	Kourbatoff.	Nijny-Novgorod.	Russie.	1
521	» »	Tuffanesen.	—	—	1
522	12 »	Deligne (*lib.*).	Reims.	Marne.	1
523	» »	Ausano (ingénieur).	Foggia.	Italie.	1
524	13 »	Lemaître (*lib.*).	Valenciennes.	Nord.	1
525	» »	Ravelo.	Paris.	Seine.	1
526	14 »	Groniez.	Cassel.	Nord.	1
527	» »	Prat.	Buenos-Ayres.	Rép.-Argentine	2
528					
529	» »	Quillot.	Frangey.	Yonne.	1
530	16 »	Van Cleff frères (*lib.*).	La Haye.	Pays-Bas.	1
531	17 »	Ehkirsch (*lib.*).	—	—	1
532	18 »	Le Soudier (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
533	» »	Mellier (*lib.*).	—	—	1
534					2
535	19 »	La Borde.	—	—	1
536	» »	Vergniajoux (ing.)	Nîmes.	Gard.	1

(1) *Lib.* indique que les souscriptions sont faites par des libraires ou des commissionnaires.

BIBLIOTHÈQUE

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS d'ordre.	DATE de la souscription.	NOMS DES SOUSCRIPTEURS.	RÉSIDENCES.	DÉPARTEMENTS.	NOMBRE d'exemplaires.
		MM.			
537	19 sept.	Bourret *(lib.)*.	Paris.	Seine.	1
538	20 »	Livonnière (comte de)	Beaufort.	Maine-et-Loire.	1
539	» »	Pollet (ingénieur).	Paris.	Seine.	1
540	21 »	Ministre des Travaux Publics.	Berlin.	Prusse.	1
541	22 »	Blaramberg (de) (colonel).	Bukarest.	Roumanie.	1
542	23 »	Casanova *(lib.)*.	Turin.	Italie.	1
543	» »	Kartachoff.	Karkoff.	Russie.	1
544	» »	Coni fils *(lib.)*.	Saint-Mâlo.	Manche.	1
545	24 »	Hospitalier.	Paris.	Seine.	1
546	25 »	Sautereau (ing.).	—	—	1
547	26 »	Don Pedro M. de Hebert.	Madrid.	Espagne.	2
548	» »	Luigi Beuf *(lib.)*.	Gênes.	Italie.	1
549					
550	» »	Bruno (ingénieur).	Sampiedarena.	—	1
551	» »	Livache.	Paris.	Seine.	1
552	27 »	Sytenko (de) (colonel).	St.-Petersbourg	Russie.	1
553	28 »	Likhatchoff (amiral).	Paris.	Seine.	1
554	» »	Marin (colonel).	Madrid.	Espagne.	1
555	» »	Roubine (de).	Kiew.	Russie.	1
556	30 »	Dargent.	Séville.	Espagne.	1
557	» »	Colliez.	Paris.	Seine.	1
558	1er oct.	Lager *(lib.)*.	Oran.	Algérie.	1
559	» »	Puget.	Marseille.	Bouc.-du-Rhône	1
560	3 »	Hoffet.	Ronchamps.	Haute-Saône.	1
561	» »	Guillard *(lib.)*.	Paris.	Seine.	1
562	» »	Bouret *(lib.)*.	—	—	1
563	4 »	Loterie Nationale.	—	—	1
563bis	5 »	Cancalon.	Roanne.	Loire.	1
564	» »	Saunier.	Santiago.	Espagne.	1
565	» »	Lapointe.	Maizery.	Lorraine.	1
566	7 »	Lapeyre.	Paris.	Seine.	1
567	» »	Lapeyre et Pra.	—	—	1
568	8 »	Ramlot *(lib.)*.	Bruxelles.	Belgique.	1
569	9 »	Retournat.	Troyes.	Aube.	1
570	10 »	Defrance (ingénieur).	Dilling-s.-Sarre.	Allemagne.	1
571	11 »	Martin (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
572	» »	Dècle.	—	—	1
573	» »	Correnti (command.).	Florence.	Italie.	1
574	12 »	Salas *(lib.)*.	Paris.	Seine.	1
575	» »	Aguado.	Madrid.	Espagne.	1
576	13 »	Seydoux Siébert et Cie	Cateau.	Nord.	1
577	14 »	Baudry *(lib.)*.	Paris.	Seine.	1
578	» »	Piaget *(lib.)*.	Barcelone.	Espagne.	2
579					
580	16 »	Rodriges.	Lisbonne.	Portugal.	1
581	18 »	Roy.	Clerm.-Ferrand	Puy-de-Dôme.	1
582	» »	Bourbel (marquis de).	Lucknoud-Oudh	Indes-Oriental.	1
583	» »	Tollet ingénieur.	Tifflis.	Russie.	1

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS d'ordre.	DATE de la souscription.	NOMS DES SOUSCRIPTEURS.	RÉSIDENCES.	DÉPARTEMENTS.	NOMBRE d'exemplaires.
		MM.			
584	18 oct.	Eckhoff et Zoon *(lib.)*.	Leenwarden.	Hollande.	1
585	19 »	Pautet *(lib.)*.	Creusot.	Saône-et-Loire.	1
586	» »	Pra.	Paris.	Seine.	1
587	» »	Titard.	—	—	1
588	21 »	Pelletan.	La Rochelle.	Charente-Inf.	1
589	22 »	Beckers.	Turin.	Italie.	1
590	» »	Hattu et C^ie *(lib.)*.	Paris.	Seine.	2
591					
592	» »	Jeanmaire.	Lunéville.	Meurthe.	1
593	24 »	Milone.	Portici.	Italie.	1
594	» »	Jouin et C^ie.	Paris.	Seine.	1
595	25 »	Cosset-Dubrulle.	Lille.	Nord.	1
596	» »	Son Excellence Ally Pacha Mubareck.	Caire.	Egypte.	1
597	26 »	Le comité technique de l'intendance du Min. de la Guerre.	S^t.-Petersbourg	Russie.	1
598	» »	Gicquel.	Paris.	Seine.	1
599	» »	Bossange *(lib.)*.	—	—	1
600	28 »	Sautuola (de).	Santander.	Espagne.	1
601	30 »	Oliver.	Palma de Mallorca.	—	1
602	» »	Laveissière.	Paris.	Seine.	1
603	» »	Cousin Adolphe.	Oran.	Algérie.	1
604	31 »	Peignot.	Paris.	Seine.	1
605	2 nov.	Faucher.	L'Evesque.	Gard.	1
606	» »	Bibliothèque de l'Université.	Kiew.	Russie.	1
607	» »	Suzor.	S^t.-Petersbourg	—	1
608	» »	Hébert *(lib.)*.	Nouv.-Orléans.	Etats-Unis.	1
609	5 »	Augé *(lib.)*.	Rouen.	Seine-Inf.	1
610	» »	Manzoni *(lib.)*.	Rome.	Italie.	1
611	» »	Lamaille.	Paris.	Seine.	2
612					
613	6 »	Caperan.	Saint-Gaudens.	Haute-Garonne.	1
614	» »	Guillard *(lib.)*.	Paris.	Seine.	1
615	7 »	Pitch (ingénieur).	—	—	1
616	» »	Boucheron (ingén.).	—	—	1
617	» »	Guerber (ingénieur).	—	—	1
618	» »	Martynowsky (ing.).	—	—	1
619	» »	Vanderheyn (ingén.).	—	—	1
620	» »	Piat.	—	—	1
621	» »	Monneins (ingén.).	—	—	1
622	» »	Hurtu.	—	—	1
623	» »	Poillon (ingénieur).	—	—	1
624	» »	Lefort (ingénieur).	—	—	1
625	» »	Lenoir (ingénieur).	—	—	1
626	» »	Brard (ingénieur).	—	—	1
627	» »	Larche.	—	—	1
628	» »	Sappey (ingénieur).	—	—	1
629	» »	Boulin.	—	—	1
630	» »	Lopez Diaz (ingén.).	Tarascon.	Bouc.-du-Rhône	1

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS d'ordre.	DATES de la souscription.	NOMS DES SOUSCRIPTEURS.	RÉSIDENCES.	DÉPARTEMENTS.	NOMBRE d'exemplaires.
		MM.			
631	7 nov.	Boulogne (ingén.).	Saint-Denis.	Seine.	1
632	» »	Dubar.	—	—	1
633	» »	Desfrançois.	—	—	1
634	» »	Archinard.	—	—	1
635	» »	Le sous-directeur de l'école des mécaniciens.	Brest.	Finistère.	1
636	» »	Palomar.	Saragoss.	Espagne.	1
637	8 »	Baudry *(lib.)*.	Paris.	Seine.	2
638					
639	» »	Vassivière fils.	Lyon.	Rhône.	1
640	» »	Ghio *(lib.)*.	—	—	1
641	9 »	Langsdorff (baron de).	Paris.	Seine.	1
642	» »	Schwendner.	Odessa.	Russie.	1
643	10 »	Léonow.	Moscou.	—	1
645	11 nov.	Decamps.	Ste.-Radegonde	Somme.	1
646	12 »	Zuylen (colonel).	La Haye.	Hollande.	1
647	» »	Rymaszewski.	New-Sandetz.	Autriche.	1
648	» »	Monnot.	Dunkerque.	Nord.	1
649	» »	Giovan Angeli (de).	Milan.	Italie.	1
650	13 »	Gallois.	Paris.	Seine.	1
651	» »	Cherbuliez et Cie *(lib.)*	Genève.	Suisse.	1
652	» »	Cail.	Paris.	Seine.	1
653	» »	Gauthier *(lib.)*.	—	—	1
654	15 »	Bufleb *(lib.)*.	Mulhouse.	Alsace.	1
655	» »	Deligne *(lib.)*.	Reims.	Marne.	1
656	16 »	Guillard *(lib.)*.	Paris.	Seine.	1
657	20 »	Gebethner *(lib.)*.	Varsovie.	Pologne.	1
658	» »	Borrani *(lib.)*.	Paris.	Seine.	1
659	21 »	Malherbe.	—	—	1
660	» »	Leroux *(lib.)*.	—	—	1
661	» »	Giraud.	Lavallade.	Allier.	1
662	22 »	Lemoigne *(lib.)*.	Paris.	Seine.	1
663	» »	Luce.	Saint-Denis.	—	1
664	» »	Germain (ingénieur).	Motril.	Espagne.	1
665	» »	Doney (ingénieur.	Paris.	Seine.	1
666	» »	Coutellier (ingén.).	—	—	1
667	» »	Bourdon (ingénieur).	—	—	1
668	» »	Cauvet.	—	—	1
669	» »	Mardelet (ingénieur).	—	—	1
670	» »	Chabot.	—	—	1
671	» »	Antony (ingénieur).	Le Vall.-Perret.	—	1
672	» »	Eiffel.	—	—	1
673	» »	Tisserandot.	Paris.	—	1
674	» »	Aurientis.	—	—	1
675	» »	Wisler.	Saint-Denis.	—	1
676	» »	Mutin.	Paris.	—	1
677	» »	Piot.	—	—	1
678	» »	Aulanier.	—	—	1
679	» »	Fourouitsi.	—	—	1
680	» »	Yamagoutsi.	—	—	1
681	» »	Chenu.	—	—	1

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS d'ordre.	DATE de la souscription.	NOMS DES SOUSCRIPTEURS.	RÉSIDENCES.	DÉPARTEMENTS.	NOMBRE d'exemplaires.
		MM.			
682	22 nov.	Thuron.	Paris.	Seine.	1
683	» »	Ducher (*lib.*).	—	—	1
684	» »	Tauxier.	—	—	1
685	24 »	La Loterie nationale.	—	—	10
694					
695	25 »	Le Prince de Chimay.	—	—	1
696	26 »	Mellier (*lib.*).	—	—	1
697	28 »	Demay.	Remelfing.	Alsace.	1
698	» »	Muller (ingénieur).	Cannes.	Alpes-Maritimes	1
699	29 »	Oustau et Cie.	Tarbes.	Hautes-Pyrénée	1
700	» »	Piaget (*lib.*).	Barcelone.	Espagne.	2
701					
702	30 »	Féret (*lib.*).	Bordeaux.	Gironde.	1
703	» »	Luigi Beuf (*lib.*).	Gènes.	Italie.	1
704	» »	Baër (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
705	2 déc.	Quiot (*lib.*).	Cognac.	Charente.	1
706	» »	Mellier (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
707	2 déc.	Duboé, Dausse et Cie.	—	—	1
708	3 »	Abadie.	—	—	1
709	» »	Grassin (*lib.*).	Angers.	Maine-et-Loire.	1
710	4 »	Bossange (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
711	5 »	Balzinger (*lib.*)	Colmar.	Alsace.	1
712	» »	Sauvage.	Hemixen.	Belgique.	1
713	7 »	Durand et Huguenin.	Bâle.	Suisse.	1
714	» »	Sementschinoff (ing.)	Crementchug.	Russie.	1
715	9 »	Jeanmaire.	Bar-le-Duc.	Meuse.	1
716	10 »	Féret (*lib.*).	Bordeaux.	Gironde.	1
717	» »	Martin.	Remelfing.	Alsace.	1
718	11 »	Pétry (*lib.*).	Mulhouse.	—	1
719	» »	Mellier (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
720	12 »	Loterie nationale (don offert par M. Lacroix)	—	—	1
721	13 »	Decq et Duhent (*lib.*)	Bruxelles.	Belgique.	1
722	» »	Mellier (*lib.*)	Paris.	Seine.	1
722bis	» »	Lamaille.	—	—	1
723	14 »	Robert (*lib.*).	Brest.	Finistère.	2
724					
725	16 »	Moré de Porto Ve.	—	—	1
726	18 »	Masson.	Lyon.	Rhône.	1
727	» »	Majewski.	Lodze.	Pologne Russe.	1
728	» »	Didot (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
729	» »	Berger-Levrault (*lib.*)	—	—	1
730	19 »	Lengelé.	—	—	1
731	20 »	Munn.	—	—	1
732	» »	Mayer.	Bâle.	Suisse.	1
733	22 »	Ockino.	Paris.	Seine.	1
734	23 »	Nicimoura.	—	—	1
735	» »	Bella.	—	—	1
736	» »	Marelle.	—	—	1
737	» »	Bernard (*lib.*).	—	—	1
738	» »	Voreaux (*lib.*).	—	—	1
739	28 »	de Kromemberg.	—	—	1

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS d'ordre.	DATE de la souscription.	NOMS DES SOUSCRIPTEURS.	RÉSIDENCES.	DÉPARTEMENTS.	NOMBRE d'exemplaires.
		MM.			
740	28 déc.	Lamaille.	Paris.	Seine.	1
741	31 »	Piaget (*lib.*).	Barcelone.	Espagne.	2
742					
743	» » 1879	Bernard.	Paris.	Seine.	1
745	3 janv.	Chevallier (*lib.*).	Saint-Étienne.	Loire.	1
746	4 »	Loonès (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
747	» »	Gavault (*lib.*).	Alger.	Algérie.	1
748	» »	Caillas.	Paris.	Seine.	1
749	6 »	Bernard.	—	—	10
758					
759	» »	D'Escragnolle Taunay	Rio-de-Janeiro.	Brésil.	1
760	» »	Mellier (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
761	» »	Mouchet (ingén.).	Jkouno.	Japon.	1
762	10 »	Voreaux (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
763	11 »	Rodrigues (*lib.*).	—	—	2
764					
765	» »	Affra (*lib.*).	—	—	1
766	11 janv.	Bihn (*lib.*).	—	—	1
767	15 »	Boivin.	—	—	1
768	16 »	Martin (*lib.*).	—	—	1
769	17 »	Gallien Prince.	—	—	1
770	18 »	La Bibliothèque de l'Instruction et du Commerce.	Bilbao.	Espagne.	1
771	» »	Lasserre.	Bayonne.	Basses-Pyrén.	1
772	» »	Lamaille.	Paris.	Seine.	1
773	20 »	Reinwald (*lib.*).	—	—	1
774	21 »	Le Soudier (*lib.*).	—	—	2
775					
776	27 »	Borrani (*lib.*).	—	—	1
777	» »	Mayolez (*lib.*).	Bruxelles.	Belgique.	1
778	28 »	Ramlot (*lib.*).	—	—	1
779	» »	Coulet (*lib.*).	Montpellier.	Hérault.	1
780	» »	Loonès (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
781	» »	Mellier (*lib.*).	—	—	1
782	30 »	La Bibliothèque.	Bilbao.	Espagne.	1
783	31 »	Voreaux (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
784	1er fév.	Fould.	—	—	1
785	3 »	Le Ministre des travaux publics.	Bruxelles.	Belgique.	1
786	» »	de Montalvo.	Paris.	Seine.	1
787	4 »	Camus.	—	—	1
788	5 »	Blondel.	—	—	1
789	» »	Massoulard.	Guise.	Aisne.	1
790	7 »	Alasseur.	Paris.	Seine.	1
791	10 »	Ruef (*lib.*).	Anvers.	Belgique.	1
792	13 »	de Villepoix.	Picquigny.	Somme.	1
793	» »	Mellier (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
794	15 »	Malabouche.	Valence.	Espagne.	1
795	19 »	Meijer (*lib.*).	Amsterdam.	Hollande.	1
796	20 »	Vieillard et Cie.	Bordeaux.	Gironde.	1

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS d'ordre.	DATE de la souscription.	NOMS DES SOUSCRIPTEURS.	RÉSIDENCES.	DÉPARTEMENTS.	NOMBRE d'exemplaires.
		MM.			
797	20 fev.	Mellier (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
798	21 »	Thénard.	La Ferté-s-Grosn	Saône-et-Loire.	1
799	1er mars	Decq (*lib.*).	Liège.	Belgique.	1
800 à 802	3 »	Mellier (*lib.*).	Paris.	Seine.	3
803	» »	Baudry (*lib.*).	—	—	1
804	4 »	Aillaud, Guillard (*lib.*)	—	—	1
805	5 »	Caarelsen (*lib.*).	Amsterdam.	Hollande.	1
806	7 »	Armaing (*lib.*).	Toulouse.	Haute-Garonne.	1
807	10 »	Décauville (ingén.).	Petit Bourg.	Seine-et-Oise.	1
808	13 »	Lebègue (*lib.*).	Bruxelles.	Belgique.	1
809	14 »	Lelièvre (colonel).	Paris.	Seine.	1
811	18 »	Nubar Boghos.	Caire.	Egypte.	1
812	» »	Pitet (ingénieur).	—	—	1
813	» »	Poirson.	—	—	1
814	24 »	La Cambre du commerce.	Narbonne.	Aude.	1
815	25 »	Joaquin, Lecumbery.	Saint-Sébastien	Espagne.	1
816	31 »	Drucker et Tedeschi (*lib.*).	Padoue.	Italie.	1
817	» »	Haagsma (ingénieur).	Amsterdam.	Hollande.	1
818	7 avril.	Luigi Beuf (*lib.*).	Gênes.	Italie.	1
819	» »	La Chambre de commerce.	Boulog.-s.-mer.	Pas-de-Calais.	1
820	9 avril.	Mellier (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
821	10 »	Briez.	Chollet.	Maine-et-Loire.	1
822	18 »	Cauche.	Paris.	Seine.	1
823	22 »	Carré.	Torcy.	Seine-et-Marne.	1
824	26 »	La Chambre de commerce.	Bordeaux.	Gironde.	1
825	2 mai.	Issakoff (*lib.*).	St.-Pétersbourg	Russie.	1
826	3 »	Pietra Santa.	Paris.	Seine.	1
827 à 832	5 »	Belhatte (*lib.*).	—	—	6
833	6 »	Chapon et Mercier.	Cours.	Rhône.	1
834	7 »	Hourdequin (*lib.*).	Saint-Quentin.	Aisne.	1
835	12 »	Cattelin.	Paris.	Seine.	1
836	» »	Manceaux (*lib.*).	Bruxelles.	Belgique.	1
837	» »	Lecœuvre.	Paris.	Seine.	1
838 à 852	» »	Bernard (*lib.*).	—	—	15
853	13 »	Galli (*lib.*).	Milan.	Italie.	1
854	» »	Borrani (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
855	14 »	Matinus Nijhoff (*lib.*)	La Haye.	Hollande.	1
856	16 »	Casanova (*lib.*).	Turin.	Italie.	1
857	17 »	Delacre.	Paris.	Seine.	1
858	19 »	Garreaux.	—	—	1
859	26 »	Baudry (*lib.*).	—	—	1
860 à 864	27 »	Borrani (*lib.*).	—	—	5
865	31 »	Le Vasseur (*lib.*)	—	—	1
866	3 juin.	Ramon Marsa.	Salobrena.	Espagne.	1

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS d'ordre.	DATE de la souscription.	NOMS DES SOUSCRIPTEURS.	RÉSIDENCES.	DÉPARTEMENTS.	NOMBRE d'exemplaires.
		MM.			
867	4 juin.	Le Keu.	Moust.-s-Samb.	Belgique.	1
868	11 »	Baillière (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
869 à 874	12 »	Le Ministre de la marine.	—	—	6
875	23 »	Desprez et Huchel (*lib*)	—	—	1
876	» »	Gemeaux.	Luxeuil.	Haute-Saône.	1
877	24 »	Martinus Nijhoff (*lib.*)	La Haye.	Hollande.	1
878	3 juill.	Max Rube (*lib.*).	Leipzig.	Allemagne.	1
879	4 »	Hoépli (*lib.*).	Milan.	Italie.	1
880	8 »	Mellier (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
881	14 »	Hirsch (ingén.).	—	—	1
882	19 »	Franchetti.	Florence.	Italie.	1
883	2 août.	Bernheim (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
884	5 »	Aillaud-Guillard (*lib.*)	—	—	1
885	18 »	Max-Rube (*lib.*).	Leipzig.	Allemagne.	1
886	26 »	Ledentu.	Port-Saïd.	Égypte.	1
887	26 »	Gallut.	—	—	1
888	8 sept.	Oppermann.	Paris.	Seine.	1
889	15 »	Hemptinne (de).	Gand.	Belgique.	1
890	15 »	Hachette (*lib.*).	Paris.	Seine.	1
891 à 905	20 »	Bernard (*lib.*).	—	—	15
906	2 oct.	Petit.	—	—	1
907	2 »	Moreau.	—	—	1
908	6 »	Guignard.	—	—	1
909	11 »	Dumam.	—	—	1
910	14 »	Bemhhem.	—	—	1

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDES ou RAPPORTS

SUR

L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878

TABLE DES

PRINCIPAUX ARTICLES CONTENUS DANS CHAQUE VOLUME

Ier Vol. — **Introduction générale aux Etudes sur l'Exposition de 1878** : Essai sur l'origine et les progrès de l'industrie ; l'industrie préhistorique; l'industrie mythique, par M. H. Dufrêné. — **Hydraulique** : Les distributions d'eaux et les canaux d'irrigations, compteurs à eau, filtrage des eaux, travaux d'assainissement, réservoirs, par M. Georges Dumont. — **Chemins de fer** : Les chemins de fer, tramways, routes et chemins ; exploitation, gares, stations, signaux, chauffage, contrôle. La voie, le matériel en général, matériel roulant, généralités sur les wagons, matériel français, matériel étranger. Ponts et viaducs. Appareils destinés à garantir la sécurité de l'exploitation. Chauffage et éclairage des trains. Appareils divers de l'exploitation technique. Résultats généraux. Conclusion, par MM. Cossmann, Guillemant, Moreau et Sartiaux. — **La Corderie**, par M. A. Renouard. — **Les grands travaux publics** : Ecluses ports, bateaux-dragues, digues, phares et balises. — **La marine marchande et les Ports de commerce**, par M. H. Dufrêné. — **Notes complémentaires** : *Génie civil.* Matériaux de construction; les ciments, bétons. Terrassement (outillage des chantiers). Matériel des chemins de fer. 1 volume, xxxii-540 pages, 114 figures dans le texte et 45 planches. 20 fr.

IIe Vol. — **La Sucrerie** : L'industrie sucrière française, étrangère et exotique. Propriétés des sucres. Fabrication du sucre de betteraves. Des presses. Défécations. Filtres-presses. Fabrication du sucre de canne. Le concretor le raffinage. Visite à l'Exposition, par M. Paul Horsin-Déon. — **La Sylviculture** : Exploitation des forêts. Travaux forestiers. Les torrents. Le reboisement. Les dunes. Travaux de fixation de plans d'exploitation et de culture, par M. A. Frochot. — **La Distillation** : Appareils et modes de fabrication les plus nouveaux. De l'alcool ; matières alcoolisables. La fermentation. Appareils distillatoires. Diverses liqueurs alcooliques. De la rectification. Description d'une distillerie agricole. Visite à l'Exposition de 1878, par M. Paul Horsin-Déon. — **Engrais et amendements** : Origines et sources des éléments essentiels. Phosphore, potasse, chaux. Les besoins des plantes. Les ressources du sol. Production. Traitement des fumiers. Les engrais chimiques. La culture à l'aide des engrais chimiques. Cultures d'assolements. Cultures permanentes, Visite à l'Exposition de 1878, par M. Th. Petit. — **Agriculture** : **Les animaux domestiques** : Espèces chevaline, bovine, ovine, porcine. Les animaux de basse-cour, par M. Benion. — **La race canine**, par M. G. de Bonald. — **Notes complémentaires** : Matériel et procédés des usines agricoles et des industries alimentaires. L'horticulture. — **Condiments et stimulants** : Sucres et produits de la confiserie. Thé, café et leurs succédanés. Vinaigre, moutarde, épices. Sels de table. Chocolat, miel, sirops. Liqueurs sucrées. Fruits à l'eau-de-vie. — **Exploitations agricoles** (France) : 1 volume, 656 pages, 103 figures dans le texte et 22 planches. 18 fr.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

IIIe Vol. — **Les Arts textiles** : 1re PARTIE : La soie, le coton, la laine, le lin, le chanvre, le phormium, le jute, etc. ; matières premières, fabrication, production et commerce ; 2me PARTIE : **Les tissus réticulaires** : dentelles, tulles, broderies, tricots, passementerie, les rubans épinglés, les filets de pêche, etc., par M. Alfred RENOUARD. — **Métallurgie** : 1° Introduction générale, par M. Hector DUFRÉNÉ. — 2° La fonte ; appareils ; produits. La fonte et les hauts-fourneaux en 1878, par M. H. DUFRÉNÉ — 3° La fonte malléable; fabrication, cémentation, par M. DALIFOL. — 4° Le fer : puddlage, laminage, transformation du fer brut en fer fini, par M. ANCEAU. — 5° Le cuivre, le plomb, l'or, l'argent, le platine, le zinc, l'étain, le nickel, etc., par M. DUPUIS. — 6° L'acier : définition ; fabrication ; visite à l'Exposition, par M. DELAPORTE. — 7° *Généralités sur les mines métalliques* ; préparation mécanique ; minéraux ; fabrication spéciale ; fer fondu : fils de fer et tréfilerie, fer blanc, roues en fer à cintres pleins. Les fers à l'Exposition de 1878. Revue de l'outillage et des produits exposés. — État actuel de la production des métaux autres que le fer dans différents pays ; notes statistiques, par M. Dupuis. — **Notes complémentaires** : 1° Dentelles, tulles, broderies, passementeries ; 2° Châles ; 3° Filature, tissages, foulonnage et apprêt de la laine ; 4° Bonneterie et lingerie, objets accesssoires du vêtement ; 5° Soie et tissus de soie ; 6° Fil et tissus de lin, de chanvre, etc. ; 7° Filature et tissus de coton ; 8° Corderie et matériel du tissage ; 9° Produits des mines et de la métallurgie ; 10° Matériel et exploitation des mines et de la métallurgie. — 1 volume, 616 pages, 176 figures dans le texte et 23 planches. 18 fr.

IVe Vol. — **Chauffage et ventilation** : Chauffage des édifices privés et publics ; chauffage des serres. Étude pratique sur les combustibles. Combustibles solides. Combustibles fossiles. Valeur comparée des combustibles. Les appareils et les systèmes : cheminées, poêles, calorifères à air chaud, calorifères à eau chaude, calorifères à vapeur. — *Ventilation.* Principes, systèmes, applications, etc., par M. A. WAZON. — **La Serrurerie** : La serrurerie et ses objets d'art, la grosse ferronnerie. Charpentes en fer. Les constructions métalliques. La serrurerie à l'Exposition de 1878, par M. François HUSSON. — **Les Cartes** et les **Globes**, par M. Léon CHATEAU. — **Les appareils de cosmographie**, par M. LETORT. — **L'Enseignement général** : Enseignement agricole, enseignement spécial, enseignement primaire, secondaire et supérieur, écoles industrielles, éducation de l'enfant ; organisation, méthode et matériel de l'enseignement secondaire et de l'enseignement supérieur, par M. Carl DAHMER. — **Eclairage public** : Au gaz, à l'électricité, à l'huile, au pétrole, etc., par M. SERVIER. — **L'habillement des deux sexes.** Fleurs artificielles. Vêtement. Chapellerie. Chaussures. Machines servant à la confection des vêtements (machines à coudre, etc.). Des chaussures ; machines spéciales. Les petits moteurs pour machines à coudre. Visite à l'Exposition de 1878, etc., par M. BARDIN. — **Notes complémentaires** : Tissus d'ameublement. Carrosserie et charronnage. L'Algérie industrielle, agricole et commerciale. — **Architecture** : Le pavillon de la Ville de Paris, par M. François HUSSON. — 1 volume, 564 pages, 148 figures dans le texte et 26 planches. 18 fr.

Ve Vol. — **Arts militaires** : Résumé historique. L'artillerie avant l'invention de la poudre. Artillerie moderne. Progrès depuis 1867. Substances explosives. Phénomènes généraux des explosions. Procédés pour produire les explosions. Les torpilles. Armes portatives. Armes à feu. Armes blanches. Les fusils de chasse. Les revolvers. Visite à l'Exposition. Note sur la télégraphie militaire, par MM. A. de LOYETTE et T. LACOUTURE. — **L'Art naval** : 1° *architecture navale* ; marine militaire ; marine marchande, L'acier dans les constructions navales. Spécimens exposés en 1878. Les paquebots. Les longs courriers à voiles et à vapeur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les transports, etc. par M. de BERTHIEU. 2° *Chaudières et machines marines :* Historique sommaire. Machines à cylindres superposés. Machines à plusieurs cylindres. Machines Compound. La Compagnie transatlantique. La marine nationale (France). Appareils divers. Chaudière de 120 chevaux. Chaudière à tubes. Chaudière Belleville. Générateurs d'embarcations ; machines d'embarcations. Les chaudières et les machines à l'Exposition de 1878, par M. GALTIGNY. — **Aérostation :** Construction, description et direction des ballons. Les Montgolfières ; historique des ascensions ; ascensions scientifiques ; applications à l'art militaire. Les diverses parties de l'aérostat. Parachute. Direction des aérostats. Aviation. L'aérostation en 1878. Le ballon captif de M. H. Giffard : construction, matières employées, manœuvre du câble, par M. MIRET. — **La Navigation de plaisance,** par MM. Lucien MORE et MÉO. — **L'Astronomie,** par M. BOILLOT. — **Notes complémentaires.** — 1 vol. 592 pages, 207 figures dans le texte et 30 planches. 20 fr.

VI^e Vol. — **Météorologie :** Observations, prédictions et prévisions du temps. Formation de la grêle. Radiomètre. Bathomètre. Observatoire de Montsouris ; magnétisme terrestre. Photomètre. Hygromètre. Électricité atmosphérique, par M. BOILLOT. — **Machines à vapeur :** Locomotives, locomobiles machines pour tramways, 1° *Machines-locomotives ;* introduction, locomotives rapides (France) ; locomotives rapides de constructions étrangères. Locomotives diverses à voyageurs. Locomotives à petite vitesse. Petites locomotives. Locomotives wagons. Dispositions de détail de machine-locomotive. Locomotives pour tramways. Voitures locomotives, par M. J. GAUDRY. — **La Télégraphie électrique,** par M. le comte du MONCEL. — **Chimie industrielle :** La potasse et les sels neutres de potasse ; iode, salpêtre et nitrate de soude, potasse extraite des cendres, des varechs, des vinasses des distilleries de mélasse, des laines. Salpêtre et nitrate de soude. Analyse et titres des salpêtres, visite à l'Exposition, conclution générale, par M. COLLOT. — **Impression et teinture des tissus, blanchiment et blanchissage :** I. *Historique :* Des temps antiques jusqu'à 1867, inclus. — II. *Progrès réalisés depuis* 1867 : — Inventions, découvertes, perfectionnements, progrès réalisés depuis 1867, tant dans la partie chimique que dans la partie mécanique, concernant la teinture et l'impression. — Étude des matières colorantes sous le rapport de leur emploi dans les manufactures de tissus imprimés. — Revue des produits exposés. — Données statistiques concernant ses impressions et les teintures ; le blanchissage et le blanchiment. Conclusions, par M. DÉPIERRE. — **L'horlogerie :** horlogerie de précision, régulateur-pendule astronomique, chronomètre, compteur, etc. ; horlogerie ordinaire : horloges, pendules, reveils, pièces de voyage, montres. Mécanismes divers procédant de l'horlogerie. Application aux arts et aux sciences, partie descriptive de l'Exposition, par M. BERLIOZ. — **Les machines à vapeur fixes et demi-fixes** par M. LUCHARD. — **La Carrosserie,** par M. ANTHONI. — **Notes complémentaires.** — 1 volume, XX-632 pages, 212 figures, 51 planches et 4 tableaux. 30 fr.

VII^e Vol. — **L'Art industriel :** Étude rétrospective. Notions générales sur l'art céramique. La faïence de Rouen. La porcelaine. L'art fantaisiste, etc., par M. DEMAY. — **Instruments de musique.** Étude rétrospective. Instruments à clavier et à soufflerie. Les pianos. Instruments à archet et à cordes pincées Instruments à vent, par M. HERVÉ. — **Les Eventails :** Importance de cette industrie. Historique. Procédés de fabrication. Éventails de luxe. Éventails ordinaires. Centres de production. Visite à l'Exposition, par M^me BURÉE. — **Bimbeloterie :** Généralités. Centres de production. Procédés de fabrication. Cartes à jouer. Jouets mécaniques, automates. Jouets instructifs, par M^me BURÉE,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

— **Enseignement du dessin** : Le dessin dans les salles d'asile. Le dessin dans les écoles primaires, les lycées, les collèges. L'enseignement dans les cours d'adultes et dans les écoles professionnelles, au point de vue de l'art appliqué à l'industrie. Les écoles de dessin à l'étranger, par M. Léon HORSIN-DÉON. — **Les Cristaux** : Classification des produits. Composition. La verrerie. Cristallerie française. Gobeleterie ordinaire. Verre à vitres. Glaces. Émaux et vitraux. Verres et cristaux d'optique. Expositions étrangères, par M. NOGUÈS. — **La Photographie** : Résumé historique de la photographie. La photographie en 1878. La Photoglyptie et la Photochromie. La photographie pratique. L'éclairement dans les tableaux et dans les photographies, par M. NANCEY. — **Le Génie rural** : *machinerie agricole*. Mesure des forces. Des dynamomètres. Des charrues. Scarificateurs, etc., par M. J. A. GRANDVOINNET. — **Génie Civil** : *Outillage et procédés des différents corps d'état* : Historique. Outillage et engins nouveaux de la terrasse et de la maçonnerie. Machines à travailler la pierre. Outillage du menuisier, du serrurier, du charpentier. La céramique du bâtiment. La couverture. La vitrerie. Les peintures économiques. Visite à l'Exposition de 1878, par M. François HUSSON. — **La méthode graphique et les appareils enregistreurs** : leur application aux sciences physiques, mathématiques et biologiques, par M. le Dr Gustave LE BON. — **Les instruments de précision, de physique et de navigation**, par M. GARNAULT. — **Machines-outils à travailler le bois et les métaux**, par M. HUSSON. — **Notes complémentaires**, 1 volume, 634 pages, 236 figures dans le texte et 11 planches.

VIIIe Vol. — **Hygiène** : Influences lumineuses, influences thermiques, l'air et le sol, l'aliment, l'homme, les professions, etc., par M. le Dr Ad. NICOLAS. — **La Parfumerie** : De l'usage des odeurs et des cosmétiques; matières premières. Parfums d'origine animale. Théorie des odeurs, conservation des essences. Anciens et nouveaux procédés de fabrication. Procédés de coloration. Les nouveaux parfums et les parfums artificiels à l'Exposition, par M. le Dr MARY-DURAND. — **La Gravure** : Taille-douce, eau-forte, gravure sur bois, etc. Les procédés qui se substituent à la gravure. Procédés d'impression en couleur, par M. Henry GOBIN. — **Produits alimentaires** : 1° *La viande* : production, consommation, conservation, par M. A. GOBIN. — 2° *Le lait, la crême, le beurre et le fromage*, par M. BÉNION. — 3° *Les boissons fermentées* : Le vin, la bière, le cidre, le poiré, etc., par M. ROBINSON. — **La Pisciculture d'eau douce et d'eau salée**, par M. A. GOBIN. — **Les Engins de secours aux blessés**, par M. le Dr GRUBY. — **Féculerie et amidonnerie**, par M. HORSIN-DÉON. — **Notes complémentaires**. — 1 volume, 516 pages, 40 figures dans le texte et 8 planches. 15 fr.

IXe Vol. par M. E. LACROIX. — **Constructions** du Champ-de-Mars et du Trocadéro. — Les différents pavillons, les **expositions de** : Autriche-Hongrie, Algérie, Belgique, Bolivie, Chine, Colonies françaises, Confédération Argentine, Danemark, Egypte, Espagne, États-Unis, Haïti, Hollande, Italie, le Luxembourg, le Nicaragua, la Russie, Salvador, Suède et Norwége, la Suisse, etc. **La rue des Nations.** Conférences et congrès. **Notes générales** sur l'Exposition de 1878. — 1 volume, 556 pages, 37 figures dans le texte et 7 planches. 15 fr.

Ce 9e volume a été publié à part sous le titre de : **Visites d'un ingénieur à l'Exposition** : C'est un compte-rendu général qui pourra suffire aux personnes qui n'étant pas désireuses de connaître des détails peut-être trop techniques, voudront cependant avoir un aperçu complet et un souvenir sérieux de l'Exposition de 1878.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A NOS LECTEURS

Nous ne voudrions pas quitter nos lecteurs sans leur faire nos adieux et sans les remercier de la confiance qu'ils nous ont montré, confiance qui nous a aidé à mener à bonne fin l'œuvre que nous avions entreprise.

Nous donnons plus loin la 2e liste de nos souscripteurs, la 1re a été publiée dans le tome IX, page 233.

Il en résulte que nous n'avons pu recueillir, dans ces temps troublés, que 910 souscriptions, alors que 2,000 eussent été nécessaires pour couvrir à peu près les frais matériels d'une semblable opération.

Par curiosité et par amour de la statistique, nous avons voulu faire le décompte de nos souscripteurs, par nationalité. Il n'est peut-être pas tout à fait exact, par cette raison, que sur 365 souscriptions inscrites à Paris, 154 ont été prises, par des intermédiaires, commissionnaires pour l'étranger.

Nous avons donc trouvé : 447 abonnements pour la France et 463 pour l'étranger, dont à déduire 1 Prussien pas payé, reste à 462.

Pour la France et ses colonies (y compris le Haut et le Bas-Rhin, pour 53 souscripteurs). .	231	Report.	832
Pour Paris et le département de la Seine 365, dont à défalquer 154 pour l'étranger pris par commissionnaires.	216	par profits et pertes et service arrêté au 15e fascicule.	14
Pour pays étrangers inconnus pris par commissionnaires comme dit ci-dessus	154	Hollande	12
Espagne.	65	Angleterre	12
Russie.	56	Suisse.	8
Italie	55	Egypte	8
Belgique.	40	Brésil	4
Portugal.	15	Uruguay.	4
Prusse dont 1 par le Ministre des travaux publics, pas payé, passé		Autriche-Hongrie.	4
		Roumanie.	3
		Mexique.	2
		Etats-Unis.	2
		République Argentine	2
		Danemark.	1
		Japon	1
		Grèce	1
A reporter.	832	Total.	910

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quelques-uns de nos souscripteurs nous ont paru curieux de savoir quels pouvaient être les frais occasionnés, pour l'établissesement d'un ouvrage aussi considérable. A titre de renseignement pratique nous allons le leur faire connaître.

Dès le début, nous avions établi notre budget présumé des dépenses sur un chiffre qui, d'après notre estimation, pouvait varier entre 105 et 110,000 francs, nous annoncions alors devoir publier 6 volumes contenant chacun 500 pages et un atlas de 150 planches.

Comme recettes, nous comptions sur 1,500 souscripteurs environ, chiffre bien modeste, lorsque près de 100,000 personnes ont exposé et que plusieurs millions de visiteurs se sont pressés dans les allées du Champ-de-Mars.

Partant de ce point, nous avons distribué le terrain à occuper par chacun de nos rédacteurs, en proportionnant le nombre de pages et de planches à l'importance de la question à traiter. Mais il nous est arrivé d'être débordé; que pouvions-nous retrancher par exemple dans l'article *Chauffage et ventilation* de M. Wazon, qui n'est cependant pas complet, puisqu'il nous manque le chauffage domestique dont la copie n'a pas été fournie par un rédacteur qui s'est dérobé (1). Les souscripteurs venant d'abord à rangs serrés nous nous sommes laissé entraîner et nous avons entamé l'impression simultanée de 9 volumes au lieu de 6. Tout à coup le flot des souscripteurs s'est arrêté, comme refoulé par la fermeture des portes de l'Exposition. Cependant les 9 volumes et l'atlas qui, de 150 planches est arrivé à 227, devaient être terminés. Notre budget des dépenses, à l'*encontre* du nombre de nos souscripteurs qui restait stationnaire; il s'aggravait chaque jour, et de 110,000 francs maximum sur lequel nous comptions, il s'est élevé à 145,519.85, chiffre dont nous allons donner le détail pour l'enseignement général des personnes

(1) Cette lacune regrettable sera remplie et nous publierons dans nos *Annales du Génie civil* les rapports sur le *Chauffage domestique*. celui sur la *Papeterie*, et quelques autres questions non élucidées assez complétement telles, *l'Electricité*, *l'Eclairge au gaz*, *les Appareils de pesage*, *etc.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui veulent se rendre compte, d'une façon pratique de ce que sont des frais d'impression.

L'ensemble des abonnements a fourni une somme de 67,978.60, ce qui fait en moyenne 74f,50 par souscripteur.

De cette somme il y a lieu de déduire la souscription n° 14 de la Prusse (Ministère prussien), non payé	90	67,978.60
Plus 240 francs pour souscripteurs n'ayant pas, pour divers motifs, parfait leur souscription.	240	330.00
Reste comme recette.		67,648.60

La dépense s'est décomposée comme suit :

Impression du texte	54,859,00	
— et *dessin* des planches.	17,667,50	
Papier du texte et des planches . .	25,818,60	
Gravures et clichés	19,679,45	145,624,75.
Droits de rédaction	19,799,50	
Frais de poste.	4,547,05	
Publicité	3,253,65	
Appointements du Directeur et frais généraux (par profits et pertes)..	Pour mémoire	»
Total.:		145,624.75
A déduire la recette		67,648.60
Reste		77,976.15

Il y aurait lieu d'ajouter à ce chiffre brutal, nos frais de bureaux, frais de représentation, les frais généraux de toutes sortes, c'est en définitive deux années que nous avons consacrées à ce travail, dont nous étions à la fois le banquier, le directeur, le rédacteur, l'imprimeur et l'éditeur; aujourd'hui parcourant l'Exposition, demain épluchant les manuscrits qui nous étaient parvenus, confectionnant la composition des planches, tantôt près des machines pour surveiller les tirages, ou dans les rangs à rectifier les compositions, à activer la mise en page, faisant parfois nous-même les impositions et nos épreuves, pour pousser la besogne et prêcher d'exemple; rédigeant les articles du tome IX ou les tables générales, etc., etc. Et résultat! le chiffre ci-dessus.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

De tout cela on doit en tirer cette conclusion ou cette *moralité*.

1° Quand on a établi un devis x ne pas le pousser à $x+\frac{x}{2}$ c'est-à-dire ne pas vouloir faire trop grand.

Travailler pour la gloire n'est plus de notre temps. Tenir ce que l'on a promis est bien. Il serait peut-être adroit d'être au-dessous de la chose promise. Donner davantage, jamais!!!

2° S'assurer d'avance d'un nombre à peu près suffisant de souscripteurs pour couvrir ses frais.

3° Si on veut réellement gagner de l'argent, faire en un petit volume à sensation, l'histoire d'un *gredin* quelconque, ses bons mots à ses geôliers, etc. Un style plus que familier double les chances du débit.

4° *Ne pas tenter de se mettre éditeur serait peut-être encore le meilleur.*

Nous terminerons donc ici, et en vous quittant nous avons l'espoir de vous retrouver comme lecteurs de nos *Annales du Génie civil*, publication qui avec 1880 commencera sa dix-neuvième année, car pour nous : Éditeur nous sommes, Éditeur il nous faut rester.

Ce qui précède nous dispensera de faire l'article *Imprimerie* et *Librairie*, que nous avions promis de rédiger.

Il n'y avait, au surplus, pas grande nouveauté ; des machines à composer qu'après expérience nous avons reconnu trop perfectibles, c'est donc au chapitre publié dans nos *Études de 1867* que nous renverrons nos lecteurs.

En ce qui concerne les récompenses, quelques-unes judicieuses, les plus marquantes aux fils de leur père, mais ceci est de mince intérêt pour nos lecteurs.

E. LACROIX.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

INTRODUCTION GÉNÉRALE

ESSAI
SUR L'ORIGINE ET LES PROGRÈS DE L'INDUSTRIE

PAR

M. HECTOR DUFRENÉ, INGÉNIEUR CIVIL

I. — L'INDUSTRIE PRÉHISTORIQUE.

Jamais documents si nombreux et si irréfutables que ceux mis en lumière pendant ces quarante dernières années n'ont enrichi les sciences historiques. L'époque où nous vivons constitue, pour la haute antiquité, comme une autre renaissance faisant apparaître devant nos yeux le tableau des civilisations perdues, de même que les traditions gréco-romaines, obscurcies pendant la nuit du moyen-âge, se sont manifestées au XVI^e^ siècle comme une lumière nouvelle.

La lecture des inscriptions hiéroglyphiques et le déchiffrement des caractères cunéiformes, en nous permettant de fouiller dans l'histoire et dans les légendes de peuples depuis longtemps disparus, avaient fait naître l'espoir de trouver, au front des palais des bords du Nil ou parmi les ruines éparses sur les rives de l'Euphrate, la solution des problèmes concernant l'origine de l'industrie et celle de l'homme lui-même. Il n'en a rien été et, pas plus que les documents émanés de l'Égypte et de la Chaldée, les livres sacrés des Iraniens et des Chinois ou les vêdas de l'Inde ne nous ont livré les secrets des premiers âges de l'humanité. Quelles qu'en soient les sources, les plus anciennes traditions ne nous montrent que des peuples déjà civilisés, doués d'un état social nettement déterminé et en possession d'une industrie leur permettant de subvenir sans peine, sinon sans travail, à tous les besoins de la vie.

Il nous a cependant été donné de pénétrer plus haut dans les temps anciens et de découvrir les archives où les premiers hommes, ne pouvant tracer leur histoire, ont laissé l'empreinte de leur personnalité et les preuves de leur civilisation matérielle.

Ce n'est plus dans des contrées lointaines, c'est en Europe et sous le sol même de la France qu'ont été rencontrés les outils, les armes, les ossements des races qui, avant l'histoire, ont les premières, occupé l'Occident de l'ancien monde. Ces découvertes se sont étendues à bien d'autres pays et il est aujourd'hui peu de contrées où l'*Archéologie préhistorique* ne puisse montrer quelques débris de cette industrie primitive. Ces vestiges nous permettent de reconstituer dans ses traits essentiels l'état de la civilisation des premiers hommes dont le souvenir a été si longtemps perdu.

1° **Premier âge de la pierre.** — C'est à la partie supérieure des terrains tertiaires, dans les dépôts coquilliers ou *faluns* qui se formèrent après la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

consolidation du calcaire lacustre de l'époque miocène, que M. l'abbé Bourgeois a trouvé à *Thenay* (Loir-et-Cher) les traces incontestables de la plus ancienne industrie humaine et les preuves évidentes du premier emploi de feu.

Cette industrie se bornait alors à la fabrication d'armes de pierre, de haches en forme d'amande, grossièrement taillées dans des rognons de silex à l'aide de percuteurs de même nature. Contrairement à ce qui a lieu aujourd'hui, ces haches tenues à la main d'abord, emmanchées ensuite dans une tige de bois fendue, frappaient par leur extrémité pointue, comme le pic du mineur.

L'homme habitait alors un climat singulièrement plus chaud que le nôtre et autour de lui vivaient certains animaux de notre époque mêlés avec les représentants d'une faune plus méridionale : tigres, mastodontes, tapirs, antilopes, rhinocéros. En même temps, à côté des noyers, des érables, des peupliers s'élançaient en grand nombre les palmiers, les bambous et d'autres végétaux des zônes tropicales : le climat devait se rapprocher de celui des plaines du Gange.

On le comprend du reste, dans ces conditions l'homme des temps tertiaires devait avoir peu de besoins et par suite peu d'industrie. L'habitant d'un pays chaud n'est point poussé au travail comme celui qui séjourne sous un ciel inclément ; c'est ainsi que de nos jours les Esquimaux ont une industrie bien autrement avancée que celle de certaines peuplades des régions équinoxiales. Chez celles-ci les vêtements sont inutiles, le régime alimentaire végétal suffisant; chez les autres le froid nécessite une habitation confortable et une nourriture animale substantielle.

Mais, après un laps de temps dont nous ne saurions évaluer l'étendue, d'immenses glaciers descendent des montagnes et s'étendent dans les vallées; la température se refroidit considérablement et, dans l'Europe Occidentale, l'homme disparaît ou du moins sa trace nous échappe. A la fin de cette première époque glaciaire, les palmiers, les bambous, les plantes tropicales ont disparu, le sapin, le tilleul, le saule, le frêne les remplacent, la température et les conditions générales de la vie sont à peu près devenues celle d'aujourd'hui et l'éléphant fait pour la première fois son apparition sur la terre. L'homme, sans doute repoussé par le froid dans des régions plus méridionales, revient de nouveau peupler nos latitudes, sollicité par une température plus douce.

Nous trouvons sa trace dans quelques localités, à *Saint-Prest* (Eure-et-Loir), par exemple, où, comme on le voit par les empreintes de sa hache de pierre sur les ossements, il ne craint pas de s'attaquer avec ces armes primitives à un animal aussi peu vulnérable que l'*éléphant méridional*. Là aussi, il a laissé les pointes en silex des flèches dont il se servait à la chasse et qui témoignent d'une fabrication déjà meilleure qu'à l'époque précédente.

Les données de la Géologie et celle de l'Archéologie nous conduisent à admettre, à la fin de cette période, un refroidissement considérable dont la cause nous reste inconnue et qui détermine, dans nos pays, une seconde époque glaciaire. Quand elle est achevée, la faune qui lui succède nous apparaît avec un caractère particulièrement redoutable pour l'homme d'alors : le grand ours des cavernes au front bombé (*ursus spelœus*) le mammouth à la longue crinière et aux énormes défenses recourbées *(elephas primigenius)*, le rhinocéros velu aux narines cloisonnées, à la double corne *(rhinoceros tichorhinus)* en sont les principaux représentants.

C'est au *Moustiers* (Dordogne), à *Saint-Acheul* (Somme), qu'on a trouvé les instruments et les outils les plus caractéristiques de cette nouvelle époque. L'homme habite les cavernes, il a pour armes l'arc et la flèche à pointe de pierre, la hache et le couteau de silex. Avec ces faibles moyens il chasse et tue les terribles fauves qui l'entourent et lui disputent ses abris. Il sait fort bien

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fendre en long les os du rhinocéros et en extraire la moelle pour s'en nourrir. Les fragments de sa poterie qui nous ont été conservés nous apprennent qu'il a trouvé le moyen de malaxer l'argile pour en façonner des vases et qu'il a eu l'idée de la faire cuire pour la durcir. La parure même ne lui est pas inconnue car certains débris troués des coquilles fossiles de la craie tertiaire semblent lui avoir servi de colliers.

2° **Age du Renne.** — Peu à peu l'hyène et le grand ours des cavernes disparaissent, le mammouth et le rhinocéros diminuent pour s'éteindre à leur tour; mais un animal plus utile et jusqu'alors inconnu sur la terre, le *renne*, vient apporter à l'homme de plus précieuses ressources. Les conditions de la vie deviennent plus faciles et les silex se travaillent avec plus de soin : l'industrie se proportionne à des besoins nouveaux. L'homme de l'époque du renne habite principalement des abris sous les rochers comme à *Bruniquel* (Tarn-et-Garonne), où nous trouvons parmi les débris qu'il a laissés, non-seulement des haches et des pointes de flèches en silex, mais encore des scies, des poinçons, des grattoirs pour lisser ou épiler les peaux. Les os, et principalement les bois si durs du renne, sont utilisés par lui de mille manières; il en fait des outils, des flèches barbelées, des harpons, des hameçons; montrant qu'aux ressources de la chasse il a réuni celles de la pêche. Certains indices, comme des incisions à la base des bois du renne, font penser que ces animaux étaient dépouillés de leurs peaux lesquelles étaient sans doute employées comme vêtements. C'est aussi d'ordinaire à cette époque que l'on rapporte les premiers essais de la navigation. L'homme de l'âge du renne n'est pas dépourvu du sens artistique : il nous a laissé sur le silex, sur le schiste, sur l'ivoire d'assez bonnes représentations des animaux aujourd'hui disparus : le grand tigre, le mammouth à crinière, etc.; ses sculptures sur bois de renne ne sont pas sans élégance.

Il est commerçant : les pays privés de silex comme les plaines de la Belgique, nous offrent des armes dont la matière première a son origine en Champagne. De plus, dès cette époque, l'industrie a cessé d'être absolument domestique pour devenir le but du travail exclusif de certaines personnes : l'atelier est créé.

A *Chaleux*, à *Laugerie haute* et *basse*, se rencontrent des amas considérables de silex et de bois de renne convertis en outils achevés, à demi faits, manqués, brisés, dont le groupement en un même lieu fait voir qu'il y avait dès lors des emplacements consacrés à une fabrication déterminée et par suite un commerce d'échange incontestable.

3° **Age de la pierre polie.** — Mais les continents ont désormais pris leur relief à peu près définitif, la mer a quitté le Sahara, les glaciers sont remontés dans les hautes vallées des montagnes, la température s'est relevée, le mammouth a disparu pour toujours et le renne a gagné des latitudes plus septentrionales. Sauf l'*urus*, les animaux qui peuplent la terre ne sont plus différents de ceux d'aujourd'hui, les hommes même des époques précédentes semblent s'être éloignés devant l'invasion d'une race nouvelle apportant avec elle une civilisation matérielle plus avancée.

Jusqu'ici les armes et les outils de pierre avaient été taillés par éclats, on sait maintenant leur donner une forme mieux définie, presque tous les silex sont polis à l'aide du frottement sur de larges pierres dont de nombreux spécimens nous sont parvenus. Chose plus remarquable, la hache ne frappe plus par son extrémité pointue, comme les nôtres elle offre un large taillant et s'emmanche du côté opposé. Les ateliers du *grand Pressigny* (Indre-et-Loire) nous montrent des échantillons d'une fabrication très-soignée et, de plus, des polissoirs et des *nuclei* restes de rognons siliceux dont le choc a tiré les couteaux, les scies les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grattoirs de pierre et qui demeurent comme les témoins de cette fabrication.

C'est à cette période que remontent les *kjoekken-moeddings* (rebuts de cuisine), débris accumulés en Danemark sur les bords de la mer, renfermant de nombreux vestiges de la civilisation d'alors et dont l'examen nous révèle les mœurs, les habitudes, la nourriture des hommes de cette période. La présence des débris du hareng, par exemple, nous prouve que la navigation était alors assez avancée pour qu'on pût se hasarder en pleine mer, car la pêche de ce poisson ne peut se faire près des côtes. Les armes et les outils du Nord de l'Europe indiquent du reste une extrême habileté dans le travail de la pierre : pour la première fois on y rencontre des haches et des marteaux percés d'un trou rond pour recevoir un manche en bois. Les poteries sont d'une meilleure fabrication, les restes en sont plus abondants, mais elles sont toujours modelées a la main, le tour est encore inconnu.

L'homme s'est fixé au sol et a commencé la culture régulière de la terre; nous sommes en possession de quelques-uns de ses outils de jardinage et les cavernes de l'Ariège remontant à cette époque nous fournissent en même temps que du blé carbonisé, les débris des meules primitives qui ont servi à le broyer.

L'industrie a progressé, le commerce s'est étendu, mais le sentiment artistique s'est atrophié et l'homme de la pierre polie ne sait plus ni sculpter ni dessiner, ou du moins aucune de ses œuvres n'a survécu.

Les premiers *dolmens* (Armoric. *taol* table, *maen* pierre) apparaissent, sépultures antiques dont les dalles colossales ne pouvaient être apportées et mises en place que par le concours d'un grand nombre d'efforts individuels. Ce système d'architecture funéraire nous montre une organisation sociale fort avancée : il a fallu un culte déterminé, ou des influences acquises de longue date, pour qu'un travail aussi considérable pût être exigé par la famille du mort ou par la coutume du pays.

Nous venons d'esquisser rapidement le tableau des états successifs de la culture industrielle parmi les populations des âges de la pierre; nous n'avons aucune date à assigner à ces différentes périodes, ni aucune durée à leur attribuer. La science préhistorique ne peut encore relier les uns aux autres, d'une manière satisfaisante, les faits accomplis sur une partie un peu considérable de la surface du sol, ni établir entre eux un synchronisme facilement acceptable. L'industrie, en se développant, ne s'est point propagée d'une manière uniforme et, soit qu'il faille rechercher dans ses plus lointains souvenirs, soit qu'il s'agisse de temps plus rapprochés de nous, l'histoire nous montre combien sont profondes les différences entre les peuples contemporains, aussi bien au point de vue de leur civilisation matérielle qu'à l'égard de leur situation politique.

L'âge de la pierre a cependant tour à tour existé pour les différents peuples qui ont occupé le monde; il n'est presque pas de pays dont le sol n'en recèle les débris et, il est curieux de le constater, presque partout les mêmes substances ont fourni les premières armes et les premiers outils, presque partout les mêmes moyens de fabrication les ont revêtus des mêmes formes. L'arc et la flèche, la lance et la hache de pierre ont été des armes universelles.

Nous avons de plus la certitude que ces moyens primitifs ont résisté pendant bien des siècles à l'influence du progrès et ont été longtemps employés concurremment avec un armement et un outillage plus perfectionnés. Il ne faut pas s'en étonner puisque nous voyons de nos jours se montrer côte à côte le fuseau et la filature mécanique, la flèche et le chassepot, la charrue à vapeur et les outils de bois de la culture. Nous ne devons donc pas être surpris de rencontrer, par exemple dans les habitations *lacustres* de l'âge des métaux, un nombre relativement considérable d'instruments de silex. Mais on en trouve, à des époques

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus rapprochées de nous, dans les sépultures de la Chaldée et de l'Assyrie (1), en Égypte aux temps pleinement historiques dans les exploitations du Sinaï (2) et dans les carrières de Syène (3), et, plus récemment encore, dans les mines de cuivre d'Espagne au Cerro Muriano (4), etc.

Dans certains pays, et à une époque où l'emploi des outils de silex était depuis longtemps oublié, les coutumes du culte, réfractaires aux modifications extérieures, en avaient maintenu traditionnellement l'usage. C'est avec un caillou que le *fécial*, au temps des Horaces, immolait le porc pour le sacrifice (5), c'est avec une pierre aiguisée qu'on ouvrait en Égypte le flanc de la *momie* pour en retirer les viscères (6). Le régime politique avait aussi, dans l'extrême Orient, conservé comme le signe de la suprématie la présentation d'une arme d'un modèle antique : de même que l'offre d'une motte de gazon caractérisait sous notre régime féodal la possession du sol, de même le don d'une flèche à pointe de silex était en Chine, plus de mille ans avant notre ère, le symbole de la souveraineté (7).

4° Age du bronze. — Quoiqu'il en soit, ces produits d'une vieille industrie furent relégués au second plan quand apparurent les premiers métaux usuels : le cuivre d'abord, le bronze ensuite, enfin le fer. L'emploi du cuivre pur n'a pas pu durer bien longtemps ni s'étendre sur une grande surface; son peu de résistance et la difficulté de le mouler convenablement ont promptement mis à sa propagation un invincible obstacle.

La découverte du bronze, c'est-à-dire de l'alliage du cuivre et de l'étain et de ses précieuses propriétés, ouvre dans l'histoire une période féconde en résultats industriels. Mais si le cuivre se trouve à peu près partout, les gisements de l'étain sont au contraire, dans le monde connu des anciens, parcimonieusement distribués. De l'Inde à la mer Noire, si l'on en excepte les alluvions de *Ceylan* et les gîtes du *Mewar* qui ne paraissaient guère avoir été utilisés à l'époque qui nous occupe, il n'existe que deux points où l'étain se soit rencontré en masses exploitables : le pays de *Bamian* dans l'Indou-Kousch et le Caucase. Il faut donc de toute nécessité qu'un commerce actif ait procuré à l'Égypte, à l'Assyrie, à la Phénicie ce métal indispensable à la fabrication du bronze. Toutes les probabilités concourent pour faire penser que les gisements de l'Indou-Kousch ont été exploités avant ceux de l'Ibérie Caucasique.

L'histoire nous fait voir toutes les conséquences de cette rareté de l'étain, elle nous montre combien l'inégale répartition des richesses naturelles a donné d'opulence et de force aux peuples qui ont su exploiter leurs mines ou qui en ont procuré aux autres les produits. C'est au commerce qu'incombait alors, c'est à lui qu'appartient encore le soin de répartir, parmi les pays privés de certaines productions, le superflu des contrées abondamment pourvues.

L'emploi du bronze a précédé celui du fer, les historiens de l'antiquité nous l'avaient appris (8) avant que les fouilles ne nous l'eussent révélé; mais, que les procédés de la métallurgie se soient divulgués peu à peu, ou que le commerce asiatique ait simplement apporté l'alliage de cuivre et d'étain en Europe comme une marchandise d'importation, il parait certain que l'Égypte et l'Asie Occidentale étaient depuis longtemps en possession des métaux quand le bronze apparut pour la première fois en Occident. Pour les pays que nous habitons,

(1) Rawlinson. *The five great monarch.* V. I, p. 473. — (2) Chabas, *antiq. hist.* p. 91. — (3) Lenormand, *anc. civil*, t. I, p. 117. — (4) Mortillet, *mat. pour l'hist. de l'homme*, vol. 4, p. 234. — (5) Tite-Live l. 1, ch. XXIV. — (6) Hérodote, l. 2, LXXXVI — (7) Amiot, *Mém. sur les Chinois*, t. XII, p. 325. — (8) Hésiode *Théogon*, v. 722, 726 732. — Lucrèce, l. 5, v. 1286.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'âge du bronze constitue donc, non plus une phase du développement de l'industrie en général, mais une période de l'histoire du commerce et des relations de peuple à peuple, l'Europe du Nord-Ouest étant à cette époque, par rapport à l'Orient civilisé, un pays absolument barbare.

Au moment où nous sommes parvenus, les habitants des rivages des lacs de la Suisse et des pays avoisinants vivaient dans des huttes reposant au-dessus du de l'eau sur d'innombrables pilotis. Des villages de ce genre se voient encore aujourd'hui dans les Indes néerlandaises et Hérodote nous a laissé la description de ceux qui existaient de son temps en Thrace sur le lac *Prasias* (1). Grâce aux travaux de MM. Troyon, Keller, Desor et autres, on connaît assez bien aujourd'hui l'état de la civilisation des hommes qui habitaient les *villages lacustres* du lac Majeur et des lacs de Zurich, de Neuchatel, de Genève, du Bourget, etc., ainsi que les *Terramares* de l'Italie et les *Crannoges* de l'Irlande. La roue du potier est toujours inconnue, les armes de silex sont encore en usage, mais les outils, les pointes de flèches, les haches, les ciseaux à queue et à douilles, les faucilles, les hameçons, les aiguilles de bronze abondent. Le métal est coulé dans des moules et, faute d'outils de fer pour les ébarber, les bavures sont aplaties au marteau. La corne du cerf remplace, surtout pour les emmanchements, le bois du renne lequel depuis longtemps a fui vers le Nord. Les fouilles nous fournissent des débris d'étoffe, des pesons de métier à tisser, des peignes, des cardes, des paniers d'osier, des câbles d'écorce, des filets de pêches, etc., Le verre, le corail, l'ambre sont introduits par le commerce, mais comme durant la période précédente, le dessin artistique n'a pas reparu : les ornements sont de simples combinaisons de lignes droites souvent empruntées aux entrelacements fournis par l'art du vannier.

Le fer va enfin apparaître, son emploi se généraliser et sa fabrication devenir indigène. En même temps le tour du potier sera inventé ou révélé, mais alors nous serons déjà en pleine histoire.

II. — L'INDUSTRIE MYTHIQUE.

Nous venons de creuser le sol pour y trouver les vestiges de l'industrie primitive, interrogeons maintenant les traditions pour leur demander la trace des souvenirs enveloppés de fables qu'ont laissés les premiers inventeurs

L'histoire positive ne nous reporte guère plus loin que le XLe siècle avant notre ère, et, si quelque chose peut étonner, c'est de trouver, à une date si prodigieusement reculée, les hommes en possession d'une industrie florissante, déjà presque complète et à laquelle pendant bien des siècles il ne sera apporté que d'insignifiants perfectionnements. En tenant compte de la lenteur des progrès accomplis depuis lors pendant une longue période, et en supposant que les générations antérieures n'aient pas été plus favorisées, on pourra se convaincre ce qu'il a fallu de temps pour que la métallurgie, l'architecture, les travaux publics, le tissage, le travail du bois, l'agriculture parvinssent au point où ces industries nous apparaissent à l'époque où furent bâties les pyramides de Giséh.

Les hommes qui vivaient longtemps avant cette date n'ont pas laissé d'histoire, mais ils ont légué aux races postérieures les secrets de leur civilisation matérielle et le fait même de cette transmission a laissé des traces profondes dans les légendes parvenues jusqu'à nous.

(1) Hérodote. l. 5, XVI.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les traditions éparses dans les documents historiques nous parlent toutes d'une race de peuples serpents ou dragons habitant les régions montagneuses, les cavernes, race perverse, barbare, en possession des trésors souterrains, adorant des dieux *chtoniens*, les dieux des volcans. De même que les feux souterrains sont en opposition avec la flamme épurée du sacrifice, de même que ces divinités sombres et redoutées contrastent avec les dieux lumineux et bienfaisants, de même aussi les tribus industrielles primitives sont en hostilité constante avec les peuples pasteurs ou agriculteurs. Leur plus ancien domaine paraît avoir été cette région montueuse, si riche en métaux, qui s'étend sur l'Indou-Kousch, le Thibet Occidental, la région *Kampilienne*, le pays de חֲוִילָה *Havila* (1) « où l'on trouve l'or » dont le *Caboul* de nos jours a conservé le nom.

Quand les Aryas pénétrèrent dans l'Inde par cette voie, ils se trouvèrent en contact avec un peuple fort avancé dans les arts, auquel ils infligèrent le nom de *Nâgas* « serpents » et pour lequel ils éprouvaient une répulsion dont les *vêdas* et le *Mahâbhârata* portent à chaque page l'empreinte. Suivant les Hindous, la terre étant creuse à l'intérieur, *Kadrou* « la brune » mit au monde les serpents pour en peupler les sombres demeures (2). *Irâvata* l'homme au « vêtement de terre, » *Taxaka* le « charpentier » sont leurs rois, *Vaçtou* le Verbe, le principe vital du monde est un de leurs chefs.

Mais si les *Nâgas* nous apparaissent comme les ennemis constants des conquérants de l'Inde aux temps vêdiques, un antagonisme pareil se manifeste dans les légendes Iraniennes : *Azidahak* dont les Grecs ont fait *Astyage* et les Persans *Zohak* (Zend *Ahi-Dahakah*, « le serpent qui brûle ») (3) est le symbole des races hostiles aux sectateurs de Zoroastre (4). Un ethnique analogue, le serpent *Afrasiâb* des mêmes légendes, le roi du Touran qui fait sa demeure dans le mont *Vadkeisch*, (5), le Badakchan actuel riche en mines, est l'objet de la haine des serviteurs d'Ormuzd.

Dans le plus ancien des mythes de l'Égypte se montre la lutte d'*Osiris*, l'être bon, contre *Set* ou *Typhon* l'esprit maudit des ténèbres et de la mort. C'est le dieu d'une race ennemie; plus tard c'est le dieu des *Hyksôs*, c'est aussi celui des *Khétas* ou Héthéens. On peut lui comparer le *Satan* des Hébreux, שָׂטָן *satan*, ennemi, le شيطان *Chéitan* des Arabes (6) et l'Assyrien *Sed* qui veut dire génie ou démon. Les monuments égyptiens représentent aussi *Apap*, le chef des forces malfaisantes, sous la forme d'un long reptile sinueux. Les traditions bibliques assignent au serpent un rôle manifestement hostile et les Israëlites, ce peuple « au cou raide » qui n'avait jamais assez de dieux, ne cesse d'offrir des sacrifices au *Serpent d'airain* depuis l'époque où Moïse le fondit (7) jusqu'au moment où Ezéchias le détruisit (8). Mais en hébreu, le nom de ce serpent offre une ressemblance manifeste avec le sanscrit *Nâga* : נָחָשׁ *nakhasch*, et ce nom se relie à celui de l'airain נְחֹשֶׁת *nekhoschéth* de même qu'en persan روئين *royin*, qui signifie bronze, désigne aussi un des fils du serpent *Afrasiâb*.

A côté des races précédentes que la terreur seule poussait à adorer des dieux maudits, se trouve une race, ou peut-être même un ensemble de peuplades ayant vécu successivement ou simultanément, la race *Touranienne*, *Gog* et *Magog* de la Bible (9), chez laquelle ces dieux étaient l'objet d'un culte national. Cette race qui domina si longtemps en Asie non-seulement adorait des

(1) Gen, 2,11. — (2) *Jour. Asiat.* 1855, p. 496. — (3) Cf. Nomb. 21. 6,9. — (4) D'Eckstein, *Sanchon*, journ. as, 1860, p 75. — (5) Anquetil, *Boundehesch*, vol 3, p, 366. — (6) *Koran*, ch. II, Sourat, 13. — (7) Nomb. XXI. 9. — (8) 1 Rois XVIII, 4. — (9) Gen. X,2.

BIBLIOTHÈQUE

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dieux serpents, mais encore tenait en singulier honneur des divinités caractéristiques comme « le dieu du feu souterrain », « la dame de l'abîme » : c'est certainement une de celles qui a communiqué aux autres la connaissance des arts industriels et en particulier les secrets de la métallurgie.

Les auteurs anciens sont pleins de récits relatifs aux inventeurs des différentes branches de l'industrie ou plutôt à leurs initiateurs car partout, la tradition et l'étymologie nous le révélent, le souvenir de celui qui découvre s'efface devant la renommée de celui qui enseigne.

Thoth est l'instituteur des Égyptiens, *Taaut* (le même sans doute) celui des Phéniciens, *Phtah* de Memphis qu'on trouve aussi à Tyr est le dieu « qui fait toutes choses avec art » (1). *Oannès* dieu, homme et poisson enseigne la civilisation aux anciens habitants de la Chaldée (2).

Les *Dactyles* passaient pour venir de l'*Ida* (3) dans ce pays des Phrygiens célèbres dans l'antiquité comme navigateurs et commerçants. Ils avaient pour descendants les *Curètes* qui habitaient des refuges naturels, des cavernes, des mines : « jamais on n'avait pu découvrir leurs demeures » (4). Les uns et les autres ont dans les traditions helléniques le caractère de génies métallurgistes. Dans les *Vêdas, Agnî* est le *Daxana daxapati*, le maître adroit des hommes adroits (5); leur prototype est le *Daxa*, le dieu habile, le feu ouvrier (6), le *pygmée*; *daxa* est aussi une épithète de *Çiva*. Le sanscrit donne la clef de ces différentes dénominations : leur racine commune est दिश् *diç*, indiquer, montrer, de là le qualificatif दक्ष *daxa* adroit, latin *dexter*, de là aussi le grec δάκτυλος doigt et δἰδασκω enseigner.

Le *Dédale* grec est aussi un initiateur du même genre, il a inventé la scie, les outils du charpentier (cf. sc. दल् *dal* fendre) et accompli une foule de chefs-d'œuvre à Memphis, en Sicile, en Crète (7). Son neveu *Talus* passait pour avoir découvert l'emploi de la roue dans la fabrication de la poterie et nous pensons qu'il est le même que *Delas*, un Idéen habile dans la métallurgie du cuivre (8).

Dans l'Inde *Viçwakarman* (de विश्व *viwça* tout et कृ *Kri* faire), le feu, l'auteur de toutes choses, nommé aussi *Twaschtri* est le mécanicien des dieux, le chef des artisans (9); *Krischna dvæpâyana*, l'homme noir, est aussi l'initiateur de certains arts industriels, il descend de *Vasu* le Dieu des richesses souterraines (10).

La production du feu nécessaire à toute industrie a eu aussi ses inventeurs et ses propagateurs. La légende si connue de Prométhée, celle du *Mâtariçwan* védique, le chef des *Maruts*, des vents fils de la terre, montrent l'art de faire le feu emprunté à un peuple plus avancé. D'autres traditions nous font remonter à sa découverte même et toutes sont unanimes pour en attribuer la cause première au frottement exercé sur le bois. Suivant les Chinois au temps de *Soui-Gin* appelé aussi *Fong*, « le vent, » chef de la douzième famille du huitième *Ki*, un sage vit un jour un oiseau becqueter un arbre et en faire sortir du feu, il en prit une branche, la frotta et en fit jaillir la flamme (11). Suivant la cosmogonie Iranienne *Meschia* et *Meschiané*, le premier couple humain, tirèrent le feu

(1) Jambl. *de myster.* sec. VIII, c. 3. — (2) Lenormand, Fragments de *Bérose*, p. 17. (3) Ephore ap. Diod. Sic. l. V,LXIV. — (4) Ephore ap. Diod. Sic. l. V,LXV. — (5) *Rig-Vêda*, hymm. XCV, çl. 9. — (6) D'Eckstein *jour. as* 14e vol. 5e série p. 363. — (7) Diod. Sic, l. IV,LXXXVI,LXXXVII. — Hygin, *fab.* 274. — Ovid. *metam*, VIII, 241. — Plin. l. VII, 57. — (8) Clément d'Alex. Strom I. 16, p. 362 éd. Pott. — (9) *Vishnu purana*, liv. 1 ch. VI, Wilson's Works, vol, 2, p. 24. — (10) D'Eckstein: *Sanchoniaton*, jour. as. 1860, p. 244. — (11) P. Prémaré, Panth. litt. *Les temps ant. au Chou-King*, p. 26.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de l'arbre *Konar* en frottant son bois avec un sabre (1). Le *Rig-vêda* nous montre même le mécanisme des *Aranî* au moyen desquels on allumait dans l'Inde le feu du sacrifice : « on passe une lanière autour du bâton de l'arani comme une » rêne au cou d'un cheval fougueux » (2). « Du frottement des arbres, dit le *mahâbhârata* (3), jaillissait le feu. » Les traditions phéniciennes attribuait la découverte du feu provenant du frottement du bois aux descendants du vent *Kolpias* (souffle de Dieu) et de *Bauv* (la nuit) (4). D'après les Grecs, les dactyles Idéens en découvrirent l'usage (5). Nous sommes loin on le voit, de l'opinion de Lucrèce qui attribuait à la foudre la première manifestation du feu (6).

Fulmen detulit in terras mortalibus ignem
Primitus ;

Même dans les temps qui n'ont jamais eu d'histoire, le développement des aptitudes industrielles s'était déjà spécialisé et les productions du travail pouvaient dès lors se grouper en deux catégories bien distinctes dont l'étude des âges préhistoriques nous a d'ailleurs déjà révélé l'existence.

Là où la nature offrit à l'homme primitif les fruits et les pâturages, rencontra dans le sol l'argile nécessaire à la fabrication de sa poterie, le silex, ou quelqu'autre pierre analogue, indispensable à la confection de ses armes et de ses outils, les peaux et les toisons pour ses vêtements : c'est là l'industrie primordiale, l'industrie domestique. Elle n'a laissé de trace que dans l'archéologie, mais la seconde industrie, celle qui a, aux temps les plus reculés, provoqué les échanges, les voyages, la navigation, c'est-à-dire le commerce avec ses bienfaits et, il faut le dire aussi, la guerre avec ses calamités, c'est la métallurgie. La découverte de ses secrets domine toute l'histoire de la haute antiquité, son importance est capitale, aucune découverte moderne ne peut lui être comparée.

Or, les gîtes métallifères sont le plus souvent concentrés dans des régions montagneuses peu fertiles, d'un accès malaisé et d'une facile défense. Les premiers métallurgistes furent donc amenés à vivre à l'écart, impérieusement fixés au sol par suite de la localisation des richesses minérales, protégés dans leur retraite par la nature même de leur situation topographique et, plus encore peut-être, par la crainte superstitieuse qu'exercaient leurs mystérieux travaux. Aussi les populations pastorales ou agricoles évoluaient-elles librement autour d'eux, forcées dans leurs migrations de contourner, sans pouvoir les franchir, les sommets qu'ils occupaient. C'est ainsi que nous voyons se maintenir si facilement et si longtemps les montagnards de l'Indou-Kousch dans les gorges du Bâmian, les Égyptiens au Sinaï, les *Chalybs*, les *Moschiens*, les *Tibaréniens*, les *Caspiens* dans le massif montueux qui s'étend des sources de l'Euphrate aux rivages de la mer Noire et aux escarpements du Caucase.

Nous sommes de cette manière conduit à parler du mythe *Cabirique*, c'est-à-dire à examiner les traditions concernant le travail des métaux dans sa plus antique manifestation et ramenés par suite vers l'Indou-Kousch, le Caboul, l'Afghanistan, vers le pays des Kouschites de Chavilah, des Cephènes, vers le berceau de la métallurgie, domaine du *Kouvêra* (कुवेर *Kuvêra*, difforme) des traditions indiennes (7). Là se passent les exploits du dieu *Cephène*, de ce dragon à trois têtes qui précipite *Trita*, le *Sôma*, la race Aryenne dans le puits *Kûpa*, l'abîme (8). Là sont les *piçâca* (sc. पिश् *piç* donner une forme) les forgerons,

(1) Anquetil, *Boundehesch*, vol. III, p. 378. — (2) *Rig-Véda* sec. 1, lec. 2, hymn IX, çl. 4. — (3) Mahâbhârat. T. 1, *astika parva*, p. 122. — (4) Sanchon, Eusèbe *prepar. Evang.* liv. 1, ch. X. — (5) Diod. Sic, liv. V. LXIV. — (6) Lucret. l. V, v. 1091. — (7) *As. research.* T. V, p. 299. — (8) D'Ecksteîn, *journ. as.* 1860, p. 71.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les gardiens des richesses de *Kouvêra;* là vit *Kambala*, un des rois des *Nâgas*, fils de *Kadrou*, serpent à plusieurs têtes (1). Les légendes musulmanes y placent le tombeau de *Khabil* ou *Caïn* خابل le diable, le forgeron, le sorcier, le fondateur de la ville de *Caboul* (2). C'est peut-être aussi non loin de ce massif de montagnes qu'on peut placer le siége du mythe de *Tubal-Caïn*, le forgeron antédiluvien (3). Son nom signifie « le frappeur forgeron » *Tubal :* heb. תֻּבָל *Tépah* frapper, cf arab طبل *tabl* tambour, Sansc. तुप् *tup*, frapper, et *Caïn* de קָנָה *qanah* forger, créer.

On peut voir que la plus grande partie de ces noms appartiennent à un radical commun *cav, cap, cep, cop...* etc., dont il va nous être facile de déterminer la valeur. C'est une des racines les plus antiques du monde; il n'est presque pas de langues dans lesquelles on ne la rencontre et nous allons en donner quelques exemples pour montrer l'extension qu'elle a prise et déterminer le sens qu'elle a conservé. Toutes les idées qu'elle rappelle se rapportent à la *capacité*, à la *caverne*, à la *cavité* ex. heb גֵּב *geb* citerne, fosse; Chaldéen גב *gob* fosse; heb. קְבוּרָה *gebourah* sépulcre; arabe خبيب *Khabib* crevasse, قبر *gabr* sépulcre; sans c. कूप *Kúpa* fosse, puits; latin *cupa* tonneau; grec κάπετος fosse κυθη caverne; finnois *cuoppa* fosse; lapon *cappe* creux, tamoul *cappal* navire, etc., etc. Cette signification s'est étendue plus tard à l'enveloppe qui limite, et même à l'éminence qui dénonce la cavité, comme on le voit par exemple, dans l'Assyrien *gabiri*, montagne et dans l'Arabe جبل *djebel* qui a la même signification. Elle a été étendue aussi aux noms des fleuves profondément encaissés, à ceux des villes remarquables par leur situation dans des districts miniers ex. Καβυλη, Καβαλις, Καβησος, (Stephan byz.), Καβειρα (4) et beaucoup d'autres.

Nous pensons que les considérations précédentes nous permettent de proposer une nouvelle explication pour le nom des *Cabires* et de substituer aux épithètes de « puissants » ou « associés » qu'on a données jusqu'ici à ces génies de la métallurgie antique celle de « *fouilleurs,* » de « *mineurs* » et par extension de « *forgerons* » qui semblent mieux rendre compte de la nature de leurs attributions et de la formation philologique de leurs noms.

Nous rencontrons les *Cabires* dans les mystères de Samothrace où ils passent pour venir des montagnes de la Phrygie (5) et sont assimilés aux *Corybantes* (6) ainsi qu'aux *Curètes*, aux *Telchines*, aux *Dactyles* corporations d'initiateurs venus tous d'Asie en Europe apportant avec eux les sciences et les arts.

Les Phéniciens, en venant se fixer sur les bords de la Méditerranée, y avaient introduit le culte des *Cabires* qui se répandit par la suite au sein des populations gréco-pelasgiques. Apparentés avec les *Céphènes*, avec les premiers *Adites* de l'Arabie méridionale, avec les *Kâdravêyas* de la Gédrosie, avec les *Kabolitæ* de l'Indou-Kousch, les Phéniciens formaient, depuis leur station primitive dans les îles *Bahrëin* jusqu'au territoire Tyro-Sidonien et aux colonies du Nord de la mer Egée, la chaîne qui reliait aux exploitations minières du Caboulistan celles des pays de l'Asie antérieure. Les *Cabires* sont comme les héros éponymes de ces Cephènes, de ces Kouschites aux sombres traditions, au culte sanguinaire auxquels appartenait dans la haute antiquité la suprématie sur presque toute l'Asie Occidentale et Méridionale, la royauté de la mer et l'établissement du plus ancien commerce.

(1) *Vishnu Purana*, ch. XXI, p. 74. Wilson's works, vol. 2. — (2) Mem. of *Baber*, Leyden and Erskine, p. 136. — Wilson, *the abode ef Snow*, p. 456. — (3) Gen. IV, 22. — (4) Théop. Phili. pl. XLVII, Didot, hist. gr. p. 316. — (5) Schol. Appollon. Rhod. *ad Argon* I, 917. — Athenicon, *Samot.* Didot, vol. 4, p, 315. — (6) Eustat. comm. Dion. *orbis descr.* Didot, géog. min. vol. 2, p. 315.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous les retrouvons dans les traditions indiennes, dans les *Ribhavas* dont le caractère *Cabirique* est incontestable (1), dans le personnage de *Kouvêra* le dieu des richesses souterraines du mont *Kælâsa* avec tout son cortége de gardiens ou de divinités secondaires. *Kouvêra* est l'ami, le compagnon de *Çiva*, le dieu des populations anté-aryennes, devenu par le travail d'une assimilation bien postérieure un des personnages de la *trimoûrti* brâhmanique. *Çiva* a du reste, croyons-nous, une origine cabirique; cela résulte de la discussion de ses innombrables épithètes et de l'examen des éléments philologiques de son nom. Il se relie en effet directement au radical que nous avons signalé plus haut et qui a formé le mot *Cabire*. La consonne initiale sanscrite श ç, procède du क *ka*, et répond souvent au *k* des langues aryennes : *Çiva* peut donc avoir eu primitivement une forme *Kiba* de même que le sanscrit *çagkha* répond au grec κόγχη, conque et le sc. *çata* au grec εκατον, cent.

Mais ce culte des Cabires qui s'étend, à l'époque reculée dont nous parlons, de l'Ethiopie au Caucase et de la Thrace aux confins de la Sérique, a laissé de telles traces dans l'histoire que les superstitions actuelles en ont même gardé le souvenir.

On a, dans tous les temps, attribué à des nains difformes le pouvoir mystérieux de la production des métaux : le *Phtah* de Memphis qui excitait l'hilarité de Cambyse (2), les *Patæques* (*heb* פַּטִּישׁ *patisch*, marteau), descendants du dieu Memphitique et que les Phéniciens plaçaient à la proue de leurs trirèmes, l'*Adonis pygmæon*, le dieu au marteau l'Ηφαιστος d'Homère, le *Vulcain* latin étaient des génies de l'industrie métallurgique que redoutaient les superstitions populaires, nains contrefaits, mineurs et sorciers, souvenirs vivants d'une race abhorrée.

Les Bretons croient encore aux nains gardiens des trésors (3), les Scandinaves ont leur *Duergar*, hommes de petite taille, magiciens et métallurgistes (4).

C'est le nain *Sindri* qui forge *Miolner*, le marteau de *Thor* (5). Les *Kobolds*. les *Bergmannschen* allemands sont des génies forgerons comme nos *Gobelins;* les *Cobals* de la Carinthie étaient de petits hommes des montagnes que certaines gemmes rendaient invisibles ou difformes (6), les *Qbir* ou *Kibir* de Malte sont aujourd'hui regardés comme des démons (7), les mineurs malais croient aussi à l'existence d'un esprit malfaisant « *Kammang* » gardien des mines (8).

Les Finnois de notre Europe septentrionale, descendants de cette race Touranienne dont nous avons fait remarquer les aptitudes industrielles, ont une cosmogonie pleine de traditions métallurgiques : le *Kalewala*, leur grande épopée, nous montre *Illmarinen*, le forgeron éternel fabriquant le couvercle de l'air. Dans les montagnes habitent *Wuolangoinen* le père du fer, *Rauta-Rekhi*, le dieu du fer, *Ruojuotar* la nourrice du fer et avec eux *Karilainen* boiteux comme Vulcain (9).

Depuis l'antiquité jusqu'à nos jours, outre la petite taille et la difformité, la sorcellerie a été l'apanage des corporations métallurgiques. Leur travail est impur : dans l'Inde ancienne le mineur est un criminel (10), les *Telchines* sont pour les Grecs des magiciens (11), κοβαλεις dérive du radical qui a donné le mot

(1) Néve, *essai sur le mythe des Ribhavas*. — (2) Hérodote, l. III, c. 37. — Lucien *de dea Syra*, c. 16. — (3) Bulletin de l'assoc. breton. vol. III, p. 63. — (4) Pictet, *du culte des Cabires chez les anciens Irlandais*, p. 114. — (5) Wayland Smith, Depping, engl. transl. — (6) Du Cange. v. *Coboli*. — (7) Kreutzer. *relig. ant.* T. II, p. 286. — (8) Newbold. *journ. of the asiat. Soc. of Bengal*, vol. 4, p. 550. — (9) Léouzon Leduc, *Finlande* T. I, p. IXXXVIII. — (10) Manou, l. XI, 63. — (11) Xenomed. Chius, Didot, hist. gr. vol. II, p. 43. — Aelian, *de nat. an.* l, VI, LVIII Didot p. 113.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cabire signifie « tricherie » (1), en Perse, de nos jours, la métallurgie est une profession infamante (2), les Égyptiens regardaient le fer et le feu comme les os de *Set* l'impur (3), les *Zenagues*, ouvriers en fer de l'Afrique centrale sont méprisés par les peuplades environnantes (4), les *Falachas*, forgerons de l'Abyssinie sont l'objet de la haine générale (5) et on ne peut s'empêcher d'être frappé de la ressemblance de ce nom avec celui des *Flissas* de notre Kabylie Algérienne grands métallurgistes et fabricants d'armes blanches.

D'autres superstitions à peine effacées ont longtemps maintenu le souvenir de la spécialisation du travail métallurgique et la notion d'une race de pasteurs qui, inhabiles dans l'art de fabriquer les métaux allaient les demander à une population différente en possession des secrets de la métallurgie, mais impuissante à se procurer les produits de l'agriculture. Le curieux mythe de *Vœlund* en est un exemple (6) : c'est le fils d'un roi des *Elfs*, habiles forgerons, la tradition qui le concerne avait principalement cours en Angleterre. Dans certaines localités on menait un cheval déferré à un maréchal, invisible habitant d'une caverne, on plaçait près du cheval une pièce d'argent et on se retirait sans détourner la tête. Quelque temps après, le cheval était ferré et l'argent avait disparu (7). Près de Liége existe une grotte dite « trou des *Sottais* » (Cf. sc. सुद् *sutt* être petit), les habitants la croyaient occupée par des nains qui restauraient les objets déposés à l'entrée de la caverne, pourvu qu'on y ajoutât des vivres (8). Une coutume analogue avait lieu chez les *Veddas*, de Ceylan (9). Pythéas raconte qu'aux îles Lipari, si on place du fer non travaillé avec un peu d'argent sur le cratère du volcan, on y retrouve le lendemain une épée ou toute autre arme (10).

Dans cette étude des mythes industriels, bien des nuages couvrent la vérité historique, si difficile à mettre en pleine lumière ; mais il est encore une source de renseignements remontant au-delà des temps où les documents positifs commencent à apparaître, et à laquelle nous allons faire quelques emprunts : nous voulons parler des noms des métaux. A l'inverse du langage usuel dont l'origine nous parait devoir rester à jamais cachée, la langue technique, venue bien plus tard et créée par une sorte de dérivation rationnelle des mots de la vie ordinaire, se constitue presque sous nos yeux, en nous offrant la raison de son existence et le secret du mécanisme à l'aide duquel elle s'est formée.

Nous allons voir en effet que les étymologies des noms de certains métaux vont nous permettre de conjecturer avec une certaine probabilité, sinon de préciser exactement, l'emplacement des gîtes anciennement exploités, ainsi que les voies d'un commerce antérieur à toute histoire.

Si l'on considère seulement leur extension dans les principales langues de l'Asie et de l'Europe, ces dénominations présentent deux caractères bien tranchés, l'un général, l'autre variable suivant les propriétés spéciales à chacun des métaux. Parmi les caractères particuliers aux substances métalliques, celui qui a le plus frappé les premiers hommes, ce n'est ni la densité, ni la dureté, ni la malléabilité, ni aucune des propriétés réellement utiles, c'est uniquement l'éclat, la couleur, en un mot, la manière dont elles se comportent à l'égard des rayons lumineux. C'est aussi à l'éclat et à la couleur que se rapportent la plus grande partie des noms des métaux, et, considérés sous cet aspect, leur étude ne nous

(1) Philoch, hist. gr. Didot, vol. II, l. I, p. 588. — (2) Acad. inscript. vol. XXXI, p. 484. — (3) Plutarque, *de Isi et Osir*, 62. — (4) Caillé, *Soc. de géog.* vol. 13, p. 105. — (5) D'Abbadie, *jour. Soc. de géog.* 3e série, vol. 4, p. 45. — (6) Wayland-Smith. — Depping et F. Michel, pass. — (7) W. Scott. *Kenilworth*, ch. x. — (8) Schmerling, *oss. foss.*, vol. I, p. 43. — (9) *Trans. Soc. ethnol.*, vol. II, p. 285. — (10) Lubbock. *L'homme préhist.*, p. 58.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

offre pas l'intérêt que présente l'examen des autres noms, de ceux qui révèlent des propriétés spéciales ou qui dénotent une provenance déterminée.

Ainsi, le mot grec χρυσος, or, l'assyrien, *huraz*, indique une origine sémitique, tandis que αυρον, l'*aurum* latin est purement aryen. Le fer, latin *ferrum* pour *fersum*, rappelle l'assyrien *barzil*, l'hébreu בַּרְזֶל *barzel* et, dans ce mot, on peut distinguer un radical *bar* (1) qui a passé dans le nom Éthiopien de l'argent, et, par le grec βάρος, dans les langues européennes (2).

Nous ne saurions multiplier ici ces exemples, nous préférons donner quelques détails sur les noms de l'étain, dont l'intérêt est considérable pour les raisons que nous avons présentées plus haut.

Ces noms montrent d'ailleurs par leur étymologie que, de toute antiquité, ce métal a été obtenu dépouillé de tout alliage. En effet, comme l'auteur de cet essai l'a fait voir le premier (3), ils rappellent presque tous sa propriété la plus curieuse, propriété exclusive et qui ne lui appartient qu'à l'état de pureté : nous voulons parler du bruit ou *cri* qu'il fait entendre quand on cherche à le courber. Nous n'attirerons l'attention que sur quelques-uns de ces noms : *Stannum*, le nom celtique duquel proviennent presque tous les noms européens, κασσίτερος, le nom grec dont les analogues existent en sanscrit, en assyrien, en persan, en arabe, etc., enfin *Kesbet*, le nom égyptien.

Nous laisserons de côté *peatar*, autre nom celtique, dont les éléments principaux se retrouvent dans l'hébreu *bedil* (4), le semitique אַנָךְ *anaq* (le criard), appliqué par extension au plomb à une époque fort reculée, le nom malais *kalang*, pure onomatopée comme les mots claque, grue, cri, craquer, etc.

On a depuis longtemps fait remarquer l'analogie du mot grec κασσίτερος et du sanscrit कस्तीर् *kastîra*, mais l'hypothèse d'une origine commune n'était pas généralement admise, faute de connaître la véritable étymologie de ces deux mots. Or, chacun d'eux se compose de deux éléments : le premier, grec, κασ..., sc. *kas* est une onomatopée du bruit, comme le français, *casser*; l'arabe كسر *kasar*, briser; le sanscrit *kaç*, claquer; *kâs*, tousser; le second, grec ...σιτερος; sanscrit ... *tîra* correspond au latin *sidus*, *sideris*, étoile, au sc. védique स्तृ *stri* (5), étoile. Burnouf a montré aussi (6) que le Zend *çtar* étoile avait pour analogue le sanscrit *târa*, étoile et argent; il est, de plus, facile d'en rapprocher le grec αστηρ, astre et σίδηρος, fer; ou peut donc appliquer à ces mots ... *tîra* et ... σιτερος, l'acception métallique de l'éclat. En rétablissant les voyelles là où elles semblent avoir été omises par contraction, on peut restituer une forme sanscrite *kasasatîra*, très-voisine de la transcription assyrienne *kasazatirra* donnée par les monuments. Dans tous les cas, le mot signifie « métal qui craque. » L'origine aryenne de l'étain nous semble donc remonter plus haut que les dernières migrations des Aryas et, comme on ne voit de ce côté que les mines de l'Indou-Kousch, c'est l'étain de cette provenance qu'avaient en vue les anciennes populations de l'Asie centrale quand elles lui ont donné le nom dont nous venons d'analyser les éléments et de rechercher l'étymologie.

Le second mot qui va nous occuper est le mot *Stannum*. Il apparaît pour la première fois dans Pline et a pénétré dans le latin par l'Espagne celtibérienne en même temps que plusieurs termes techniques, comme *alutea*, *arrugia*, *baluca*, etc. (7), dont le celtique nous permet aujourd'hui de retrouver la signification.

(1) Sayce. *Transact. of the soc. of biblical archeol*, vol. I, p. 306. — (2) Strabon, trad. Tardieu, vol. I (note de la page 310). — (3) Dufrêné. *Diction. technolog.* Métallurgie, p. 51. — (4) Nomb. XXI, 22. — (5) Lassen. *Ind. bibl.*, t. III, p. 18. — (6) Burnouf. *Comment. sur le Yaçna*, vol. I, p. 355. — (7) Pline, XXXIV, c. 47.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Stannum a pour prototype le sanscrit स्तनन *Stanana*, bruit, gémissement de la racine; *Stan*, gémir, correspondant au grec στενω. Ce mot rend compte des différentes transformations celtiques : kymr, *estaen* pour *estanen*; irland., *Stan*; gaël., *Staen* pour *Stanen*; armor., *Stean* pour *Stenan*. C'est encore le métal qui crie, qui gémit et l'on peut dire que les langues néo-celtiques n'ont pas absolument perdu tout souvenir de cette racine, car on la retrouve dans un des noms anglais de la crécerelle : *Stannel* (*falco tinnunculus*) dont l'origine celtique n'est pas contestable. Dans notre Armorique, il reste encore deux localités rappelant l'antique commerce de l'étain : *Penestin* « le cap de l'étain » et *gobestan* « le havre de l'étain. » Il serait difficile, cependant, de déterminer si *gob* est vraiment celtique, car ce mot appartient aussi aux langues semitiques. Les historiens arabes l'ont souvent appliqué aux lagunes de Ceylan : *gobb* (1).

On rencontre, sur les monuments égyptiens, la mention fréquente du mot *kesbet*, et les égyptologues ne sont pas d'accord sur sa signification. L'opinion générale est que *kesbet* désigne le *lapis-lazuli*; nous avons cependant des raisons de croire que ce mot est employé aussi pour désigner l'étain. Il y a de nombreuses listes de tribus dans lesquelles la substance en question est rangée parmi les métaux d'une manière qui ne permet guère de lui attribuer la signification de pierre précieuse. Nous pensons que *kesbet* a fort bien pu désigner l'étain et le lapis-lazuli peut-être à des époques différentes, sinon en même temps. Comme le métal était importé en Égypte de toute antiquité, il est probable que le mot appartenait à la langue du pays qui le fournissait, car c'est là une règle presque constante dans l'histoire du langage technologique.

Or, l'étain venait du Caucase, du mont *Caspius*, ancien nom de cette montagne (3), du pays des *Caspiens*, du pays de l'argent כֶּסֶף *Kéçéph*, en hébreu et en assyrien, et ce mot *Kéçéph* pourrait bien être la raison du mot *kesbet*, étain, car les noms de l'argent et ceux de l'étain sont souvent confondus à cause de l'analogie de leur couleur. Du reste, *Keceph* signifie aussi *blanc*.

Avec le sens de *lapis-lazuli*, Kesbet, qui peut d'ailleurs avoir reçu d'autres voyelles puisqu'en égyptien, comme dans beaucoup d'autres langues, les consonnes seules s'écrivaient, se rapporte plutôt à une relation commerciale et signifie alors pierre des *Caspiens* ou des *Saspires*. Le *saphir* des anciens, *sapphir*, qui est le *lapis* comme le *kesbet*, a dû certainement s'écrire d'abord *sasphir* et a la même origine que le *jaspe* ou pierre *caspienne* (3), lequel n'est qu'une autre modification du même mot (4).

Cette conjecture, si elle est vérifiée, serait une preuve certaine des relations ommerciales entre l'Égypte et le Caucase à une date prodigieusement reculée.

(1) Reinaud. *Salsalat el tévarykh*, p. 128. — L. Tement, *account of Ceylon* vol. I, p. 45. — (2) Eratost. Strabon, l. XI, ch. II, 15. — (3) Pline, l. XXXVII, 37. — (4) Braun. *Vestit. sacerd. heb.*, vol. II, p. 671.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

III. — L'INDUSTRIE HISTORIQUE.

L'Égypte. — On ne peut expliquer que par d'aventureuses conjectures la formation, sur les bords du Nil, d'une société civilisée, isolée du reste du monde et occupant en plein désert une bande de terre fertile qui, des cataractes au *Delta*, a tout au plus une largeur moyenne de vingt kilomètres. Habitués par nos souvenirs classiques à donner dans le passé une si large place aux événements qui furent la conséquence de l'influence grecque et de la puissance romaine, nous avons peine à nous convaincre qu'en ajoutant aux douze siècles de Rome les quatre siècles de la Grèce dans sa période de splendeur et les quatorze siècles de la monarchie française, nous ne parviendrions pas à combler l'intervalle qui sépare de l'époque où vivait Moïse l'avénement de la première dynastie égyptienne et la fondation de Memphis.

C'est à la pointe du Delta que nous trouvons les premières traces de l'industrie et de l'architecture égyptienne. On y a exhumé les restes d'un temple de granit, le temple du *Sphynx*, présentant le caractère archaïque le plus incontestable. Une fois déjà il avait été enseveli sous les sables et *Khoufou*, le constructeur de la grande pyramide, qui l'avait fait déblayer il y a près de six mille ans, en parle, dans une inscription conservée au musée de *Boulaq*, comme d'un édifice d'une extrême antiquité.

Les fouilles des nécropoles de *Saqqarah* nous ont fait retrouver le tombeau d'un fonctionnaire nommé *Amten*, qui vivait sous la III^e^ dynastie quelque temps avant l'époque des pyramides. Les peintures qui le décorent nous montrent l'Égypte déjà complétement civilisée et l'écriture hiéroglyphique parfaitement constituée.

C'est au temps du roi *Snéfrou*, sous lequel vivait *Amten*, que remonte la plus ancienne mention historique de l'exploitation des mines. On a trouvé sur les rochers du *Sinaï*, à *Ouaddy-Magarah*, un bas-relief représentant « le maître de la justice, l'*Horus* vainqueur, *Snéfrou*, le dieu grand » (1) terrassant un de ces *anou* ou nomades de l'Arabie Pètrée qui harcelaient, comme ils le firent si souvent par la suite, les ouvriers mineurs que les Égyptiens y avaient installés ou qu'ils avaient contraints d'y travailler.

Les mines du Sinaï, dont les vestiges si remarquables ont été fouillés de nos jours, fournissaient à l'Égypte des turquoises, du cuivre rouge (*mafek*), de la calamine, dont on faisait sur les lieux mêmes du laiton (*tahen*) (2). Ces deux métaux étaient apportés en Égypte sans doute au moyen de caravanes et c'est là seulement qu'on faisait le *khomt*, si c'est là toutefois la lecture de l'hiéroglyphe (composé d'un creuset suivi du déterminatif métallique) représentant le bronze dont on fabriquait alors la plupart des outils et des armes.

Ces exploitations du Sinaï paraissent avoir été fort importantes : MM. Lottin de Laval et Lepsius y ont rencontré les nombreuses ruines des habitations des mineurs (3) et J. Keast Lord (4) a trouvé à Ouaddy-Magarah une stèle sur laquelle est représenté, armé de son marteau, un ouvrier orné d'une longue barbe pointue et coiffé d'un haut bonnet conique. Des coquilles d'une moule d'eau douce (*Spathia Chaziana*), débris des aliments de ces mineurs, ont été

(1) Lepsius. *Denkm*, II, 2. — (2) V. au sujet de la couleur du tahen : Lepage-Renouf, *Zeitschrift für Ægypt.* spr., 1867, p. 66. — (3) Lottin de Laval. *Voyage dans la péninsule arab.* p. 221. — (4) *Leisure hours*, 1870.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

découvertes en grand nombre jusque dans les galeries abandonnées, ce qui prouve qu'alors l'eau était moins rare qu'au temps de Moïse aux alentours du Sinaï. Dans les scories accumulées en cet endroit, on a retrouvé de nombreux outils ainsi que des marteaux de pierre, et ce fait, rapproché de l'examen des entailles pratiquées dans les excavations, ne permet pas de douter de l'emploi du silex dans le creusement des galeries. Un autre voyageur, *Holland*, a découvert de nombreuses ruines d'ateliers et de fourneaux, ainsi que des filons de cuivre et de fer dans le même massif de montagnes, à *Senned*, *Ouaddy-Hushthobbak*, *Ouaddy-Baba*, etc. (1).

Nous avons fait voir plus haut, à propos du mot *kesbet*, que l'étain était sans doute apporté du Caucase, et on comprend aisément quelles lenteurs et quelles difficultés devait rencontrer un commerce si lointain, fait à l'aide de caravanes traversant des pays certainement fort peu civilisés.

Le fer était alors connu et les inscriptions postérieures nous parlent fréquemment d'un métal particulier, le *baa-en-to* « fer de la terre », substance brillante qui était sans doute le fer météorique.

Ce sont les rois de la IVe dynastie, *Khoufou*, *Schafra* et *Menkéra* qui bâtirent les pyramides de *Giseh*, ces monuments pour lesquels on a épuisé toutes les formules de l'admiration. Il est encore difficile aujourd'hui de préciser avec quelque apparence de vérité la manière dont elles ont été construites : les plans inclinés (et il nous reste celui qui, des carrières de *Tourah*, amenait les blocs du revêtement), les machines à levier décrites par Hérodote (2), le système de flottage pendant les crues du Nil ont pu, conjointement avec les efforts de bras innombrables, être employés pour l'édification de ces gigantesques tombeaux.

Les Égyptiens de cette époque savaient sculpter le granit et le basalte : la statue en diorite du roi *Schafra*, conservée au musée de *Boulaq*, dénote une incroyable habileté dans le travail des pierres dures. Bien qu'alors les outils de bronze fussent presque exclusivement en usage, le fer, comme nous l'avons déjà dit, était certainement employé, car on en a trouvé une barre encastrée dans la maçonnerie de la grande pyramide. Les nécropoles de Saqqarah nous ont aussi rendu les tombes de *Ti* et de *Phtah-Hotep*, fonctionnaires de la Ve dynastie (3800 ans av. J.-C.) : ces tombeaux sont revêtus de peintures qui nous donnent une haute idée de l'industrie égyptienne d'alors. Des potiers y sont représentés *marchant* la terre comme les nôtres le font aujourd'hui, des charpentiers construisent une barque, des ébénistes et des menuisiers munis d'outils peu différents des nôtres travaillent le bois; on y voit des tireurs d'or, des bijoutiers, etc. De grandes embarcations aux voiles carrées parcourent le Nil et peut-être la mer. Les célèbres mines d'émeraudes de l'Égypte étaient sans doute déjà découvertes, car, dans le papyrus de *Phath-Hotep*, que possède notre bibliothèque nationale, le plus ancien livre du monde, on rencontre cette phrase : « La bonne parole luit plus que l'émeraude que la main des esclaves découvre parmi les cailloux. »

On s'occupait, en dehors du Nil, des moyens de communication avec l'extérieur, car nous voyons un roi de la VIe dynastie, *Pepi-Mérira*, faire creuser des puits pour abreuver les caravanes sur la route de *Keneh* à *Qosseïr*, et l'importance donnée alors à cette route nous permet de conjecturer que des communications maritimes avaient lieu de ce port en Arabie, soit vers la péninsule du Sinaï, soit peut-être vers le *Yémen*, alors habité par des populations de race *Kouschite*, dont la civilisation matérielle était fort avancée.

(1) Holland's, *on the penins of Sinaï*. Jour. of ɔv. eog. soc. vol. XXXVIII, p. 246.
(2) Herodote, l. II, c. CXXV.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La XII^e^ dynastie représente l'apogée de l'ancien empire égyptien. C'était déjà une renaissance, car il venait de s'écouler, de la VI^e^ à la XI^e^ dynastie, une période de barbarie relative sur laquelle nous n'avons pas de détails. Les *Kouschites*, traversant le détroit de *Bab-el-Mandeb*, étaient venus s'interposer violemment entre la haute Égypte et le pays nègre, *Memphis* avait perdu son rang de capitale et *Thèbes* avait été fondée.

C'est près de cette dernière ville que se trouvent les célèbres tombeaux de *Béni Hassan*, dont la façade est le prototype de l'ordre dorique grec et qui remontent, comme on le voit, à environ 2,500 ans avant J.-C. Ces tombeaux et surtout celui d'un haut fonctionnaire nommé *Améni* nous font connaître, par leurs peintures et leurs bas-reliefs, l'état complet de la civilisation de l'Égypte à cette époque. On y voit représenté le lavage et le traitement de l'or, *nub*, dont le signe hiéroglyphique est un ensemble figuratif représentant l'outillage des laveurs de sables aurifères. Les verriers soufflent le verre, les potiers apprêtent la terre, la tournent, enfournent les vases (1). Le tour à potier que les âges préhistoriques ne nous ont pas révélé remonte, suivant les Égyptiens, aux temps mythiques; leurs traditions rapportent que le dieu *Chnumis* s'en servit pour façonner l'argile avec laquelle il moula le premier homme (2).

Les tombes de Thèbes nous montrent la culture de la vigne, la récolte du raisin, le foulage et la fabrication du vin au moyen de pressoirs à torsion, son emmagasinage dans des amphores pointues comme celles des Grecs (3). On y voit le rouissage, le battage et le tordage du lin; du reste, les industries du tissage étaient fort avancées en Égypte, comme l'Éxode et les traditions grecques nous l'apprennent. Il est remarquable de voir que c'est toujours aux femmes que l'antiquité attribue l'invention et la fabrication des tissus. Pour les Égyptiens, l'art du tissage remonte à *Isis*; pour les Grecs, à *Minerve*; pour les Lydiens, à *Arachnée*; les Chinois eux-mêmes font honneur de cette invention à l'impératrice, femme de *Yao*.

Les peintures égyptiennes nous montrent le fil fait au fuseau (4) et les métiers à tisser mûs par des femmes assises (5). Les bandelettes recouvrant les momies nous ont conservé de nombreux et remarquables échantillons de ces anciens tissus. Ils sont exclusivement en lin, les fils de la chaîne sont tordus à deux brins et généralement deux ou trois fois plus nombreux que ceux de la trame, tandis qu'aujourd'hui, du moins dans les tissus ordinaires, ils sont en nombre égal (6). Le *papyrus*, qui servait déjà à la fabrication de feuilles destinées à l'écriture, fournissait aussi des fibres pour les tamis et pour différentes applications.

L'agriculture n'a guère changé en Égypte depuis ces temps reculés; les peintures des hypogées nous montrent les charrues et les houes de bois, le travail du semeur, la récolte des épis à l'aide de faucilles de bronze, le battage sous les pieds des animaux, le vannage, la rentrée des moissons et leur inventaire fait sous la surveillance d'un scribe (7).

« J'ai vu le forgeron à la gueule du four, dit un écrivain du temps, ses doigts » sont rugueux comme la peau du crocodile... le tailleur de pierres cherche du » travail... le barbier rase jusqu'à la nuit... le batelier descend le Nil pour » gagner son salaire... le maçon, la maladie le goûte, car il est exposé aux

(1) Cailliaud. *Les arts et métiers chez les Egypt.*, pl. 16. — (2) Chabas. *Antiq. hist.*, p. 87. — (3) Wilkinson, *manners and cust of anc. Égypt.*, vol. II, p. 152. — (4) Cailliaud, *loc. cit.*, pl. 17, fig. 1, 2, 3, 7, 8, 9. — (5) Cailliaud, *loc. cit.*, pl. 17, fig. 10. — (6) Thompson, *on the mummy cloths*. Phil. magaz., 1834, p. 355. — (7) Cailliaud, *loc. cit.*, pl. XXX, XXXI, XXXII.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

» rafales, construisant péniblement attaché aux chapiteaux de *lotus* des » maisons... le tisserand est plus malheureux qu'une femme, ses genoux sont à » la hauteur de son cœur... le fabricant d'armes peine extrêmement... le » teinturier, ses doigts sentent mauvais... le cordonnier est très-malheureux, il » ronge le cuir pour se nourrir... (1) » Le tableau n'est pas flatteur, mais il émane d'un vieux scribe qui veut dégoûter son fils des travaux industriels et l'engager à suivre la carrière des lettres.

Les outils du charpentier et du menuisier sont en bronze, la scie, les ciseaux sont emmanchés dans des manches d'acacia ou de tamarix, ou assujettis par des lanières de cuir, la règle, l'équerre, le pot à colle, la boite à clous, la corne à huile, le maillet se rencontrent dans les hypogées de Thèbes (2). Sir Gardner Wilkinson y a trouvé un ciseau de bronze dont le tranchant est intact quoique la partie qui reçoit le choc du marteau ait été refoulée (3). On a quelque raison de penser que les matériaux de granit étaient coupés au moyen de scies en bronze et à l'aide d'émeri ou d'une autre matière dure, car on a rencontré des blocs sciés dont la surface est empreinte d'oxyde de cuivre et qui semblent révéler ce mode de travail (4).

Les rois de la XII^e^ dynastie s'empressèrent de rétablir l'exploitation des mines d'or de la Nubie fermées sous leurs prédécesseurs et de reconquérir les gisements du Sinaï dont les possesseurs s'étaient, sous les dynasties précédentes, soustraits à la domination égyptienne. Outre les filons d'Ouaddy-Magarah on commença alors à exploiter ceux situés sur les escarpements de *Sarabit-el-Kadem* (5) où l'on a trouvé de nombreux amas de scories, des stèles gravées et les débris du temple d'*Hathor*, la vénus égyptienne, « la dame du cuivre ».

Tous les métaux appartiennent à cette période, l'étain est demeuré rare car on l'employait en ornements ainsi qu'on l'a vu sur certaines momies (6). Quoique la plupart des instruments soient encore en bronze, on en trouve cependant en fer et il est curieux de voir les bouchers d'alors aiguiser les lames de leurs couteaux sur des *fusils* d'acier de même forme que ceux d'aujourd'hui et comme eux suspendus à la ceinture. Malgré tout ce développement de l'industrie et du commerce la monnaie n'était pas encore connue; on pense cependant qu'un poids déterminé de bronze, l'*outen*, sous la forme d'un fil replié sur lui-même et pesant 91 grammes, pouvait servir d'unité monétaire (7).

L'architecture et les travaux publics reçurent sous cette dynastie une impulsion considérable : Aménémhé III construisit alors le *labyrinthe* et le lac *Mœris*, (égypt. *meri*, lac). Ce dernier ouvrage montre combien le régime du Nil avait été étudié et avec quelle sûreté les ingénieurs du pays appliquaient les lois de l'hydraulique. Au centre de l'oasis nommée aujourd'hui le *Fayoum* (égypt. *pi-om*, la mer) on creusa une immense réservoir artificiel de dix kilomètres carrés destiné à recevoir le trop-plein des eaux du Nil lors de l'inondation. Si cette capacité devenait insuffisante, on ouvrait la communication avec un lac naturel le *Birket-Keroun* placé à l'ouest du fayoum et dans lequel se déversait l'excès des eaux du lac artificiel. De cette façon on diminuait la pression sur les digues et on accumulait, pour les jours de sécheresse, une précieuse réserve d'eau qui permettait d'arroser une partie de la rive gauche du Nil quand le niveau du fleuve venait à baisser.

La navigation fluviale et maritime était très-active; les flottes égyptiennes par-

(1) Maspéro. *Du genre épistolaire*, p. 50, 62. — (2) Gard. Wilkinson, *loc. cit.* vol. III, p. 171. — (3) Gard. Wilkinson, *loc. cit.* vol. III, p. 249. — (4) Gard. Wilkinson, *loc. cit.* vol. III, p. 251. — (5) Chabas. *ant. hist.* p. 368. — (6) *British. mus., gal. of antiquit.* case 102. — (7) Chabas. *loc. cit.* p. 24.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

couraient la Méditerranée, elles naviguaient aussi sur la mer Rouge : une inscription de la XIIIe dynastie gravée sur les rochers d'*el-hammamat* sur la route de *Kosseïr* parle d'un grand commerce de pierres précieuses avec l'Arabie méridionale où l'Égypte semble avoir exercé une influence incontestée. Il nous reste les mémoires d'un égyptien, *Sineh*, racontant ses voyages dans le pays qui fut depuis l'*Idumée*. Il lui arrive des aventures qui rappellent celle de Moïse chez les Madianites, il parle d'égyptiens qu'il rencontre chez le prince de l'Idumée et déjà établis dans ce pays (1). L'Égypte avait donc rayonné autour d'elle sur les mers qui l'environnent; par l'isthme de Suez elle avait étendu son influence sur le continent Asiatique. On était loin de redouter sur les bords du Nil l'effroyable catastrophe qui allait, pour de longues années, arrêter l'essor de la prospérité de l'Égypte et suspendre sa vie nationale.

La Chaldée. — Les vingt-cinq siècles dont nous venons d'esquisser à grand traits l'histoire industrielle n'avaient pas été féconds seulement pour l'Afrique du Nord-Est. A une époque presque aussi reculée que la date des premières dynasties égyptiennes, la Chaldée nous offre le spectacle d'une civilisation avancée et l'érection de monuments immenses. La nature des matériaux empêcha seule les palais des bords de l'Euphrate de résister comme les temples de l'Égypte aux efforts du temps et de solliciter aujourd'hui comme eux notre admiration.

Les monuments en granit sont encore en partie debouts à Thèbes, mais les édifices de Babylone en briques sèchées au soleil ne sont plus que des amas de décombres. On avait conservé le souvenir et on a retrouvé de nos jours les vestiges de la célèbre tour de *Babel*, la tour des langues de *Borsippa: Nabuchodonosor* avait achevé cette « tour à sept étages, temple des sept planètes que le premier roi a bâtie sans pouvoir en terminer le faîte ». C'était une pyramide carrée à gradins, exactement orientée et construite en briques reliées avec du bitume (2). Un des plus anciens rois de la Chaldée, *Likbagas*, avait bâti à *Ouroukh* un temple immense dont les ruines éparses accusent encore une hauteur de trente-cinq mètres (3). Un autre roi, *Hammourabi* avait creusé un canal qui faisait encore au Ve siècle l'admiration d'Hérodote (4), le canal royal, la grande artère de l'irrigation dans la chaldée supérieure.

Les nécropoles de la vallée de l'Euphrate nous ont fourni de précieuses indications sur la vieille industrie chaldéenne : le bronze est la matière qui constitue la plus grande partie de l'outillage, l'or et le plomb sont connus et en même temps que les outils et les armes de pierre, le fer nous apparait sous forme d'objets de parure, indice de sa rareté et de son haut prix; la poterie y est modelée tantôt à la main, tantôt à l'aide du tour.

La Chine. — Les traditions chinoises attribuent la fondation de l'Empire du milieu aux *cent familles* venues du Nord-Ouest. Elles apportèrent parmi les *miao-tseu*, tribus thibétaines déjà en possession d'une métallurgie assez avancée, le fonds de civilisation alors commun aux peuplades des hauts plateaux de l'Asie centrale.

Suivant les historiens chinois, c'est sous *Tche-che-li* le 22e roi du 7e *Ki* que les hommes cessèrent d'habiter les cavernes; *Tchin-fang* leur apprit à préparer les peaux et à s'en faire des vêtements (5); *Se-hoang* imagina le système compliqué de l'écriture chinoise; avant lui on se servait, comme le faisaient les

(1) Goodwin, *Frasers magaz.* 1865. — (2) Oppert, *Etudes assyriennes*, p. 91-132. — (3) Rawlinson, *The five great monarch.* t. I. p. 136. — (4) Hérodote, l. I, c. CXCIII. — (5) le P. Premaré, *Les temps ant. au Chou-King*, panth. litt. p. 25.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

anciens Péruviens, de cordes garnies de nœuds (1); *Kien-Yuen* le 7e empereur du 9e *Ki* inventa les chars, la monnaie de cuivre et la balance; *Fo-hi* les armes de bois, *Chin-moung* les armes de pierre, *Tchi-Yeou* les armes de métal. On fait remonter à ce même *Chin-moung* l'invention de la charrue et celle de l'emploi du sel, (3218 ans avant J.-C.)

Le premier empereur historique est *Hoang-ti* (2698 avant J.-C.) il imagina de creuser des troncs d'arbres pour en faire des pirogues, il découvrit les lois de l'aiguille aimantée et fabriqua « un char marquant le Sud ». C'est à sa femme, l'impératrice *Loui-tseu* que revient l'honneur d'avoir inventé l'art d'élever les vers-à-soie. *Tchouen-Hio* (2513) organisa le régime des eaux, il plaça à la tête de cette administration un de ses premiers mandarins, un autre fut chargé d'organiser le service des mines (2). *Yu* fit faire la statistique des productions des provinces orientales (3). Entre autres choses nous y voyons que sous son règne (2200) la montagne de *Taï* pays de *Tsing* (district de *Tsi-nan-fou*) produisait du chanvre, de la soie écrue et de l'étain. L'empereur *Chun* recevait en 2255 des princes d'Orient trois pièces de soie en tribut : on voit par là à quelle antiquité remonte en Chine l'industrie des soieries. La civilisation, de ce côté, ne le cédait donc guère à celle de l'Égypte et de la Chaldée.

Les Aryas. — En descendant les pentes du Pamir, les Aryas, les Japhétites, les Indo-Européens prirent à différentes époques des directions variées. Les tribus desquelles devaient sortir un jour les peuples celtiques et germaniques ainsi que les populations gréco-romaines prirent à l'Ouest et plusieurs d'entre elles passèrent en s'en imprégnant au travers des civilisations du Caucase. Les tribus qui devaient envahir l'Inde se dirigèrent vers le Sud et se heurtèrent bientôt aux Kouschites établis dans les vallées de l'Indus et du Gange où ils étaient, depuis bien des siècles, en possession d'une industrie florissante et d'un grand commerce maritime. Ils occupaient alors, par eux-mêmes ou par les peuplades qui leur étaient apparentées, les rivages du golfe Persique et ceux de la mer de l'Inde jusqu'au détroit de *Bab-el-Mandeb*, *Kuscha-stalah*, la cité de *Canoge*, (4) et *Taxacila* sur le haut Indus étaient leurs villes principales.

On a conservé le souvenir d'une population qui, avant l'invasion Kouschite, avait occupé l'Hindoustan et le Dekhan jusqu'au cap Comorin et à Ceylan. C'était la population *Dravidienne*, représentée aujourd'hui par les *Malabars*, les *Tamouls* les *Télingas*, les *Karnates* des côtes du Dekhan méridional et les *Singhalais* de Ceylan. L'examen philologique des mots communs à ces différents dialectes a permis à M. *Caldwell* de nous donner le tableau de ce qu'était la civilisation dravidienne primitive antérieurement à toute influence étrangère, à une époque dont on ne saurait exactement préciser la date. Ils avaient alors des « demeures fortifiées », connaissaient la « culture de la terre », la « filature et le tissage du coton ». Ils travaillaient le « fer », le « cuivre », le « plomb », « l'or » et « l'argent ». Ils n'avaient pas de villes proprement dites, mais seulement des « hameaux ». Ils pouvaient naviguer en « canots » jusqu'à Ceylan. Ils savaient compter jusqu'à « cent » et avaient en astronomie quelques connaissances élémentaires (5).

Les *Aryas* envahirent comme un torrent ce pays si riche et si populeux où, comme nous l'avons dit, dominaient les Kouschites. Rien ne peut peindre le mépris avec lequel ce peuple pasteur, de race blanche, au culte éminemment

(1) le P. Premaré, *Les temps ant. au Chou-King*, panth. litt. p. 27. — (2) Pauthier, *La Chine*, p. 30. — (3) *Chou-King*, ch. III. p. 61. — (4) d'Eckstein. *Journ. asiat.* 1860, p. 233. — (5) Caldwell, *A comparat. gram. of the dravidian. lang.* p. 77-79.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

spiritualiste parle de ces Kouschites à la peau brune, à la religion pleine de cérémonies repoussantes.

Les *Aryas* n'étaient pas eux-mêmes dépouillés de toute civilisation industrielle, M. *Pictet*, en recueillant les mots restés communs à toutes les branches de la famille Indo-Européenne après leur dispersion, a montré quelle était leur culture à l'époque où ils étaient encore réunis dans leur séjour primitif.

Ils connaissaient le « travail du bois », celui des « métaux »; le « forgeron » avait un « marteau », des « tenailles », une « enclume de pierre », un « soufflet »; il fabriquait des « couteaux », des « haches », des « houes », des « socs », des « armes » de guerre. Ils avaient appris la « filature » et le « tissage » de la « laine » et du « chanvre » et savaient « coudre » à l'aiguille. Ils vivaient dans des « maisons » renfermant des « meubles », ils avaient des « villes murées », des « routes carrossables », des « vêtements », des « chaussures », du « vin », de la « bière »; des « bateaux » à « rames », un « commerce » « d'échange ». Leur « année » était de 360 jours. (1).

Cette civilisation se trouvait néammoins inférieure à celle des Kouschites, des *Dasyous* aux villes de fer (2) dont les « marchands se rendaient vers la mer » (3). A une date un peu plus récente le *Mahâbhârata*, la grande épopée de l'Inde brâhmanique nous montre la civilisation indienne portée à un point remarquable: on y voit les mineurs (4), les affineurs d'or (5), les machines de guerre, le commerce des soieries (6), les boutiques des marchands (7), les corporations d'arts et métiers (8), l'établissement des droits de douane sur les marchandises étrangères (9), l'irrigation et l'aménagement des eaux (10).

Les rois des *Tcholas* et des *Pandyas* apportaient en tributs, dans l'ancienne capitale du royaume d'*Oude*, des perles et de l'étain (11). On voit par là quelle est l'antiquité des pêcheries de *Lanka*, aujoud'hui Ceylan. Quant à l'étain, il pouvait venir de cette même île puisqu'elle en contient des gisements, mais il pouvait aussi, et cela nous semble plus probable, être apporté par mer des mines de la *Malaisie*.

Les peuples du Nord Est; les *Khasas*, les *Paradas*, les *Tanganas*, etc., apportaient « à mesurer au boisseau » l'or des fourmis *pipilika* (12). On a fait beaucoup de commentaires sur ce passage : si l'on s'en rapporte au témoignage d'Hérodote (13), il s'agirait simplement de fourmis qui, amoncelant le sable, rendaient visibles les paillettes des alluvions aurifères. On en a donné aussi d'autres explications (14), mais en voici une que nous croyons nouvelle : Pline rapporte qu'on voyait dans le temple d'Hercule à *Erythrée* les *cornes* de la fourmi indienne qui tire l'or dans le pays des indiens septentrionaux appelés *Dardes* (15) (le pays de *darada*, sansc. दर *dara* caverne), peut-être y a-t-il là une confusion sur quelques-uns des noms qui désignent la fourmi car nous savons que sur l'*Ava* on exploite encore aujourd'hui des laveries d'or avec les cornes poilues du *Tsaim*, sorte d'antilope *Nilgau*, les paillettes s'attachent facilement à la surface velue de ces cornes qui se vendent ainsi chargées d'or (16).

(1) Pictet, *les origines Indo-Européennes*. vol. II, p. 741-750. — (2) *Rig-Véda*. S. 2, hymn. XII. çl. 8. — (3) *Rig-Véda*. S. 1, hymn. v. çl. 2. — (4) *Mahâbhârata*. *Adi parva* T. 2, p. 18. — (5) *Mahâbhârata*. *Adi parva*, t. V, p. 486. — (6) *Mahâbhârata*. *Adi parav* t. II, p. 190. — *Ramayana*, *Ayodhyakanda*. l. XXXVII, çl. 9-10. — (7) *Mahâb*. *Adiparva*. t. II, p. 214, 259. — (8) *Mahâb*. *Sabha parva*, vol. II, p. 336. — *Ramayan*. l. XC, cl, 11-28. — (9) *Mahâb*. *Sabha parva*, vol. II, p. 339. — (10) *Mahâb*. *Sabha parva*, t. II, p. 325. — (11) *Mahâb*. *Sabha parva*, t. II, p. 516. — (12) *Mahâb*. *Sabha parva*, vol. II, p. 513. — (13) Herod. l. III, c. 104. 105. — (14) Heeren. *de la politique et du com. des peuples de l'antiq*. t. I, p. 368-371. — (15) Pline. l. XI, XXXVI. — (16) J. Prinseps. *Asiatic. res*. vol. 18, p. 281.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mais l'activité industrielle était un legs des vaincus, les castes supérieures ne se donnèrent point au travail : on le voit par le mépris dont l'esprit brâhmanique affecte de frapper le labeur des artisans sous toutes ses formes; le Kouschite, l'esclave, le *çoudra*, l'ouvrier, est voué à l'abjection (1).

Pendant que les Aryas de l'Inde s'établissaient pour toujours au Sud, les *Iraniens* prenaient quelque temps après possession du pays auquel on a donné plus tard le nom de *Perse*. Leur civilisation cotoie naturellement celle des Aryas de l'Inde; mais ce sont des frères ennemis et les dieux des uns sont les génies malfaisants des autres.

Leur cosmogonie donne une explication de la découverte du fer qui peut être rapprochée de la mention rapportée plus haut du « fer de la terre » des traditions égyptiennes. *Meschia* et *Meschiané* ayant creusé le sol y trouvèrent un bloc de fer et, le frappant avec une pierre, lui donnèrent la forme d'une hache (2). C'est ainsi que les Indiens de l'Amérique du Nord surent se faire des outils avec les lingots naturels de cuivre natif qu'ils rencontrèrent sur la rive du lac Supérieur. Les Esquimaux utilisent aussi de cette manière le fer météorique, on peut sans doute en conclure que l'emploi des blocs de fer ayant une origine sidérale a précédé la découverte des secrets de la métallurgie proprement dite.

L'*Avesta* nous montre que les métaux tenaient une certaine place dans les traditions Iraniennes, ainsi *Khshathra-vairya* (la royauté adorable), un des *Amesha-Çpenta* est chargé de veiller sur les métaux (3). Le fer est mentionné dans le *Vendidat* (4), l'étain, *aonya*, s'y trouve aussi indiqué, mais les commentateurs ne sont pas d'accord à ce sujet (5).

Nous avons parlé plus haut de *Zohak*, l'homme aux serpents, il nous suffira d'ajouter ici, d'après la légende rapportée par *Firdousi*, que le forgeron *Cavêh* dont le nom seul, par ses éléments philologiques, rappelle le mythe *Cabirique*, prit l'initiative d'une insurrection ayant pour but de délivrer les Iraniens de la tyrannie Kouschite. En souvenir de ce fait, les Perses eurent longtemps pour étendard le tablier de cuir d'un forgeron.

Les Pasteurs. — Après avoir jeté un coup d'œil sur les civilisations asiatiques dans leurs plus antiques manifestations, revenons sur les bord du Nil où de grands événements viennent de s'accomplir.

Nous avons vu que les Kouschites occupaient les rivages Sud-Ouest du golfe Persique, les côtes de la *Gedrosie* et de la *Carmanie*. Sous le nom d'*Adites* (6) ils dominaient dans le Yemen et au Nord-Est du golfe, mêlés aux *hommes de Pount*, à ceux qui furent plus tard les *chananéens*. Par leur activité commerciale, par leur culture industrielle, par leur hardiesse maritime, ceux-ci avaient amené les étrangers, et principalement les Égyptiens, à donner aux côtes de l'Arabie de l'Est et du Sud le nom de pays de *Pount*, origine des mots *pœni*, φοίνικοι et *pheniciens*.

Sous l'influence d'une cause peu connue, que ce soit une invasion touranienne ou l'irruption des Aryas vers le haut Indus ou dans la Babylonie, une masse considérable de ces habitants des rivages du golfe Persique se lança tout à coup à travers l'Arabie, occupa la Palestine et inonda l'Égypte comme vingt-cinq siècles plus tard les hordes germaniques devaient se répandre dans les riches

(1) *Manou*, l. I, 92, l. II, 31, l. VI, 138, l. X, 51, 52, etc. — (2) Anquetil. *Boundehesch*, vol. III, p. 379. — (3) Darmesteter, *Hauravatat et Ameratât*, 1375, introduction. — (4) Spiegel, I. *Avesta*, *farqard* V, 144, p. 101. — (5) Spiegel, I. *Avesta*, *fargard* VIII, p. 155. — De Rougemont, *l'âge de bronze*, p. 63. — (6) Caussin de Perceval. *hist. des arab. avant l'islam*. p. 13.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plaines de l'Italie. Ces *pasteurs* ou *Hyksôs* (Égyptien : *Hak* chef de tribu, et *Schasou*, bédouins nomades) ravagèrent l'Égypte, détruisirent ses monuments et s'y maintinrent en vainqueurs pendant quatre ou cinq cents ans. Les conquérants se laissèrent néammoins subjuguer par la civilisation supérieure des vaincus et leurs chefs devinrent de véritables *Pharaons* jusqu'en 1700 avant J.-C., époque à laquelle ils furent expulsés par *Ahmès*. C'est pendant cette période que *Joseph* et les hébreux vinrent habiter l'Égypte, à peu près au temps où les chananéens maritimes s'établirent sur la côte de la Méditerranée et les *Khétas* ou *Hethéens* dans la vallée de l'*Oronte*.

L'expulsion des *Pasteurs* fut le signal de la reprise de l'ancienne civilisation Égyptienne. Nous avons vu exposés à Paris en 1867 les admirables bijoux trouvés sur la momie de la reine *Aah-Hotep* mère d'*Ahmès*, bijoux qui ont 3500 ans d'existence : Un miroir de métal à manche d'ébène incrusté d'or, un poignard de bronze dont la lame est entourée d'or et le pommeau formé par la réunion de quatre têtes de femme, un pectoral en forme de chapelle décoré au moyen de pierres serties par des cloisons d'or, de nombreux et admirables colliers, un scarabée d'or dont les élytres sont imitées à l'aide d'un cloisonné bleu et or, etc. Il serait trop long de décrire ces merveilles qui nous donnent la plus haute idée de l'habileté des vieux bijoutiers de *Thèbes*.

Non-seulement l'Égypte est rentrée en possession d'elle-même et de sa civilisation industrielle, mais elle veut rayonner autour d'elle et prévenir par des conquêtes lointaines une nouvelle invasion de barbares. Le temps des grandes expéditions est arrivé et les règnes des *Thouthmes*, des *Rhamsès*, des *Seti* nous montrent, en même temps que l'apogée de la gloire militaire égyptienne, la fin de son isolement et, il faut le dire aussi, l'approche de sa décadence.

Ces rois ont laissé à notre admiration de nombreux monuments, principalement sur le haut Nil, *Karnak*, *Deir-el-Bahari*, *Abydos*, *Kournah*, *Ibsamboul*, etc., témoignent de l'habileté des architectes et des sculpteurs égyptiens. La statue colossale d'un des pharaons de cette époque, *Amenhotep* III, est devenue légendaire sous le nom de statue de *Memnon*. Un tremblement de terre qui eut lieu aux environs du commencement de notre ère en fit tomber la partie supérieure et, depuis lors, cette statue rendit des sons mystérieux dès qu'elle était frappée par les rayons du soleil. Les nuits sont fraîches en Égypte et il est probable que ce crépitement provenait de l'inégale dilatation des différentes parties du granit au moment où la chaleur du soleil élevait rapidement la température de sa partie extérieure. Ce phénomène cessa d'avoir lieu quand Septime Sévère eut fait réparer le colosse.

Empressé d'étendre la domination Égytienne et d'accroître ses ressources, *Thouthmes* III conquit le *Yémen*, entrepôt du commerce de l'*Inde* et en rapporta des bois de luxe, des aromates, des épices, des pierreries et même des arbres à parfum soigneusement emballés dans des paniers et destinés à être replantés à *Thèbes* (1). Il en ramena aussi de nombreuses cohortes d'ouvriers, principalement des tisseurs et des cultivateurs (2).

Les peintures des hypogées de *Kournah*, qui remontent à la même époque, nous montrent une opération métallurgique qui paraît être la réduction d'un minerai de fer : deux outres, faisant l'office de soufflets doubles, alternativement soulevées par la main puis comprimées par le pied d'un ouvrier, lancent de l'air à l'aide de tuyaux de bois autour d'une masse de charbon embrasé dont le centre peint en bleu semble accuser la présence du fer; un creuset et un tas de charbon sont figurés à côté (3). Ces peintures nous font voir aussi la fabrication

(1) De Rougé, *mél. d'archéol. égypt.*, t. I, p. 49. — (2) Chabas. *antiq., hist.* p. 171. (3) Cailliaud. *des arts et mét. chez les égypt.* pl. VI, A.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de cordes au moyen de lanières de cuir tordues (1). On a trouvé dans les mêmes tombeaux un instrument à repasser le linge, en bois de *tamarix*, des navettes en bois et en bronze (2), des boules de verre (3), de petites fioles en porcelaine portant des caractères chinois qu'on a pu déchiffrer (4). La porcelaine de ces petites fioles, qui paraissent avoir contenu un collyre, est d'une qualité très-inférieure : c'est un article d'exportation courante et il est intéressant de voir à cette époque le commerce de la Chine envoyer ses produits à une pareille distance.

Une curieuse inscription de *Karnak* rend compte de la manière bizarre dont est terminée la pointe de l'obélisque de Paris : on y plaçait un pyramidion fondu avec l'or pris sur l'ennemi. Du reste *Abdallatif* constate que, de son temps (fin du XIIe siècle) certains obélisques, par exemple ceux d'*Heliopolis* portaient encore des pyramidions non pas d'or, il est vrai, mais de bronze (5). La même inscription nous apprend que sept mois avaient suffi pour extraire de la carrière, transporter et mettre en place un obélisque qui devait peser plus de 380 tonnes. Au prix de quelles souffrances ont été bâtis ces admirables palais et dressés ces gigantesques monolithes ?

Un passage d'un papyrus du *British museum*, œuvre d'*Ameneman*, chef des scribes de *Rhamsès* II, nous montre du reste combien l'arbitraire et la violence pesaient sur le peuple : « Le collecteur, dit-il, arrive avec des nègres armés de branches de palmier : donne-nous de ton blé ! et il n'y a pas moyen de repousser leurs demandes, le malheureux est saisi, lié, envoyé de force travailler aux corvées des canaux ». On tenait cependant aux ouvriers et on ne leur permettait guère de quitter le royaume ; dans le traité des *Khétas* avec *Rhamses* II, il est dit que tout ouvrier qui se transporterait d'un territoire à un autre pour y fixer sa demeure serait renvoyé chez son peuple, mais sans que son expatriation puisse lui être imputée à crime.

Les pharaons ne négligeaient pas les voies de communications : routes de caravanes à travers le désert, canaux dans le *Delta*, digues et travaux divers le long du Nil. Nous trouvons dans la XIXe dynastie la mention inattendue du creusement d'un puits artésien pour faciliter l'exploitation des mines d'or du sud de l'Égypte. Les bas-reliefs de *Karnak* nous font voir *Heliopolis* sur le bord d'un canal communiquant avec le lac *Timsah*, cette voie d'eau, ainsi que le conjecture M. *Brugsch*, ne saurait être autre chose que le canal du Nil à la mer Rouge dont parlent les auteurs classiques en en rapportant la construction à *Sésostris*.

La domination Égyptienne s'étendait à cette époque sur le haut Nil, l'Abyssinie, le Soudan et la Lybie méridionale jusqu'à Cherchell. Cependant les conquêtes africaines ne suffisaient pas à *Thoutmès III*, en quelques années il s'empara de la Syrie, des plaines de l'Euphrate et des montagnes de l'Arménie, tandis que ses flottes, s'élançant dans la Méditerranée comme elles l'avaient fait dans la mer Rouge, lui donnaient Chypre, la Crête, les côtes de la Grèce et celles de l'Asie-Mineure ; peut-être même, franchissant le Bosphore, allaient-elles jusqu'à la Colchide où Hérodote place une colonie Égyptienne.

Nous avons vu plus haut dans quel état se trouvait l'industrie Chaldéenne aux temps de l'ancien Empire Égyptien, les trophées des victoires de *Thoutmès III*, nous révèlent dans les productions du travail des Babyloniens, un progrès évident. Les métaux ouvrés, les chariots incrustés d'or, les harnachements d'airain.

(1) Caillaud. *des arts et mét. chez les égypt.* pl. 18, A. — (2) Wilkinson, *man. and cust. of anc. égypt.* vol. III, p. 140. — (3) Wilkinson, *man. and. cust. of anc. égypt.* vol. III, p. 90. — (4) Wilkinson, *man. and. cust. of anc. égypt.* vol. III, p. 408. — (5) Abdallatif chap. IV, p. 181.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rapportés de Babylone à Thèbes ne sauraient provenir d'un peuple barbare.

Après le règne de *Rhamsès II*, *Meriamoun* commence la décadence de l'Égypte. Les deux ou trois siècles qui suivent sa mort sont marqués par le mouvement considérable qui s'opére parmi les peuples du littoral de la Méditerranée.

Les *Israëlites* quittent l'Égypte pour aller s'établir en Palestine. Les *Philistins* abandonnent la Crête pour se fixer sur les côtes du pays de Chanaan, les *Sidoniens* fondent leurs premières colonies sédentaires, *Cadmus* bâtit Thèbes de Béotie. Les *Pelasges* lancent leurs premiers vaisseaux sur la mer Egée, les *Tyrrhéniens* passent de l'Asie-Mineure en Italie, s'allient aux *Sardones*, aux *Sicules* et se sentent de force à attaquer l'Égypte elle-même. Le premier empire *Assyrien* se fonde et peu de temps après *Tyr* succède à *Sidon* détruite par les Philistins, tandis que les Grecs s'emparent de *Troie*. Ces divers événements, accomplis dans un espace de temps relativement court, eurent sur l'industrie et sur le commerce une influence qu'on ne saurait nier et dont nous allons dire quelques mots.

Les Israëlites. — Tout le monde sait dans quelles conditions les *Hébreux* furent amenés à quitter l'Égypte. Entrés dans ce pays peu de temps après les pasteurs qui voyaient des étrangers parlant une langue voisine de la leur d'un œil plus favorable que les Égyptiens, ils furent, après la victoire d'*Ahmès*, en but à la haine et aux persécutions des « Pharaons qui n'avaient pas connu *Joseph* (1). »

Un des premiers soins de *Moïse*, après avoir quitté l'Égypte, fut de s'emparer du *Sinaï* dont les riches produits devaient lui être d'un grand secours. Les traditions rapportées au chapitre XIX de l'Exode montrent de quelle importance était pour les Israëlites la possession de ces mines et de ces usines métallurgiques. Quand il fut question de construire le tabernacle, deux hébreux, *Bethsaléée* (2) et *Aholiab* (3) furent choisis pour en diriger les travaux. Les ouvriers ne devaient pas manquer, car l'esclavage auquel les Israëlites avaient été réduits en Egypte leur avait sans doute rendu familier le maniement des outils et, d'ailleurs, nombre d'Egyptiens et d'étrangers qui les avaient accompagnés étaient là pour les aider, tandis que les fondeurs d'*Ouaddy-Magarah* et de *Sarabit-el Kadem* leur fournissaient les matières premières et les assistaient dans leurs travaux. Le bois de *Schittim* doré (4) (singulier שִׁטָּה *Schittah* espèce de cèdre), les peaux de mouton teintes en rouge et en noir, les *Keroubim* d'or (singulier כְּרוּב *Kerub*), sorte de taureaux ailés à face humaine, le chandelier d'or à sept branches repoussées au marteau (5), les voiles de « fin lin » semés de Keroubim, les lacets et les crochets d'or, les tissus de poils de chèvre, les tapisseries brodées, la tunique du grand prêtre, les trompettes d'argent battues au marteau (6), les pierres dures sur lesquelles étaient gravées les noms des douze tribus d'Israël, le pectoral, l'*Ephod* (אֵפֹד), l'arche אָרוֹן *arôn* barque sacrée faite sur le modèle d'un des objets du culte égyptien (7), tout indique ici une industrie remarquable et des ouvriers habiles appartenant à un grand nombre de professions (8).

Cette industrie, toute pénétrée d'éléments égyptiens, devaient s'éteindre peu

(1) Ex. 1, 8. 3. — (2) Ex. xxxi, 2. — (3) Ex. xxxi, 6. — (4) Ex. xxv, 5. — (5) Représenté sur l'Arc-de-Triomphe de *Titus*, à Rome. — (6) Nomb. x, 3. — (7) Le couvercle de l'arche *Kapporeth* a été traduit à tort par les *Septante* ιλαστηριον, en latin *propitiatorium*, le mot vient simplement de la racine כָּפַר couvrir. — (8) Munk. *Palestine*, p. 387.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à peu à mesure que s'éloignaient les souvenirs de l'Égypte et que s'éteignait la génération qui y avait habité. Les hébreux ne furent jamais un peuple adonné aux arts, aussi, quand *David* et *Salomon*, parvenus à l'apogée de leur puissance, voulurent construire un temple pour *Jehovah* et pour eux-mêmes des demeures royales, furent-ils obligés d'avoir recours à l'habileté de leurs voisins de Phénicie. Le célèbre *Hiram*, le chef des ouvriers qui fabriquèrent les objets de métal destinés à l'ameublement et à l'outillage du temple de Jérusalem, était un ouvrier en cuivre, tyrien d'origine. La Palestine est du reste fort pauvre en productions minérales : Moïse avait bien annoncé que ses pierres étaient du fer et ses montagnes de l'airain (1), mais la réalité ne répondit pas à l'espoir. On parlait aussi des mines de cuivre qui se trouvaient sur le territoire d'*Aser* entre Sidon et le Carmel (2), mais elles ne paraissent pas avoir été exploitées et, sous ce rapport, les Israëlites étaient tributaires des nations voisines, principalement des phéniciens comme nous venons de le voir.

Les métaux et beaucoup d'autres produits leur venaient aussi de l'Orient par l'intermédiaire des marchands *Madianites* qui faisaient le service des caravanes du golfe Persique en Égypte depuis un temps immémorial. Ces *Madianites* paraissent avoir été, sinon de grands industriels, au moins de grands commerçants; c'est parmi eux que Moïse s'était réfugié. Il paraît y avoir beaucoup appris et on le voit, au désert, prendre conseil de son beau-père *Jéthro* le madianite pour organiser son peuple et distribuer les commandements (3). Un butin immense fut le résultat de la défaite que leur infligea *Phinées* fils d'*Eléazar* (4); un grand nombre d'ornements tombèrent entre les mains des vainqueurs et, dans l'énumération des trophées, tous les métaux sans exception sont mentionnés. Lors de la bataille qui leur fut livrée un peu plus tard par *Gédéon* (5), ils laissèrent entre les mains des Hébreux des bagues d'or, des boîtes à parfum, des habits écarlates, les colliers d'or de leurs chameaux, et cette énumération suffit pour montrer quelle était leur opulence au temps des *Juges*.

On peut se demander d'où venait l'étain pris sur ces caravanes : à en juger par la direction de leurs voyages, on doit croire qu'il provenait du pays de *Bämian* et qu'il était destiné à approvisionner l'Égypte et la Phénicie. Il est peu probable, en effet, que ce métal ait été dirigé dans un sens opposé, car les phéniciens n'avaient alors à leur disposition que l'étain du Caucase, lequel ne pouvait prendre ce détour pour aller dans l'Orient; l'étain d'*Espagne* n'était pas encore à leur disposition, ce pays ne fut découvert que plus de deux siècles après l'époque dont nous parlons. Si cette conjecture est vraie, l'emploi du mot בְּדִיל *bedil* qui désigne ce métal dans les *nombres* (6) et qui est généralement admis comme un dérivé du celtique *feodar*, *peatar* (7), *ffeudur* (cf. sanc. पाटोर *pâtîra*, étain), indique un remaniement du texte biblique bien postérieur à l'époque de Moïse. C'est, du reste, l'avis des plus savants hébraïsants que la coordination la plus ancienne du *Pentateuque* ne saurait être reportée plus loin que l'époque d'*Esdras*. Pour n'effaroucher personne, nous nous référerons à cet égard à l'opinion de *saint Gérôme* (8) et à celle du célèbre théologien *Reusch* (9), admettent : le premier que Moïse n'est peut-être pas l'auteur du *Pentateuque*, le

(1) Deut. VIII, 9. — (2) Deut. XXXIII, 25. — Munk *Palest.* p. 17. — (3) Ex. XVIII, 19. — (4) Nomb. XXXI, 6. — (5) Appelé aussi יְרֻבַּעַל *Jeroubâal*, celui qui respecte *Bâal*, un nom singulièrement choisi pour celui qui doit exécuter les ordres de *Jehovah!* — Juges VI, 32. — (6) Nomb, XXI, 22. — (7) Pictet *les origines indo-europ.* vol. 1, p. 180. — Lenormand *les prem. civil.* t. I, p. 148. — (8) Hieron. *op.* t. IV, 1706. *col.* 134. *Adversus Helvidium.* — (9) Reusch, *la Bible et la nature*, trad. Hartel, p. 540. — Voyez aussi à ce sujet saint Angustin, *de civitate Dei*, lib. XV, c. 27.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

second que le texte primitif de la Bible ne nous est sans doute pas parvenu sans altérations.

Les *Israëlites* étaient si peu habiles dans les travaux manuels que, sous le règne de *Saül*, ils furent obligés d'avoir recours aux *Philistins* pour la réparation de leurs instruments d'agriculture (1). Le travail de la filature, du tissage leur était bien connu : la Bible nous donne les noms de presque toutes les parties de l'outillage du fileur et du tisserand : la chaîne שְׁתִי *chethi*, la trame עֵרֶב *âereb* (2), le fuseau פֶּלֶךְ *pelek* et la quenouille כִּישׁוֹר *Kischor* (3), l'ensouple מַסֶּכֶת *masséketh* (4), la navette אֶרֶג *érég* (5), le foulage et le nettoyage à l'aide du נֶתֶר *nether* (6) et du בּוֹרִית *bôrith* (7) c'est-à-dire du natron (carbonate de soude impur), produit naturel, et de la soude artificiellement fabriquée à l'aide de la lixiviation des cendres de certaines plantes côtières.

Le travail du cuir est indiqué (8) ainsi que les instruments et les opérations du potier : le tour אָבְנַיִם *âbenaïm*, litt. *les deux pierres* (9), le foulage de la terre (10), le vernis d'oxyde de plomb (11), le verre זְכוּכִית *Zkoukith* de זָכַךְ *Zakak* être pur (12).

Bien que le travail des métaux ne fût pas bien avancé, les noms techniques ne manquent pas : le creuset מַצְרֵף *Matsréph* (13), le battage au marteau מִקְשָׁה *miqschah* (14), le fourneau כּוּר *Kour* (15), le soufflet מָפֻחַ *Mapouha* (16), l'enclume פָּעַם *pâaç* et le marteau פַּטִּישׁ *pattisch* (17); la coupellation est décrite par Jérémie (18).

Une acception particulière montre que le bronze servait encore à fabriquer certains objets qu'on fait depuis bien longtemps en fer : on trouve dans le livre des *Juges* (19) l'expression *les bronzes* pour désigner une chaîne dans le sens où nous disons aujourd'hui *les fers*.

L'événement commercial le plus important de l'histoire des rois d'Israël fut l'entreprise des voyages de l'Inde sous le règne de *Salomon*. Avec l'aide des Tyriens il fit construire à *Aziongaber* une flotte qui, montée par des matelots Phéniciens, allait, non loin des bouches de l'*Indus*. dans le pays d'*Abhîra*, l'*Ophir* אוֹפִיר biblique (20) chercher l'or, les épices, les aromates et les autres productions de l'Inde. Elle en rapportait aussi des marchandises rares ou curieuses comme l'ivoire, les singes, les paons, le bois de sandal, et il est à remarquer que ces derniers sont appelés dans le texte des *Rois* et des *Chroniques* de leurs noms *Malabars* ou *Sanscrits* appropriés à la prononciation hébraïque. Exemple : l'ivoire שֶׁנְהַבִּים *schen-habim*, en sanscrit इभ *ibha* éléphant; les singes קוֹף *qop*, sc. कपि *Kapi*; les paons תֻּכִּי *thouki*, malabar *togheï*, littéralement *queue* (21), le bois de Sandal אַלְגּוּמִים *algoumim*, sc. *valgouka* de वल्गु *valgou* beau et cette dernière assimilation permet de corriger la leçon *almougim*, fautive par métathèse, inscrite au livre des *Rois* (22).

Les Étrusques. — Tandis que les Hébreux quittaient l'Égypte, d'autres peuples l'attaquaient, c'était principalement les habitants de la Grèce, de l'Italie

(1) I Sam. XIII, 19, 20, 21. — Josephe l. VI, c. VIII. — (2) Lev. XIII, 48. — (3) Prov. XXXI, 19. — (4) Jug. XVI, 13. — (5) Job, VII, 6. — (6) Jerem. II, 22. — (7) Job IX, 80. — (8) II Rois, I, 8. — Lev, XIII, 48, 49. — (9) Jerem. XVIII, 3. — (10) Nahum, III, 14. — Isaïe XLI, 25. — (11) Prov. XXVI, 23. — (12) Job, XXVIII, 16. — (13) Prov. XVII, 3. — (14) Nomb. X, 2. — (15) Dent. IV, 20. — (16) Jerem, VI, 29. — (17) Isaïe XLI, 6. — (18) Jerem, VI, 29. — (19) Juges XVI, 21. — Munck, *Palestine*, p. 391. — (20) I Rois. IX 28. — (21) II. Chron. IX, 21. — (22) I Rois, X, II.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

méridionale et de la Sicile, sous la conduite des *Tyrrhéniens* qui venaient de passer d'Asie en Europe quelque temps auparavant.

Les monuments Égyptiens les désignent sous le nom de *Tourschas de la mer* (1) et il faut rapprocher de ce nom le תַּרְשִׁישׁ *Tharsis* de la bible appliqué d'abord à l'Italie, puis plus tard à l'Espagne et peut-être que le sanscrit धृष् *d'hrisch* être audacieux (cf. θαρσυς hardi), fournit la raison de cette dénomination. Ces *Tyrrhéniens, Tourschas, Etrusques*, étaient en effet de hardis pirates et en même temps de grands industriels : l'art étrusque a laissé des traces profondes et ses produits se sont répandus sur un vaste espace. Quand ils vinrent attaquer l'Égypte, ils avaient des armes de bronze et exploitaient déjà chez eux les métaux sur une large échelle. On a retrouvé (2) dans la *Campiglia* des monceaux immenses de scories qui révèlent l'importance de leur métallurgie et l'étendue de leur commerce. Ils exploitaient des cuivres pyriteux unis à la blende, laquelle était peut-être utilisée aussi pour la fabrication du laiton. Dans ces dernières années mêmes, on a découvert de l'étain dans les gîtes métallifères de la *Toscane :* s'il est prouvé que les anciens Etrusques en ont exploité les filons, ce fait aura une grande importance historique comme tout ce qui concerne le commerce et l'industrie de ce métal dans la haute antiquité. Ce sont ces Étrusques qui plus tard exploitèrent sur une si vaste échelle l'immense amas de fer de l'île d'*Elbe*. Ils furent les instructeurs industriels des Romains si grossiers et si peu civilisés quand ils luttaient contre les peuples italiotes. Les fouilles de leurs nécropoles qui nous ont mis en possession de nombreux échantillons de l'art étrusque révèlent une industrie aussi active qu'avancée.

Le Caucase. — A une époque extrêmement reculée, les massifs qui s'étagent vers le Sud-Ouest à partir des hauts sommets du Caucase étaient occupés sur une grande largeur par une population ou par une confédératiou de peuples auxquels correspondaient les différents noms de *Caspiens*, *Tapires* (3), *Saspires*, *Hesperites* (4), etc., les ancêtres des *Ibères* ou *Isbères* dont une des villes principales porte encore aujourd'hui le nom d'*Isbir*. Les noms de ces peuples s'expliquent facilement, leur radical commun est כָּסָף *Kaçeph, blanc :* ce sont les habitants des montagnes aux cimes *neigeuses*, du *Caucase*, et la dernière syllabe de ce nom, autrefois le mont *Caspius*, renferme ce radical dans ses éléments essentiels. Leur renommée s'étendait sur une vaste étendue, le *Jaspe*, le *Kesbet*, le *Saphir* ont partout répandu le nom du peuple qui extrayait ses gemmes de son sol ou qui, par le commerce, les procurait aux autres pays.

Il est probable que les habitants de la Colchide, les *Moschiens*, les *Tibaréniens* (*Tublaï* et *Muskaï* des monuments Assyriens, *Meschek* et *Toubal* de la Bible (5)), les *Mosynœques*, les *Chalybs* n'étaient que des subdivisions des *Caspiens*, Fortement établis dans les massifs montagneux compris entre le haut Euphrate, le Pont-Euxin et le Caucase, ces différentes peuplades s'étaient de bonne heure assuré la possession des gîtes minéraux qui abondaient alors dans ces contrées et qui en font encore aujourd'hui la richesse (6). Le fer et principalement l'acier des *Chalybs*, les laveries d'or de la Colchide, l'argent des filons plombeux, l'étain des escarpements du Caucase proprement dit, leur avaient procuré des richesses et une puissance remarquables. La renommée de leurs mines avait attiré sur leurs côtes les Phéniciens d'abord, puis les Grecs comme nous le fait voir la légende des *Argonautes*. Ils eurent ensuite à subir la domination des

(1) De Rougé, *Mém. sur les attaques. Revue archéol.*, t. XVI, p. 39. — (2) Simonin. *An. des mines*, 1858, p. 565. — (3) Strabon, l. XI, c. XI. — (4) Xénoph. *Anab.* VII, ch. VIII. — (5) Gén. X. 2. — (6) Ker Porter, *Travels in Georgia*, t. II, p. 696.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rois de Ninive qui ne parvinrent à les soumettre qu'après de longues années de lutte. *Téglathphalassar* et *Assournasirpal* eurent en particulier à guerroyer souvent avec eux et les monuments de l'Assyrie parlent sans cesse des tributs qu'on était obligé d'aller leur arracher les armes à la main.

Les Phéniciens. — Nous avons vu que les Phéniciens s'étaient établis sur la côte orientale de la Méditerranée, à peu près à l'époque où la domination des Pasteurs s'implantait en Égypte. Le peu d'étendue et le manque de fertilité de leur territoire les engagea naturellement à diriger leur activité vers les expéditions maritimes, dont ils avaient sans doute déjà fait l'apprentissage dans leurs stations primitives des îles Bahreïn sur les bords du golfe Persique. Pirates et commerçants à la fois, ils ne tardèrent pas à établir sans conteste leur prépondérance sur les îles et sur les rivages de la mer Egée : Cypre, Rhodes, Cythère, Siphnos, les côtes de la Thrace, Thasos et ses mines d'or furent particulièrement les points où les marins de Sidon établirent leurs comptoirs et organisèrent leurs exploitations minières.

Avant eux la navigation se faisait le long des côtes; dénués de tout moyen de direction, les matelots n'osaient lancer leurs navires vers la haute mer; sous l'influence et par l'initiative des Phéniciens, les voyages maritimes prirent un développement considérable. L'inspection du ciel étoilé leur avait révélé les lois les plus saillantes de l'astronomie usuelle et ils avaient découvert l'existence d'une étoile à peu près stationnaire pouvant être pour eux un guide assuré. Il ne s'agit pas ici de l'étoile polaire actuelle, mais de l'antépenultième de la queue du *Dragon* qui, à cause du mouvement lent et peu sensible des constellations, occupait à l'époque dont nous parlons une position sensiblement fixe, non loin de l'axe du monde (1).

Les Sidoniens se firent les courtiers maritimes de l'Égypte, alliés et vassaux des Pharaons qui payaient d'une protection nécessaire et efficace leurs services commerciaux. Par une faveur qui semble, au moins pendant un certain temps, avoir été exclusive, ils avaient l'autorisation de résider en Égypte et d'y faire du négoce; ils occupaient à Memphis un quartier particulier nommé *Ankh-ta* dont ils firent une véritable ville à côté de la cité Égyptienne. Leurs caravanes allaient chercher au Sud-Est les produits de l'Inde, au Nord ceux du Caucase; mais l'établissement de l'Empire Assyrien leur ayant fermé cette dernière route, ils durent, vers la fin du XIVe siècle, lancer leurs navires à travers le Bosphore et affronter les tempêtes du Pont Euxin pour aller chercher l'or, l'argent, le plomb, l'étain de la Colchide et du Caucase, en même temps que le fer et l'acier des Chalybs et des Tibaréniens.

Sidon vit son influence diminuer à mesure que l'Égypte s'affaiblissait elle-même; en 1209, elle fut surprise et détruite par les Philistins et sa puissance passa à *Tyr* qui exerça dès lors une suprématie incontestée sur toutes les autres villes du littoral *chananéen*.

Adonnés comme les Sidoniens aussi bien à la piraterie qu'au commerce, les *Pélasges* avaient organisé, dès le XVe siècle, une marine considérable dont les continuelles attaques forcèrent bientôt les Phéniciens à abandonner le commerce du Nord pour se diriger vers l'Ouest où un opulent avenir leur était réservé. Après avoir fondé *Utique* sur la côte septentrionale de l'Afrique, leurs vaisseaux découvrirent bientôt les côtes de l'*Espagne* où ils bâtirent *Gadès* aujourd'hui Cadix en 1150. Le nom de *Tharsis* appliqué, comme nous l'avons vu plus haut, à l'Italie, le fut alors à ce nouveau monde et devint, pour les

(1) *Acad. des insc.* 1733, p. 452.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

auteurs classiques comme pour les prophètes d'Israël, l'équivalent de ce que représente aujourd'hui pour nous l'expression *les Indes*, désignation comprenant tant de pays différents.

Leur premier soin fut de s'assurer de l'exploitation des mines d'argent, et la quantité de métal qu'ils en retirèrent était si considérable, qu'ils purent, non-seulement en charger leurs embarcations, mais encore en fabriquer les ancres de leurs navires. L'argent n'était cependant pas la seule marchandise que les Tyriens rapportassent de cet *Eldorado*, le plomb et surtout l'étain leur procurait aussi d'énormes bénéfices (1).

Le mythe des voyages de *Melkarth* (litt. le roi de la ville), l'Hercule *Tyrien*, représente les étapes successives de la colonisation phénicienne. Parti de *Tyr*, il parcourt l'Afrique du Nord, pénètre dans l'*Ibérie* où il s'empare des bœufs de *Géryon* et, après avoir parcouru la Gaule et fondé *Alésia*, il s'en retourne par l'Italie, la Sardaigne et la Sicile.

Les Phéniciens ne se contentèrent pas en effet de l'Espagne, ils passèrent le détroit de Gibraltar et, remontant le long des côtes occidentales de l'Espagne et de la Gaule, ils parvinrent dans les *Sorlingues* (*Cassiterides*) et dans les petites îles de la côte du *Cornwall* dont les habitants leur livraient l'étain en échange du cuivre que les îles Britanniques ne fournissaient pas encore.

Le prophète *Ezéchiel* nous a laissé un tableau intéressant et fort exact du commerce de Tyr : l'Égypte lui fournissait du lin pour les voiles de ses navires (2), l'Espagne ses métaux (3), les Tibaréniens et les Moschiens des esclaves et du cuivre (4), l'Arménie des chevaux et des mulets (2), les côtes du golfe Persique de l'ivoire et de l'ébène (3), la Syrie des pierres fines et des broderies de lin (5), les Israëlites du blé et de l'huile (6), Damas du vin, les Arabes des laines, des aromates, des pierres précieuses, de l'or (7).

Mais ce n'était pas seulement par son commerce que la Phénicie s'était attiré dans l'antiquité une renommée universelle, elle avait une industrie immense qui portait surtout sur la fabrication du bronze et des objets faits avec cet alliage; ses filatures de lin et de laine et ses teintureries de pourpre avaient acquis une immense réputation. La pourpre elle-même était une invention phénicienne, et la tradition en faisait remonter l'origine au dieu *Melkarth*. Les *murex*, qui en fournissaient la matière première, vivaient dans les eaux mêmes de la Phénicie, mais on allait aussi en chercher au loin, sur les côtes du Péloponèse et jusqu'en Sicile. Les manipulations à l'aide desquelles on arrivait à la teinture la plus estimée paraissent avoir été longues et difficiles.

Les verreries de *Sidon* et de *Sarepta* n'étaient pas moins célèbres que les teintureries de *Tyr* et leurs produits non moins appréciés. Ceux qui sont parvenus jusqu'à nous témoignent d'une fabrication extrêmement habile. Les verriers employaient le sable du *Bélus*, petit ruisseau des pentes de *Carmel*, et le *natron* qu'ils faisaient venir d'Égypte.

Les vases de terre cuite, les coupes de métaux précieux, les bijoux d'or, les ivoires sculptés s'exportaient au loin et étaient fort recherchés.

Les Phéniciens furent aussi les inventeurs de l'écriture alphabétique, le mot « *alphabet* » lui-même est purement phénicien; il résulte de la juxtaposition des noms des deux premières lettres אָלֶף *aleph* ou *eleph*, taureau et בֵּית *beith*, ou *béth*, maison; en grec αλφα, Βητα, en arabe الف, *alif*, با *ba*, etc. Ils imaginèrent de choisir parmi les signes hiéroglyphiques égyptiens, vingt-deux carac-

(1) Ezéchiel, XXVII, 12. — (2) Ezéchiel, XXVII, 13. — (3) Ezéchiel, XXVII, 14. — (4) Ezéchiel, XXVII, 15. — (5) Ezéchiel, XXVII, 18. — (6) Ezéchiel, XXVII, 17. — (7) Ezéchiel. XXVII. 21-22.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tères auxquels ils donnèrent une valeur exclusivement phonétique. Cet alphabet, qu'ils ont eux-mêmes propagés partout, est celui qui, avec des modifications successives, est aujourd'hui le fonds des écritures de presque toutes les langues.

Les richesses des Phéniciens ne pouvaient pas manquer d'attirer sur eux l'attention et l'envie des conquérants Assyriens; plusieurs d'entre eux leur firent payer d'importants tributs et, en 574, *Nabuchodonosor* s'étant emparé de *Tyr* après un long siége la ruina de fond en comble.

Depuis lors, elle ne fit que végéter, mais, dès 872, une flotte remplie d'émigrants, partie de Tyr sous la conduite d'*Élissar*, la *Didon* de Virgile, vint aborder sur la côte d'Afrique, près de la ville actuelle de *Tunis* et y fonda une cité à laquelle fut donné le nom de *kiryath-hadeschath* « la ville neuve », dont les latins ont fait *Carthago*. Elle hérita du commerce et de l'industrie de la métropole quand celle-ci fut ruinée; son histoire, toute politique, est trop connue pour que nous en parlions ici,

Ninive et Babylone. — Un siècle environ avant la ruine de *Sidon*, Rhamsès III, occupé à se défendre lui-même en Égypte contre les attaques des ennemis extérieurs, avait laissé se fonder à Ninive un puissant empire. Néanmoins les Pharaons perçurent encore longtemps un tribut sur ces pays lointains et ce fut seulement lors de l'usurpation du grand-prêtre d'Ammon, *Her-Hor*, qu'*Assourdayan*, roi d'Assyrie, secoua définitivement le joug de l'Égypte. On était alors à la fin du XII[e] siècle avant J.-C. Les Phéniciens venaient de fonder *Gadès*, et *Héli* était encore grand-prêtre et *suffète* d'Israël.

Nous ne pouvons raconter ici les conquêtes du premier et du second empire assyrien; signalons seulement les guerres de *Teglathphalassar* (*Touklat-habal-Asar*) et d'*Assour-nasir-Habal* (le dieu Assur protége son fils) contre les populations industrielles du Caucase. Le même roi guerroya contre les *Héthéens* ou *khatti* et les trophées qu'il rapporta de ses campagnes, métaux, bois précieux, fins tissus, montrent combien de richesses l'industrie et le commerce avaient amassées dans la vallée de l'*Oronte*.

Une curieuse inscription de *Saryukin*, le roi qui construisit le palais de *Khorsabad* dont les sculptures ornent aujourd'hui le musée du Louvre, nous donne d'intéressants détails sur la manière dont avait été édifié ce monument : « J'ai bâti dans la ville un palais couvert en peaux de cétacés, ses boiseries sont » en santal, en ébène, en cèdre... au-dessus est une charpente de cèdre, j'ai » revêtu ses poutres de bronze, j'y ai mis un escalier en spirale... j'ai sculpté avec » art les pierres de la montagne... j'ai enjolivé les linteaux et les montants des » portes, au-dessus j'ai placé des traverses de gypse... mon palais renferme des » métaux précieux, des couleurs, du fer, le produit des mines, des étoffes teintes » avec le safran, des draps bleus et pourpres, de l'ambre gris, des peaux de » cétacés, des perles, des bois de santal et d'ébène, etc... »

Il est intéressant d'énumérer ici les tributs que *Sennacherib* (*Sin-akké-Irib*, *Sin*, le dieu de la lune, a multiplié les frères), le successeur de *Saryukin*, rapporta de Jérusalem : « La crainte de Ma Majesté, raconte un prisme de terre » cuite conservé au musée Britannique, terrifia cet *Hizkiah* (*Ézéchias*) de Juda... » Il envoya vers moi à Ninive 30 talents d'or, 400 talents d'argent, des métaux, » des perles, des selles en peau, des trônes garnis de cuir, de l'ambre, des peaux » de veaux marins, des bois de santal et d'ébène... »

A l'imitation de Salomon, *Sennacherib* fit construire, par des charpentiers venus de Phénicie, une flotte considérable qui parcourut le golfe Persique et lui fut d'un puisssant secours dans une guerre qu'il entreprit contre les *Susiens*.

Les détails de la construction du palais d'*Assour-ban-Habal* montrent combien

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'industrie assyrienne était alors florissante : la charpente du toit était en poutres de cèdre sculptées, des colonnes de cyprès cerclées d'argent et de fer les supportaient, les portes étaient en ébène et en cyprès incrustées de fer, d'argent et d'ivoire (1).

On voit que cette industrie ne le cédait pas à celle de l'Égypte elle-même; elle était aussi florissante à *Babylone*, la rivale séculaire de *Ninive*, qui hérita de sa puissance quand cette dernière fut détruite en 606.

Les édifices de la capitale Chaldéenne, qui ont fait l'admiration des auteurs classiques, étaient aussi nombreux que magnifiques. Comme nous l'avons déjà vu, le peu de solidité des matériaux, en provoquant leur rapide destruction, les a converti en amas informes où les fouilles pratiquées de nos jours ont seules pu retrouver les vestiges de cette vieille civilisation.

Le tumulus d'*Amran* est tout ce qui nous reste des célèbres *jardins suspendus* construits par *Nabuchodonosor* (*Nabou-koudour-oussour*, le dieu *Nebo* protége ma tiare). Ce n'était pas autre chose qu'une succession de terrasses étagées les unes au-dessus des autres et plantées d'arbres amenés à grands frais.

« *Nabopolassar*, mon père, dit *Nabuchodonosor*, dans la grande inscription » du musée de Londres, avait bâti un palais de briques... il avait plongé ses fon- » dations dans une eau profonde... je suis arrivé moi-même au niveau des eaux » et j'y ai mis les bases de mon palais... je l'ai construit en bitume et en briques » et j'ai employé pour sa charpente de grosses poutres, des bois de cèdre avec » des armatures en fer, des briques vernissées, j'y ai amassé des métaux, des » pierres précieuses, des trésors immenses... »

Il avait restauré *Val-Saggatou* « le temple qui dresse la tête, » vieille construction kouschite : « J'ai restauré la chambre de *Mérodach*; sa coupole a la » forme d'un lys, elle resplendit comme le jour... J'ai employé, pour les boiseries » de la chambre des oracles, les plus grands des arbres que j'ai fait transporter » des sommets du *Liban*, j'ai recouvert d'or pur ses poutres, j'ai fait incruster de » verre et de pierres précieuses la voûte du sanctuaire : elle représente le firma- » ment et ses étoiles... j'ai élevé le sommet de briques et je l'ai revêtu extérieu- » rement d'un chapiteau de cuivre. »

Nous avons parlé plus haut de la tour de *Babel*, *val-zidda*, la tour des sept planètes : les fouilles du général *Rawlinson* ont permis de constater que les couleurs des sept étages étaient celles des planètes : noir (*Saturne*), blanc (*Vénus*), pourpre (*Jupiter*), bleu (*Mercure*), vermillon (*Mars*), argent (*lune*), or (*soleil*). C'est l'ordre renversé des jours de la semaine.

Un grand nombre d'autres monuments avaient été bâtis ou reconstruits par le même monarque : le temple de *Bilit-zapanit* (*el Kolaïah*), le temple de *Sin*, le temple du « juge du monde, » le temple de « l'âme vivante, » le temple de « l'adoration éternelle. »

Mais l'heure de la décadence avait sonné et, sous le règne de *Nabonahid*, son fils, *Bel-sar-oussour* (le dieu *Bel* protége le roi), gouverneur de Babylone, le *Balthasar* de la Bible, בֵּלְשַׁאצַּר *Belsatsar* du livre de *Daniel*, fut attaqué et tué par les soldats de *Cyrus* au moment de la prise de *Babylone*.

Ninive et Babylone furent certainement des villes industrielles, mais bien des raisons nous font croire que, comme cela eut lieu plus tard à Rome, les esclaves amenés des pays environnants y constituaient la partie la plus nombreuse et la plus importante de la population des fabriques. Néanmoins, Babylone était

(1) Smith. *Zeitschrift für Ægypt. Spr.*, 1868, p. 94, 95.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

célèbre par ses tissus de laine, de coton et de lin, par ses tapis, les manufactures de *Borsippa* n'étaient pas moins renommées, les étoffes brodées, l'orfèvrerie, les objets en métal repoussé, les pierres gravées, les terres cuites émaillées, tribut que l'Assyrie payait à l'Égypte dès la XVIII[e] dynastie, s'exportaient jusqu'en Étrurie.

Babylone était surtout un grand centre commercial; *Gherra*, fondée par les Chaldéens au nord-ouest du golfe Persique, non loin des îles *Bahreïn*, ancienne résidence des Phéniciens, constituait pour les Babyloniens un entrepôt immense où arrivaient les marchandises de l'Inde et les produits de l'Arabie méridionale dont on faisait, sur les bords du Tigre et de l'Euphrate, une immense consommation.

Les Grecs. — C'est à peu près au temps de l'*Exode*, à l'époque où régnait en Égypte la XIX[e] dynastie, qu'on peut faire remonter le moment où les premiers habitants de la *Grèce* commencèrent à se lancer sur la mer et à inquiéter les comptoirs établis par les Phéniciens sur les îles de la mer *Égée* et sur les côtes de l'Asie. La légende des *Argonautes* allant chercher l'or de la *Colchide* montre que les Sidoniens avaient dû se retirer dès cette époque devant ces premières manifestations d'une marine qui n'était alors qu'à l'aurore de sa puissance. C'est seulement au moment de la guerre de Troie, qui est aussi l'époque de la ruine de *Sidon* et de la décadence de l'Égypte, que nous commençons à avoir des renseignements positifs sur la nature de l'industrie des Hellènes. Les fouilles de M. *Schleimann* ont fait voir que la ville qu'Homère a rendu si célèbre avait été bâtie sur l'emplacement des ruines d'une autre ville dont l'origine et l'existence nous sont également inconnues. Les vestiges qui en ont été retrouvés révèlent un ensemble de faits permettant de rapprocher son industrie de celle des cités lacustres de la Suisse : les outils sont en pierre ou en os, quoique le cuivre, l'or et l'argent soient aussi employés, les poteries sont faites à la main et le tour n'est pas encore connu.

L'Œuvre d'Homère nous retrace le tableau de la civilisation industrielle des Grecs au XII[e] siècle avant J.-C. : les métaux sont tous employés, mais quoique le fer soit connu, c'est le bronze qui constitue presque exclusivement la matière première des outils et des armes. Cependant la trempe de l'airain semble ne pas avoir été fort efficace : le javelot de *Pâris* s'émousse sur le bouclier de *Ménélas*, celui d'*Agamemnon*, en partie composé de lames d'argent, fait plier comme du plomb la pointe de la lance d'airain d'*Iphidamas*.

Le batteur d'or *Laercée* a une enclume de bronze, un marteau et une tenaille de bronze; c'est avec ce métal que se font les hameçons des lignes à pêcher. La fabrication du bouclier d'*Achille* nous fournit d'intéressants détails sur l'emploi de l'or, de l'argent, de l'airain et de l'étain. L'or et l'étain sont souvent juxtaposés et, chose remarquable, l'étain, avec les épithètes de « flexible » ou de « resplendissant » remplit souvent le rôle de l'argent au point de vue de la décoration. On s'en sert aussi pour faire des *cnémides*, pour orner des *chars*. Le fer paraît rare, il prend les qualifications de « poli », de « resplendissant », mais surtout de « difficile à travailler ». *Achille* propose en prix des haches de fer et un bloc de fer brut qui semble avoir été un *aérolithe*. L'*acier* et la manière de le durcir par la trempe devaient être assez universellement connus pour que le poëte s'en servît dans une comparaison : « Quand le forgeron trempe dans l'eau froide une grande hache, elle fait entendre un bruit strident, c'est ce qui donne au fer sa force. »

Le travail du charron n'a guère changé depuis : les voitures ont des essieux de fer, les roues ont un moyeu, des rayons, une jante, le siège est suspendu au moyen de courroies. Un curieux passage nous montre que le prix du bronze

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

était alors énorme : *Jupiter* change son armure d'or contre la cuirasse de *Glaucos*, « le prix d'une hécatombe pour celui de neuf bœufs ». Ainsi l'or valait seulement onze fois le prix du bronze; il y a sans doute là un peu d'exagération, mais il n'en subsiste pas moins l'indication d'une valeur considérable attribuée à l'airain.

Les documents historiques ne nous laissent aucun doute sur ce fait qu'à une époque postérieure à celle dont nous venons de parler, le travail en *Grèce* était principalement réservé aux esclaves. A *Sparte*, où *Lycurgue* fit tout ce qu'il put pour empêcher les Lacédémoniens de se livrer à la pratique des arts industriels, les esclaves seuls fabriquaient les objets absolument indispensables et cultivaient un sol dont l'étendue suffisait amplement à la production des choses nécessaires aux besoins de la population.

Il n'en fut pas de même à *Athènes* : sa position sur la mer et l'exiguïté de son territoire forcèrent de bonne heure ses habitants à demander au commerce maritime les denrées que le sol ne leur fournissait pas avec assez d'abondance.

Solon avait établi dans l'*Attique* une sorte d'équilibre entre les pouvoirs, mais l'introduction dans les tribus des industriels enrichis fit pencher la balance du côté de la démocratie et assura, dans la confection des lois, une plus grande protection à l'industrie. A Athènes, les ouvriers étaient des hommes libres, et, loin d'être en opprobre comme à Sparte, le travail y était en honneur.

Thémistocle fut le premier qui engagea fortement les Athéniens à se livrer au commerce maritime (1); *Corinthe* avait du reste déjà donné l'exemple de la grande navigation en construisant les premières trirèmes (2).

Les *métèques* (μέτοικος, celui qui change de demeure), qui venaient s'établir à *Athènes* ou au *Pirée* pour y exercer un métier étaient admis au droit de bourgeoisie (3) et ne payaient qu'une capitation de douze drachmes; en revanche, ils devaient le service militaire (4). « Les citoyens et les métèques, dit *Aristophane*, ne font qu'un, comme l'épi et la paille » (5), aussi leur laissait-on, ainsi qu'aux esclaves, une liberté presque entière (6). Ces sages mesures portèrent à un haut degré de prospérité l'industrie de l'*Attique*, et, au temps de *Périclès*, les ateliers y étaient en nombre considérable (7).

Les artisans libres étaient réunis en corps de métiers; chaque collège avait ses règlements, ses coutumes, ses fêtes, sa divinité protectrice et son chant de ralliement. Malgré cette liberté, la classe ouvrière était malheureuse à cause de la concurrence que lui faisait le travail des esclaves. Ainsi quand *Agis* pressa si vigoureusement les Athéniens, on vit déserter plus de vingt mille esclaves et la plupart étaient des ouvriers (8). Au temple de *Démosthènes*, où le blé valait à l'*Agora* cinq *drachmes* le *médimne*, le prix de la journée d'un homme de peine ne s'élevait qu'à trois *oboles*.

Le cinquième siècle avant notre ère, qui vit le suprême développement des arts en Grèce, fut aussi le témoin de l'avilissement du travail et de l'envahissement du luxe de l'Égypte dont *Alcibiade* avait été l'introducteur. Le travail libre avait alors presque disparu, les riches citoyens, possesseurs d'esclaves artisans, les faisaient conduire au marché et on les y louait à la tâche ou à la journée.

L'industrie métallurgique était assez développée en *Grèce*; les mines d'argent du *Laurium* employaient plus de vingt mille esclaves; la fameuse mine d'or du

(1) Thucyd, I, c. XCIII. — (2) Thucyd. I, c. XIII. — (3) Plutarq. *Solon*, c. XXXIII. — (4) Xénoph. *Revenus de l'Att.*, c. II. — (5) Aristoph. *Acharn.* — (6) Xénoph. *Gouv. des Athén.*, c. I. — (7) Plutarq. *Périclès*, t. XVIII, c. XIX. — (8) Thucyd. VII, c. XXVII.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pangée en *Thrace*, propriété de *Thucydide* (1), rapporta plus tard à *Alexandre* plus de cinq millions de francs par an.

Les tissus, les bijoux, les armes de la Grèce se fabriquaient principalement à Athènes et à Corinthe. Cette dernière ville, favorisée par sa position, possédait le monopole du transit entre la mer Ionienne et la mer Égée. Dans l'Asie-Mineure, *Milet* avait alors acquis depuis près de deux siècles une importance commerciale considérable; enfin *Délos*, où un grand nombre de Tyriens s'étaient retirés après la prise de leur ville par Nabuchodonosor, héritière à une époque plus récente du commerce de *Carthage* et de celui de *Corinthe*, devint la maîtresse de la Méditerranée orientale jusqu'au moment où elle fut détruite par *Mithridate*.

Rome. — *Téglathphalassar II* régnait à Ninive, *Phacée* était roi d'Israël et la XXIII^e^ dynastie égyptienne allait s'éteindre, quand, en 753, dix ans avant la première guerre de *Messénie*, *Romulus* fondait sur la rive du Tibre cette ville de *Rome*, qui devait devenir si puissante. Dès les premiers temps, Numa réunit les ouvriers en corporations analogues à celles que nous avons vu s'établir en Grèce. L'industrie, à Rome, resta longtemps tout à fait barbare et le commerce nul. Trouvant dans des conquêtes successives une large compensation à ce manque de production, ainsi que les moyens de satisfaire pleinement à des besoins très-bornés, les grossiers Romains restèrent étrangers aux arts industriels de la Grèce, sachant à peine moudre ou plutôt piler leur blé. La conquête de la Sicile et de l'Espagne, la chute de Carthage et surtout la réduction en province romaine de la Grèce et de l'Égypte, en éveillant chez eux le désir du luxe, leur donnèrent en même temps l'industrie qui peut le satisfaire.

Ce sont les esclaves des pays conquis qui vinrent à Rome constituer la classe ouvrière presque tout entière. Leur nombre était devenu formidable; certains citoyens en possédaient jusqu'à vingt mille. Ceux qui savaient un métier étaient vendus fort cher, et, comme les Grecs, leurs propriétaires les louaient à ceux qui en avaient besoin. Souvent même le maître commanditait un esclave, sorte d'entrepreneur qui en louait d'autres pour en tirer profit : Caton l'Ancien pratiquait cette singulière industrie. Il n'était pas rare que des voyageurs fussent saisis et entraînés de force dans des ateliers d'esclaves, les citoyens fuyant le service militaire y trouvaient aussi un triste refuge; Suétone nous apprend qu'avant d'être Empereur, *Tibère* fut chargé de l'inspection de ces réunions suspectes (2).

Les travaux des mines et des salines affermés par des particuliers seuls ou associés, ces *publicains*, dont *Cicéron* prit si souvent la défense (3), étaient le plus souvent exécutés par des esclaves et des condamnés. A Rome même, la condition de ces esclaves était affreuse : enchaînés la nuit dans de véritables cachots souterrains, roués de coups le jour, on les envoyait mourir de faim dans une île du *Tibre* dès qu'ils cessaient de pouvoir travailler. L'*ergastule* était leur séjour, le fer rouge leur châtiment, la croix leur supplice.

Quand *Pedanus Secundus*, préfet de Rome, fut assassiné par un de ses esclaves, les quatre cents autres furent exécutés et l'iniquité de ce jugement, ratifié par le Sénat, provoqua une véritable émeute (4). Les écrivains latins s'étaient aussi fait l'écho de la pitié populaire : « Les esclaves sont des hommes comme nous, » disait *Pétrone* (5), et *Macrobe* s'écriait : « Ils sont esclaves, mais ils sont hommes aussi! Ils sont esclaves, mais ce sont nos compagnons de servitude! Ils ne nous étaient pas hostiles, nous en avons fait des ennemis. » *Servi*

(1) Thucyd. IV. c. v. — (2) Suétone. *César*, VIII. — (3) Cicéron. *Verrès*, II c. LXXIII. (4) Tacite. *Annales*, l. XIV. — (5) Pétrone. *Satyric.*, LXXI.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sunt, imo homines! servi sunt, imo conservi!... non habemus illos hostes, sed facimus (1) *!*

Si telle était l'existence de l'ouvrier esclave, celle de l'ouvrier libre, d'abord plus heureuse, devint intolérable dans les derniers temps de l'Empire. Constitués en corporations dont le centre était à Rome, les différents métiers s'étaient répandus dans les provinces et exécutaient pour le compte de l'État ces immenses travaux, dont nous admirons encore les restes. Ces collèges avaient un point de réunion dans les cités où ils constituèrent, sous les empereurs, une administration parallèle à celle du municipe. Certains ouvriers acquirent des biens immenses : *Pétrone* nous montre l'opulence et la vanité du *Sevir Habimas*, marbrier en tombeaux (2). Un cordonnier, à *Bologne* et un foulon, à *Modène*, étaient devenus assez riches pour offrir à la population de ces villes des combats de gladiateurs (3).

Les collèges d'artisans furent souvent chargés de faire rentrer certains impôts payés en nature; les membres de ces corporations devinrent alors responsables de leur perception et leurs biens personnels, leur liberté même restèrent entre les mains de l'État comme une garantie de leur gestion. Leur sort devint celui des Curiales et l'honneur attaché à leur qualité de fonctionnaires ne déguisa qu'un véritable esclavage, auquel la chute de l'Empire seule les fit échapper.

A l'époque où écrivait *Pline l'Ancien*, l'industrie romaine avait atteint son apogée et bien des procédés, dont nous croyons l'origine récente, étaient alors employés d'une manière courante. Dans l'exploitation des mines, très-avancée surtout en Espagne, on avait déjà recours aux machines pour broyer les roches dures, on savait extraire le mercure du cinabre par la distillation et s'en servir pour extraire l'or des alluvions aurifères. Dans l'industrie des laines, le peignage se faisait au moyen de peaux de hérisson (4), le rouissage et la filature de lin (5), la sparterie (6), le feutre (7), le blanchissage de la laine à l'aide du soufre en combustion (8), la teinture à la garance (9) et à l'alun (10), le mordançage (11), étaient parfaitement connus; de même la coupellation (12), la fabrication du charbon de bois (13), celle de l'essence de térébenthine (14), la trempe à l'huile (15), le placage de l'ivoire (16) et de l'écaille (17), le tannage des cuirs au moyen de la noix de galle (18), la chaux hydraulique (19), le pisé (20), la grue et la chèvre pour le levage des matériaux (21), les calorifères (22). On a trouvé à *Pompeï* des glaces coulées quoique non polies, enchâssées dans les cadres en bronze des fenêtres; la composition de ce verre se rapproche beaucoup de celle de nos vitres (23).

On savait dorer à l'œuf, à la colle, au mercure (24), scier de long (25), donner de la voie aux scies (26), couper les pierres avec une lame sans dents et du sable (27), souder à l'étain (28), graver sur pierres à l'aide de substances dures pulvérisées (29). Dans les grands travaux hydrauliques, on employait des moyens analogues aux nôtres : les pilotis et les palplanches (30), la construction des jetées

(1) Macrobe. Collect. Pank., I, p. 122. — (2) Pétrone. *Satyr.*, l. LXV. — (3) Martial, l. III, LIX. — (4) Pline, l. VIII, c. LVI. — (5) Pline, l. XIX, c. II. — (6) Pline, l. XIX, c. VII. — (7) Pline, l. VIII, c. LXXIII. — (8) Pline, l. XXXV, c. L. — Apulée, *métam.*, l. IX. — (9) Pline, l. XIX, c. XVII. — (10) Pline, l. XXXV, c. LI. — (11) Pline, l. XXXV, c. XLII. — (12) Diod. sic., l. III, p. 13. — (13) Pline, l. XVI, c. VIII. — (14) Pline, l. XV, c. VIII. — (15) Plutarq. *caus. nat.* q. XIII. — (16) Pline, VIII, c. IV. — (17) Pline, IX, c. XIII. — (18) Pline, l. XVI, c. IX. — (19) Pline, l. XXXV, c. XLVII. — (20) Pline, l. XXXI, c. XLVIII. — (21) Cicéron. Verrès l. I, c. LIV. Lucrèce, IV, v. 903. — Amm. Marcel, l. XVII, c. IV. — (22) Sénèque, *prov.* col. Panck, vol. II, p. 382. — (23) *Acad. des insc.* 1862, p. 980. — (24) Pline, l. XXXIII, c. XX. — 25) Amm. Marcel, l. t. XXIII, c. VI. — (26) Pline, l, XVI, c. LXXXIII. — (27) Pline, l. XXXVI, c. IX. — (28) Lucrèce, l. VI, v. 1076. — (29) Pline, l. XXXVII, c. XV. — (30) Amm. Marcel, l. XXVIII, c. III.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

artificielles se faisait à l'aide de blocs immergés (1), le Tibre avait été rendu navigable à l'aide de grandes retenues d'eau (2), des phares avaient été placés à *Ostie*, à *Ravenne*, etc. (3); on employait des moulins à manèges (4) et à eau (5).

Ce que nous appelons aujourd'hui le confortable était alors complétement inconnu, mais en revanche les industries de luxe avaient pris un développement inouï. Nous citerons seulement un exemple de ce que pouvait faire l'industrie romaine au service des grandes fortunes : *Scaurus*, pendant son édilité, fit construire un théâtre pouvant contenir quatre-vingt mille spectateurs : le premier étage était de marbre, le second de verre, le troisième de bois doré; une partie des accessoires transportés à *Tusculum* ayant brûlé, la perte se monta à 21 millions de francs. Pour rivaliser avec *Scaurus*, *Curion* fit établir deux théâtres demi-circulaires en bois adossés et montés sur pivots. Quand les deux représentations étaient terminées, on faisait tourner les théâtres remplis de spectateurs, et, une fois réunis, ils formaient un cirque où pouvaient combattre des gladiateurs (6).

L'industrie en France avant Charlemagne. — A l'époque où *César* envahit la *Gaule*, l'industrie de ses habitants était déjà remarquable. *Marseille* avait atteint l'apogée de sa puissance commerciale, tandis qu'*Arles* et *Montpellier* se préparaient au rôle brillant qu'ils devaient jouer sous l'Empire. Au nord de la province romaine, les artisans gaulois s'étaient fait une réputation qui avait dépassé les frontières. On citait le fer des *Pétrocoriens* et celui des *Bituriges*, l'argent des *Cévennes* et de l'*Aveyron*. Les armes de plaque d'argent et les métaux incrustés fabriqués à *Alésia*, les bijoux émaillés, les épingles ornées, les torques ou colliers de bronze portent l'empreinte d'un sentiment artistique resté national. Les *Vénètes*, hardis navigateurs, construisaient des bâtiments considérables, dont les voiles étaient de peau et dont les ancres étaient fixées à l'aide de chaînes de fer.

Les principales inventions gauloises sont la charrue à roues, les cribles de crin, les cottes de mailles, les tonneaux de bois, la machine à moissonner (7), l'étamage du cuivre, l'emploi de la marne comme amendement, le placage, etc. Un commerce important s'était établi entre *Marseille* et les *Iles Britanniques* par le Rhône, la Saône et la Loire, sur lesquelles *Arles*, *Lyon*, *Norvidunum* (Nevers), *Genabum* (Orléans) et *Corbulo* (Saint-Nazaire?) étaient les étapes principales. Les Massaliotes venaient ainsi chercher à *Corbulo* l'étain (8), les peaux et les esclaves apportés par les navires *Vénètes* qui faisaient la traversée du *Cornwall*, portant aux *Bretons* le cuivre et les produits du Midi.

La conquête de la Gaule par les Romains communiqua à son industrie une impulsion immense et la régénéra en l'organisant. Ils lui apportèrent leur administration, leurs municipes, leurs corporations dont la prospérité, s'élevant avec la puissance impériale, devait aussi sombrer avec elle.

Avant la fin du premier siècle, l'organisation des ouvriers gaulois était terminée, mais elle ne fut vraiment complète que sous *Alexandre Sévère*. Dans les manufactures impériales, à *Strasbourg*, *Macon*, *Reims* et *Amiens* où on fabriquait les flèches, à *Autun*, *Soissons* et *Tribur* où l'on faisait les boucliers et les cuirasses, à *Arles*, *Lyon* et *Trèves* où l'on frappait la monnaie, les ouvriers

(1) Josephe, l. XC, c. CXIII. — (2) Pline, l. III, c. IX. — (3) Pline, l. XXXVI, c. XVIII. — (4) Apul. *metam.*, t. LVII, c. IX. — (5) Pline, l. XVIII, c. XXIII. — (6) Pline, l. XXXVI, c. XXIV. — (7) Pline, l. XVIII, c. LXXII. — (8) Plus tard le commerce de l'étain abandonna la voie de la Loire pour prendre celle de la Garonne. V. Aboul-Féda, *géog.* trad. Reinaud, vol. 2, p. 307.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

étaient divisés en hommes libres et en esclaves. La liberté des premiers était dérisoire : ils ne pouvaient ni quitter leur métier, ni même se marier à leur guise, leur sort était à peu près celui des esclaves. Dans les villes, nous avons vu plus haut quelle était leur condition; la corporation y formait une administration analogue à celle du *Municipe* : son *prieur*, le chef du collège, remplissait des fonctions semblables à celles des *duumvirs*, les artisans établis représentaient les *décurions*, comme la *curie* elle avait son *défenseur*.

Mais l'invasion des barbares vint bientôt jeter le désordre dans toute cette savante organisation et, pas plus que la curie elle-même, la corporation n'échappa au naufrage.

Des trois peuples germaniques qui s'établirent dans les Gaules, les *Burgundes*, les *Wisigoths* et les *Francs*, les deux premiers furent ceux qui agirent avec le moins de barbarie et qui eurent pour les restes de la puissance romaine le plus de ménagements. Les *Burgundes* surtout, parmi lesquels se trouvaient un grand nombre d'ouvriers en bois, n'avaient aucune raison pour entraver le sort de l'industrie, aussi ni *Toulouse*, ni *Lyon* n'eurent à envier le sort réservé à *Soissons*.

Mais les liens qui unissaient ensemble toutes les parties de l'immense Empire romain ayant été rompus, l'organisation d'*Alexandre Sévère* s'écroula, et, dès lors, la nécessité et l'intérêt déterminèrent le déplacement d'un grand nombre d'ouvriers et d'artisans gallo-romains. Les uns, empressés de rompre la chaîne qui les attachait aux corporations, allèrent s'établir dans les *villæ* des conquérants, d'autres, plus heureux ou plus habiles, se réfugièrent dans les monastères ou se groupèrent autour d'eux à l'abri de la protection du Clergé, la seule qui fut alors efficace, les autres enfin, restant dans les villes, gardèrent d'une façon traditionnelle le principe d'association qu'avait imprimé dans leur esprit l'habitude de la domination romaine : comme la curie, la corporation restait à l'état latent dans les cités.

C'est ainsi que se conservèrent les procédés de l'industrie pendant la première partie du moyen-âge. En attirant autour d'eux des artisans laïques, les monastères, dans lesquels les religieux travaillaient non-seulement pour leurs propres besoins, mais encore pour la vente au dehors, devinrent des centres de fabrication souvent importants dans lesquels les procédés de l'industrie furent préservés de l'oubli. De leur côté, tant qu'ils habitèrent la campagne dont le souvenir des forêts de la Germanie leur faisait préférer le séjour à celui des villes, les rois barbares eurent soin de conserver dans leurs immenses domaines des colonies d'ouvriers de toutes les professions.

On ne peut apercevoir dans les cités qu'une trace fugitive du lien qui unit le collège romain à la corporation française, et cela seulement en ce qui concerne quelques corps d'état, les boulangers, les bouchers, les foulons qui ont pu se grouper d'une manière plus compacte ou dont l'imparfaite organisation a laissé plus de traces. C'est ainsi qu'au temps de *Charles Martel* la corporation des maçons jouissaient de certains privilèges, « les *Mortelliers* sont quite du gueit très le tan *Charles Martel*, si come li preudome l'en ouï dire de père à fils (1). »

Les monuments qui nous révèlent l'état industriel de la France mérovingienne sont extrêmement rares et témoignent d'une barbarie incroyable. Nul ne s'inquiétait alors des procédés suivis par cette partie de la population dont l'état social se rapprochait encore beaucoup de l'esclavage.

Au reste la Gaule était loin de représenter alors une contrée vraiment industrielle : L'Orient où la puissance romaine jetait encore quelques lueurs, l'Italie

(1) Depping, *le livre des mestiers*, p. 111.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

où l'occupation des barbares avait été moins brutale et surtout l'Espagne méridionale sous la domination des *Omniades* constituaient à la fin du VIIIe siècle des centres industriels relativement prospères.

Charlemagne, les croisades. — Au IXe siècle l'esclavage a presque partout disparu et le servage l'a remplacé : l'ouvrier est encore opprimé, mais son existence n'est plus à la merci du caprice d'un maître, quoique le travail conserve encore son caractère domestique.

Dans les *villæ* de Charlemagne, les femmes filaient, tissaient, confectionnaient les habits, battaient le lin, cardaient la laine, tondaient les brebis; les hommes étaient cultivateurs, maçons, forgerons, menuisiers, charpentiers, armuriers, etc. La consommation locale absorbait en général la production et, par suite du peu de sécurité des voyages et du mauvais état des chemins, le commerce d'exportation, même d'une ville à l'autre, était à peu près nul. Aussi cette localisation forcée de l'industrie donnait-elle une grande importance aux foires annuelles, les seules occasions où pouvait se faire l'achat des marchandises étrangères. C'était là surtout que le haut commerce, tout entier alors aux mains des Juifs, s'exerçait avec quelque importance. Deux d'entre elles sont restées assez célèbres pour que nous les mentionnions : L'une avait été fondée par Charlemagne et se tenait à Aix-la-Chapelle, la seconde, demeurée populaire pendant tout le moyen-âge, avait lieu dans la plaine Saint-Denis, c'était la foire du *Landit* ou de l'*indict* (*forum indictum*).

Il faut dire que la splendeur de la cour de Charlemagne était plutôt alimentée par l'importation des produits arabes et byzantins que soutenue par les œuvres de l'industrie nationale, et, si les capitulaires du grand Empereur témoignent de ses dispositions favorables pour l'industrie et le commerce, ses bonnes dispositions furent stérilisées par l'inertie ou l'impuissance de ses successeurs ainsi que par les troubles qui suivirent sa mort.

Au midi de la Loire les ouvriers n'avaient jamais été aussi molestés qu'au Nord, la tradition romaine s'y était maintenue plus vivace et la liberté industrielle plus entière. Quand l'heure sera venue et qu'il s'agira de fonder les communes, nous les verrons mettre à profit les souvenirs de la curie romaine comme les artisans du Nord tireront parti des coutumes germaniques.

Comme les seigneurs, les artisans partirent aussi pour les *croisades* : l'exemple de la civilisation orientale, le séjour des croisés dans les riches villes de l'Asie, leurs étapes en *Sicile*, à *Chypre*, à *Constantinople*, en mettant en contact avec des industries florissantes les hommes de métier qui accompagnaient l'armée, éveillèrent dans leur esprit des idées de progrès dont l'influence considérable ne saurait être contestée. D'un autre côté, les grandes villes commerçantes de l'Italie : *Pise*, *Gênes*, *Venise*, acquirent de grandes richesses en transportant les armées chrétiennes et leurs vaisseaux, qui faisaient depuis longtemps déjà le transit de la Méditerranée, apprirent le chemin des ports du Nord de la France et celui des bouches de l'*Escaut*.

Les corporations. La guerre de cent ans. — L'industrie prend en effet après les croisades un essor considérable en France : Les tapisseries d'*Arras*, de *Montpellier*, de *Paris* et de *Poitiers* s'exportent même en Italie; les riches étoffes, jusqu'alors tirées de l'Orient, commencent à se fabriquer dans nos grandes villes; l'art de filer et de tisser la soie, introduit d'abord en *Sicile*, gagne *Nîmes*, *Montpellier*, *Carcassonne* et *Beaucaire* apporté par les marchands Lombards qui, à l'époque dont nous parlons, avaient succédé aux Juifs dans le haut commerce. La fabrication du papier de chiffons, les moulins à vent, les tapisseries de haute lisse, inventions orientales, s'introduisent en France;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la réputation des émaux de *Limoges* commence, la peinture sur verre atteint son maximum de splendeur et les corporations de maçons et de tailleurs de pierre, après avoir couvert d'églises le sol de la France, fournissent des artistes et des ouvriers pour la construction des cathédrales de l'Allemagne et de l'Angleterre.

L'organisation définitive des corporations ouvrières date de 1258 : *Étienne Boileau* (*Stephanus bibens aquam*) après avoir réuni les marchands et les ouvriers de Paris, fit rédiger les règlements qui devaient demeurer comme la constitution définitive des corporations et nous fournir des détails précieux sur l'*Histoire de l'Industrie au* XIII^e^ *siècle.*

Étienne Boileau voulut établir dans chaque métier une discipline sévère afin qu'il ne se vendît *aucunes choses qui n'estaient pas si bones ne si loiaus qu'eles deusent* (1). Parmi les privilèges accordés à certains métiers, il en est qui peignent bien l'époque dont nous parlons : le *guet*, si redouté des bourgeois de Paris jusqu'à ce que la *Ligue* leur donnât l'occasion de s'en faire un moyen de domination, n'est point exigé des artisans qui travaillent pour la noblesse, *les haubergiers ne doivent point le guait... quar li mestier est pour servir chivaliers*; les *barilliers* qui confectionnaient seulement les petits tonneaux où se conservaient les vins fins *pueent ovrer de nuiz et au foiries* (feriæ) *se besoing leur est.* Le travail de nuit, en effet, est généralement défendu, au moins pour les industries délicates, il faut travailler *seur rue à fenestre ouverte ou à huis entr'ouvert... la clartez de la chandoile ne souffist mie à leur mestier.* Les *filaresses de soye* ne pouvaient filer qu'à façon, on n'admettait pas qu'elles pussent posséder de la soie qui se payait alors presqu'au poids de l'or. Les statuts des *teisserandes de queuvrechiers* (couvre-chef) *de soye*, les modistes du moyen âge leur défendaient d'acheter *soye de juis*, (juifs), *de filaresses, for de marchanz tan seulemen.*

Malgré toutes ces restrictions, on sent que les mœurs s'adoucissent : dans une des corporations les règlements exigent qu le tiers des amendes soit destiné à soulager les *povres vielles gens dudit mestier qui seront décheuz par fail de marchandises ou de vieilleuce.*

Dans le midi de la France, la liberté industrielle est beaucoup plus grande qu'au nord de la Loire : *Lyon, Toulouse, Montpellier, Arles* n'ont pas de ces entraves destinées à restreindre le développement de l'industrie après l'avoir facilité pendant quelque temps.

En obéissant au principe d'association qui les faisait se réunir entre elles, en groupant leurs intérêts, leurs personnes, leurs procédés même autour d'un centre commun placé sous la protection de l'autorité royale, les classes ouvrières du XIII^e^ siècle assuraient leur indépendance, et l'organisation des métiers fut alors regardée comme un bienfait. Cependant, en échappant ainsi aux exactions féodales et à d'autres causes d'oppression, les artisans immobilisèrent leurs procédés et fermèrent la porte à l'esprit d'invention comme à l'action progressive des années. L'ordonnance de 1358 se plaint déjà que ces règlements sont édictés *plus en faveur et prouffit des personnes de chacun mestier que pour le bien commun.*

A cette époque les draps fins viennent tous des Flandres, mais on fabrique des draps grossiers à *Beauvais, Paris, Lagny, Tours, Arras, Saint-Quentin, Etampes.* Les toiles de lin se font à *Laval, Lille* et *Cambrai.* Grégoire X fait planter des mûriers dans le Comtat Venaissin et *Avignon* commence à fabriquer des soieries qui rivalisent avec celles de la *Sicile*, de *Lucques* et de

(1) Registre des mestiers et marchandises, p. 2.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Naples. Les teinturiers de *Caen* et de *Toulouse* font accepter leurs produits même à l'étranger, le pastel, la gaude et la garance sont l'objet d'un commerce considérable.

En Italie la puissance industrielle a passé de *Pise* à *Gênes* et à *Venise*, elle a quitté *Cordoue* pour *Grenade* en *Espagne* et *Barcelone* qui s'élève, va devenir la rivale de Marseille sur la Méditerranée.

Le siècle suivant, désolé par la guerre de Cent ans, fut une période de décadence complète, les maisons et les ateliers étaient déserts à ce point que l'acquéreur d'un immeuble se contentait d'en enlever les matériaux transportables qu'il vendait en abandonnant le reste. La misère était à son comble et au retour du roi *Jean*, la difficulté de se procurer de l'argent fit porter le taux de l'intérêt à 2 $^1/_2$ $^0/_0$ par semaine.

L'industrie Normande, alors si prospère, succomba à son tour lors de l'invasion anglaise; *Barfleur*, *Saint-Lô*, *Louviers* où, dit Froissart, *on faisait la plus grand'plente de draperies* furent pillés et l'industrie du tissage ruinée pour longtemps dans ces villes.

Le XV^e^ siècle. La Renaissance. — L'expulsion des étrangers et le règne de *Louis* XI, en ramenant le calme et la sécurité, permirent aux artisans de fermer les blessures causée par cent cinquante ans de guerres et de troubles. Le compagnonnage et les confrèries de métiers sont alors complètement organisés; les ouvriers en voyage trouvent de l'ouvrage partout où ils veulent séjourner, ou reçoivent des secours pour continuer leur route. La mise en pratique de l'idée d'association constitue pour eux une force opposée à l'action jusqu'ici prépondérante de l'organisation presque féodale des maîtrises. D'un autre côté les prescriptions statutaires, devenues de plus en plus rigoureuses, achèvent d'enlacer l'industrie toute entière dans un réseau inextricable de règlements minutieux, source incessante de querelles de métier à métier.

Devançant l'œuvre de *Colbert*, *Louis* XI fait venir de Venise et de Gênes des ouvriers habiles dans la fabrication des métaux, dans la filature et le tissage de la soie et dans l'art de la teinture. On plante des mûriers près de *Tours* et l'industrie de cette ville prend dès lors le rang important qu'elle doit garder jusqu'à la révocation de l'édit de *Nantes*. Grâce aux ordonnances protectrices dont la première est due à *Charles* V, l'industrie métallurgique se développe, et, bien qu'on fasse encore venir beaucoup de fer de l'étranger, le *Roussillon*, le *Forez* et le *Dauphiné*, commencent à en fournir des quantités considérables. Les étoffes de *Normandie* et de *Champagne*, les soieries de *Lyon*, les toiles de *Reims*, les serges d'*Arras* et de *Caen*, l'étamine d'*Auvergne* sont en grande réputation. La découverte de l'imprimerie, *invention*, disait Louis XII, *plus divine qu'humaine*, en mettant l'instruction à la portée de tous, inaugure une ère nouvelle.

Le commerce maritime français a déjà quelqu'importance, *Dieppe* envoie ses marins dans toutes les parties du monde; *Jacques Cœur* qui, de fils d'un pelletier de Bourges, devint le trésorier de *Charles* VII, couvre la Méditerranée de ses vaisseaux et acquiert une fortune immense. Les foires sont plus nombreuses, plus suivies et les produits des ateliers de nos villes industrielles se répandent dans un rayon plus étendu.

A l'extérieur, un déplacement remarquable se fait sentir dans la position des centres manufacturiers: les Anglais filent déjà le coton que les Génois leur apportent et commencent à exporter en Flandre les draps que les Flamands eux-mêmes leur ont appris à tisser. *Ypres*, *Gand* et *Bruges* voient leur prospérité diminuer, la ligne *Hanséatique* se démembre, enfin l'influence commerciale des Républiques Italiennes, si considérable pendant les quatre siècles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

précédents, s'efface devant la prépondérance de la puissance Portugaise dans les *Indes*.

Vers le milieu du XVI^e^ siècle, le pouvoir royal avait déjà, malgré la résistance des corporations, accordé quelques privilèges importants à de nouvelles découvertes : « l'invention, dit un contemporain, s'est mise dedans les testes des hommes » ; mais, malgré les efforts de *François* I^er^, ce n'est en réalité que du règne de *Henri* III que date l'établissement, dans nos grande villes, de manufactures vraiment dignes de ce nom.

Pendant les guerres de la Ligue, l'industrie fut en souffrance et les ateliers chômèrent : à Paris l'ouvrier travaillait sa pertuisane près de lui, prêt à descendre dans la rue au premier signal pour une procession ou pour un combat. Malgré la misère qui en résultait, cette intervention des classes laborieuses dans les affaires publiques, déjà en germe dans l'organisation toute militaire que *Louis* XI avait donnés aux métiers de Paris, ne pouvait que contribuer à mêler ensemble les couches différentes de la société, et à donner aux plus inférieures le sentiment de leur force et le désir de leur indépendance.

A côté du malaise général, résultat des luttes politiques, venait se placer l'affaiblissement intérieur causé par les discordes des métiers ; faute d'une ligne de démarcation bien tranchée, impossible à établir entre les attributions des maîtrises, les compagnons et les maîtres, tantôt d'accord, tantôt brouillés, cherchaient toujours à défendre leurs privilèges contre les empiétements des industries voisines sans pour cela renoncer eux-mêmes à des tentatives analogues d'envahissement.

Une autre perturbation avait pour cause la rupture de l'équilibre séculaire établi entre la valeur des métaux précieux et celle des objets de consommation. La découverte de *l'Amérique* qui avait donné à l'Espagne dans l'Occident, une puissance rivale de celle possédée par le Portugal dans l'Orient, avait amené, entre autres conséquences, une augmentation énorme dans la production des métaux précieux. Il en était résulté que l'Espagne, cédant à l'entraînement causé par l'abondance des biens facilement acquis, avait délaissé son industrie, naguère si florissante. Oubliant que la richesse d'une nation ne consiste pas dans le numéraire qu'elle possède, mais dans les produits qu'elle récolte ou qu'elle fabrique, elle faisait à ses dépens profiter les autres pays de sa fortune. La France hérita en grande partie de son industrie perdue et l'or du *nouveau monde* servit à payer nos ouvriers.

Le XVII^e^ siècle. Colbert. — Malgré la résistance de *Sully*, *Henri* IV établit des magnaneries dans plusieurs châteaux royaux, aux Tuileries, à Madrid, aux Tournelles. Il protégea la fabrication du verre et des glaces à Paris, celle des toiles de Hollande à Rouen et fonda en 1603 les manufactures des *Gobelins et de la Savonnerie*. Les métiers à bas, la cémentation du fer, la fabrication du blanc de plomb furent inventés ou perfectionnés vers cette époque.

Richelieu et *Mazarin* s'occupèrent peu des questions industrielles, et il faut attendre l'impulsion vigoureuse de *Colbert* pour voir se dessiner nettement la marche progressive du travail national. Trouver sur le territoire de la France les matières premières nécessaires à son industrie, former des ouvriers capables de les transformer, de manière à pouvoir se passer des états voisins, telle fut l'ambition de ce grand Ministre.

L'industrie fut enrégimentée et les artisans menés militairement, aussi les règlements des métiers, précisant les moindres détails de la fabrication, dépassèrent-ils le but qu'ils devaient atteindre. Les ouvriers français qui voulaient émigrer et les artisans étrangers qui désiraient retourner dans leur pays étaient retenus même par la force. Se trouvant en face de monopoles constitués et ne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

voulant pas les abolir, *Colbert* dut créer des privilèges de plus pour faire prévaloir les découvertes récentes et assurer l'existence des nouvelles manufactures, aussi cet état de choses, après avoir déterminé une activité quelque peu factice, amena-t-il au siècle suivant la décadence de l'industrie nationale.

Les ouvriers en glace venus de *Venise* en France s'établirent à Paris, une société par actions fonda des fabriques de dentelles à *Alençon, Auxerre* et *Argentan* en 1669 (1) et plus tard d'autres fabriques s'installèrent à *Aurillac* et dans la Haute-Loire (2), l'importation du point de Venise fut alors interdite. Colbert fit à grand'peine venir de Saxe des ouvriers ferblantiers et établit à *Beaumont-la-Ferrière* une manufacture royale qui n'eût, il est vrai, qu'une existence éphémère (3). Il installa à *Clermont* et à *Blesle* (4) des fabriques de tricot, à *Meaux* (5) des ateliers pour la moquette et le bouracan, à *Amiens* et à *Beauvais* des fabriques de draps fins. A *Abbeville* (6), *Van Robais,* le célèbre manufacturier, faisait des draps dont la finesse rivalisait avec celle des meilleurs produits anglais: ils se vendaient quinze livres l'aune (7).

Lille produit 300,000 pièces d'étoffes par an, *Vienne, Allevard, Saint-Gervais Saint-Hugon, Royan, Neuville* (8), renferment des forges et des fonderies très-importantes. Le papier se fabriquait à *Thiers*, à *Ambert*, à *Angoulème,* en *Provence*, les toiles à *Cambrai*, à *Bapeaume*, à *Alençon*, à *Laval*, à *Château-du-Loir,* les fils dans le *Perche*, les faïences, à *Nevers,* le verre dans le Maine et dans le Nivernais, la batiste à *Saint-Quentin*, les draps et les dentelles à *Sédan.*

Profitant de la vigoureuse initiative de Colbert, le commerce maritime renaît. *Marseille* au sud, *Dunkerque* au nord sont déclarés ports francs, *Rouen* a atteint le maximum de son importance commerciale; *Lyon* où, après Paris, l'industrie s'est le plus développée, emploie dans ses fabriques et dans celles de ses environs plus de trois mille balles de soie par an; ses futaines, ses taffetas lustrés, ses étoffes d'or et d'argent n'ont pas de rivales, le seul travail de l'or filé emploie plus de trois mille personnes. *Tours* est presque aussi florissant, ses fabriques mettent en œuvre annuellement plus de deux mille balles de soie.

L'industrie au XVIII^e^ siècle. — Toute cette activité allait s'évanouir : la fatale révocation de l'*Édit de Nantes* enleva en 1685 presque tout ce qui se trouvait en France d'ouvriers habiles. Saint-Etienne, Lyon, Laval, la Normandie, Tours et Alençon furent ruinés. Les drapiers, les ouvriers en velours et en peluche émigrèrent pour la plupart en Hollande, l'Angleterre recueillit surtout les fabricants de papier et de tapis ainsi que les ouvriers en soie.

A l'extérieur, pendant que la France s'affaiblissait, *la Hollande* et l'*Angleterre* gagnaient en prospérité industrielle et cette dernière puissance déjà maîtresse de la mer, allait bientôt recueillir aux *Indes* le pouvoir que la rivalité de *Dupleix* et de la *Bourdonnaye* devait nous faire perdre.

La première moitié du XVIII^e^ siècle, époque de transition, ne nous offre rien de bien remarquable; les manufactures établies par Colbert se soutenaient difficilement et l'industrie tout entière périclitait.

Les corporations avaient fait leur temps, la puissante initiative de *Diderot*, en fixant dans *la grande Encyclopédie* la science industrielle d'alors, avait donné aux idées naissantes une forme nouvelle. Sous l'influence de ces aspirations, les réclamations des états de 1614 se firent entendre de nouveau et cette fois avec

(1) Lettres de Colbert, vol. I, p. 438. — (2) Lettres de Colbert, vol. I, p. 513. — (3) Lettres de Colbert, vol. I, p. 493. — (4) Lettres de Colbert, vol. I, p. 545. — (5) Lettre de Colbert, vol. I, p. 560. — (6) Lettres de Colbert, vol. I, p. 566. — (7) Tables des ordonnances du parlement de Paris, 24, 45, 334 *archives nation.* — (8) Lettres de Colbert vol. I, p. 660.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une irrésistible puissance. S'augmentant de toutes les protestations contre ce qui s'était accumulé depuis lors d'entraves et de vexations, elles forcèrent *Turgot* à supprimer maîtrises, jurandes, corvées, corporations, tout ce vieil attirail du moyen-âge, resté debout malgré les luttes et le froissement des intérêts. « Nous devons protection, dit le préambule de l'édit de 1776 à cette classe d'hommes qui, n'ayant de propriété que leur travail ou leur industrie, ont d'autant plus le besoin et le droit d'employer dans toute son étendue, la seule ressource qu'ils aient pour subsister. »

Ce fut un véritable jour de fête dans Paris, mais la chute de *Turgot* ramena une nouvelle organisation à peine moins oppressive, compromis insuffisant entre les tendances du moment et les souvenirs du passé.

La fin du siècle est témoin d'un grand nombre d'inventions : la filature mécanique du coton s'organise en Angleterre, à la fileuse de *Wyat* et à la carde mécanique de *Lewis* succède la machine d'*Arkwright* et de *Hargreaves*, la mull-Jenny de *Crompton* complète l'outillage. Citons aussi le métier de *Vaucanson*, la lampe d'*Argant* (dite de Carcel), la fabrication de la soude etc., etc. Enfin la machine à vapeur dont le principe appartient à *Papin* mais qui, sortant du domaine de la théorie, devenait sous l'impulsion du génie de *Watt* le plus puissant levier de la civilisation et la plus merveilleuse des inventions depuis la découverte de l'imprimerie.

Dans l'industrie du siècle dernier, comme dans celle des temps plus reculés, ce qui nous frappe, c'est la lenteur des progrès et la difficulté qu'éprouvent à se faire jour les perfectionnements qui nous semblent aujourd'hui les plus simples. Il faut dire cependant que le mouvement imprimé par Colbert avait porté ses fruits et que, outre les grandes découvertes, de nombreux perfectionnements de détail avaient accéléré l'allure si lente de l'industrie d'autrefois. C'est dans l'*Encyclopédie* qu'il faut étudier les procédés du XVIII^e^ siècle : l'industrie du temps est là tout entière avec ses machines et ses métiers lourds, primitifs, grossiers, lents à se mouvoir et exigeant pour leur mise en œuvre un travail énorme relativement à leur puissance de production. Dans l'immense majorité des cas le moteur c'est l'homme ; la roue des tourneurs, les manèges mal établis, les chutes d'eau peu ou mal utilisées, telles sont les ressources des fabricants d'il y a cent ans. Le principe si fécond de la division du travail semble généralement inconnu, l'ouvrier a besoin de tout apprendre, et, si un apprentissage de dix ans est chose ordinaire, c'est que, forcé de trouver en lui-même tous les éléments d'une fabrication donnée, l'ouvrier doit non-seulement savoir son métier proprement dit, mais encore connaître les ressources de tous ceux qui s'y rattachent.

Notre tâche est terminée ; nous avons essayé, autant qu'un si faible espace pouvait nous le permettre, de faire passer sous les yeux de nos lecteurs le tableau des phases successives qu'a traversées le travail humain depuis son origine jusqu'à notre époque. Nous nous arrêtons au seuil de ce XIX^e^ siècle qui a si admirablement développé l'héritage industriel légué par les siècles précédents.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

HYDRAULIQUE

PREMIÈRE PARTIE

LES DISTRIBUTIONS D'EAUX

ET LES

CANAUX D'IRRIGATION

PAR M. GEORGES DUMONT

Ingénieur des Arts et manufactures, Inspecteur aux chemins de fer de l'Est

SOMMAIRE.

Programme des études à faire pour les distributions d'eau. — Volumes d'eau nécessaires. — Diverses sources d'alimentation. — Eaux potables. — Analyse de l'eau hydrotimétrie. — Eaux de pluie. — Citernes. — Eaux de sources. — Jaugeage d'une source. — Captage des eaux. — Aqueducs et tubes-siphons. — Description sommaire des travaux exécutés par les Romains à Rome et dans quelques villes des Gaules. — Exposé sommaire des projets exécutés pour l'adduction des eaux de sources à Bordeaux, Montpellier, Lille, Dijon et Paris.

I. — DISTRIBUTIONS D'EAUX

La partie de l'hydraulique que nous nous proposons d'examiner, comprend l'approvisionnement des villes en eau potable, et leur assainissement mécanique.

Pour alimenter les villes, on peut recourir à une foule de solutions différentes. Suivant les cas, on doit rechercher de nouvelles sources, dériver des sources déjà connues, créer des réserves d'eau en barrant des vallons, et constituer ainsi des réservoirs considérables, faire des drainages pour recueillir les eaux souterraines et enfin quand ces divers moyens ne sont pas applicables, ou ne peuvent donner un volume d'eau assez grand, creuser des puits artésiens ou élever les eaux des rivières et des fleuves à l'aide de machines à vapeur ou hydrauliques.

Dans ce dernier cas, il se présente un problème compliqué, c'est la recherche des meilleurs moyens à employer pour clarifier les eaux. La méthode naturelle où des systèmes artificiels permettent d'arriver au but qu'on se propose, comme nous le verrons dans le cours de cette étude.

Ce simple exposé montre que la science des distributions d'eau constitue pour l'ingénieur une série de problèmes difficiles. Les ouvrages hydrauliques présentent souvent de grandes difficultés d'exécution, et le mouvement des eaux dans les aqueducs découverts et les conduites fermées est soumis à des formules encore incomplètes.

De plus, si l'on considère ce qui a été fait jusqu'à présent pour l'utilisation rationnelle des eaux de fleuves et de rivières et ce qui reste encore à faire, on sera frappé de voir que la plupart des cours d'eau entraînent vers la mer des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

volumes d'eau considérables qui ne sont point utilisés à la fertilisation du sol. On laisse perdre ainsi des richesses naturelles d'un prix inestimable. Les pays voisins, l'Espagne et l'Italie, nous offrent cependant des exemples frappants et qu'il serait bon de suivre; dans ces pays, on pratique sur une large échelle le système des irrigations et on obtient des récoltes rémunératrices.

Que l'on compare l'état actuel du midi de la France avec celui des riches provinces de la Lombardie, et après cette comparaison, on sera étonné que des travaux analogues n'aient pas encore été entrepris dans notre pays.

Depuis quelques années, on s'occupe activement de doter les villes de distributions d'eau, mais songe-t-on à compléter ces travaux par un aménagement sérieux et une utilisation rationnelle des eaux d'égoût. On laisse perdre ainsi une quantité considérable de substances fertilisantes qui devraient retourner au sol, afin de rétablir l'équilibre dérangé.

Nous aurons encore à examiner les tentatives faites dans ce but à Paris et dans d'autres villes.

Ainsi donc, l'art des distributions d'eau comprend deux grandes divisions:

1° Les distributions urbaines,
2° Les distributions rurales.

Dans une distribution d'eau, l'ingénieur doit se préoccuper des questions suivantes :

1° Fixer le volume nécessaire à la fourniture d'eau ;
2° Etudier les qualités que doivent présenter les eaux dérivées;
3° Jauger ces eaux, c'est-à-dire déterminer leur volume ;
4° Déterminer les travaux à exécuter pour les dériver ou les élever ;
5° Poser la théorie du mouvement de l'eau dans les canaux et les conduites fermées ;
6° Etudier le meilleur mode d'emmagasinage des eaux, autrement dit la construction des réservoirs;
7° Se rendre compte des travaux auxquels donne lieu la distribution intérieure des eaux;
8° Enfin combiner un système rationnel de drainage mécanique et d'égouts.

Ce programme indiqué par les ingénieurs les plus autorisés en matière de distribution d'eau, constitue la division toute naturelle de notre étude, et nous y rattacherons l'examen des travaux exposés. Mais nous croyons utile de donner dès maintenant une étude générale sur les principes qui doivent servir de base aux projets de distribution d'eau.

Volumes d'eau nécessaires. — Pour satisfaire d'une manière convenable les services publics et privés, on peut remarquer que les volumes d'eau nécessaires à la boisson, aux soins de toilette, au blanchissage, au lavage des maisons, au service des industries et aux bains sont proportionnels au chiffre de la population, tandis que les volumes d'eau disponible pour le nettoyage et l'arrosage des rues, des cours, des jardins particuliers et publics, le nettoyage des égouts sont proportionnels aux surfaces à arroser ou à nettoyer.

En dehors des volumes ainsi définis, il faut nécessairement ajouter ceux qui seront employés à alimenter des fontaines publiques érigées pour l'agrément général, et enfin ceux qui constitueront des réserves pour les cas d'incendie.

On comprend qu'il est difficile de fixer des limites absolues pour la quantité d'eau nécessaire à chacun de ces services, attendu qu'il faut tenir compte dans chaque cas particulier des habitudes des populations , du climat, etc., etc. Cependant, on peut admettre les cœfficients suivants pour le volume nécessaire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par jour aux divers usages ci-dessous. Ces chiffres constituent des bases rationnelles :

Par personne (alimentation et usages externes)	20	litres.
Par cheval	75	—
Par voitures à 2 roues (nettoyage)	40	—
— à 4 roues —	75	—
Par cheval vapeur (machine à haute pression) par heure de marche	200	—
Par cheval vapeur (machine à moyenne pression) par heure de marche	400	—
Par cheval vapeur (machine à basse pression) par heure de marche	800	—
Par mètre carré de jardins (arrosage) par année	500	—
Pour un bain	300	—
Pour l'arrosage d'un mètre carré de rue	1	—
Par robinet (lavage des ruisseaux) par jour	5000 à 6000	

Si on calcule le nombre total de litres à fournir par tête d'habitant et par jour pour desservir convenablement tous les services, on arrive au chiffre de 200 litres.

Tableau des quantités d'eau distribuées dans quelques villes par jour et par habitant.

DÉSIGNATION DES VILLES.	QUANTITÉ D'EAU par tête et par jour.	NATURE DES EAUX.
	Litres.	
Rome moderne	944	Sources.
New-York	568	Rivière.
Carcassonne	400	*Idem.*
Nimes	250	*Idem.*
Besançon	240	Sources.
Dijon	240	*Idem.*
Paris	200	Rivière et sources.
Marseille	186	Rivière.
Richmond	180	*Idem.*
Lille	176	Sources.
Bordeaux	170	*Idem.*
Philadelphie	140	Rivière.
Londres	135	*Idem.*
Hambourg	125	*Idem.*
Gênes	120	Sources.
Castelnaudary	120	*Idem.*
Glascow	100	Lac.
Lyon	100	Rivière.
Madrid	100	*Idem.*
Narbonne	85	*Idem.*
Manchester	84	*Idem*
Bruxelles	80	*Idem.*
Genève	74	*Idem.*
Toulouse	65	*Idem.*
Grenoble	65	Sources.
Vienne (Isère)	65	*Idem.*
Nantes	60	*Idem.*
Edimbourg	50	*Idem.*
Clermont	50	*Idem.*
Le Havre	40	*Idem.*
Metz	25	*Idem.*
Béziers	14	Rivière.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La dépense des fontaines monumentales est très-variable. Ainsi, à Paris, la gerbe du Palais-Royal a été calculée pour un débit de 23 litres par seconde; chacune des fontaines de la place de la Concorde pour 55 litres; la fontaine de la place Saint-Georges pour 1 litre.

D'après M. Darcy, il convenait de calculer le débit des fontaines monumentales de Paris à raison de 18 litres par habitant.

Nous donnons à la page 47 le tableau des quantités d'eau disponibles par jour et par habitant dans quelques villes.

Sources d'alimentation. — Nature et qualité des eaux. — Nous venons de voir que l'eau était un objet de première nécessité, nous pouvons ajouter que son abondance dans les centres de population est une des conditions essentielles de salubrité. Examinons maintenant la nature et la qualité des eaux de distribution. Les diverses consommations n'exigent pas les mêmes qualités d'eau, ainsi la clarté, la pureté et la fraîcheur sont nécessaires pour les eaux de consommation domestique, mais pour les autres usages exigeant des volumes très-considérables, on peut se contenter d'eaux non potables. On est conduit alors à séparer au besoin un projet de distribution en deux parties : surtout si la population que l'on doit desservir atteint un chiffre très-important.

Les eaux de distribution peuvent provenir des pluies, des sources et puits artésiens, des fleuves et des rivières, des drainages.

Ces différentes eaux sont loin d'être pures, ainsi l'eau de pluie renferme toujours de l'air en dissolution et différents sels, notamment des azotates. Les eaux qui ont coulé à la surface du sol et qui proviennent des nappes souterraines, des eaux de pluie ou de la fonte des neiges, etc., sont encore plus impures, attendu qu'elles ont pu se charger de toutes les matières solubles qui se trouvaient dans les terrains traversés, et entraîner sans les dissoudre certains corps solides, tels que le limon.

Ces matières en dissolution dans l'eau ou simplement en suspension, sont de natures très-diverses, certaines d'entre elles, quand leur quantité n'est pas trop considérable, n'ont pas d'effet nuisible sur l'organisme et peuvent être absorbées sans danger. D'autres, au contraire, exercent une action nuisible et doivent être rejetées pour l'alimentation ; de là, deux grandes classes d'eaux :

Les eaux potables, les eaux non potables.

Eaux potables.— D'une manière générale, pour être potable, l'eau doit avoir une saveur agréable, être limpide, fraîche en été, chaude en hiver, être aérée, dissoudre le savon sans donner beaucoup de mousse, cuire les légumes sans les durcir, et enfin ne précipiter que faiblement avec l'azotate d'argent et l'azotate de baryte.

Une saveur quelconque, sans caractère spécial, indique généralement que l'eau contient des substances organiques ou des matières étrangères qui ne peuvent être absorbées sans danger. La saveur piquante de l'eau de seltz, indique que l'eau renferme du gaz acide carbonique dont la présence n'offre aucun inconvénient. L'absence de saveur n'implique pas à elle seule que l'eau est potable.

La coloration de l'eau est généralement due à la présence d'une matière organique, et indique que cette eau est impropre aux usages domestiques.

Les eaux troubles qui tiennent en suspension des matières terreuses ne doivent pas être employées à la boisson avant d'avoir été *filtrées*, c'est ce qui arrive généralement pour les eaux de rivières en temps de crue.

La température de l'eau est encore un élément à considérer. Pendant l'été, l'eau doit être fraîche, c'est une nécessité au point de vue hygiénique. Pour être

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans les meilleures conditions, on devrait faire usage en toute saison d'une eau ayant une température constante et comprise entre 9 et 10°.

Il doit y avoir dans l'eau une certaine quantité d'air dissous, dans ce cas, on dit que l'eau est légère. La composition de l'air en dissolution dans l'eau n'est pas exactement celle de l'air atmosphérique, attendu que l'oxygène se dissout plus facilement que l'azote. Ainsi :

Dans l'atmosphère l'air contient 79 % d'azote et 21 % d'oxygène.

L'air dissous dans l'eau contient 65 à 67 % d'azote et 32 à 33 % d'oxygène.

Les eaux de puits et celles qui proviennent de la fonte des neiges et des glaces, contenant une moins grande proportion d'air dissous que les eaux de pluie, sont moins digestives que ces dernières, on dit qu'elles sont lourdes à l'estomac.

Le tableau suivant indique les quantités de gaz en centimètres cubes, contenus dans un litre d'eau de provenances diverses.

	EAU de Seine.	EAU de pluie.	EAU de la source de Royes (affluent de la Saône). (Analyse de M. Bonssingault).	EAU de la source de Ronzier (Lyon). (Analyse de M. Dupasquier).	EAU du Rhône au pont Morand à Lyon.	EAU DE SOURCE	
						A la sortie de la conduite de distribution.	Après avoir séjourné dans un bassin en présence de végétaux.
	(Analyses de M. Péligot.)				(Analyses de M. Seeligmann.)		
Oxygène.	10,1	7,4	6,20	6,38	7,00	6,23	8,79
Azote.	21,4	15,1	15,30	15,00	16,89	»	»
Acide carbonique.	22,6	0,5	»	»	»	18,00	9,00
TOTAUX. . . .	54,1	23,0	21,50	21,38	23,89	24,23	17,79

Il résulte de l'inspection des chiffres précédents, que les eaux de source au moment où elles arrivent à la surface du sol contiennent une assez grande quantité d'acide carbonique. En avançant dans leur parcours, elles perdent insensiblement une partie de ce gaz et s'enrichissent en oxygène. Cette quantité d'acide carbonique dissous, dépend d'ailleurs de la température de l'eau et de la pression atmosphérique, elle est d'autant plus forte que l'eau est plus froide. En hiver, 1 litre d'eau du Rhône contenait, d'après les analyses de M. Dupasquier, 18cc,20 d'acide carbonique, et en été 6cc,53 seulement, Pendant le jour, l'eau contient plus d'oxygène et moins d'acide carbonique que pendant la nuit.

Ainsi, M. Seeligmann a constaté que 1 litre d'eau du Rhône, contenait à 8 heures du matin 7cc,69 d'oxygène et 6cc,38 d'acide carbonique, à 8 heures du soir 5cc,39 d'oxygène et 8cc,47 d'acide carbonique, soit une différence de 2cc,30 pour l'oxygène et 2cc,09 pour l'acide carbonique.

Une eau potable, doit contenir au moins 20cc d'air par litre, et la quantité d'oxygène contenue dans ce volume, doit être supérieure à celle qui existe dans l'air atmosphérique. L'acide carbonique y entre aussi pour une proportion assez grande, quoique non définie.

L'eau potable doit être pure, c'est-à-dire ne doit contenir en dissolution que des substances incapables de lui communiquer des propriétés nuisibles.

Les substances dont on constate le plus ordinairement la présence dans les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

eaux, sont : en outre de l'air et de l'acide carbonique, le carbonate de chaux, le carbonate de magnésie, le sulfate de chaux, le sulfate de magnésie, le sulfate de soude, le chlorure de sodium, le chlorure de magnésium, l'iode, la silice, les silicates alcalins et des matières organiques.

Les substances utiles ou nécessaires sont, l'air, l'acide carbonique et le chlorure de sodium. Les carbonates de chaux et de magnésie, quand ils ne sont pas dissous en excès, rendent l'eau saine et agréable. Le sulfate de chaux est peu soluble dans l'eau, mais celle-ci peut en dissoudre assez pour devenir impropre à la boisson et aux usages domestiques. Les eaux chargées de ce sel sont *dures* et *crues*, elles sont dites *séléniteuses*, elles décomposent le savon et ne peuvent servir ni au blanchiment du linge, ni à la cuisson des légumes; elles précipitent abondamment par le chlorure de baryum et les sels de baryte solubles. La présence du sulfate de chaux se constate dans les eaux de source, sortant des terrains gypseux. Ainsi, il ressort des analyses faites à Lyon par M. Dupasquier et par M. Seeligmann, que les eaux de plusieurs sources alimentant des fontaines de cette ville contenaient $0^{gr},25$, $0^{gr},942$ et $1^{gr},015$ de sulfate de chaux par litre.

A Paris, la source de Belleville en contient 1 gramme par litre.

Les eaux des fleuves et des rivières en contiennent une bien moins grande proportion, comme l'indique le tableau suivant :

	Quantité de sulfate de chaux par litre d'eau.
Eau de Seine	0,039
— du Rhône.	0,005
— de la Saône	0,001

Les eaux séléniteuses ne sont pas absolument impropres au savonnage, mais il faut y dissoudre une quantité suffisante de savon pour neutraliser le sulfate de chaux. On peut encore y verser une dissolution de carbonate de soude qui transforme le sulfate de chaux dissous en carbonate de chaux insoluble, lequel se précipite. Le sulfate de soude qui provient de la réaction et reste en dissolution dans l'eau, ne lui communique aucune propriété nuisible.

Le chlorure de calcium et l'azotate de chaux peuvent exister dans les eaux en quantité assez considérable pour décomposer le savon, et par suite les rendre séléniteuses. Comme les acides de l'estomac sont sans action sur ces sels, leur action hygiénique est aussi pernicieuse que celle du sulfate de chaux.

Le sulfate de magnésie, le chlorure de magnésium et le sulfate de soude existent d'ordinaire dans les eaux potables en très-petite quantité, et ne modifient pas sensiblement leur nature.

Les matières organiques contenues en quantité notable dans les eaux, les rendent tout à fait impropres à la boisson, il est difficile de fixer la limite au-delà de laquelle une eau contenant de ces matières, peut être sans danger pour l'alimentation.

Les procédés vulgaires, au moyen desquels on peut reconnaître si une eau est plus ou moins pure, sont les suivants.

Doivent être abandonnées :

1° Les eaux qui, ayant été mises en ébullition, laissent au fond du vase après complète évaporation une grande quantité de résidus;

2° Celles dans lesquelles le savon ne se dissout pas et forme des grumeaux ;

3° Celles dans lesquelles les légumes ne peuvent cuire.

Les eaux reconnues bonnes ne se troublent pas quand on y verse en petite quantité du nitrate d'argent, de l'azotate de baryte et de l'oxalate d'ammoniaque.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Analyse des eaux potables. — Hydrotimétrie. — Ces caractères généraux ne sont pas suffisants. Il faut soumettre l'eau à une analyse consciencieuse. L'hydrotimétrie imaginée au commencement du siècle par le chimiste anglais Clarke, et appliquée par MM. Boutron et Boudet, permet de classer les eaux d'après leur degré de dureté ou la quantité des sels qui s'y trouvent en dissolution. Cette méthode est fondée sur ce qu'une dissolution alcoolique de savon, rend l'eau mousseuse quand elle est pure, c'est-à-dire quand les sels de chaux et de magnésie qu'elle renfermait ont été décomposés et précipités par une certaine quantité de savon. La mesure de dureté de l'eau, peut donc être déterminée par la quantité de teinture de savon nécessaire pour qu'elle devienne mousseuse.

Les essais se font avec un flacon divisé en capacités de 10, 20, 30 et 40 cent. cubes et une burette ou hydrotimètre qui contient une échelle de jauge en cent. cubes d'un côté, et une échelle hydrotimétrique de l'autre côté, fig. 1.

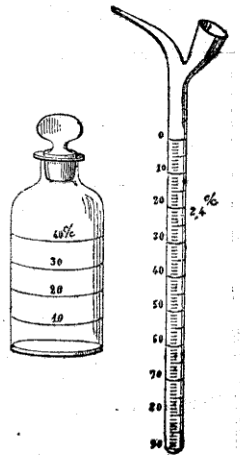


Fig. 1.

Les essais portent toujours sur 40 cent. cubes d'eau mesurés dans le flacon dont il vient d'être parlé.

Pour être chargé, l'hydrotimètre doit être rempli jusqu'à un trait circulaire, placé au sommet un peu au-dessus du *o* de l'échelle, la quantité de liqueur comprise entre ce trait et le *o*, est celle qui est nécessaire pour produire le phénomène de la mousse avec l'eau distillée pure. La liqueur d'essai est une dissolution de 100 gr. de savon de Marseille dans 1600 gr. d'alcool à 90 degrés centésimaux portés à l'ébullition.

On filtre la liqueur ainsi obtenue, et on y ajoute 1000 gr. d'eau distillée, on a ainsi 2700 gr. de liqueur d'essai qui doit avoir un titre très-rapproché du titre normal. On la soumet d'ailleurs à un essai pour constater sa valeur réelle.

Chaque degré hydrotimétrique représente $0^{gr},1$ de savon, neutralisé par litre d'eau essayée et correspond à $0^{gr},0114$ de chlorure de calcium ou $0^{gr},01$ de carbonate de chaux.

Pour essayer l'eau, on en mesure une quantité de 40 cent. cubes à l'aide du flacon dont il a été parlé ci-dessus, puis on ajoute peu à peu la liqueur hydrotimétrique, on secoue de temps en temps pour voir si le phénomène de la mousse se produit et persiste bien.

Quand on a obtenu cette mousse, on observe le degré hydrotimétrique qui indique le nombre de décigrammes de savon que l'eau neutralise par litre.

Si on a lu le nombre de 15 degrés, cela veut dire que 1 litre d'eau essayée neutralise 15 décigrammes de savon. Le tableau suivant donne l'échelle hydrotimétrique des eaux de source et de rivière.

Ce tableau permet de se faire une idée de la valeur de l'eau essayée, et de voir si elle est applicable à certains usages.

Le degré hydrotimétrique permet en outre de connaître les quantités de savon précipitées à l'état de savon insoluble par un volume d'eau déterminé. Ainsi avec l'eau d'Arcueil qui marque 28 degrés à l'hydrotimètre, il y aurait par mètre cube ou 1000 litres d'eau une perte de $2^{k},800$ grammes de savon précipités à l'état insoluble, après quoi l'eau étant débarrassée de ses sels calcaires pourrait servir au blanchiment.

Dans la plupart des cas, l'analyse hydrométrique suffit, mais quand on veut déterminer exactement les proportions de carbonate de chaux, de sulfate de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chaux et autres sels calcaires, de sels de magnésie et d'acide carbonique contenues dans l'eau qu'on analyse, on peut opérer de la manière suivante :

On prendra le degré hydrotimétrique de l'eau ; 1° à l'état naturel ; 2° après en avoir précipité la chaux par l'oxalate d'ammoniaque ; 3° après en avoir éliminé par l'ébullition l'acide carbonique et le carbonate de chaux ; 4° enfin après avoir précipité par l'oxalate d'ammoniaque les sels de chaux qui n'ont pas été isolés par l'ébullition. Voici le détail des opérations :

Connaissant le degré hydrotimétrique de l'eau à l'état naturel, on prend 50 cent. cubes de cette eau, on ajoute 2 cent. cubes d'une dissolution d'oxalate d'ammoniaque au soixantième. On agite et on laisse reposer le liquide pendant une demi-heure. On filtre, et on obtient de l'eau débarassée des sels de chaux. On prend le degré de 40 cent. cubes de cette eau.

NATURE DES EAUX.		DEGRÉS hydrotimétriques.	QUANTITÉS DE SAVON DÉCOMPOSÉ avant de produire la mousse pour 1mc d'eau.
Eaux	distillée	0,	0k
	de neige à Paris	2,5	0,250
	de pluie à Paris	3,5	0,350
	de l'Allier à Moulins	3,5	0,350
	de la Dordogne à Libourne	4,5	0,450
	de la Garonne	5,0	0,500
	de la Loire à Tours et à Nantes	5,5	0,550
	du puits de Grenelle à Paris	9,0	0,900
	du puits de Passy à Paris	11,0	1,100
	de la Somme soude	13,5	1,350
	du Rhône de la Saône de l'Yonne	15,0	1,500
	de la Seine au pont d'Ivry	17,0	1,700
	— à Chaillot	23,0	2,300
	de la Marne à Charenton	23,0	2,300
	de la Dhuis, à la source	24,0	2,400
	de l'Escaut à Valenciennes	24,5	2,450
	d'Arcueil	28,0	2,800
	du canal de l'Ourcq	30,0	3,000
	des Prés Saint-Gervais	72,0	7,200
	de Belleville	128,0	12,800

Supposons pour fixer les idées, que le degré hydrotimétrique de l'eau à l'état naturel étant 25, on ait trouvé 11 degrés dans la seconde opération que nous venons de décrire.

On reprend une nouvelle quantité de l'eau qu'on veut analyser, on la fait bouillir doucement pendant une demi-heure pour précipiter le carbonate de chaux et chasser l'acide carbonique. Après refroidissement, on ajoute de l'eau distillée pour rétablir le volume pris au début de l'expérience, on mélange bien, on filtre, puis on prend le degré hydrotimétrique de 40 cent. cubes du liquide filtré, soit par exemple 15 degrés le chiffre trouvé.

Enfin, on prend 50 cent. cubes du liquide précédent bouilli et filtré, et on y verse 2 cent. cubes d'oxalate d'ammoniaque pour éliminer la chaux qui s'y trouve à l'état de carbonate, et qui n'a pas été précipitée par l'ébullition. Après avoir laissé reposer et avoir filtré, on prend encore le degré hydrotimétrique de 40 cent. cubes de la liqueur, soit par exemple 8 degrés le degré trouvé.

Comme le carbonate de chaux qui est soluble dans l'eau, n'a pas été entièrement précipité par l'ébullition dans la troisième opération, on fait subir une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

correction au degré trouvé après l'ébullition; elle consiste à retrancher 3 de ce degré. Ici on prendra donc : 15 — 3 = 12.

On interprétera ainsi les données fournies par les opérations précédentes :

Le premier degré hydrotimétrique 25 indique que l'acide carbonique, les sels de chaux (carbonate et autres), et de magnésie contenus dans un litre d'eau, sont neutralisés par 25 décigrammes ou $2^{gr},50$ de savon.

Le deuxième degré : 11 représente les sels de magnésie et l'acide carbonique restant dans l'eau après qu'on a éliminé la chaux, donc : 25 — 11 ou 14 degrés représentent les sels de chaux.

Le troisième degré, qui après correction est devenu 12, représente les sels de magnésie et les sels de chaux autres que le carbonate, donc : 25 — 12 = 13° représentent la quantité de carbonate de chaux et d'acide carbonique.

Enfin le quatrième degré 8 représente les sels de magnésie qui ont échappé à l'action de l'ébullition et de l'oxalate d'ammoniaque.

Si on fait le total des degrés représentant les sels de chaux et de magnésie : soit 14 + 8 = 22, on voit que sur les 25° de l'eau naturelle, il en reste 3 pour l'acide carbonique, et dès lors, l'eau essayée contient :

Acide carbonique libre.	3°
Carbonate de chaux (13 — 3) = 10	10
Sulfate de chaux ou sels de chaux autres que le carbonate (14 — 10).	4
Sels de magnésie.	8
	25°

Le tableau ci-dessous donne l'équivalent en poids d'un degré hydrotimétrique pour un litre d'eau d'un certain nombre de corps. Il permet d'évaluer le poids des sels trouvés dans l'eau qu'on essaye ; il suffit de multiplier le nombre de degrés observés pour chaque sel par le nombre correspondant à 1 degré hydrotimétrique dans le tableau suivant :

Chaux.	1 degré	$0^{gr},0057$
Chlorure de calcium	—	$0^{gr},0114$
Carbonate de chaux	—	$0^{gr},0103$
Sulfate de chaux	—	$0^{gr},0140$
Magnésie	—	$0^{gr},0042$
Chlorure de magnésium	—	$0^{gr},0090$
Carbonate de magnésie.	—	$0^{gr},0088$
Sulfate —	—	$0^{gr},0125$
Chlorure de sodium.	—	$0^{gr},0120$
Sulfate de soude	—	$0^{gr},0146$
Acide sulfurique	—	$0^{gr},0082$
Chlore.	—	$0^{gr},0073$
Savon à 30 % d'eau	—	$0^{gr},1061$
Acide carbonique.	—	$0^{lit},005$

Un exemple fera facilement comprendre l'usage de ce tableau. Par l'analyse précédente, on a trouvé :

Pour l'acide carbonique 3 degrés hydrotimétriques, ce qui indique qu'il y avait dans l'eau $3 \times 0,005 = 0^{lit},015$ d'acide carbonique libre, de même :

Pour le carbonate de chaux	$10 \times 0,0103 = 0^{gr},103$
— sulfate —	$4 \times 0,0140 = 0^{gr},056$
— — de magnésie . . .	$8 \times 0,0125 = 0^{gr},100$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Comme le poids d'acide carbonique contenu dans l'eau douce est généralement très-faible, que 1 degré de carbonate de chaux correspond à 0gr,01 de ce sel et que les nombres proportionnels de carbonate de chaux, des sulfates de chaux et de magnésie ne diffèrent pas beaucoup les uns des autres, on en conclut :

Que le degré hydrotimétrique d'une eau représente à peu près le poids en décigrammes des sels terreux qu'elle contient.

Examinons maintenant en particulier chacune des trois espèces d'eau qui peuvent servir aux usages domestiques et industriels : savoir, les eaux de pluie, de sources et de rivières, et voyons quels sont les principaux travaux auxquels donne lieu le captage ou la dérivation de ces eaux.

Eaux de pluie. — Dans certains pays dépourvus de sources ou de cours d'eau, on se sert pour l'alimentation, des eaux de pluie recueillies sur les toits et emmagasinées dans des réservoirs appelés *citernes*. Dans d'autres cas, on a recours aux eaux de pluie quand les dépenses à faire pour l'adduction des eaux de sources ou la dérivation des eaux de rivières seraient trop considérables en raison du but qu'on se propose d'atteindre.

Les eaux de pluie proyenant de la condensation des vapeurs aqueuses qui s'élèvent des fleuves, des lacs, des mers, etc., entraînent avec elles les matières répandues dans l'air, ces eaux sont donc impures avant d'arriver sur le sol. Dans le voisinage des villes, on constate qu'elles sont chargées des poussières plus ou moins nombreuses qui voltigent dans l'atmosphère ; les pluies d'orage renferment en outre, de l'azotate d'ammoniaque. Pour les usages domestiques et industriels, tels que les bains, les lessivages, l'arrosage, etc., l'eau de pluie est une des meilleures qu'on puisse utiliser. Pour la boisson, on peut également la ranger au nombre des meilleures eaux potables.

Nous avons dit que les eaux de pluie renfermaient de l'azotate d'ammoniaque en plus grande proportion que les eaux de sources et de rivières ; elles renferment aussi une assez grande quantité de sels minéraux, comme l'indique l'analyse suivante de M. E. Marchand dans son ouvrage « des eaux potables en général. »

Matières contenues dans un kilog. d'eau de pluie :

Bicarbonate d'ammoniaque.	0,00174
Azotate —	0,00189
Chlorure de sodium	0,01143
Sulfate de chaux	0,00087
Sulfate de soude.	0,01007
Matières organiques.	0,02486
	0,05086

L'azotate d'ammoniaque provient de la décomposition de la vapeur d'eau sous l'influence de l'étincelle électrique. Comme l'a démontré M. Liebig, l'électricité décompose l'eau en hydrogène et en oxygène, le premier de ces deux gaz se combine avec l'azote de l'air pour former de l'ammoniaque (AzH^3) ; le second s'empare également d'une certaine quantité d'azote pour donner naissance à de l'acide azotique (AzO^5).

L'acide azotique et l'ammoniaque en présence se combinent à leur tour pour donner de l'azotate d'ammoniaque (AzO^5, AzH^3, HO). Les produits ammoniacaux jouent un rôle très-important dans la végétation, et les eaux pluviales sont d'autant plus fertilisantes qu'elles contiennent plus d'azote.

Le chlorure de sodium contenu dans l'eau de pluie provient de la mer ; des parcelles de ce sel sont entraînées avec les gouttelettes liquides ; plus on avance

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans l'intérieur des terres, plus la proportion de chlorure de sodium contenue dans l'eau de pluie diminue, cette proportion varie également avec la direction du vent. L'analyse reproduite ci-dessus a été faite sur des eaux de pluie recueillies à Fécamp.

Dans des analyses faites à Paris, M. Barral trouva par mètre cube d'eau de pluie, des quantités de chlorure de sodium variant de $2^{gr},64$ à $3^{gr},60$.

On constate aussi dans l'eau de pluie, la présence de petites quantités d'iodures et de bromures. Ces sels accompagnent les chlorures dans l'eau de mer.

C'est M. Châtin qui constata dans toutes les eaux, l'existence de l'*iode*. Le sulfate de chaux et le sulfate de soude existent également dans les eaux de pluie. A Paris, on trouve qu'elles renferment une quantité notable de ce premier sel, ce fait provient de l'emploi général du plâtre dans les constructions de cette ville.

Enfin l'eau de pluie contient les gaz entrant dans la composition de l'air. La proportion de ces gaz varie suivant la température et la pression. M. Peligot a trouvé dans une eau de pluie de 2 à 4 % de gaz acide carbonique et azote.

Quant aux matières organiques entraînées, leur nature et leur quantité dépendent de l'état de l'atmosphère, ainsi certaines eaux de sources sont plus pures que des eaux pluviales recueillies dans l'atmosphère des grandes villes. Ces dernières eaux entraînent des particules charbonneuses, des débris de végétaux, des germes divers, etc., si l'on ajoute à ces matières celles qui sont entraînées par l'eau dans son trajet sur les toits et dans les gouttières, on comprendra facilement que l'eau emmagasinée dans des citernes est sujette à une prompte décomposition.

Citernes. — Les *citernes* sont d'un usage fréquent dans les campagnes et dans certaines villes dépourvues de distribution d'eau.

Les eaux de pluies recueillies dans ces réservoirs peuvent servir non-seulement aux usages domestiques et industriels, mais encore à l'alimentation. Dans ce dernier cas, on dispose les conduites qui aboutissent aux citernes, de façon à pouvoir rejeter les premières eaux qui tombent afin d'emmagasiner seulement celles qui sont les plus pures. Il suffit pour cela, de munir le conduit qui descend du toit d'un robinet qui laisse écouler au dehors les premières eaux. Au bout d'un certain temps, on ouvre le robinet, et les eaux coulent directement dans la citerne.

Cette installation existe dans la ville de Cadix où chaque maison est munie d'une citerne.

Pour conserver l'eau de pluie ainsi emmagasinée dans un état de salubrité satisfaisant, il est indispensable de la maintenir dans l'obscurité ; on empêche ainsi le développement des végétaux cryptogames entraînés. Il faut aussi avoir soin de curer le fond de la citerne après l'avoir vidée, à des intervalles suffisamment rapprochés.

On remplit la première condition, en recouvrant la citerne d'un toit, qui tout en procurant l'obscurité nécessaire n'empêche pas l'air de circuler librement, ce qui est essentiel.

Le choix des matériaux employés dans la construction des citernes, n'est pas indifférent. Il ne faut pas employer des pierres calcaires qui communiqueraient de la dureté à l'eau, par suite d'une certaine proportion de chaux qui se mêlerait à la longue à celle-ci. Il faut éviter l'emploi du mortier ou des ciments, pour la même raison.

Enfin, il est bon d'établir autour des citernes des excavations remplies de sable fin ; les eaux déversées d'abord dans ces excavations ne peuvent pénétrer dans la citerne qu'après avoir traversé le sable qui joue le rôle de filtre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

C'est une disposition analogue qui a été employée dans la construction des citernes de Venise, fig. 1, pl. I.

Cette ville située au milieu d'une lagune, occupe une surface d'environ 5,200,000 mètres carrés et compte 2077 citernes, dont 177 réservées aux besoins publics et 1900 appartenant aux particuliers. La capacité totale de ces 2077 citernes, est de 202,535 mètres cubes.

Dans une année commune, il tombe à Venise 82 cent. de pluie, ce qui donnerait une quantité d'eau totale de $5,200,000 \times 0,82 = 4,264,000$ mètres cubes.

Or, la pluie tombe avec une abondance suffisante pour remplir les citernes, environ cinq fois par an, ce qui porte le volume d'eau recueilli à $5 \times 202,535 = 1,012,675$ mètres cubes.

Les eaux de citernes constituèrent pendant longtemps le seul moyen d'alimentation de Venise. Au milieu de ce siècle, on a dérivé dans un canal les eaux de la rivière Brenta. L'eau potable recueillie dans ce canal, appelé Seriola, n'arrive pas jusqu'à Venise, il s'arrête à Fusine au-delà de la lagune, c'est là que des bateliers viennent remplir d'eau leur barque divisée en deux compartiments et vont ensuite la vendre dans l'intérieur de la ville; chaque barque contient environ 20 mètres cubes d'eau et il entre 40 barques par jour dans la ville, ce qui porte à 800 mètres cubes environ le volume d'eau de la Seriola consommé à Venise.

Dans son ouvrage sur les eaux publiques, M. Grimaud de Caux donne la description d'une des citernes de Venise, qui doivent leur efficacité aux principes très-rationnels sur lesquels repose leur construction.

On emploie comme matériaux essentiels le sable et l'argile, on commence par pratiquer dans le sol une excavation ayant la forme d'un tronc de pyramide dont la hauteur est de trois mètres. La petite base du tronc se trouve occuper le fond de l'excavation. On garnit cette dernière d'un bâti en bois pour maintenir le terrain, et on dépose par dessus une couche d'argile pure, bien liée et dont on lisse avec soin la surface. Dans les plus grandes citernes, l'épaisseur de la couche d'argile ne dépasse pas 30 centimètres, c'est suffisant pour résister à la pression de l'eau et empêcher sa pénétration par les racines des végétaux. Le fond de l'excavation est garni avec une pierre circulaire creusée en son milieu. Elle forme la base d'un cylindre creux ayant les dimensions d'un puits ordinaire et qu'on bâtit en briques sèches. Les briques du fond sont percées de trous coniques. Le puits s'élève jusqu'au dessus du sol et se termine par une margelle ordinaire.

L'espace compris entre la paroi extérieure du puits et les parois intérieures de l'excavation dont il occupe le centre, est rempli avec du sable de mer lavé. A chacun des angles de la fosse, on dispose une sorte de niche en pierre, fermée par un couvercle en pierre percé de trous, ces boîtes ou *cassettoni* sont reliées entre elles par un petit canal en briques sèches. L'eau de pluie entre directement dans les cassettoni, traverse le sable, se filtre et pénètre enfin dans le puits central d'où on la retire avec des seaux. La surface du sable reçoit un pavage ordinaire qui est incliné de façon à amener vers l'orifice des cassettoni l'eau pluviale qui y tombe.

On voit que cet appareil est un véritable filtre, et on comprend que dans ces conditions, l'eau pluviale isolée d'une façon absolue de toutes les eaux d'infiltration de terrains environnants puisse se conserver limpide et fraîche.

Dans certains cas, les citernes peuvent rendre de grands services. Des habitations rurales, et même des communes dépourvues de sources, de rivières, et pour lesquelles la construction de puits occasionnerait des dépenses trop considérables, peuvent recueillir des eaux de pluie en quantité suffisante pour sub-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

venir aux besoins domestiques, et dans ce cas, on doit imiter la construction de la citerne vénitienne.

Si on admet avec M. Grimaud de Caux, les quantités d'eau suivantes comme nécessaires dans une ferme :

10	litres par jour, soit	$3^{mc},600^{lit}$.	par an pour	une personne adulte ;
50	—	18 ,000	—	un cheval ;
30	—	11 ,00	—	une vache ou un bœuf ;
2	—	0 ,750	—	un mouton ;
3	—	1 ,100	—	un porc.
	Total	$33^{mc},450$		

On voit que si la ferme admet quatre personnes, un cheval, une vache et un porc, il faudra recueillir par an $44^{m},500^{lit}$., ce qui exige une surface de toit de 90^{m2} produisant 68 mètres cubes d'eau, c'est la surface de toiture de l'habitation d'un petit cultivateur. Dans les campagnes, l'établissement des citernes et l'utilisation convenable des surfaces de toits permettent de rassembler assez d'eau pour abreuver les animaux qui sont trop souvent conduits à des mares où l'eau corrompue contient le germe d'épizooties.

Nous donnons, fig. 2 et 3, pl. I, les plans et les coupes de deux citernes, d'après l'ouvrage remarquable de M. Maurice Aymard sur les irrigations du midi de l'Espagne. La première, fig. 2, pl. I, existe au village de Manissés près de Valence. La seconde, fig. 3, pl. I, est la citerne mauresque de l'Alhambra à Grenade.

Eaux de source. — Les eaux de sources proviennent des météores aqueux, tels que les pluies, les nuées, la bruine, les brouillards, la rosée, la neige, etc. La quantité d'eau produite annuellement par ces météores, varie chaque année, mais elle suffit pour fournir dans chaque bassin au débit des sources, des ruisseaux, des rivières et des fleuves.

Toute source est le produit d'une infinité de petits filets d'eau qui se réunissent et forment finalement le cours d'eau qu'on aperçoit à la surface du sol.

Ces filets qui se forment dans les montagnes et les collines dont le sol est perméable et descendent sur les couches imperméables, se partagent sous terre de la même manière que les eaux pluviales à la surface. Aussi, c'est presque toujours au fond des vallons ou à leur thalweg qu'on voit les sources sortir de terre.

Quelquefois les sources ne sont point apparentes, elles restent cachées et coulent sous le terrain de transport.

Les eaux de sources pendant leur parcours souterrain, se chargent de toutes les matières solubles qui sont contenues dans le sol et entraînent en outre des substances, telles que la silice, l'argile, etc. Il en résulte que les eaux de sources les plus pures se trouvent dans les terrains primitifs, où elles ont été arrêtées par des roches.

Les eaux qui ont traversé les terrains secondaires, renferment un peu de carbonate de chaux ; ce sel quand il est en petite quantité n'exerce pas d'influence fâcheuse sur l'organisme, si donc les eaux sont exemptes de sulfate de chaux, et si la proportion totale de sels qu'elles renferment ne dépasse pas 3 décigrammes par litre, on peut les capter et s'en servir pour les usages domestiques.

Ce qui fait préférer les eaux de sources aux eaux de rivière pour l'alimentation, c'est qu'elles sont fraîches en été et suffisamment chaudes en hiver. La température des eaux de sources est à peu près constante en toute saison.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Dupasquier indique les températures suivantes pour des eaux de sources des environs de Lyon.

Source de Neuville.	13°	moyenne 12°,5, variation de température en hiver et en été 1 degré environ.
— de Roye	13	
— de Rouzier.	12 ,2	
— de Fontaine	12	

Il en est de même de la température des eaux des fontaines de Dijon. La variation de température des eaux prises à la source et à leur débouché dans les bornes fontaines de la ville, est de 1 degré environ ; la différence de température des eaux à la source au mois d'août et au mois de janvier, n'est pas de plus de 2 degrés.

Ces considérations ont milité en faveur de l'adduction des eaux de sources dans certaines villes, comme Paris, Dijon, Bordeaux, Rome, etc., malgré les énormes dépenses que ces travaux ont nécessitées.

Les eaux de sources présentent encore sur les eaux de rivières, l'avantage de circuler dans l'intérieur du sol, par suite à l'abri de la lumière, ce qui est une bonne condition pour leur conservation. On remarque en effet, que les eaux de certaines rivières chargées de matières organiques, se corrompent facilement pendant les fortes chaleurs et sous l'influence de la lumière.

Les eaux de sources sont le plus souvent limpides, quelquefois elles ne sont pas suffisamment aérées, mais pour remédier à cet inconvénient, il suffit de les faire tomber sur une série de petites cascades avant de procéder à leur distribution.

Jaugeage des sources. — Captage des sources. — Quand on veut capter une source pour une distribution d'eau dans un centre de population, la première opération consiste à la jauger aux diverses époques de l'année, surtout dans les temps de sécheresse, afin de s'assurer que son volume sera suffisant pour l'alimentation.

Pour constater le débit d'une source en litres et par seconde, on peut recueillir l'eau dans un vase d'une capacité connue, et constater avec une montre le nombre de secondes nécessaires pour le remplir.

Ce procédé n'est applicable que lorsque le volume d'eau fourni par la source est peu important.

Quand le volume d'eau à mesurer est considérable, on peut former à l'aide de planches, un barrage dans lequel on pratique une échancrure rectangulaire. On s'assurera que la crête du déversoir est bien horizontale. Au bout de quelques instants l'eau prendra son niveau et son cours normal.

On mesurera la hauteur d'eau H au-dessus du seuil du déversoir et la largeur L du déversoir.

Le volume d'eau q écoulé par seconde sera donné par la formule :

$$q = m\,\mathrm{L}\,\mathrm{H}\,\sqrt{2g\mathrm{H}}$$

dans laquelle g est égal à 9,8088 et m un cœfficient numérique égal à 0,405.

La valeur de ce cœfficient varie suivant les hauteurs différentes de H. Ainsi, MM. Poncelet et Lesbos indiquent les valeurs suivantes pour des hauteurs H comprises entre 0m,01 et 0,22.

H =	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,22
m =	0,424	0,417	0,411	0,407	0,401	0,397	0,395	0,393	0,390	0,385

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en prenant l'une de ces valeurs selon la hauteur mesurée H, ou en adoptant la valeur moyenne de 0,405, la formule précédente donnera le volume d'eau débité à la seconde, en mètres cubes.

L'expression $\sqrt{2gH}$ représente la vitesse de l'eau.

Pour jauger la source du Rosoir à Dijon, M. Darcy s'est servi d'un barrage en planches. Afin d'avoir un orifice en mince paroi, tout le pourtour était garni du côté d'amont de feuilles de fer blanc appliquées contre le bois, et dépassant celui-ci de 3 à 4 centimètres.

L'orifice étant complétement noyé du côté d'amont, on avait la dépense théorique en appliquant la formule :

$$Q = \frac{2}{3} l \sqrt{2g} \left(h_1 \sqrt{h_1} - h \sqrt{h}\right)$$

et la dépense effective s'obtient en multipliant Q par le cœfficient de contraction 0,62 :

l est la largeur de l'orifice ;

h_1 la charge sur l'arête inférieure de l'orifice ;

h la charge sur l'arête supérieure.

Pour capter les eaux de sources, on creuse et on nettoie le bassin d'envergence de l'eau, on l'entoure d'un mur en maçonnerie et on le recouvre d'une voûte. Le bassin de la source est mis ensuite en communication avec la conduite principale de distribution.

Quand les sources naturelles ne sont pas assez abondantes, ce qui arrive généralement, on peut rechercher les eaux souterraines provenant des eaux de pluie qui ont filtré à travers les couches perméables du sol et qui ont été arrêtées par une couche imperméable. On crée ainsi une source artificielle.

Pour capter les eaux souterraines, on établit une conduite en pierres dont les joints puissent laisser passer le liquide qui s'écoule à l'intérieur du conduit auquel on donne une pente convenable.

Ce procédé a été employé dans un certain nombre de contrées, notamment pour la distribution des eaux de la ville d'Avallon.

Si le niveau de la source est à une hauteur suffisante au-dessus des réservoirs de distribution, on y conduit les eaux par leur pente naturelle au moyen d'un aqueduc, sinon il faut établir une canalisation et y refouler l'eau à l'aide de machines à vapeur ou de machines hydrauliques, comme nous le verrons plus loin.

Adduction des eaux. — Examen des travaux exécutés par les Anciens. — Les aqueducs sont des conduites en maçonnerie, en poterie ou métalliques, couvertes et situées à une certaine distance au-dessous du sol afin d'empêcher l'évaporation de l'eau et lui conserver sa fraîcheur et sa pureté. L'amenée des eaux à l'aide d'aqueducs était le moyen généralement employé par les Anciens qui ont laissé des travaux fort remarquables dans ce genre. Ils donnaient à leurs aqueducs des proportions beaucoup plus considérables qu'aujourd'hui. Ainsi pour l'adduction des eaux des sources d'Uzès à Nîmes, les Romains avaient construit un aqueduc dans lequel un homme pouvait facilement se promener en suivant la banquette placée à côté de la cunette, c'est-à-dire à côté de la rigole qui reçoit l'eau. Ces errements furent suivis pour la construction des aqueducs jusqu'à notre siècle. Ainsi celui d'Arcueil a 2 mètres de hauteur sur 1 mètre de largeur. Il en est de même de l'aqueduc du Peyrou à Montpellier, pl. II, fig. 4 et 5.

Dans la construction de l'aqueduc de Dijon M. Darcy a adopté des dimensions réduites. La hauteur totale est de 90 cent. la cunette a $0^m,60$ de largeur, pl. II, fig. 6. On peut encore circuler assez facilement dans cet aqueduc ; d'ailleurs des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

regards ou cheminées en maçonnerie fermés par une trappe sont ménagés de distance en distance et permettent une visite facile de l'ouvrage ainsi que les réparations.

Tous ces aqueducs étaient construits en maçonnerie, mais en employant le ciment on peut exécuter des conduits économiques. L'aqueduc d'Avallon en fournit un exemple. Ses dimensions sont les suivantes :

Largeur de la cunette $0^m,30$, hauteur $0^m,15$.

La voûte qui la surmonte a une flèche de 0,11 et une épaisseur 0,10. Ce conduit débite au moins 1850 met. cubes d'eau en 24 heures soit un peu plus de 77 mèt. cubes à l'heure, pl. II, fig. 7.

Les aqueducs en béton de ciment se fabriquent sur place au moyen de moules spéciaux.

Dans leurs travaux d'adduction des eaux, les Anciens employaient des conduits en pierres ou en poterie, ou des tuyaux en plomb. Aujourd'hui ces derniers tuyaux ne servent guère qu'à l'exécution des conduites intérieures de distribution. Les tuyaux en poterie sont également employés mais pour de petits diamètres. Pour les grands conduits on fait usage des tuyaux en fonte.

Pour franchir les vallées on emploie les tubes siphons. Les architectes romains en faisaient usage comme on peut le constater aux environs de Lyon. Un ouvrage de ce genre avait été construit pour conduire dans cette ville les eaux du mont Pila près de Saint-Etienne, à 50 kil. de Lyon. L'eau qui descend dans l'une des branches du tuyau siphon remonte dans l'autre branche pour reprendre son niveau, pl. II, fig. 8 et 9.

On peut, grâce à ce moyen, éviter les dépenses considérables que nécessiterait l'établissement d'un grand aqueduc en maçonnerie élevé sur des arcatures jusqu'au niveau des deux faîtes à réunir. Nous verrons plus loin le projet du siphon destiné à faire passer le canal d'irrigation du Rhône de la rive gauche du Rhône sur la rive droite. Les siphons des Romains étaient exécutés avec des tuyaux de plomb.

Ainsi les ouvrages d'art construits par les Romains pour l'adduction des eaux du mont Pila à Lyon, comprenaient 13 ponts aqueducs sur arcatures et 3 siphons composés de 12 tuyaux de plomb de 21 cent. de diamètre. Aux extrémités des deux branches du siphon étaient des réservoirs, voir les détails d'exécution pl. II, fig. 10 et 11. Dans le fond de la vallée le siphon du mont Pila était supporté par des arcatures construites dans les mêmes proportions que les ponts aqueducs.

Les tubes-siphons étaient anciennement employés concurremment avec les ponts aqueducs à arcades.

Ces derniers ouvrages affectaient des proportions grandioses et constituent de magnifiques modèles qui ont été imités dans les constructions modernes comme nous le verrons plus loin.

L'aqueduc de Roquefavour est une copie du pont du Gard, il en est de même de l'aqueduc du Croton à New-York.

Passons rapidement en revue les aqueducs les plus remarquables construits par les Anciens et dont les ruines subsistent encore.

C'est à Rome qu'on trouve le plus grand nombre de ces monuments. Cette ville située au bord du Tibre dont les eaux sont souvent troubles et insalubres, était alimentée par différentes sources et le lac Alsietinus. Les eaux arrivaient à des niveaux différents dans les quartiers de la ville.

Les eaux prises dans la vallée de l'Anio (Tèverone actuel) étaient amenées par 6 aqueducs appelés, Appia, Anio Vetus Marcia, Aqua Virgo, Claudia et Anio Novus, 2 autres aqueducs nommés Tepula et Julia servaient à l'adduction des eaux de sources situées sur la rive gauche du Tibre inférieur. Enfin les eaux du lac Alsietinus étaient conduites par l'aqueduc Alsietina. A ces neuf aqueducs il

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

faut en joindre deux autres appelés Aqua Trajana et Aqua Alexandrina. Le premier construit sous Trajan amenait les eaux du lac Sabatinus, le second édifié sous Alexandre Sèvère alimentait spécialement les thermes qui portaient le nom de cet empereur.

En dehors de ces aqueducs principaux il en existait une foule d'autres destinés à des usages particuliers, de sorte que le volume d'eau qui était amené à Rome peut être évalué 1,488,300 mètres cubes par vingt-quatre heures.

La longueur des aqueducs variait de 23,000 à 91,000 mètres; l'ensemble atteignait 418 kil. environ sur lesquels 364 kil. étaient en souterrains et 49 sur arcades.

Les eaux ainsi conduites dans la ville n'avaient pas le même degré de pureté et on les classait suivant les usages auxquels elles devaient servir.

Elles arrivaient dans de grands réservoirs où elles se décantaient; elles passaient de là dans les châteaux-d'eau où débouchaient les tuyaux destinés à les conduire dans les divers quartiers.

La distribution se faisait par des tuyaux en terre nommés fistula; le jaugeage s'opérait au sortir des châteaux-d'eau à l'aide de divers calibres (au nombre de 25) en bronze appelés calix.

Les points d'arrivée des eaux à Rome étaient au minimum à 8 mètres en contre-haut du quai du Tibre, et au maximum à 38,39 et 47 mètres au-dessus de ce quai.

Dans l'intérieur de la ville, les tuyaux de distribution étaient tantôt enfouis dans le sol, tantôt portés sur arcades. On comptait jusqu'à 247 réservoirs ou châteaux-d'eau secondaires d'où partaient une multitude de tuyaux soigneusement calibrés suivant la concession.

Les eaux qui avaient coulé nuit et jour dans les fontaines publiques se rendaient par des canaux souterrains dans les naumachies qui servaient à simuler des combats navals.

Les égoûts qui formaient le complément de cette magnifique distribution recevaient les eaux et les immondices et les rejetaient dans le Tibre en dehors de la ville.

Ce système très-remarquable a servi de modèle aux ingénieurs modernes.

Dans toutes les villes fondées par les Romains on retrouve des traces de travaux hydrauliques analogues à ceux de Rome. Citons ceux d'entre eux qui paraissent les plus remarquables :

Nîmes était alimentée également par des sources: Celle d'Aire près d'Uzès et celle d'Eure à 13 kil. de Nîmes.

Les eaux étaient amenées par un aqueduc et passaient au-dessus de la rivière le Gardon sur le fameux pont du Gard dont les restes permettent de juger de l'importance du travail. Cet ouvrage composé de trois rangs d'arcades est à 50 mètres au-dessus des plus basses eaux de Gardon. Le premier rang a une longueur de 270 mètres, le troisième a 238 mètres de long, l'aqueduc proprement dit est formé par un massif de béton recouvert d'une couche de ciment fin, il était recouvert de dalles en pierre. Le fond est creusé en arc de cercle. La largeur intérieure était de $1^{m},22$, sa pente était de 4 cent. par 100 mètres. Aujourd'hui on constate l'existence d'un dépôt calcaire de 29 cent. d'épaisseur et de 1 mètre de hauteur au-dessus du fond du canal. En se basant sur la hauteur totale de ce dépôt on peut évaluer à 63,234 mèt. cubes le volume d'eau qui était débité chaque jour par cet aqueduc, c'était une quantité énorme pour la population de la ville de Nîmes.

A Lyon on remarque aussi les vestiges de 4 aqueducs qui amenaient les eaux à des hauteurs différentes. C'étaient les aqueducs du mont d'Or, de Feurs, du mont Pila et du Rhône.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce dernier correspondait à un bas service, les aqueducs du mont d'Or et de Feurs à un moyen service et enfin l'aqueduc du mont Pila constituait un haut service.

L'aqueduc du mont Pila amenait à lui seul 25,000 mèt. cubes d'eau par jour (chiffre de la distribution actuelle).

Il est difficile d'évaluer le débit des autres services.

A Paris, l'aqueduc d'Arcueil, construit par Constance Chlore, amenait aux thermes les eaux de Rungis, d'Arcueil et de quelques sources éloignées de Paris. Il avait un parcours de 10 kil. Le canal creusé dans le tuf était recouvert intérieurement d'une couche de mortier ou de ciment.

Il ne sera pas sans intérêt de mettre en regard quelques-uns des travaux modernes faits pour l'adduction des eaux de source.

EXAMEN DES TRAVAUX MODERNES EXÉCUTÉS POUR L'ADDUCTION DES EAUX DE SOURCES.

Dérivation des eaux de sources à Bordeaux. — Bordeaux est alimentée par les sources d'Eyzines, du Taillan et de Saint-Médard qui sortent du rocher à environ 12 kil. à l'ouest de la ville. Les eaux sont amenées par un aqueduc voûté de $1^m,50$ de largeur et $1^m,60$ de hauteur qu'elles remplissent à moitié; elles coulent avec une vitesse de 20 cent. par seconde et mettent 15 à 16 heures pour arriver à Bordeaux. Grâce à cette disposition, les eaux peuvent se clarifier dans leur parcours. Les sources se divisent en 4 groupes. De petites chambres contiguës au canal d'amenée, reçoivent les eaux des sources et les déversent dans l'aqueduc par des fenêtres pratiquées dans leurs parois.

Le 4e groupe comprend des sources dont le niveau est inférieur à celui de l'aqueduc, de sorte que pour élever leurs eaux, on se sert d'un tympan à spirale monté sur le même arbre qu'une roue hydraulique de Poncelet, mue par une chute empruntée à un cours d'eau voisin.

Les 4 groupes de sources fournissent pendant l'été un volume de 208 litres, soit 18000 mètres cubes d'eau par 24 heures.

Si on évalue le chiffre de la population à 194000 habitants, le volume ci-dessus représente environ 92 litres par tête et par jour.

Pendant l'hiver, le débit des sources augmente d'un quart ou d'un tiers; pendant les sécheresses extrêmes il peut diminuer d'un quart. A leur arrivée à Bordeaux, les eaux se rendent dans un réservoir souterrain d'une capacité de 13000 mètres cubes, dans lequel le niveau ne descend jamais à plus de 4 mètres au-dessus des quais; l'eau se distribue donc par sa pente naturelle dans une portion de la ville.

Pour alimenter les quartiers hauts, on élève l'eau du réservoir à l'aide de pompes à vapeur, qui refoulent un volume en rapport avec les besoins journaliers dans des réservoirs secondaires de distribution.

Les mêmes conduites servent à remplir les réservoirs et à distribuer les eaux. Quand la dépense devient supérieure au volume fourni par les pompes, ou quand ces dernières s'arrêtent, les réservoirs se vident. Nous reviendrons plus loin sur la construction des réservoirs en général.

L'eau distribuée à Bordeaux est un peu incrustante, elle marque 22 degrés à l'hydrotimètre, sa température moyenne est de 11°,5; en été elle s'élève à 15 degrés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dérivation des eaux de source à Montpellier. — Depuis 1750, la ville de Montpellier est alimentée par les eaux des sources de Saint-Clément, situées à 10 kil. de la ville. Le volume fourni par ces sources étant insuffisant, on a dû compléter la distribution en élevant les eaux du Lez qui passe à 2 kil. de Montpellier. Nous nous occuperons seulement ici de l'adduction des eaux de source. Elle se fait par un aqueduc souterrain qui aux abords de la ville se termine par un pont aqueduc très-remarquable de 880 mètres de longueur. La longueur totale de l'aqueduc depuis Saint-Clément jusqu'à son débouché au Peyrou est de 13904 mètres.

Les eaux arrivent dans un réservoir; tombent de là en cascade sur des roches où elles s'aérent et aboutissent dans un bassin. Elles pénètrent ensuite dans les tuyaux de distribution.

L'eau des sources Saint-Clément est très-calcaire, de sorte qu'au bout d'un certain temps, les tuyaux de fonte qui la distribuent dans la ville sont tapissés intérieurement d'une couche de carbonate de chaux. Pour l'enlever, on fait passer pendant 24 heures de l'acide chlorhydrique étendu d'eau dans la canalisation, le carbonate de chaux se trouve dissous; il ne reste plus qu'à faire couler ensuite de l'eau pure pendant quelques jours, afin de bien laver les conduites, après quoi on rend l'eau à la consommation. Cette idée de faire dissoudre les dépôts de carbonate de chaux par de l'acide chlorhydrique, fut suggérée par le professeur E. Bérard.

Distribution des eaux de source à Lille. — Les travaux ayant pour but de doter la ville de Lille d'un nouveau système de distribution d'eau, ont duré de 1867 à 1871; leur résultat est de fournir à la ville toute l'eau nécessaire aux usages domestiques et industriels. Pour cela, on a dérivé les eaux de 4 sources et une certaine quantité d'eau souterraine, savoir :

		mètres cubes.
1° Source	du flot de Wingles, débitant par 24 heures	10000
2° —	de Séclin —	10700
3° Sources	de Billaut et de Guermanez —	5000
4° Source	de la Cresssonnière —	1650
5° Eau souterraine représentant un volume de.		12650
	Soit au total.	40000

pour une population de 155000 âmes, ce qui porte à 176 litres par jour et par tête le volume de l'eau distribuée.

En hiver, le débit des sources et de l'eau souterraine atteint 45000 mètres cubes.

Une conduite principale recueille le produit de chaque source au moyen de rigoles alimentaires. Cette conduite aboutit dans un réservoir. De là, des machines puissantes refoulent les eaux dans un autre réservoir situé à 50 mètres d'altitude, de sorte que la pression qui s'exerce sur tout le réseau de la distribution est de 3 atmosphères environ. L'aqueduc principal n'offre pas de particularités, le terrain étant peu accidenté ; on remarque seulement quelques tubes siphons pour la traversée d'une rivière, la Deule et de quelques vallons.

Distribution des eaux de source à Dijon. — La distribution des eaux de Dijon a été exécutée par M. Darcy. Elle a consisté à amener dans cette ville les eaux de la source du Rosoir située à 20 kil., au moyen d'un aqueduc en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

maçonnerie de 13 kil. Cet ouvrage constitue un modèle de bonne exécution et d'économie. (Nous en avons donné une coupe pl. II, fig. 4.)

Dans la ville, on a disposé une conduite principale de distribution, aux deux bouts de laquelle se trouve un réservoir; sur cette conduite principale s'embranchent des conduites secondaires qui amènent l'eau dans tous les quartiers.

La construction et la disposition de ces réservoirs sont bien connues, nous n'y reviendrons donc pas. Le volume de l'eau distribuée atteint 300 à 400 litres par habitant et par jour. Sa température est à peu près constante et égale à 10 degrés, enfin sa composition au sortir d'une des bornes-fontaines de la ville résulte de l'analyse suivante de M. Sainte-Claire-Deville.

Silice.	0gr,0152	Total, 0gr,2607 pour 1 litre d'eau.
Alumine.	0 ,0010	
Carbonate de magnésie.	0 ,0021	
Carbonate de chaux.	0 ,2300	
Chlorure de magnésium.	0 ,0019	
— de sodium.	0 ,0007	
Sulfate de soude.	0 ,0027	
Carbonate de soude.	0 ,0044	
Azotate de potasse.	0 ,0027	

Distribution des eaux de source à Paris. — Enfin, bien que nous ayons sans doute à revenir sur les travaux exécutés à Paris pour l'adduction des eaux de source, il est bon d'indiquer sommairement en quoi ils consistent.

En 1860, la quantité d'eau distribuée à Paris par habitant, déduction faite des services publics était seulement de 35 litres par 24 heures, encore les eaux étaient-elles très impures, elles provenaient de la Seine et du canal de l'Ourcq qui sert à la navigation.

Pour remédier à cet état fâcheux, on résolut d'amener les eaux des sources de la Dhuis et de la Vanne.

Les premières arrivent dans un réservoir placé sur les hauteurs de Ménilmontant, et servent à l'alimentation des quartiers hauts de la rive droite de la Seine. L'étage supérieur de ce même réservoir sert à emmagasiner les eaux de la Marne.

L'aqueduc qui amène les eaux de la Dhuis, a une longueur totale de 130880 mètres, il se compose de parties en maçonnerie et de tuyaux de fonte. Les galeries en maçonnerie ont une largeur intérieure variant de 1m,40 à 1m,76; leur pente est de 0m,10 par kil. Les conduites de fonte pour la traversée des vallées ont 1 mètre à 1m,10 de diamètre intérieur et une pente de 0m,55 par kil.

L'aqueduc qui amène les eaux de la Vanne sur les hauteurs de la rive gauche de la Seine à Paris a été terminé en 1873, il aboutit au réservoir de Montsouris achevé en 1875. Les eaux de la Vanne alimentent les quartiers bas et moyens de Paris. Le débit moyen de l'aqueduc est de 100000 mètres cubes par 24 heures. Sa longueur est de 173 kil. comprenant 93 kil. de parties voûtées, en tranchées, ou portées par des substructions, 16k,600 de parties sur arcades, 41k,900 mètres de parties voûtées en souterrains et enfin 21k,500 mètres de siphons.

Cette longueur totale de 173 kil. comprend : les aqueducs de captation des sources, en fonte ou en maçonnerie ; un aqueduc collecteur de 20k,386 mètres de longueur, d'un diamètre intérieur variant de 1m,70 à 1m,80, enfin un aqueduc principal faisant suite à ce collecteur, d'une forme circulaire comme ce dernier et d'un diamètre de 2 mètres à 2m,10.

La pente de l'aqueduc collecteur est de 0m,20 par kil., celle de l'aqueduc principal varie de 0m,10 à 0m,12.

Le réservoir de Montsouris a une capacité de 305000 mètres cubes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Si on évalue le volume d'eau disponible à Paris, on arrive au chiffre de 420000 mètres cubes par jour, et comme la population est de 1,851,792 habitants, la consommation par jour et par tête peut atteindre le chiffre de 227 litres.

Nous nous contenterons pour le moment de ces généralités, nous réservant de parler avec détail des travaux d'adduction des eaux de la Vanne, à l'occasion de l'exposition très-complète qui en a été faite par la ville de Paris.

EAUX DE PUITS, DE LACS ET D'ÉTANGS.

L'eau fournie par les puits ordinaires entre pour une quantité notable dans l'approvisionnement des villes ou des villages. Ces ouvrages sont essentiellement privés, et l'eau qu'ils fournissent est généralement impure et de mauvaise qualité.

Il n'en est pas de même des puits artésiens ou jaillissants, dont les eaux prises à une très-grande profondeur sont généralement d'une pureté remarquable.

Les procédés de forage actuels permettent aujourd'hui d'ouvrir le trou sur un diamètre beaucoup plus grand qu'on ne le faisait autrefois; on construit d'ordinaire au-dessus ou à côté des puits artésiens, un édifice supportant le tuyau d'ascension et un bassin de jaugeage et de distribution.

On ménage au pied de cet édifice des moyens d'écoulement quand on veut supprimer pour quelque temps la charge de la colonne ascensionnelle, ou réparer et nettoyer quelques parties du système de distribution.

Les puits artésiens de Passy et de Grenelle fournissent des exemples très-intéressants de ces ouvrages hydrauliques, sur lesquels nous ne nous arrêterons pas davantage.

On emploie quelquefois les étangs pour réunir et emmagasiner les eaux d'alimentation d'une ville. C'est ainsi qu'à Versailles, il existe un vaste système de rigoles sillonnant les campagnes environnantes et versant dans les étangs les eaux qu'elles recueillent sur leur parcours. Les eaux ainsi emmagasinées, sont généralement de très-mauvaise qualité, et leur température est essentiellement variable.

Les lacs, au contraire, constituent d'excellents réservoirs. La ville de Glascow, alimentée par les eaux du lac Katrin, fournit un exemple remarquable de distribution de cette espèce.

Nous ne nous arrêterons pas plus longtemps sur ce sujet; nous nous occuperons maintenant des eaux de fleuve et de rivière qui sont largement employées à l'alimentation des villes.

EAUX DE FLEUVE ET DE RIVIÈRE.

Qualités des eaux de fleuve et de rivière. — Si le fond du cours d'eau est établi sur un terrain granitique, les eaux contiennent une moins grande proportion de matières solubles que si le lit est dans un terrain d'alluvions. Le sol exerce donc sur les eaux une certaine influence et ces eaux à leur tour peuvent avoir sur le sol une action destructive en raison des sels qu'elles contiennent en dissolution. Il y a là une attaque chimique et mécanique dont le résultat est l'entraînement par l'eau d'une masse plus ou moins considérable de limons et d'alluvions.

Certains fleuves roulent avec eux une énorme quantité de matières en suspension; il suffit de citer le Gange qui entraîne pendant la saison d'hiver 446 grammes de matières solides par mètre cube; en été 217 grammes, et dans la saison des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pluies 1943 grammes. Le Mississipi contient en dissolution ou en suspension 803 grammes de matières solides par mètre cube d'eau. Le fleuve Jaune en Chine : 5 kilog. par mètre cube. Enfin le Nil entraîne 1k,58 de matières en suspension par litre d'eau ; eu égard au volume du fleuve, ceci représente 377,000 mètres cubes de matières solides entraînées chaque jour vers la mer.

Quelquefois ces matières entraînées sont tellement tenues qu'il est impossible de les séparer par filtration.

En France le Rhône débite annuellement 54,236 millions de mètres cubes d'eau et charrie environ 21 millions de mètres cubes de limon.

La Loire contient 225 à 250 grammes de limon par mètre cube.

La Seine dans la saison des fortes crues entraîne par mètre cube jusqu'à 500 grammes de limon.

Enfin la Durance en temps ordinaire charie 280 grammes de matières terreuses par litre ; au moment des grandes crues cette quantité s'élève à 4k,18.

Quant aux matières solubles contenues dans les différentes eaux de fleuves ou de rivières leur poids par litre peut varier dans des limites assez étendues comme le montre le tableau suivant. La quantité d'éléments varie également suivant le point du parcours du fleuve où on puise l'eau.

NOMS DES VILLES.	POIDS du résidu par litre d'eau	NOMS DES VILLES.	POIDS du résidu par litre d'eau
	grammes.		grammes.
Rhône (Lyon)	0,107	Vesle (avant Reims)	0,190
Moselle (Metz)	0,116	Vienne (Troyes)	0,198
Garonne (Toulouse)	0,137	Doubs (Besançon)	0,230
Saône (Lyon)	0,141	Rhin (Strasbourg)	0,232
Maine (Angers)	0,147	Escaut (Cambrai)	0,294
Seine avant sa jonction avec la Marne	0,178	Deule (avant Lille)	0,308
Marne avant sa jonction avec la Seine	0,180	Loire (Firminy)	0,350
Doller (Mulhouse)	0,184	Lys près Ménin	0,351
Isère (Grenoble)	0,188	Tamise (Greenwich)	0,397
		Tibre (Rome)	0,546

Le carbonate de chaux forme la majeure partie des sels dissous.

Voici la proportion de carbonate de chaux contenue pour 100 parties de sels dissous, dans quelques eaux de fleuve.

NOMS DES VILLES.	PROPORTION de carbonate de chaux dans 100 parties de principes dissous.
Rhône	82 à 94 %
Seine	75
Danube	61
Rhin	55 à 75
Loire	53
Tamise	43 à 57

Les eaux de rivières contiennent aussi des phosphates et enfin une petite quantité d'iode.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les matières organiques qui existent dans ces eaux proviennent des égoûts, des plantes aquatiques, qui se détruisent après avoir vécu et cèdent aux eaux des produits ammoniacaux, enfin des animaux qui vivent dans l'eau douce. La décomposition de ces matières constitue une cause d'insalubrité et dans certains cas il faut prendre des précautions toutes spéciales pour désinfecter l'eau, ainsi que nous le verrons plus tard, en parlant des travaux exécutés dans ce but à Londres et à Paris. En tous cas les eaux chargées de ces matières organiques sont tout à fait impropres à l'alimentation, elles occasionnent à ceux qui les boivent journellement des maladies sérieuses.

En résumé les eaux des fleuves et des rivières prises en dehors des grands centres de population et convenablement filtrées sont considérées comme excellentes pour la boisson et les usages domestiques et industriels.

Bien qu'en principe les eaux de source leur soient préférables, cependant presque toutes les grandes villes sont approvisionnées par les cours d'eau qui les traversent.

Dans les centres importants, la solution la plus satisfaisante consiste souvent à organiser deux services.

L'un pour les eaux de source généralement peu abondantes et qu'on réserve aux usages domestiques.

L'autre pour les eaux de rivière qu'on emploie aux usages grossiers du nettoyage des voies publiques, etc. et dont on peut augmenter facilement le volume disponible.

La température de ces eaux est presque toujours un peu supérieure à celle de l'air quelle que soit la saison, elles ne sont donc pas aussi fraîches que les eaux de source, mais par contre, elles sont plus aérées.

La dérivation des eaux de rivière n'offre rien de bien particulier. Les ouvrages de prise d'eau en rivière consistent en l'établissement de barrages placés en tête des dérivations dans le cas où la prise est établie au-dessus de la ville. On amène l'eau par un canal de dérivation à la hauteur convenable.

On peut encore avoir recours à des conduites souterraines en maçonnerie ou en métal, à des ponts aqueducs ou à des tubes siphons pour le franchissement des vallées.

Dans ces divers cas nous supposons qu'on a pu amener les eaux dans les réservoirs de distribution par leur pente naturelle; mais il arrive souvent que le niveau du cours d'eau est inférieur à celui des réservoirs de distribution ou que ce cours d'eau est séparé de ces réservoirs par un faite. Il faut alors avoir recours à des appareils élévatoires consistant en des pompes mues par des machines à vapeur ou par des machines hydrauliques (roues ou turbines) actionnées par des chutes d'eau. Les eaux sont alors refoulées dans des conduites fermées. L'étude de ces différents moteurs fait l'objet d'une division spéciale à laquelle nous renvoyons le lecteur.

Filtration des eaux de fleuves et de rivières. — Ce qui doit nous occuper tout spécialement, c'est l'examen des divers systèmes employés pour filtrer les eaux d'un fleuve ou d'une rivière distribuées comme eaux potables dans un centre de population.

Cette opération du filtrage s'impose nécessairement, les eaux courantes étant troubles en toutes saisons, comme nous l'avons vu plus haut.

Il est fort simple de filtrer une petite quantité d'eau; mais le problème devient beaucoup plus difficile quand il s'agit de masses considérables.

En effet, si on compte sur la clarification naturelle en abandonnant l'eau au repos dans des réservoirs, l'opération demande un temps très-long. Ainsi les eaux de la Seine et de la Garonne ne deviennent entièrement limpides qu'au bout de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

12 jours d'immobilité. Il faut 15 jours de repos pour clarifier l'eau de la Loire en temps ordinaire et 3 ou 4 semaines en temps de crues.

Outre la nécessité d'avoir des réservoirs immenses, la clarification spontanée entraîne des inconvénients sérieux. Ainsi l'eau stagnante au contact de l'air pendant l'été acquiert une odeur désagréable, et il s'y développe des végétaux cryptogames qui lui communiquent des propriétés nuisibles.

Les réservoirs de décantation ne sont donc propres qu'à débarrasser les eaux des particules les plus grossières; pour opérer la clarification complète il faut faire usage de *filtres* pouvant retenir les matières très-tenues qui sont entraînées, et absorber les principes nuisibles. Malheureusement en privant les eaux des gaz nuisibles, les filtres absorbent en même temps ceux qui sont nécessaires.

Ces considérations suffisent à montrer la complication du problème.

Deux grands systèmes de filtration peuvent être employés pour la clarification des eaux publiques :

La filtration naturelle et la filtration artificielle.

Le choix à faire entre ces deux systèmes dépend des circonstances où l'on se trouve placé.

Filtration naturelle. — La méthode de la filtration naturelle qui consiste à se servir comme corps filtrants des sables et des graviers avoisinant les cours d'eau et constituant leur lit, ne réussit que si la rivière a une forte pente, comme la Garonne à Toulouse, le Rhône à Lyon et à Tarascon, le Danube à Vienne. Dans le cas contraire on choisit la filtration artificielle.

Chacun de ces systèmes présente d'ailleurs des avantages et des inconvénients particuliers, ainsi que le fait ressortir M. *Aristide Dumont* dans une note lue à l'Académie des sciences, et dont nous reproduisons les principaux passages :

« Si dans la filtration naturelle le nettoyage du filtre n'est point nécessaire, s'il est effectué par la rivière, en compensation on n'est point maître d'augmenter à volonté la pression sur les filtres; cette pression diminue à mesure que la rivière se rapproche de son étiage, en sorte que le volume filtré est d'autant moins considérable que cette dernière est plus basse. Dans la filtration artificielle il faut, de temps en temps il est vrai, nettoyer les filtres, mais cela n'entraîne pas à des frais considérables. La pratique possède aujourd'hui deux moyens de nettoyage facile et consacrés par une longue expérience; ces deux moyens sont :

1° le ratelage à bras d'homme des légères couches de limon déposées sur la superficie des filtres;

2° L'établissement d'un courant en sens inverse, en faisant arriver l'eau à la partie inférieure de ces même filtres.

Quelquefois ces deux moyens de nettoyage sont employés simultanément, comme à Paisley en Écosse; le simple ratelage des couches supérieures est en usage dans un grand nombre d'établissements en Angleterre.

Des expériences positives ont démontré :

1° Que le volume d'eau qui passe à travers une couche de sable est proportionnel à la pression et en raison inverse de l'épaisseur;

2° Qu'après le passage d'un grand volume très-chargé de matières en suspension, ces dernières quelle que soit leur ténuité, ne pénètrent pas au-delà d'une épaisseur de 2 centimètres et qu'à 15 centimètres il est impossible de découvrir la moindre souillure du sable.

Ce dernier fait explique pourquoi les filtres naturels ne s'engorgent jamais, parce que cette mince couche, se déposant sur le fond du lit de la rivière est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sans cesse nettoyée et renouvelée par le courant; il démontre aussi qu'il est inutile de donner à la couche de sable des filtres artificiels une épaisseur de plus de 20 centimètres, pourvu qu'on ait soin de renouveler la surface de temps en temps; qu'il est possible de réduire la couche de support du sable à quelques centimètres. »

Comme prix de revient de clarification opérée sur une grande échelle on peu fixer la moyenne suivante :

La filtration artificielle ne revient, dans plusieurs grands établissements qu'à $\frac{8}{10}$ de centime par mètre cube, y compris tous les frais annuels de main d'œuvre, renouvellement de couches filtrantes, élévation d'eau sur les filtres, intérêts des sommes dépensées pour la construction des appareils.

Telle que M. Aristide Dumont l'a réalisée à Lyon, la filtration naturelle coûte $\frac{7}{10}$ de centime.

Si on recherche le prix moyen de l'élévation de l'eau on trouve que pour élever 1 mètre cube d'eau à 50 mètres de hauteur il ne faut pas dépenser plus de 1 centime et que cette dépense croît peu avec la hauteur.

De ce qui précède, M. Aristide Dumont conclut que :

1° Les grandes villes ne doivent pas demander leurs eaux à une seule source d'approvisionnement, et que lorsqu'elles dérivent des sources, il est avantageux de spécialiser ces dernières aux seuls besoins domestiques, en leur affectant une canalisation spéciale;

2° Que l'emploi rationnel des machines et des moyens de filtrage naturel ou artificiel, suivant les cas particuliers où l'on se trouve, mais moyens toujours possibles, économiques, applicables aux eaux de toutes les rivières, ouvre aux distributions d'eaux des sources d'approvisionnement indéfinies, élastiques, essentiellement économiques, toujours appropriées aux véritables besoins à satisfaire;

3° L'élévation et la clarification artificielle des eaux, opérées en masse et économiquement, sont une conquête de l'industrie, tandis que les dérivations de sources ne constituent que la répétition d'un procédé employé par les civilisations primitives et qui ont toujours pour effet de priver certaines contrées des eaux qui leur sont nécessaires; il convient donc de les limiter autant que possible;

4° Qu'au point où la pratique est parvenue aujourd'hui, la filtration artificielle est presque aussi économique que la filtration naturelle; qu'elle a de plus l'avantage d'être plus élastique, de pouvoir être mieux réglée d'après les besoins, de n'être point soumise aux caprices d'un fleuve dont on n'est pas toujours maître.

Nous ferons suivre ces considérations générales de la description des divers travaux exécutés pour le filtrage naturel des eaux de la Garonne à Toulouse, de la Loire à proximité d'Angers, du Rhône à Lyon et à Beaucaire.

1° Les galeries de filtration des eaux de la Garonne à Toulouse ont les dispositions suivantes :

L'une de ces galeries placée parallèlement au fleuve à une distance moyenne de 40 mètres a une longueur de 250 mètres, son fond est à $1^m,14$ au-dessous des plus basses eaux de la rivière.

Les eaux filtrées arrivent dans un aqueduc en briques superposées sans ciment et recouvert de dalles en pierre. Les dimensions de cet aqueduc sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

intérieurement : 0,60 de largeur ; 1m,50 de hauteur. Il est entouré de gros cailloux lavés et recouverts par une couche de graviers de 66 cent. d'épaisseur, on a remblayé ensuite l'excavation avec de la terre sablonneuse et on a semé du gazon à la surface, fig. 2.

Cette galerie fournit 2,800 mètres cubes d'eau par jour, soit 20 mètres cubes par mètre carré de surface totale.

2° La galerie de filtration des eaux de la Loire près d'Angers est creusée dans

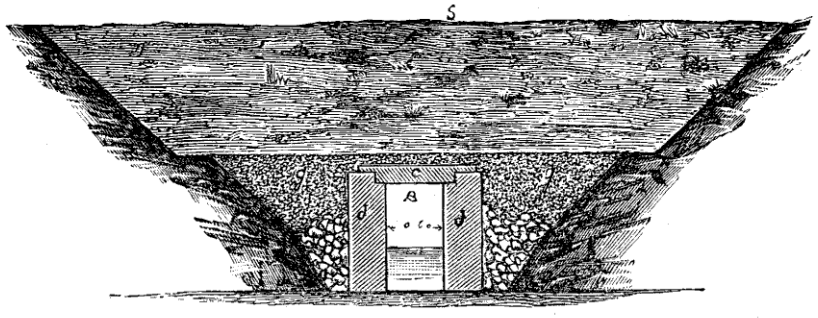


Fig. 2. — Galerie de filtration des eaux de la Garonne à Toulouse.

une île qui contient un des quartiers de la petite ville de Ponts de Cé. Elle donne une eau fraîche et limpide.

3° A Lyon, les eaux du Rhône sont également clarifiées au moyen d'un filtre naturel creusé dans le lit du fleuve.

La galerie de filtration établie tout d'abord avait 120 mètres de longueur et

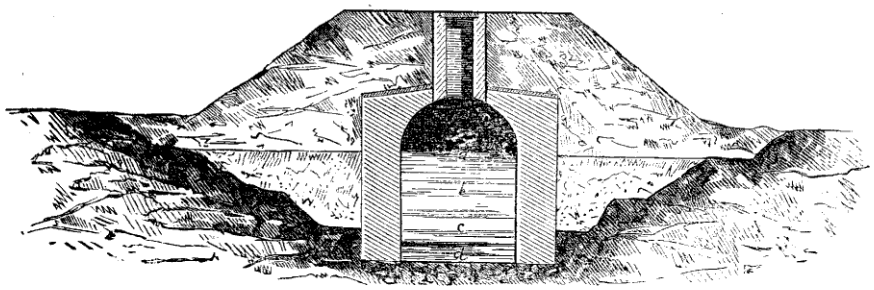


Fig. 3. — Galerie de filtration des eaux du Rhône à Lyon.

5 mètres de largeur dans œuvre ; elle était couverte par une voûte supportée par deux culées fondées à 3 mètres en contre-bas de l'étiage, et présentait une surface filtrante de 600 mètres carrés, fig. 3.

Cette première galerie ayant été insuffisante on pratiqua un puisard ou premier bassin filtrant contigu à la galerie précédente, et ayant une longueur intérieure de 44 mètres et une largeur dans œuvre de 38m,50.

Ce bassin fut creusé à 3 mètres en contre-bas de l'étiage, il fut couvert par une série de voûtes d'arêtes en maçonnerie de moellons, supportées par des piliers de même maçonnerie et par des culées fondées seulement au niveau de l'étiage. Les talus furent maintenus au moyen d'un perré en pierres sèches incliné à 45° et qui se prolonge jusqu'au plafond : ce puisard étant séparé du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Rhône par la galerie de filtration il ne peut recevoir que des eaux de sources qui arrivent parfaitement claires, ou des eaux de fond, (Voir la pl. III).

La surface filtrante du bassin est de 1,600 mètres cubes ce qui donne pour la surface totale filtrante de la galerie et du premier puisard 2,200 mètres cubes.

Cette surface ne put pas suffire à fournir les 20,000 mètres cubes d'eau par 24 heures jugés nécessaires pour l'alimentation des services publics et particuliers de la ville de Lyon. Dès que l'eau du Rhône descendait à l'étiage le produit se réduisait à 10,000 mètres cubes.

Ceci est facile à comprendre : Quand on retire les eaux contenues dans le bassin de filtration à l'aide des machines et qu'on la refoule dans les conduites de distribution, il se produit une dépression dans le niveau du bassin qui n'a aucune communication directe avec le Rhône et ne se lie avec lui que par la perméabilité du fond de gravier dans lequel il est creusé. Cette dépression attire

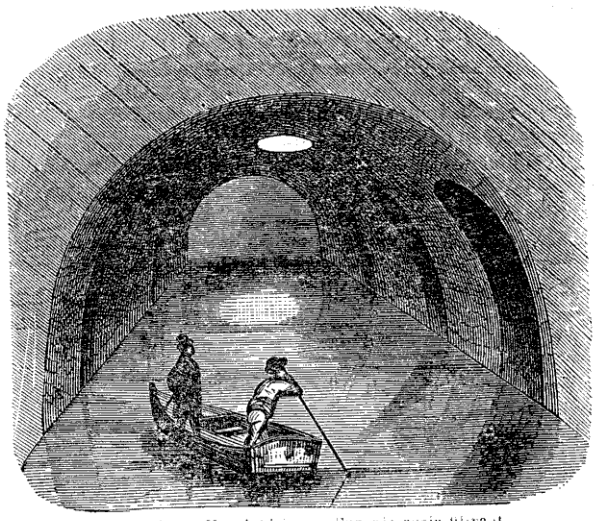


Fig. 4. – Vue intérieure d'un réservoir filtrant.

les eaux du Rhône qui se rendent dans le bassin par leur propre poids en traversant les graviers perméables et en se filtrant dans les premières couches sans cesse lavées et renouvelées qui tapissent le fond du fleuve. Seulement ce filtre ne fournit de l'eau qu'en raison composée de la surface du fond perméable et de la dépression ; entre ces deux quantités, c'est la dernière qui influe surtout sur le volume d'eau filtré de sorte que quand le Rhône croît de quelques décimètres, il arrive dans la galerie une masse d'eau suffisante pour satisfaire au service.

On peut dire que le volume d'eau filtré s'accroît proportionnellement à la surface des filtres et dans une proportion géométrique avec la hauteur de la dépression.

Comme on ne pouvait pas pousser la dépression au-delà d'une certaine limite en puisant de l'eau dans la galerie, attendu que les murs d'enceinte et la perfection du filtrage eussent pu en souffrir, on fut amené à créer un troisième bassin filtrant ayant une surface filtrante intérieure horizontale de 2,168 mètres cubes et recouvert par une série de voûtes en arêtes de $6^{m},50$ d'ouverture, de 0,50 d'épaisseur à la clef et reposant sur des piliers circulaires de $1^{m},70$ à la base et de $1^{m},50$ au sommet soit $1^{m},60$ de diamètre moyen.

Les murs extérieurs ayant 2 mètres de largeur sont fondés au niveau de l'étiage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Des regards furent établis sur le bassin filtrant, et continués dans l'intérieur du massif surmontant le bassin par des cheminées permettant d'y descendre.

Il n'est pas inutile de consigner ici les expériences qui furent faites pour déterminer la température des eaux puisées dans les bassins de filtration. Elles eurent lieu pendant les mois d'avril et de mai 1857 et donnèrent les résultats suivants :

JOURS D'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE DE L'EAU		
	Du Rhône.	De la galerie.	Des réservoirs
	degrés.	degrés.	degrés.
7 avril 1857.	12,50	13,00	13,00
21 avril 1857.	13,00	12,00	12,00
1er mai 1857.	9,25	11,00	10,75
18 mai 1857.	18,00	13,00	13,00

Il ressort de là que la température des eaux de la galerie et des réservoirs est à peu près invariable et ne diffère pas de celle des puits.

Les eaux se rendent de la galerie de filtration dans un puisard couvert placé sous les pompes des machines où chacune d'elles peut puiser isolément.

Le volume d'eau de filtration que ce puisard reçoit de la galerie et des bassins filtrants est réglé par une vanne qui peut se manœuvrer du dehors.

Les eaux sont refoulées dans les réservoirs de distribution par 3 machines de Cornouailles à détente et à condensation, alimentant la première, le réservoir du bas service, la seconde, le réservoir du haut service et la troisième pouvant fonctionner à volonté pour le haut ou pour le bas service. Chacune d'elles est de 170 chevaux de force.

Les beaux travaux de distribution d'eau de la ville de Lyon ont été exécutés par M. Aristide Dumont.

4° A la roche de Comps (près de Beaucaire) où se trouve établie l'usine hydraulique qui refoule jusqu'à Nîmes les eaux filtrées du Rhône, la prise d'eau se compose : d'une galerie de filtration, d'une galerie d'amenée qui conduit les eaux depuis la galerie jusqu'aux machines, et des puisards des machines (1).

La galerie de filtration, la plus grande de toutes celles qui ont été exécutées jusqu'à ce jour, a 500 mèt. de longueur; c'est une voûte en arc de cercle d'un rayon de 5 ,75, construite en maçonnerie ordinaire de chaux hydraulique du Theil.

L'ouverture intérieure de la galerie entre les culées est de 11 mèt., l'épaisseur à la clef est de $0^m,60$, l'épaisseur aux naissances de $1^m,40$. (Voir la pl. III.)

Les culées sont fondées sur le gravier au niveau de l'étiage, elles ont 3 mèt. d'épaisseur avec une retraite de $0^m,50$, à 1 mèt. au-dessus de l'étiage.

Le radier filtrant est une demi-ellipse ayant 8 mèt, au grand axe et 3 mèt. au petit axe; de chaque côté sont deux berges en gravier de 1 mèt. de largeur chacune.

La galerie a une surface filtrante de 5,500 mèt., cubes. Comme en l'état ordinaire il n'y a pas de communication directe entre le fleuve et l'intérieur de la galerie placée au bord et parallèlement à celui-ci, les eaux n'arrivent à la

(1) Les plans de l'usine hydraulique de la Roche de Comps, des réservoirs et de la canalisation sont exposés dans la classe 66. (Travaux exécutés par M. Aristide Dumont, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées en 1871).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

galerie que par filtration à travers la masse de graviers dans lesquels elle est creusée.

Quand on puise l'eau à l'aide des machines il s'établit un courant; les eaux de la galerie se rendent dans les puisards, elles baissent dans l'intérieur de la galerie et le Rhône exerce par suite une pression qui donne naissance à une filtration à travers les couches de gravier. Il s'établit sur toute la surface du radier filtrant des sources artificielles.

Quand le régime est atteint, c'est-à-dire quand il y a équilibre entre l'aspiration des machines et le produit des sources artificielles dont il est parlé ci-dessus, le niveau de l'eau dans la galerie de filtration demeure constant.

Le dessus du radier de la galerie de filtration et de la galerie d'amenée est à 2 mèt. en contre-bas de l'étiage du Rhône à la Roche de Comps.

Il est important qu'aucune filtration n'ait lieu dans le radier des puisards des

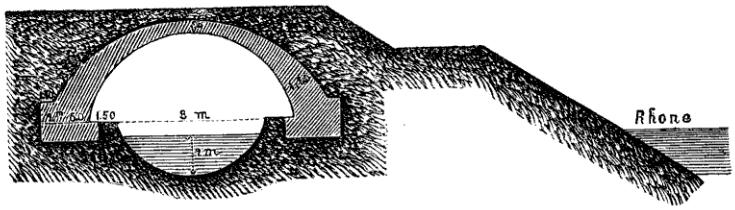


Fig. 5. — Coupe de la galerie de filtration des eaux du Rhône à la Roche de Comps.

machines ni dans celui de la galerie d'amenée, car dans le cas contraire la solidité des massifs qui supportent les machines et les pompes pourrait être compromise. On a en conséquence dallé les puisards et on a constitué la galerie d'amenée en tuyaux de tôle noyés dans un massif de béton hydraulique.

La vitesse de la filtration est telle que chaque mètre carré de surface filtrante débite par heure 5 à 6 mèt. cubes d'eau; de sorte que quand le Rhône est à l'étiage la galerie de filtration peut fournir au moins 30,000 mèt. cubes d'eau par 24 heures; c'est là le cas le plus défavorable.

Il est inutile de répéter ici ce que nous avons dit plus haut relativement au nettoyage naturel du filtre dont la permanence est assurée aussi bien qu'à Toulouse et à Lyon.

Pour se mettre en garde contre toutes les éventualités on a disposé à la queue de la galerie un aqueduc de 2 mèt. de largeur dont le radier est à $0^m,75$ au-dessous des plus basses eaux du fleuve, de sorte qu'on peut au besoin introduire directement et à volonté les eaux du Rhône dans la galerie, fig. 5.

Cet aqueduc est ordinairement fermé par une vanne; une autre vanne ferme la galerie en tête et sert à permettre son accès pour réparation ou nettoyage,

Les regards pratiqués au sommet de la voûte de la galerie sont fermés par des plaques en fonte pour que dans les crues exceptionnelles, quand la galerie peut être recouverte d'eau, la filtration puisse s'opérer comme en temps normal.

Cette galerie a coûté 600 francs par mètre carré (tout compris). A Lyon les galeries de filtration ne sont pas revenues à moins de 1000 francs par mètre courant.

A Nîmes la filtration naturelle ne revient pas à plus de $0^f.003$ par mèt. cube. Nous avons dit plus haut qu'à Lyon le prix de cette filtration pouvait être évalué à 0,007 et que le filtrage artificiel tel qu'il est pratiqué à Londres ne s'élève pas à plus de 0,005.

L'abaissement du prix de revient à Nîmes, comparativement à celui de Lyon

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

provient de ce que la dépense de l'appareil de filtrage à Nîmes a été beaucoup moins élevée qu'à Lyon pour un volume d'eau quotidien supérieur, ce qui est dû à l'heureuse situation de la galerie, à son grand diamètre et à l'été exceptionnel pendant lequel cette galerie a été construite, sans pilotage et sans épuisement coûteux.

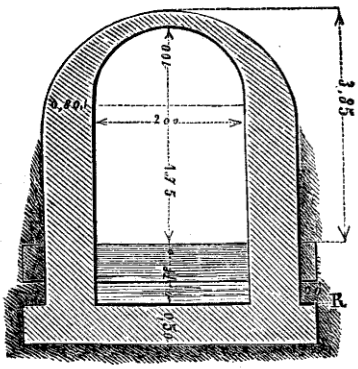


Fig. 6. — Aqueduc pouvant servir à l'introduction des eaux du fleuve dans la galerie de filtration.

Si on se base sur les résultats obtenus à Nîmes en 1871, on voit qu'il n'y a pas de règle absolue à établir sous le rapport du prix de revient de la filtration naturelle et de la filtration artificielle. Si la première est heureusement disposée, elle peut être plus économique que la seconde. Mais il ressort de là un fait indiscutable c'est qu'on peut filtrer facilement et économiquement de grandes masses d'eau.

Si nous nous sommes étendu aussi longuement sur la description des travaux de filtration exécutés à la Roche de Comps pour l'alimentation de la ville de Nîmes en eau potable c'est que ces travaux ont une importance capitale. Ils font le plus grand honneur à l'éminent ingénieur en chef des ponts et chaussées, M. Aristide Dumont, qui les a dirigés et exécutés de 1869 à 1871 en un laps de temps relativement très-court.

Le public pourra d'ailleurs apprécier tous les détails de ce grand travail qui figure à l'Exposition universelle de 1878.

Des filtres naturels existent à Tours (Indre-et-Loire), à Nottingham (Angleterre), à Perth (Écosse), etc.; ils s'établissent avec succès le long des rivières dont la vitesse à la surface de leur lit de sable ou de gravier est suffisante.

Quand on a affaire à des cours d'eau où cette vitesse n'est pas suffisante, on est obligé d'avoir recours au filtrage artificiel dont nous allons examiner les procédés principaux.

Filtrage artificiel. — D'une manière générale, la filtration artificielle qui n'est qu'une imitation de la filtration naturelle consiste à faire passer l'eau à travers une couche de sable et de gravier.

Les filtres artificiels peuvent être disposés de bien des manières. Ainsi à Londres ce système est employé pour la clarification des eaux de la Tamise.

A Bettersea, fig. 7, au-dessus de Londres, sont placés deux réservoirs creusés dans le sol, ayant 4 mèt. de profondeur et 5,000 mèt. de surface; à côté d'eux on a établi deux bassins filtrants de 80 mèt. de long et de 58 mèt. de large.

L'eau de la Tamise arrive directement par un canal dans le réservoir au fond duquel se trouve une rigole circulaire destinée à recueillir le dépôt des matières en suspension dans l'eau. Cette dernière se trouve donc un peu purifiée et passe du réservoir dans le bassin filtrant qui lui fait suite en s'écoulant par des canaux en maçonnerie percés de trous.

Ces canaux sont établis au-dessus d'une couche filtrante composée ainsi qu'il suit :

Gravier	0m,30	hauteur totale 1m,70.
Sable grossier	0 ,25	
Sable fin	0 ,15	
Sable de rivière	1 ,00	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'eau qui a traversé cette couche, est reprise par des canaux qui la versent dans un collecteur aboutissant aux machines qui la refoulent jusqu'aux étages les plus élevés des maisons de la ville.

Ces filtres fournissent 9800 mètres cubes d'eau par 24 heures, de temps en temps on procède au nettoyage complet des bassins.

Dans le quartier de Chelsea, à proximité de Bettersea, on a installé un système analogue. Un double jeu de réservoirs de clarification et de bassins filtrants

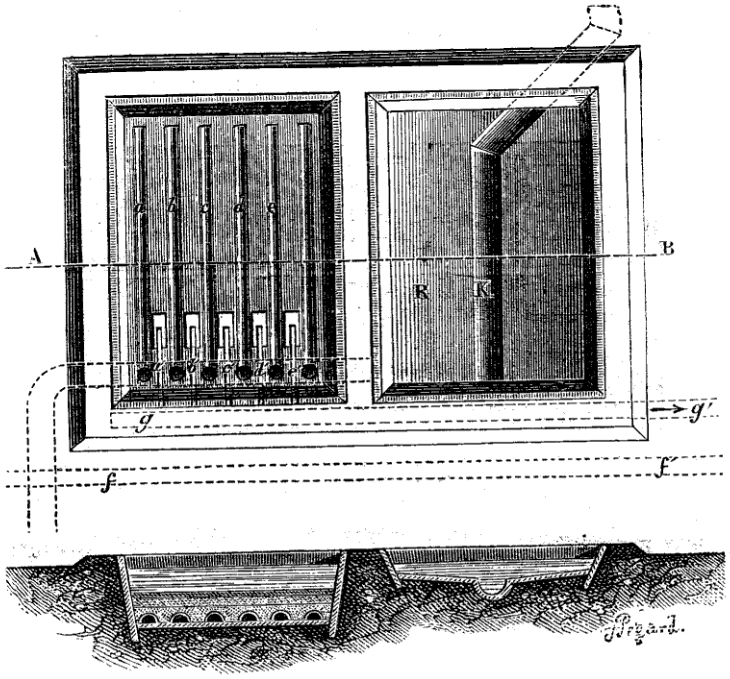


Fig. 7. — Réservoir et bassin filtrant de Bettersea.

peut fournir par an 5000000 de mètres cubes d'eau; chaque bassin filtrant à 75 mètres de longueur et 55 mètres de largeur.

L'un des filtres fonctionne pendant qu'on nettoie l'autre.

La composition de la couche filtrante des réservoirs de Chelsea est la suivante :

	Épaisseur.	
Sable fin de mer	0m,60	2m,05
Sable gravier	0 ,30	
Coquilles de mer	0 ,15	
Gros gravier dans lequel sont engagés les collecteurs.	1 ,00	

La Cie de Southwark a des filtres artificiels composés comme suit :

	Épaisseur.	
Sable fin de mer	0m,60	1m,64
Sable et gravier	0 ,30	
Gravier fin	0 ,22	
Gravier gros	0 ,22	
Cailloux	0 .30	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La ville de Hall en Angleterre, est approvisionnée d'eau filtrée par le même système. L'établissement hydraulique permet de fournir 177 litres d'eau par habitant et par jour.

On peut citer encore la disposition adoptée à Berlin pour clarifier les eaux de la Sprée :

Deux réservoirs A et B communiquent au moyen de 4 filtres *a*, *b*, *c*, *d*, fig. 8.

Chaque filtre est constitué par une couche filtrante de 1m,40 d'épaisseur ; à la partie inférieure du bassin filtrant et en son milieu, se trouve d'abord une conduite percée de trous à sa partie supérieure, pour permettre à l'eau filtrée de s'y engager. Elle est entourée d'une sorte de canal en pierre sèche. La première couche filtrante se compose de cailloux de la grosseur du poing ; la seconde est placée au-dessus du gravier, enfin la troisième est constituée par du sable

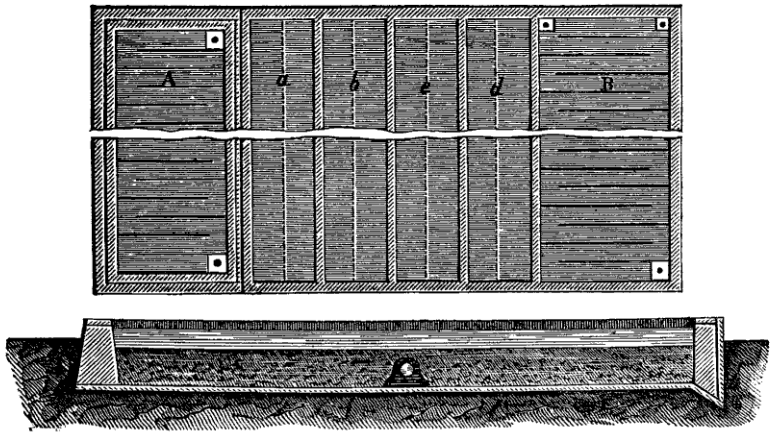


Fig. 8. — Clarification des eaux de la Sprée à Berlin.

moyen. L'eau de la rivière qui a été élevée par des machines à vapeur et introduite dans les deux réservoirs coupés de murs, se rend de là dans les bassins de filtration, elle est reprise par des conduites qui se trouvent au fond de ces bassins, pour se rendre dans un collecteur général et de là dans les conduites de la ville, fig. 11.

A Marseille, on emploie pour clarifier les eaux de la Durance des filtres artificiels couverts, qui fournissent par mètre carré de surface filtrante et par 24 heures 13 mètres cubes d'eau.

La couche est ainsi constituée :

Sable très-fin de Montredon.	0m,30	hauteur totale 0m,80.
— moyen de Gondes.	0 ,08	
Gros sable de Riom.	0 ,18	
Petit gravier du Prado de Marseille. . . .	0 ,12	
Pierres concassées passant au travers d'un anneau de 0,06.	0 ,12	

Le nettoyage de ces filtres s'opère en faisant passer un courant d'eau de bas en haut, c'est-à-dire dans le sens opposé dans lequel se fait la filtration, mais leur fonctionnement n'est pas irréprochable.

Un dernier système est celui en usage à Glascow, il est connu sous le nom de système à gradins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les eaux commencent à se clarifier par le repos dans deux grands réservoirs, contenant l'un 349000 mètres cubes, l'autre 1 million de mètres cubes et coulent de là dans les bassins de filtration contenant des couches en gradins.

Elles rencontrent d'abord des sables grossiers, puis des cailloux, du sable fin, et tombent de là dans un réservoir inférieur. Des conduites aboutissant à la partie basse de ce réservoir, reprennent les eaux clarifiées.

Chacune des couches filtrantes est séparée de la précédente par une cloison percée de canaux munis d'écluses automatiques. Les eaux qui ont passé à travers une des couches, se rendent dans la couche inférieure par ces canaux.

Nous avons indiqué dans le chapitre précédent, la disposition des citernes de Venise, qui ne sont autres que des réservoirs filtrants bien combinés.

Signalons enfin une disposition applicable au cas où l'on aurait à exécuter une distribution peu importante d'eau provenant d'un cours d'eau, d'un marais, etc. Il est indispensable dans ce cas, de filtrer le liquide, et on y arrive en plaçant sur la conduite de distribution, une chambre en maçonnerie hydraulique recouverte intérieurement d'une couche de ciment.

Cette chambre, est divisée en 4 compartiments, chaque cloison de séparation est munie d'une ouverture; chaque réservoir est rempli de sable et de charbon de bois en menus morceaux. Le sable retiendra les impuretés et la vase, le charbon désinfectera l'eau. Celle-ci passe successivement dans chaque compartiment et reprend son cours dans la conduite de sortie.

Les dimensions de ces filtres sont subordonnées au volume d'eau à fournir et à son degré d'impureté.

Nous n'ajouterons rien à ce qui précède concernant la filtration artificielle opérée en grand; les exemples donnés ci-dessus permettant de se rendre un compte suffisamment exact du principe de cette filtration.

Filtration de l'eau dans les maisons particulières. — Dans l'intérieur des habitations particulières, on emploie des fontaines filtrantes quand l'eau qui y est distribuée n'a pas été purifiée en grand.

Le cas se présente à Paris pour l'eau de Seine destinée à la boisson.

Il existe un très-grand nombre de systèmes qui semblent différer en apparence, mais qui en réalité sont fort simples, et ne se distinguent les uns des autres que par la nature des matières filtrantes et la manière dont on les dispose.

Les anciens employaient pour purifier l'eau, des vases en terre poreux. L'eau suinte à travers leurs parois et se clarifie en les transversant.

Dans cet ordre d'idées, rappelons les principaux systèmes ayant pour but le filtrage de petites quantités d'eau.

Le filtre Vedel Bernard, à haute pression qui sert pour clarifier les eaux des fontaines marchandes, consiste en un cylindre hermétiquement clos, dans lequel on a placé des couches successives de déchets d'éponge ou de laine préparée au tannate de fer, de grès, de charbon et de gravier. L'eau arrive en pression à la partie supérieure du cylindre, et sort à la partie inférieure après avoir traversé les couches filtrantes.

1 m² de surface filtrante sous une charge d'eau de 15 mètres donne environ 90 mètres cubes d'eau par 24 heures.

Dans les habitations, on se sert toujours de la fontaine de ménage dont le principe est de faire passer l'eau à travers un filtre en pierre.

D'autres systèmes consistent à faire traverser par l'eau, un feutre fortement comprimé, maintenu entre 2 grilles de fer galvanisé, et rendu imputrescible par une préparation de cachou. On complète le filtre par l'addition d'une couche de charbon au-dessus du feutre. Le débit de cet appareil est plus considérable que celui du filtre de ménage en pierre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mais l'emploi de matières animales présente des inconvénients; aussi des recherches ont elles été faites pour constituer des filtres avec des pierres suffisamment poreuses pour donner un débit convenable.

Nous aurons à examiner ce qui figurera de nouveau dans cet ordre d'idées à l'Exposition de 1878.

Réservoirs de distribution. — Les réservoirs de distribution se divisent en deux classes :

1° Réservoirs d'approvisionnement;

2° Réservoirs d'emmagasinement établis dans le but de faciliter la distribution,

Réservoirs d'approvisionnement. — Les réservoirs du premier genre servant de base à la distribution doivent avoir une très-grande capacité de manière à contenir le volume d'eau nécessaire à une consommation journalière pendant plusieurs mois. Tels, sont par exemple les réservoirs que l'on forme en barrant des vallées.

On trouve un assez grand nombre d'ouvrages de cette sorte, il suffira de citer quelques uns d'entre eux :

			Capacité
Réservoir	de Gros bois	sur le canal de Bourgogne. . .	8,586,000^{mc},
—	de Saint-Féréol	sur le canal du midi.	6,374,000^{mc},
—	de Vierau	— de Nantes à Brest.	7,427,000^{mc},
—	du Boulet	— d'Ille et Rance. .	6,000,000^{mc},
—	de Givors.		2,000,000^{mc},

Nous donnons fig. 23, pl. II, la coupe du barrage réservoir établi en Espagne sur le Rio Lozoya pour l'alimentation de Madrid d'après l'ouvrage déjà cité de M. Maurice Aymard.

La dérivation du Rio Lozoya appelée canal d'Isabelle II, a une longueur totale de 70,040 mèt. sa portée d'eau est de 1200 litres par seconde. Il est principalement destiné à alimenter la ville de Madrid en eau potable.

Pour avoir une dénivellation suffisante entre le point de départ des eaux et leur point d'arrivée, on fut obligé de relever le niveau du Lozoya de 19^{m},78. C'est l'objet du barrage réservoir dont nous avons donné le croquis.

Ce réservoir ne sert donc qu'accessoirement à l'emmagasinement des eaux.

Les réservoirs d'approvisionnement sont remplis par les eaux de ruisseaux, de rivières, de sources, par les eaux pluviales, de drainage, etc., en un mot par toutes celles que l'on peut recueillir.

Dans leur établissement, il faut tenir compte du volume d'eau qui tombe annuellement dans la localité; du pouvoir absorbant du sol, de l'évaporation, des infiltrations et des fuites.

On se rend compte de ces causes diverses de déperdition par une reconnaissance de la nature géologique du sol, et par l'observation directe des étangs des mares, etc.

Les eaux ainsi emmagasinées pendant la saison des pluies, peuvent suffire à l'alimentation d'une ville pendant la saison chaude; l'emplacement du réservoir doit donc satisfaire aux conditions suivantes :

1° Son élévation au-dessus du centre de population à désservir doit être suffisante pour que les eaux y arrivent avec une certaine pression;

2° Le sol sur lequel il est établi doit être suffisamment imperméable;

3° Le réservoir doit pouvoir être facilement rempli par les eaux pluviales, les eaux de source ou une dérivation de cours d'eau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces réservoirs sont fermés par des digues en maçonnerie ou en terre dont l'épaisseur se détermine par les formules connues. Ils sont munis de déversoirs pour l'écoulement des eaux excèdantes et de bondes pour les vider.

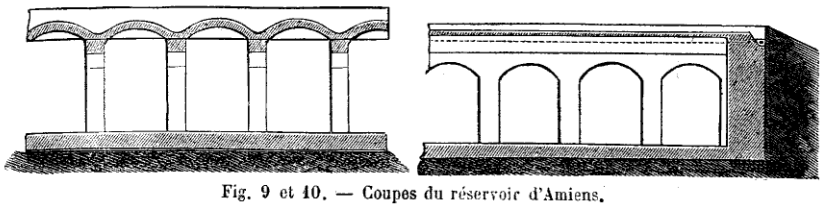


Fig. 9 et 10. — Coupes du réservoir d'Amiens.

Réservoirs d'emmagasinement ou d'alimentation. — La capacité des réservoirs du second genre doit être calculée de manière à suffire à l'approvi-

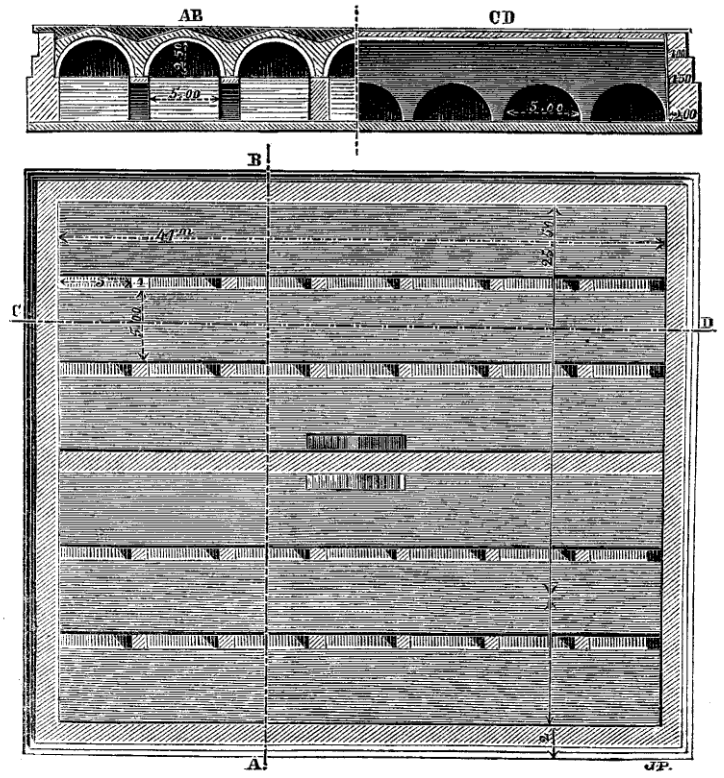


Fig. 11 et 12. — Plan et coupes du réservoir du haut service de Lyon.

sionnement d'un jour. Ces réservoirs servent à compenser les irrégularités de la consommation; ils accumulent pendant la nuit ou pendant les interruptions du service les eaux amenées par des aqueducs ou élevées par des machines, ils sont en maçonnerie ou en tôle. Ils sont couverts et se distinguent eux-mêmes en réservoirs d'approvisionnement et en réservoirs filtrants.

Les réservoirs en tôle ne conviennent qu'à des distributions peu importantes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

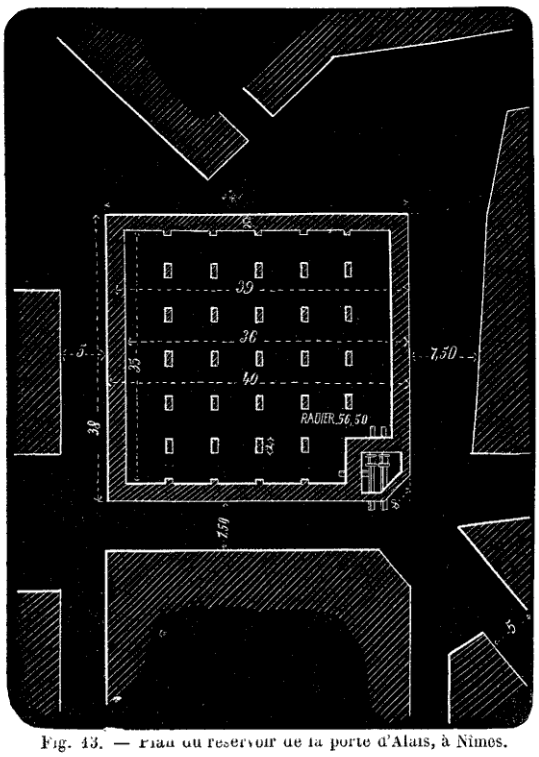


Fig. 13. — Plan du réservoir de la porte d'Alais, à Nîmes.

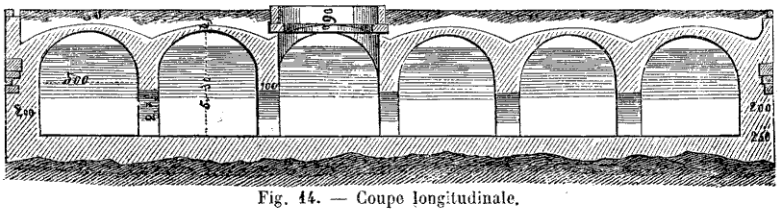


Fig. 14. — Coupe longitudinale.

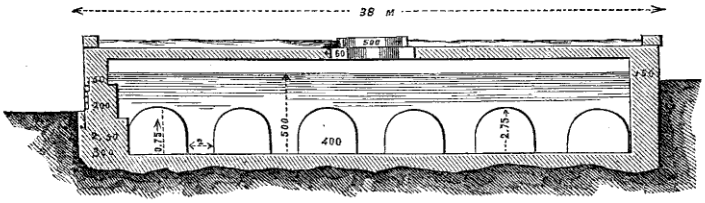


Fig. 15. — Coupe transversale.

Les réservoirs en maçonnerie sont en partie enfoncés dans le sol et entourés d'un mur en moëllons.

Nous avons eu déjà occasion de parler de quelques réservoirs de cette sorte. Leur forme dépend de la place dont on dispose mais le mode de construction

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

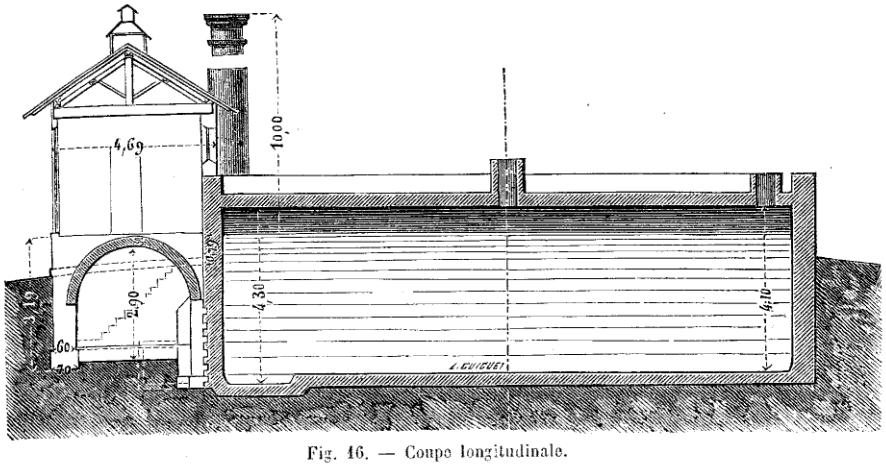


Fig. 16. — Coupe longitudinale.

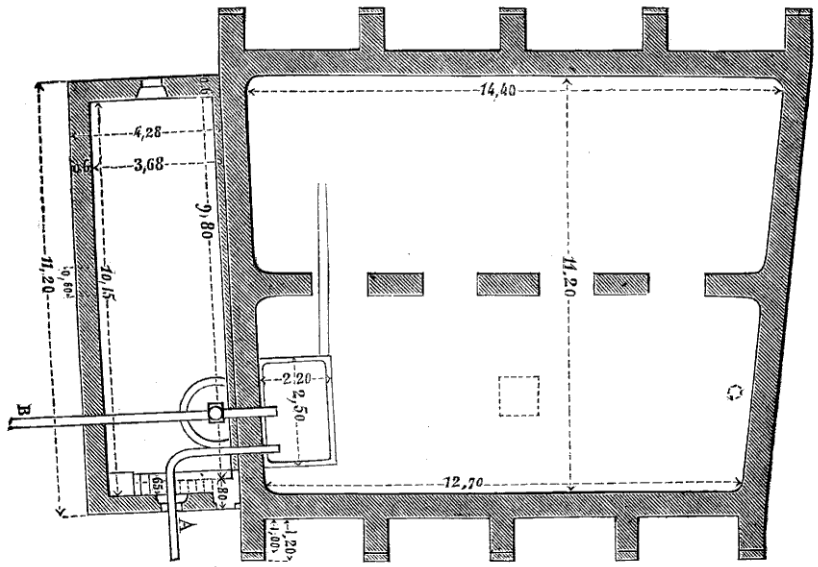


Fig. 17. — Plan du réservoir.

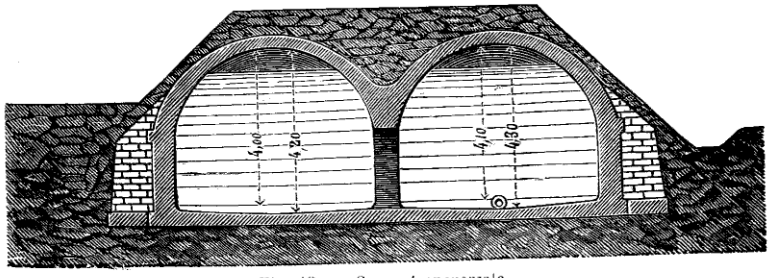


Fig. 18. — Coupe transversale

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

diffère peu. Ainsi l'ensemble du réservoir est toujours divisé en une série d'arcades, dont l'eau occupe tout l'intervalle. Il y a quelquefois deux étages.

Le fond et les parois sont en béton et recouverts d'un enduit en ciment hydraulique. L'eau est habituellement sur une hauteur de 2 à 5 mèt. de sorte que suivant la résistance du sol le fond de béton a $0^m,30$ à 0,70 d'épaisseur.

Les murs d'enceinte, s'ils sont isolés et d'une certaine longueur, ont une épaisseur égale environ aux $^2/_3$ de la hauteur d'eau à supporter.

Le recouvrement se fait au moyen de voutes en maçonnerie. Les figures 9 et 10 représentent les coupes longitudinale et transversale du réservoir d'Amiens construit par **M. Mary**.

Les figures 11 et 12 représentent le plan et les coupes du réservoir du haut service de la distribution des eaux de la ville de Lyon qui a été conçue et exécutée par **M. Aristide Dumont** ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Les figures 13, 14 et 15 donnent la disposition du réservoir de la porte d'Alais exécuté par le même ingénieur pour la distribution à Nimes des eaux filtrées du Rhône. (Voir plus haut les détails relatifs à la galerie de filtration établie à la Roche de Comps).

Le réservoir de la porte d'Alais a une capacité utile de 5000 mèt. cubes sa largeur extérieure est de 40 mèt. et sa longueur de 38 mèt. Il est formé de 6 séries de voutes en plein cintre.

Le sol en rocher qui existe sur l'emplacement de ce réservoir a été arasé au niveau voulu et les murs de l'ouvrage ont été élevés directement sans aucune difficulté.

Enfin, comme dernier exemple, nous donnons ci-dessus, fig. 16, 17 et 18, les détails d'un réservoir construit en 1875 au pied du mont Valérien pour la distribution des eaux de Seine dans la banlieue Ouest de Paris. Ce réservoir peut être considéré comme un excellent modèle de cette sorte de constructions. Il contient 2,668 mètres cubes d'eau.

A côté de ce réservoir on a installé une machine à vapeur qui refoule jusqu'au sommet du mont Valérien un volume d'eau de 20 mèt. cubes à l'heure pour l'alimentation des divers services de la forteresse (1).

Tous les réservoirs que nous venons de citer ont des surfaces moyennes.

Comme exemple de constructions très-importantes, le meilleur modèle est le réservoir de Passy qui a 6,000 mèt. de superficie et qui comprend 3 bassins inférieurs et deux bassins supérieurs représentant une capacité totale de 37,100 mètres cube répartis comme suit :

	Mètres cubes.	Mètres cubes.
Bassin de réserve n° 5.		3,900
Bassin inférieur de Villejust n° 3.	10,000	15,200
— supérieur — n° 4.	6,200	
Bassin inférieur de Bel-Air n° 1.	11,300	17,000
— supérieur — n° 2.	5,700	
Total.		37,100

Les tuyaux de conduites et les tuyaux de vidange débouchent au fond du réservoir, ils sont munis de vannes manœuvrés de l'extérieur, fig. 19.

Le réservoir de Passy reçoit les eaux de Seine élevées par les machines de

(1) Voir pour plus de détails l'étude pratique publiée par MM. Georges Dumont et Henri Doat sur la distribution des eaux de Seine dans les communes de Suresnes Courbevoie, Asnières, Colombes, Gennevilliers, Nanterre et Rueil. Paris 1877.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Chaillot (1). Aucune construction de ce genre n'a plus de hardiesse et de grandeur. Le réservoir est bâti sur un terrain dont le fond est un tuf marneux et compacte; des piliers élevés en quinconce sur les radiers des deux compartiments principaux, portent, au moyen d'arcs de $3^m,20$ d'ouverture une voute en meulière et ciment de Vassy de $0^m,33$ d'épaisseur. Au-dessus s'élèvent les deux bassins supérieurs recouverts d'une voute en briques légères de 7 cent., seulement d'épaisseur à la clef. Le plan d'eau des bassins inférieurs est à la côte 72 mèt., au-dessus du niveau de la mer.; celui des bassins supérieurs est à la côte $75^m,33$.

Le prix des réservoirs couverts varie beaucoup suivant qu'ils sont en déblai ou en remblais. Ces derniers sont les plus couteux.

Il est bon de diviser chaque réservoir en deux compartiments indépendants afin de pouvoir faire les réparations sans interrompre le service.

La meilleure forme à donner aux réservoirs est celle d'un carré long; le diamètre perpendiculaire à la cloison intérieure étant supérieur à l'autre et dans le rapport de 3 à 2.

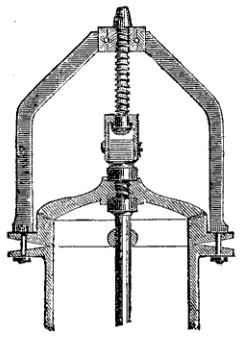


Fig. 19.
Manœuvre des vannes.

La cloison intérieure doit avoir une épaisseur suffisante pour résister à la poussée de l'eau quand l'un des compartiments est vide.

Chaque compartiment est percé d'au moins trois ouvertures :

1° Un orifice de décharge pour rejeter à l'extérieur les eaux sales et vider rapidement le réservoir en cas de besoin;

2° Un orifice d'arrivée qui communique avec la conduite d'adduction;

3° Un orifice de trop plein.

Le radier doit avoir une légère pente vers l'orifice de décharge pour faciliter le nettoyage.

Tels sont les principes généraux à observer dans la disposition des réservoirs.

Nous avons examiné trés-rapidement les diverses questions relatives à la qualité des eaux, à leur filtration à leur dérivation et à leur emmagasinage dans les réservoirs, il nous reste à indiquer les formules et les principes relatifs au mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite et enfin la nature de ces tuyaux.

Formules relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite. — Nous avons dit que les eaux de source et les eaux de rivière ou de fleuve étaient amenées dans des réservoirs de distribution par des canaux ou des conduites fermés, toutes les fois que les circonstances permettaient l'écoulement de l'eau par sa pente naturelle, mais que dans la plus grande généralité des cas, les eaux de distribution devaient être élevées et refoulées dans des conduites fermées jusques dans les réservoirs à l'aide de pompes mues par machines à vapeur ou par machines hydrauliques. Des réservoirs de distribution placés généralement à un niveau plus élevé que les quartiers à desservir, partent des conduites qui amènent l'eau jusqu'aux fontaines publiques et chez les particuliers; il convient donc de donner les principes et les formules relatifs au mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite.

(1) La partie inférieure de ce réservoir a été mis à la disposition de la Cie générale des eaux pendant toute la durée de l'Exposition. On y refoule l'eau de Seine à l'aide de pompes établies sur le quai de Billy. Cette eau est ensuite amenée au Trocadéro et au Champs de Mars pour servir à l'alimentation des jets d'eau et de tous les appareils à haute pression. (Voir le détail des dispositions prises pour assurer ce service, dans le fascicule n° 5, dans la partie réservée à la chronique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le mouvement uniforme de l'eau dans un tuyau de conduite est donné par la formule :

$$av + bv^2 = \frac{1}{4} D \frac{gz - (\pi - P)}{L}$$

a et b sont des constantes dont la valeur est fournie par l'expérience.

v est la vitesse de l'eau dans le tuyau dont le diamètre est représenté par D.

$g = 9^m,808\ 795$.

P est la pression à l'orifice supérieur du tuyau, due à la charge d'eau extrême.

π est la pression à la sortie du tuyau.

L la longueur du tuyau et z la différence de niveau entre les points extrêmes.

Si on évalue P et π en fonction des hauteurs d'eau à l'origine des tuyaux et à la sortie on aura ; en représentant par h et h' la charge d'eau à l'orifice supérieur et à l'orifice inférieur du tuyau :

$$P = hg \text{ et } \pi = h'g.$$

de sorte que la formule précédente deviendra :

$$av + bv^2 = \frac{1}{4} Dg, \frac{z - h' + h}{L}$$

Prony avait indiqué les valeurs suivantes pour a et b.

$$a = 0,000173314 \qquad b = 0,003482590.$$

Mais il résulte des recherches faites par M. Darcy que ces valeurs ont été déduites d'expériences trop peu nombreuses.

M. Darcy a donc recherché directement l'influence de l'état des surfaces sur le débit des conduites et l'influence du diamètre de ces conduites sur la résistance qu'elles opposent au mouvement de l'eau. Les expériences faites par cet Ingénieur ont porté sur des conduites de diamètres très-variés depuis les plus petits jusqu'à ceux de $0^m,50$. Ces conduites étaient en fer étiré, en plomb, en fer bitumé neuves, en verre neuves sans dépots, enfin en fonte neuves ou altérées.

Il a été reconnu que l'état des surfaces influe beaucoup sur le produit des conduites et que les coefficients a et b varient pour les divers diamètres d'un même tuyau et encore d'une espèce de tuyau à l'autre.

En remplaçant a et b par leurs valeurs dans la formule et en posant :

$$J = \frac{z + h - h'}{L}$$

on obtient une nouvelle formule de la forme :

$$\alpha v + \beta v^2 = \frac{1}{4} D J.$$

dans laquelle α est beaucoup plus petit que β.

Dans les calculs ordinaires on néglige donc α et en remplaçant β par sa valeur

$$\beta = 0,0003482590$$

on obtient l'expression simplifiée :

$$v = 26,79 \sqrt{DJ}$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui donne la vitesse moyenne de l'eau quand le mouvement est à l'état de régime c'est-à-dire quand le niveau dans le réservoir alimentaire et dans le bassin de réception se maintient à une hauteur constante.

J représente ici la pente par mètre de la conduite c'est-à-dire la hauteur divisée par la longueur L.

En remplaçant v par sa valeur déduite de l'équation qui exprime la dépense Q par 1″ et qui est :

$$\frac{\pi D^2}{4} \times v = Q$$

on aura :

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \text{ et } Q = 21\sqrt{D^5 J}.$$

Le coefficient 21 varie suivant la vitesse, ses valeurs sont comprises dans le tableau suivant :

Vitesses de :	0,20	valeur du coefficient :	18,83	
—	0,30	—	19,50	
—	0,40	—	19,84	moyenne 20
—	0,50	—	20,07	
—	1,00	—	20,56	
—	2,00	—	20,79	

La formule usuelle devient donc :

$$Q = 20\sqrt{D^5 J}.$$

Cette formule suppose que la conduite est en ligne droite et ouverte à ses deux bouts.

En pratique cette condition ne se réalise presque jamais. La canalisation se compose de tuyaux de différents diamètres, il y a des coudes et des étranglements qui modifient la vitesse et le débit.

Les pertes de charge qui résultent de ces diverses circonstances peuvent se calculer au moyen des formules suivantes ;

1° Perte de charge due à un changement de diamètre, D′ étant le plus petit diamètre. . . . . $p = \frac{Q^2}{12{,}09}\left(\frac{1}{D'^4} - \frac{1}{D^4}\right)$

2° Perte de charge due à un étranglement. . . . . $p' = \frac{Q^2_2}{12{,}09}\left(\frac{1}{mD'^4} - \frac{1}{D^4}\right)$

Pour un étranglement causé par une paroi transversale, m. . . . . = 0,62
Pour un étranglement produit par un tuyau plus étroit que le tuyau antérieur, m. . . . . = 0,82
Pour un étranglement produit par une partie conique qui se trouve entre deux tuyaux de différents diamètres, m. . . . . = 0,90

Pour imprimer une égale vitesse à l'eau dans un tuyau droit ou coudé il faut, d'après Dubual, une augmentation de charge représentée par la formule :

$$0{,}0123\, v^2 s^2$$

v étant la vitesse de l'eau et s le sinus de l'angle de réflexion.

Il y a grand avantage a donner de grands rayons aux conduites principales afin que les pertes de charge y soient relativement très-faibles.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour établir les limites minima qu'il convient d'adopter pour le diamètre des conduites dans chaque cas particulier on se sert des formules suivantes :

Nous supposerons que sur la conduite principale qui tire les eaux d'un réservoir on ait établi plusieurs branchements ou tuyaux répartiteurs placés respectivement à des distances :

$$l, (l+l') \quad \text{et} \quad (l+l+l'')$$

du réservoir et qu'on veuille déterminer le rayon R de cette conduite.

En désignant par q q' et q'' les volumes d'eau débités par chaque branchement; par r, r' et r'' les rayons de ces branchements, et par q_1 le volume qui continue son trajet à partir du branchement n° 3 on aura :

Pour la perte de charge c à l'embouchure du 1er branchement :

$$c = \frac{l\,a(q+q'+q''+q_1)^2}{\pi^2 R^5}$$

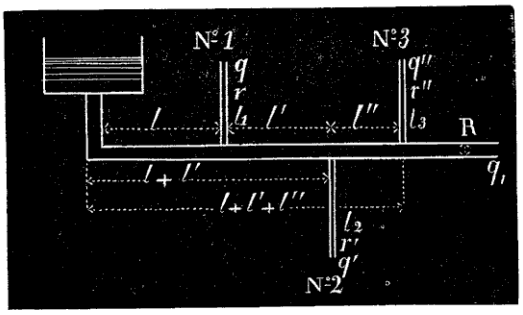


Fig. 20. — Réservoir.

Pour la perte de charge c' entre les branchements n° 1 et n° 2

$$c' = \frac{l'\,a(q'+q''+q_1)^2}{\pi^2 R^5}$$

Pour la perte de charge c'' entre les branchements n° 2 et n° 3 :

$$c'' = \frac{l''\,a(q''+q_1)^2}{\pi^2 R^5}$$

On pourra donc calculer les pertes de charge :

$$c; \ (c+c'); \quad (c+c'+c'')$$

Et si on désigne par h, h' et h'' les différences de niveau existant entre le réservoir et le dessus des hauteurs piezométriques qu'on veut maintenir à l'extrémité de chaque branchement, on pourra faire les différences :

$$h-c; \quad h'-(c+c'); \quad h''-(c+c'+c'')$$

qui représentent les pertes de charge qui auront lieu dans les diverses parties de la conduite principale; de sorte que si l_1 l_2 et l_3 représentent les longueurs des différents répartiteurs on pourra poser les 3 équations :

$$q^2 = \frac{\pi^2 r^5}{a} \frac{h-c}{l_1}$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

$$q'^2 = \frac{\pi^2 r'^5}{a} \cdot \frac{h' - (c + c')}{l_2}$$

$$q''^2 = \frac{\pi^2 r''^5}{a} \cdot \frac{h'' - (c + c' + c'')}{l_3}$$

Si donc on se donne $q, q' q''$ et q_1 ainsi que les quantités :

$$h - c; \quad h' - (c + c'); \quad h'' - (c + c' + c'')$$

les équations précédentes permettront de déterminer les rayons r, r' et r''.

Le rayon R de la conduite principale se déterminera par la condition de laisser couler le volume total avec une perte de charge aussi faible que possible.

1° Les volumes q, q' et q'' se calculent d'après le nombre de bornes fontaines à desservir et en supposant que chacune d'elles puisse débiter 100 à 250 litres par minute, quantité nécessaire pour le lavage des rues et le service des pompes à incendie.

Si sur un de ces branchements, (le n° 1 par exemple) il se trouve n bornes fontaines, on aura pour la dépense totale par seconde du branchement :

$$q = \frac{100\, n}{60''} \text{ à } \frac{250\, n}{60''}$$

Si le branchement ne dessert pas de bornes-fontaines (comme cela arrive dans les nouvelles distributions), on le calculera d'après la population qu'il doit alimenter, d'après le volume d'eau à fournir pour l'arrosage à la lance des rues, etc., et enfin d'après le volume à attribuer aux établissements industriels, aux fontaines monumentales et aux distributions particulières.

Ces volumes sont évalués d'après les bases suivantes :

Par habitant.	200 litres
Pour le lavage des rues par un jet à haute pression par mètre carré	2
Pour le lavage des façades et des devantures de maisons par mètre carré.	$2^{lit},30$

On peut sans inconvénient, supposer que tout le débit s'écoule par l'extrémité de chaque branchement, on simplifie ainsi le problème. Le seul cas à excepter serait celui où ce branchement alimenterait à une faible distance de son origine une fontaine publique dépensant un volume d'eau important. Il est évident alors qu'à partir de ce point on pourrait diminuer le diamètre de la conduite.

2° On détermine les quantités analogues à $(h - c)$, de telle sorte que sur tout le parcours des branchements, les hauteurs piezométriques permettent l'alimentation à tous les étages.

Ce qui a été dit pour une conduite principale munie de branchements, desservant un groupe de rues ou un quartier se dira de même, pour une conduite tertiaire greffée sur les branchements et devant desservir une rue. Les mêmes calculs s'appliqueront donc au cas de ces conduites tertiaires, en considérant le branchement comme une conduite principale.

Tous ces renseignements seront consignés dans des tableaux, et dès lors, il sera facile de déterminer pour chaque conduite ou portion de conduite, le diamètre qu'il convient de lui donner pour assurer le bon fonctionnement du service.

Tuyaux servant à l'adduction et à la distribution des eaux. — Les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tuyaux servant à la distribution de l'eau sont de différentes espèces ; mais ils doivent satisfaire aux conditions générales suivantes :

1° Résistance à la pression.
2° Durée indéfinie.
3° Propreté et pureté des eaux.
4° Imperméabilité.
5° Assemblage parfait.
6° Economie.

En France les tuyaux de fonte avec joints à emboîtement et cordon sont les

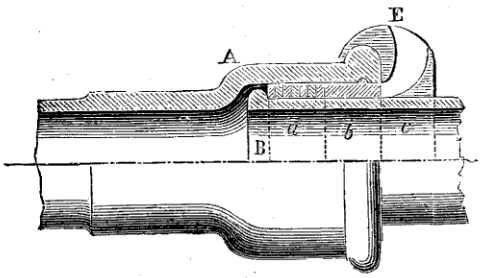


Fig. 21. — Tuyaux de fonte à emboîtement et cordon.

plus employés, leur longueur est de 2 mètres à 2m,50, on les pose au fond d'une tranchée de 1m,50 de profondeur.

Chaque tuyau a une petite extrémité et une extrémité d'emboîtement plus large, fig. 21 et 22.

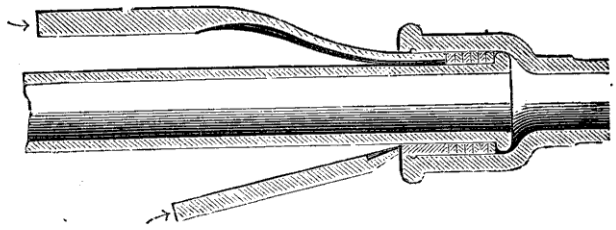


Fig. 22.

On introduit la petite extrémité de chaque tuyau dans l'emboîtement du tuyau précédent, on chasse avec un ciseau de la corde goudronnée dans l'espace annulaire existant entre les deux tuyaux ; puis on fait avec de l'argile un petit godet E sur l'ouverture de cet espace annulaire et on coule du plomb fondu ; après le refroidissement on bat le plomb. Cette opération s'appelle le *mattage*.

Quand on veut réunir deux tuyaux qui ont été coupés, on emploie des manchons, c'est-à-dire des pièces ayant leurs deux extrémités dilatées en forme d'emboîtement. Les deux parties du manchon se réunissent à l'aide de boulons fig. 23.

Quand les conduites sont en courbe et que les courbes ont des rayons très-grands, on peut se servir de tuyaux droits qu'on incline légèrement, les uns par rapport aux autres, mais quand les courbes ont de petits rayons, il faut employer des tuyaux courbes

Des tuyaux spéciaux sont employés par exemple au point d'embranchement des conduites, etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il existe plusieurs systèmes de tuyaux en fonte; ainsi on peut citer : les tuyaux à brides; les tuyaux à joints en caoutchouc; les tuyaux à emboîtement sphérique, système Doré; les tuyaux à joints élastiques, système Petit.

Dans le premier système, les tuyaux portent à chaque extrémité une couronne semblable à celle représentée sur la fig. 24 et qui est nommée bride. On intercale entre les brides une rondelle en plomb ou caoutchouc; puis on serre le tout au moyen de boulons, dont le nombre dépend de la grandeur du diamètre du tuyau. Le joint ainsi obtenu manque un peu d'élasticité, il se prête moins bien que le précédent aux dilatations du métal et aux mouvements du sol. Il est indispensable d'avoir quelques joints à emboîtement intercalés dans la pose des tuyaux à brides.

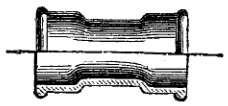


Fig. 23.
Manchon d'assemblage.

Les tuyaux à joints en caoutchouc vulcanisé comportent toujours avec eux les inconvénients de la matière dont ils sont formés. Il est fort difficile d'avoir du caoutchouc vulcanisé très-homogène. Si il est trop vulcanisé, il devient cassant si il ne l'est pas assez, il se décompose peu à peu.

Les tuyaux en joints à caoutchouc laissent un intervalle entre eux, les bourrelets qui les terminent sont enveloppés par une bague en caoutchouc vulcanisé; et un collier à vis en fer, consolide l'assemblage. Cette disposition a pour but, de permettre aux tuyaux de jouer librement dans tous les sens; il en résulte, que les vibrations d'un tuyau ne se transmettent pas à toute la conduite, que chaque tuyau peut s'allonger ou se raccourcir sans altérer la canalisation, enfin qu'il peut se déplacer un peu pour obéir aux tassements ou aux mouvements du sol.

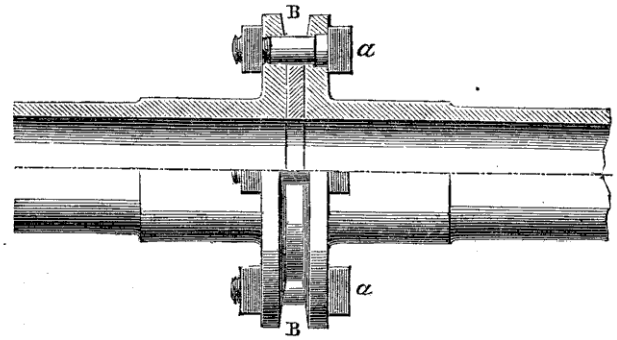


Fig. 24. — Tuyaux de fonte à brides.

Dans le système de tuyaux à emboîtement, le joint est composé comme il suit:

Le bout mâle de chaque tuyau est formé d'un renflement sphérique d'un diamètre un peu plus grand que le diamètre extérieur du tuyau.

Le bout femelle se compose d'une zone sphérique d'un diamètre un peu plus petit que celui du bout mâle, se limitant d'un côté à la surface cylindrique du tuyau, et de l'autre côté par une surface plane à retour d'équerre suivant un grand cercle. Une seconde zone sphérique d'un diamètre plus grand que la première, commence à cette surface plane et finit à l'extrémité du tuyau.

La zone sphérique qui termine le bout mâle, s'introduit dans celle qui termine le bout femelle et comme leurs diamètres diffèrent peu, la première sphère s'appuie contre la deuxième suivant un cercle où les deux surfaces sont presque tangentes. Il en résulte un contact suffisamment intime pour qu'on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

puisse couler du plomb fondu sans craindre qu'il ne tombe dans l'intérieur du tuyau. On matte le joint comme nous l'avons expliqué pour le système de tuyaux à emboitement cylindrique.

Avec le joint sphérique, on obtient une articulation à genou plus complète qu'avec les joints à emboitement cylindrique. Les conduites sont donc plus flexibles, et on a moins à craindre les dérangements occasionnés après la pose par les tassements du sol. Les variations de température ont pour effet de produire une légère rotation aux articulations.

Enfin dans le 3e système de tuyaux, ceux à joints élastiques de M. Petit, le plomb et la corde goudronnée sont remplacés par un anneau en caoutchouc vulcanisé, emprisonné dans le joint du tuyau, et qui ne peut plus sortir quand le joint est fermé. Il résulte de ce mode d'assemblage, une facilité de pose et une étanchéité assez grande.

La fig. 25 représente la composition du joint : une rondelle en caoutchouc, deux pattes en fer, quatre broches en fer.

Les figures 27, 28, 29, 30 et 31 donnent : la vue en-dessus de deux tuyaux assemblés, une coupe perpendiculaire à l'axe, une coupe suivant l'axe au moment de l'assemblage et enfin une coupe suivant l'axe après l'assemblage.

On reproche au système des tuyaux en fonte d'être trop coûteux, d'être d'une

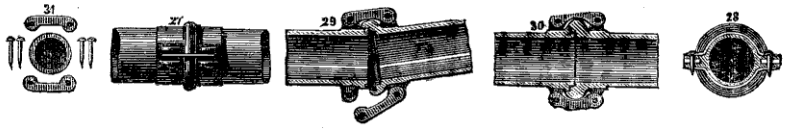


Fig. 25.

pose difficile et de former un tout rigide, de sorte que les contractions et les dilatations donnent lieu à des bris ou à des fuites.

Les vibrations du sol occasionnées par le passage des véhicules, se transmettent facilement à la ligne des conduites. Ces reproches sont fondés, mais pour les grandes distributions d'eau, les tuyaux en fonte sont encore ceux qui sont les plus satisfaisants.

Parmi les divers systèmes de tuyaux métalliques autres que ceux en fonte, on peut citer :

1° Les tuyaux en tôle et bitume de Chameroy.

2° Les tuyaux en tôle plombée et bitumée.

Les tuyaux en tôle et bitume de M. Chameroy sont employés depuis longtemps dans un grand nombre de villes. Les tuyaux ont environ 4 mètres de longueur et sont à emboîtement précis.

Avec la diminution du prix de la fonte, ils ont perdu des avantages de leur emploi dans les distributions d'eau. Ils présentent encore cependant une économie de 25 % environ sur les tuyaux en fonte, y compris les fournitures et les frais de main-d'œuvre pour la pose, et sont d'un très-bon usage là où il y a peu de raccords, de sinuosités, de coudes dans la conduite, de variations brusques de pression. En un mot ils peuvent être employés avec sécurité pour conduire les eaux, plutôt que pour les distribuer.

Ces tuyaux sont fabriqués de la même manière que les conduites pour le gaz, c'est-à-dire avec de la tôle plombée sur les deux faces, puis rivés avec soin et soudés ; une fois munis de leur joints précis, ils sont essayés à la presse hydraulique à 15 atmosphères, et peuvent résister à une charge constante de 50 mètres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de hauteur d'eau. A l'intérieur, ils sont enduits d'une composition à base de brai formant vernis très-brillant qui empêche la formation de dépôts calcaires et des végétaux qui obstruent souvent les conduites d'eau.

Les grands progrès accomplis récemment dans la fabrication économique de l'acier ont permis d'obtenir des tôles d'acier fondu laminées à des prix assez modérés. La Société Chameroy a donc entrepris des études tendant à substituer la tôle d'acier à la tôle de fer pour la fabrication de ses tuyaux.

Ces essais qui datent de quelques mois seulement ont été concluants et dans une époque peu éloignée cette fabrication sera sans doute en pleine activité.

Ces tuyaux en tôle d'acier pourront sans doute être employés avec succès pour les conduites d'eau à haute pression grâce à leurs qualités de résistance et à leur ténacité.

Avec une épaisseur égale à celle des tuyaux en tôle de fer établis actuellement pour supporter une pression constante de 5 atmosphères, les tuyaux en tôle d'acier résisteront à une charge de 10 atmosphères.

En augmentant un peu l'épaisseur, on compte obtenir en toute sécurité des tuyaux pouvant convenir surtout pour l'établissement des conduites d'eau sur les ponts suspendus, dans les puits artésiens, dans les puits de mines à de grandes profondeurs et enfin pour des conduites provisoires devant être souvent déplacées.

La fig. 26 représentent les tuyaux entiers de 4 mètres environ.

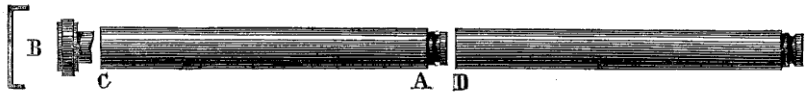


Fig. 26. — A rainure circulaire du joint extérieur, qu'on remplit avec du fil fin de trame, imprégné de cire et de suif. — B tampon en bois appuyé contre l'extrémité C et sur lequel on frappe pour forcer le tuyau AC à entrer dans le collet D du tuyau déjà posé.

On emploie aussi des tuyaux en poterie et en ciment.

Parmi les tuyaux en poterie, on peut citer ceux en terre cuite, émaillée de MM. Zeller et Cie à Ollwiller, qui présentent de grands avantages au point de vue hygiénique, et résistent à de fortes pressions. Ces derniers ont sur les tuyaux en tôle et bitume, l'avantage de durer indéfiniment, de ne pas favoriser à l'intérieur les incrustations et obstructions : leur assemblage se fait à l'aide de manchons. Ils ont été employés dans la canalisation d'un grand nombre de villes.

Les conduites en ciment peuvent être avantageusement employées quand la pression ne dépasse pas une certaine limite. On pourrait citer de nombreuses applications de ce système.

La ville de Nice a fait construire 27 kil. de conduites en béton de ciment. L'aqueduc principal a une forme ovoïde de $1^m,25$ de hauteur et $0^m,76$ de largeur maximum. La longueur est de $1160^m,45$, son épaisseur de $0^m,12$ et le cube par par mètre courant de $0^m,60$. C'est la société de la porte de France à Grenoble qui a exécuté ces travaux.

Dans la distribution des eaux de Nimes, une partie de la conduite d'adduction a été exécutée avec des tuyaux en béton de ciment sur une longueur de 9000 mètres, par la même société.

Le diamètre intérieur est de $0^m,80$, les épaisseurs varient suivant les pressions supportées.

On ne pourrait employer de pareilles conduites pour des refoulements, parce que les charges y seraient trop considérables.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mais quand les charges ne dépassent pas 10 à 15 mètres, les conduites en ciment présentent sur la fonte des avantages sérieux d'économie.

Dans une partie de la conduite d'adduction des eaux à Nimes, la pression d'eau maxima ne dépasse pas 12 mètres.

En général dans l'exécution des canalisations en béton de ciment, on peut se baser pour l'estimation de la dépense sur le prix de 60 fr. le mètre cube de béton employé, en ayant soin de tenir compte des bourrelets, des joints, etc., qui augmentent le volume des tuyaux d'un sixième environ.

Pour les branchements qui amènent l'eau des conduites de distribution chez les particuliers, on emploie le plomb qui présente l'avantage de se prêter à toutes les sinuosités, et avec lequel on n'a pas à craindre de ruptures causées par les affaissements et les tassements du sol.

On a objecté que l'emploi du plomb présentait des inconvénients, au point de vue hygiénique, mais des expériences sérieuses exécutées à Paris et l'examen attentif des anciennes conduites dans lesquelles on n'a constaté aucune altération, ont permis de réduire à néant ces objections.

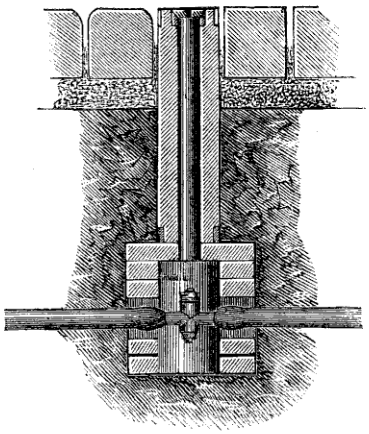


Fig. 27.

Appareils accessoires des distributions d'eau; robinets. — Sur les tuyaux de distributions d'eau, on place des robinets dont les fonctions, et par suite les dispositions et le volume sont différents.

Des robinets d'*arrêt* sont placés à l'origine de tous les branchements secon-

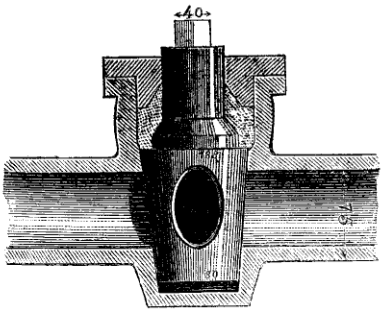


Fig. 28

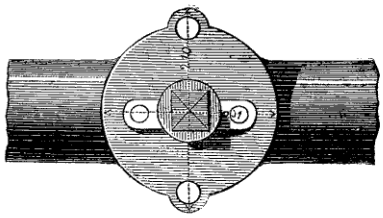


Fig. 29.

daires, afin de les isoler de la conduite maîtresse et empêcher que le service de cette dernière ne soit interrompu par des avaries se produisant sur les branchements.

Dans les points bas des conduites, on met des *robinets de vidange;* enfin partout où l'eau s'écoule à l'air libre, il faut garnir le tuyau d'un *robinet de service.*

Ces deux dernières sortes d'appareils ont des dimensions variables suivant le débit qu'ils doivent fournir, ils sont généralement du type dit à boisseau, fig. 27, quand les conduites ont un diamètre ne dépassant pas $0^m,06$. On les dispose d'habitude au fond d'une petite fosse en maçonnerie surmontée d'une cheminée en bois, bouchée par un tampon en fonte qu'on peut ouvrir avec une clef,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le robinet se manœuvre à l'aide d'une longue tige de fer, portant à son extrémité une douille carrée qui embrasse la tête du boisseau.

Les robinets à boisseau dont nous venons de parler, deviennent durs quand ils sont restés quelque temps sans servir, il faut alors les démonter pour les graisser, ce qui nécessite une fouille assez large pour permettre à l'ouvrier d'enlever la clavette placée au-dessous du boisseau; de plus ces robinets peuvent fuir en dessous sans qu'on s'en aperçoive.

Pour remédier à ces inconvénients, on emploie en Angleterre des robinets entièrement en fonte, fig. 28 et 29, dont la chambre du boisseau est fermée à sa partie inférieure.

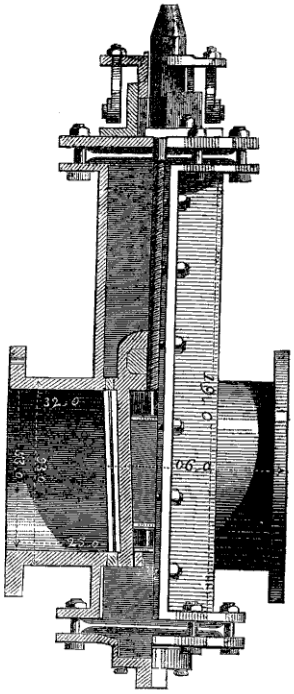


Fig. 30. — Robinet Vanne.

La disposition de la figure fait d'ailleurs comprendre suffisamment le fonctionnement de ces appareils. En cas de réparations, on peut enlever complétement le boisseau à l'aide d'une clef.

Quand les tuyaux de distribution ont de gros diamètres, on ne peut plus employer les robinets à boisseau et on a recours alors aux robinets vannes fig. 30. Le robinet est manœuvré à l'extérieur à l'aide d'une vis qui en tournant abaisse ou élève la vanne et par suite ferme ou ouvre plus ou moins le tuyau.

Le fonctionnement de cet appareil est parfait, mais son prix est élevé et il faut pouvoir disposer d'une certaine hauteur libre.

Le robinet vanne est le seul appareil convenable à employer pour les grands diamètres, et tout ce qui a été essayé jusqu'ici pour le remplacer n'a donné que de médiocres résultats.

Mais pour les diamètres moyens, on peut employer avantageusement des robinets à clapet, du système Cadet. La manœuvre de ces robinets se fait toujours en tournant la vis à l'aide d'une clef. En abaissant ainsi ou en élevant la soupape, on ferme ou on ouvre plus ou moins le passage à l'eau. Le prix de ces appareils est peu élevé. Leur fonctionnement se fait d'une manière très-satisfaisante, quand la pression de l'eau s'exerce sur la soupape. Dans le cas contraire, la fermeture n'est pas aussi hermétique.

Quelque soit le système de conduites fermées qu'on emploie, il faut s'arranger de manière à évacuer l'air qui ne manque pas d'y séjourner, et qui peut non seulement diminuer le débit de la conduite, mais encore produire par son mouvement de va et vient des vibrations et occasionner des *crachements* ou intermittences dans le service des fontaines.

Pour dégager l'air, il faut placer à chaque point culminant de la canalisation une *ventouse* à flotteur, c'est-à-dire un appareil composé d'un vase en fonte boulonné sur la conduite et fermé à sa partie supérieure par une plaque en fonte percée au centre d'une ouverture garnie d'un siége de soupape en bronze. Le flotteur sphérique ou cylindrique supporte à l'aide d'une tige guidée, la soupape conique qui doit fermer l'ouverture dont nous venons de parler.

Quand la conduite est en charge, la pression de l'eau agit sur le flotteur et la soupape reste fermée. Quand on fait écouler l'eau de la conduite, le flotteur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

descend et la soupape s'ouvre. Les fig. 31 et 32 indiquent deux dispositions de ventouses.

Quand il s'agit de conduites non forcées ou libres, les ventouses à flotteur ne sont pas nécessaires, il suffit de placer sur la conduite une chambre en maçon-

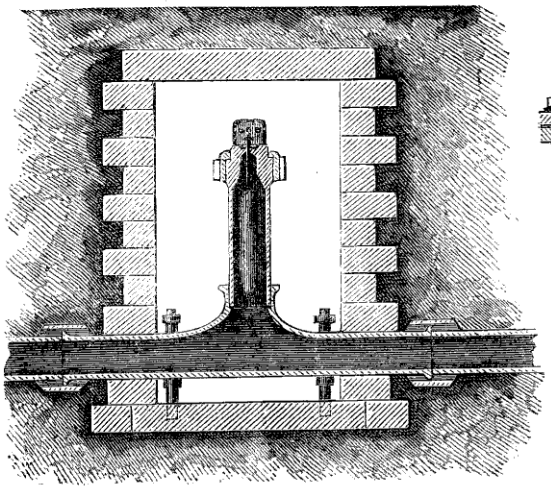


Fig. 31.

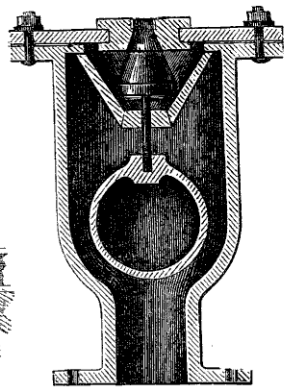


Fig. 32.

nerie (fig. 33) dans laquelle l'air sera toujours attiré, pourvu qu'elle soit placée à un point culminant.

Ces cuvettes en maçonnerie sont encore nécessaires sur une ligne de con-

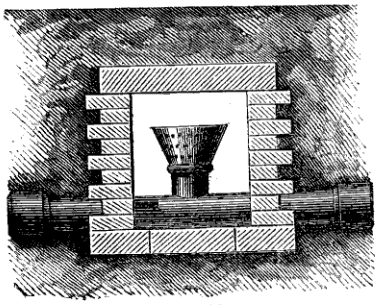


Fig. 34.

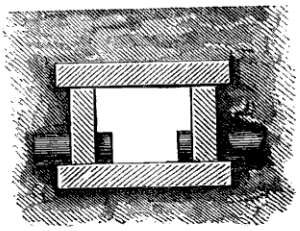


Fig. 33.

duite à chaque changement brusque de pente, ou encore sur une conduite en ligne droite, mais d'une pente considérable, pour empêcher l'eau de prendre une vitesse exagérée. On évite ainsi les coups de bélier, en cas d'arrêt subit de la circulation de l'eau.

Enfin, on emploie indépendamment des cuvettes en maçonnerie, des tuyaux avec bouches d'event, dont la branche verticale est munie à son extrémité supérieure d'une grenouillère empêchant l'accès dans la conduite des corps étrangers (fig. 34).

Sur les conduites de distribution intérieure, on place des robinets d'écoulement; ces robinets placés dans les maisons sont bien connus, mais ils doivent satisfaire à certaines conditions.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ainsi à Paris, un arrêté préfectoral interdit l'emploi pour la distribution d'eaux dans les appartements de robinets produisant des coups de bélier et pouvant être tenus ouverts autrement qu'à la main.

Nous avons remarqué à l'Exposition un appareil de M. Chameroy qui satisfait aux conditions que nous venons d'énoncer.

On sait que le coup de bélier est une forte secousse qui ébranle les conduites d'eau lors de la fermeture des robinets ordinaires, c'est le résultat de la réaction produite par l'arrêt brusque d'une colonne d'eau ayant une certaine puissance vive proportionnelle à sa masse et au carré de la vitesse; cette vitesse variant avec la pression, le coup de bélier est d'autant plus fort que la pression de l'eau est plus grande. On peut atténuer et même annuler le coup de bélier en diminuant progressivement la masse d'eau en mouvement, c'est-à-dire en fermant

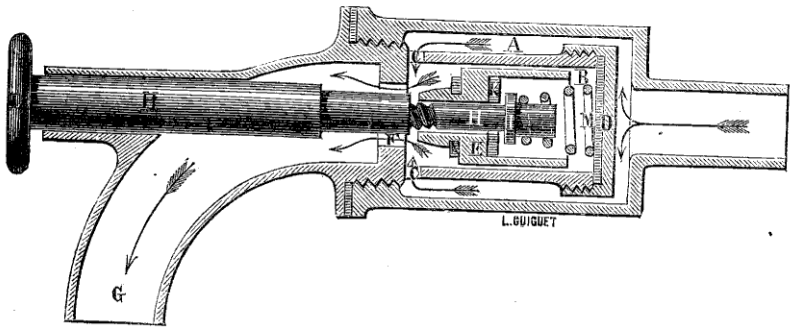


Fig. 35. — Vue intérieure du robinet Chameroy.

lentement le robinet, mais cette fermeture lente doit être automatique et indépendante de la volonté de la personne qui fait usage de l'appareil.

Le robinet Chameroy qui se trouve représenté fig. 35 se compose d'une boîte A, raccordée ou soudée sur la conduite qui amène l'eau d'une seconde B, intérieure à la première; elles communiquent ensemble par 6 ouvertnres C réparties sur la circonférence de la boîte B, celle-ci est fermée d'un côté par un bouchon à vis D, de l'autre elle communique par l'ouverture F avec l'orifice de sortie de l'eau G. A l'intérieur de la boîte B est un obturateur E destiné à boucher l'ouverture F, il est traversé en son centre par une tige à repoussoir H. L'espace annulaire laissé entre cetté tige et l'ouverture de l'obturateur est fermé par un clapet I qui s'appuie sur une rondelle en caoutchouc K fixée dans une rainure intérieure de l'obturateur. A son extrémité antérieure, la tige H porte un bouton L sur lequel on appuie pour déterminer l'ouverture du robinet. Un ressort M tend à fermer le petit clapet et par suite l'obturateur lorsque le bouton L est libre.

Le robinet étant au repos, se trouve fermé par l'effet du réssort, la rondelle N forme le joint entre l'obturateur et l'ouverture F.

Dans cette position, l'eau de la conduite passant par les orifices C, puis autour de l'obturateur par un faible espace annulaire ménagé à cet effet, remplit la boîte B; cette eau est naturellement à la pression qui existe dans la conduite.

Pour ouvrir le robinet, on appuie sur le bouton L; le petit clapet s'ouvre, l'eau de la boîte B, s'échappe et la pression y devient nulle, en continuant de pousser le bouton L, l'épaulement de la tige vient appuyer sur le nez de l'obtu-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rateur et détermine l'ouverture complète de l'orifice ; l'eau s'écoule donc librement par l'orifice de sortie C.

Pour fermer le robinet, il suffit de cesser la pression du doigt sur le bouton ; l'action du ressort aidée par l'effort du à la différence de pression sur le devant et sur l'arrière du clapet (la surface pressée en avant étant diminuée de la section de la tige) pousse d'abord le petit clapet qui se ferme et vient pousser lui-même l'obturateur, mais ce dernier ne peut se mouvoir que lentement, car en avançant, le vide qu'il produit dans la boîte B doit être rempli par l'eau qui passe par le faible espace annulaire ménagé entre l'obturateur et sa boîte. La forme conique du nez de l'obturateur a pour effet de diminuer progressivement la section d'écoulement de l'eau par l'orifice E, il ne se produit donc aucun coup de bélier.

On met aussi sur les conduites distributives, des bornes fontaines devant fournir de 70 à 80 mètres cubes par heure.

Ces appareils placés dans les rues sont généralement ouverts pendant un certain nombre d'heures.

A Dijon et dans beaucoup d'autres villes, on a adopté des bornes fontaines munies d'un robinet à repoussoir, se refermant de lui-même quand on cesse d'exercer une pression sur le bouton. Les habitants peuvent ainsi se procurer à toute heure du jour l'eau qui leur est nécessaire, et on évite la dépense qu'occasionnerait un écoulement continu de la borne.

En cas d'incendie, on peut adapter sur la borne fontaine des tuyaux de pompe.

On distingue plusieurs systèmes de ces appareils que nous aurons à examiner avec plus de détail, en rendant compte des objets exposés.

Enfin on place de distance en distance le long des ruisseaux des rues, des prises d'eau manœuvrées à l'aide d'un robinet à clef et appelées bouches sous trottoirs. Elles servent au lavage des rues, et permettent la prise de l'eau à haute pression pour l'arrosage et l'incendie.

Dans la bouche sous trottoir, le jet débouche verticalement, il est coiffé d'une coupelle ou calotte renversée contre laquelle l'eau vient briser sa pression, et d'où elle s'écoule sans vitesse au ruisseau.

La distance de la coupelle au jet est calculée de manière à donner un débit, qui à Paris est de 2 litres par seconde. En ouvrant le couvercle de la bouche, on dégage le jet. On peut alors y visser, soit un tuyau d'arrosage, soit un tuyau de prise pour l'incendie.

Nous avons examiné rapidement les principaux éléments nécessaires à l'établissement d'une distribution d'eau, et qui serviront de base pour l'étude détaillée des appareils exposés au Champ-de-Mars.

Différents modes de vente de l'eau aux particuliers. — Nous terminerons cette première partie de notre travail sur les distributions d'eau, en indiquant le mode de vente de l'eau aux habitants des villes.

L'eau est vendue aux propriétaires et aux habitants des villes, suivant deux systèmes différents.

1° *La distribution continue.* — L'eau est livrée au consommateur au moyen d'un robinet constamment en charge et qui fournit de l'eau à discrétion.

2° *La distribution mesurée.* — L'eau arrive par un robinet portant un boisseau percé d'un trou assez petit pour assurer par un écoulement continu le débit d'un volume convenu par 24 heures ; elle s'écoule dans un réservoir muni d'un flotteur qui ferme le robinet quand le réservoir est plein.

Ces deux systèmes présentent chacun des inconvénients :

Avec le premier, il y a souvent un gaspillage d'eau considérable qui ne profite à personne et que la Cie est obligée d'élever à grand frais.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Avec le second, on a un écoulement très-faible et des engorgements fréquents du tuyau de jauge.

On emploie donc un 3e mode de distribution, celui à *compteur à eau* analogue au compteur à gaz. Le consommateur peut prendre de l'eau à discrétion, le volume d'eau dépensé est enregistré par le compteur et l'abonné, paye les suppléments nécessaires.

Bien que les compteurs à eau inventés jusqu'ici, présentent des inconvénients, c'est encore le mode de distribution le plus avantageux pour les abonnés et pour les compagnies. C'est donc une question importante à examiner, et que nous nous proposons de traiter avec détail quand nous aurons vu les appareils qui figureront à l'Exposition.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LES CHEMINS DE FER

TRAMWAYS, ROUTES ET CHEMINS

PAR

MM, COSMANN, GAUDRY, GUILLEMANT, LUCHARD, J. MORANDIÈRE
MOSCHELL, SARTIAUX.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE SUR L'EXPLOITATION PROPREMENT DITE DES CHEMINS DE FER

SOMMAIRE.

I. MODÈLES, PLANS ET DESSINS DE GARES ET STATIONS, REMISES ET DÉPENDANCES DE L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER : Gares de voyageurs. — Gares de marchandises. — Gares de triage. — Ateliers. — Bâtiments des voyageurs. — Maisons d'employés. — II. APPAREILS DESTINÉS A GARANTIR LA SÉCURITÉ : **Section A.** *Signaux.* Classification. — Signaux mobiles. — Disques. — Contrôle de leur fonctionnement. — Sonneries d'annonce. — Appareils à contacts fixes. — **Section B.** *Combinaisons de signaux.* Appareils du Block-system. — Circulation sur une seule voie. — Enclenchements. — **Section C.** *Freins.* — Freins continus. — Freins à air comprimé. — Freins vacuun. — Comparaison des résultats. — III. CHAUFFAGE ET ÉCLAIRAGE DES TRAINS : **Section A.** Chauffage par bouillottes mobiles. — Appareils divers pour l'injection de la vapeur. — Appareil à novice. — Injection de la vapeur dans des bouillottes fixes. — Chauffage direct par la vapeur. — Chauffage par briquettes, par poëles, etc. — **Section B.** Éclairage à l'huile, au pétrole, au gaz. — Réflecteurs. — IV. EXPLOITATION TECHNIQUE ET COMMERCIALE : **Section A.** *Manutention.* — Bascules. — Appareils de levage. — Transbordement mécanique. — Pousse-wagons. — Machines de manutention. — Installations hydrauliques. — **Section B.** *Contrôle de la vitesse des trains.* — Dromomètre Leboulengé. — Contrôleur Brunot. — Tachymètre électrique. — **Section C.** Résultats commerciaux de l'exploitation.

PRÉLIMINAIRES

Les progrès continus de l'industrie des transports par voie ferrée nécessitent, de jour en jour, des installations de voies plus considérables et plus compliquées.

Partout, les prévisions du début on été dépassées : en maint endroit où les Compagnies de chemin de fer n'avaient fait que des acquisitions de terrain qui paraissaient suffisantes pour longtemps, elles se sont vues obligées de compléter ultérieurement, à grands frais, les emprises nécessaires aux extensions de leurs gares.

Aujourd'hui, l'expérience a prouvé qu'une gare mal installée est d'une exploitation extrêmement coûteuse.

Or, l'exploitation d'une gare ne peut être fructueuse et aisée que si l'on assure, à la fois, la rapidité et la sécurité des mouvements : pour la rapidité, il faut disposer d'un emplacement suffisant, multiplier les ressources, et suivre une méthode dans l'organisation générale des voies : pour la sécurité, il convient de concentrer la surveillance des appareils, et de ne laisser, dans les dispositions

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prises, aucune possibilité, aucune tentation d'effectuer une manœuvre dangereuse.

Ces quelques principes étant admis, il est facile d'en faire l'application aux divers cas qui se présentent dans la pratique. Ce serait un véritable contre-sens que de donner le plan d'une gare destinée à servir de type, deux gares ne se trouvant, pour ainsi dire, jamais dans les mêmes conditions d'emplacement, d'importance, etc... ; aussi, dans le cours de l'étude qui va suivre, nous bornerons-nous à citer quelques exemples, choisis parmi les installations les plus récentes, en indiquant seulement les traits saillants et les dispositions que l'on pourrait imiter.

Stations de passage. — Les stations de passage, d'une importance minime sont actuellement celles où il est, la plupart du temps, possible d'adopter un type unique représentant le minimum des installations strictement nécessaires. Ce type est assez variable, suivant les Compagnies, et selon qu'il s'agit d'une station située sur une ligne à une seule voie ou sur une ligne à double voie.

Ainsi la Compagnie de l'Ouest adopte, sur les lignes à voie unique, un type dont nous donnons un exemple : la station de l'Hermitage (Pl. I, fig. 1), sur la ligne de Rennes à Brest, est des plus restreintes; la voie de service se dédouble sur 300 mèt. de longueur; de part et d'autre des quais de voyageurs, se détache une voie de garage qui dessert le quai découvert, la halle, le gabarit de chargement, une bascule, une grue à pivot de 10 tonnes et un empierrement de 120 mèt. de longueur, pour le dépôt des marchandises et le chargement direc- de voiture à wagon. Entre la halle et le quai, se trouve une plaque tournante qui donne naissance à un bout de voie perpendiculaire et qui permet de tourner les wagons pour le chargement par bout sur un quai découvert, muni d'une rampe d'accès. Les quais à voyageurs ont 130 mèt. de longueur et les emprises de terrain sont suffisantes pour permettre l'établissement de nouvelles voies de garage.

Dans les stations d'une aussi minime importance, la Compagnie du Nord a supprimé complétement l'usage des plaques tournantes : le personnel restreint dont on dispose serait souvent insuffisant pour faire à bras la manœuvre des wagons et l'on préfère utiliser les machines des trains au moment de leur passage. Ainsi la station de Tincques (Pl. I, fig. 2)', située sur la ligne à une seule voie d'Arras à Étaples, représente le type adopté pour le plus grand nombre de ces stations; la halle est toujours desservie par un prolongement en impasse de l'unique voie de garage; et comme, en l'absence de plaque, le chargement des wagons par le bout serait impossible, le heurtoir de cette impasse est disposé en pente douce, de manière à former une rampe d'accès.

Comme appareil de levage, il existe, sous la halle, une grue du système Nepveu, de la force de 1500 kilos. Aussi, pour effectuer les chargements de pièces lourdes et d'une grande dimension, fait-on usage d'une grue montée sur un truck et que l'on peut envoyer d'une gare à l'autre : un seul appareil peut ainsi desservir une ou plusieurs sections de ligne.

C'est un type à peu près analogue, mais dépourvu de halle couverte que la Compagnie de Lyon a appliqué à une toute petite station de la ligne de Lunel au Vigan, à Orthoux, dont le trafic ne s'est élevé, en 1876, qu'à 3,000 voyageurs et 560 tonnes de marchandises; à Rongeac, sur la ligne de Saint-Georges d'Aurac à Saint-Etienne, une partie du quai est couverte et tient lieu de halle, mais le trafic s'élève déjà à 800 tonnes. A Béard, le type est un peu différent: il existe une voie en impasse, de part et d'autre des voies de circulation pour les trains, et une traversée rectangulaire, munie de plaques, met en relation les deux côtés de la gare (Pl. I, fig. 3).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La Compagnie de l'Est applique le même type que la Compagnie du Nord, et le plan de la station de Jeandelize, située sur la ligne de Reims à Metz, ressemble de bien près à celui de la station de Tincques (Pl. I, fig. 4) : elle comporte seulement, en plus, une voie de garage, reliée par ses deux extrémités à la voie de circulation des trains; mais la halle et le quai sont de dimensions plus réduites et la surface empierrée, affectée au déchargement à terre, est beaucoup plus restreinte.

Citons enfin les stations des lignes à une seule voie de la Compagnie du Midi, qui sont dépourvues de plaques et qui comportent généralement trois voies : celle du milieu sert pour le passage des trains dans les deux sens, et les deux autres peuvent être utilisées éventuellement pour un croisement ou un garage. Le bâtiment des voyageurs contient un magasin pour la petite vitesse et il est ordinairement flanqué d'un quai de chargement; devant le bâtiment, passe une voie de garage que les voyageurs sont obligés de traverser pour monter dans le train. Cette disposition paraît très-économique et elle a été adoptée pour les petites stations des lignes d'intérêt local construites, dans la région du Nord, par M. Em. Level (Pl. I, fig. 7).

Sur les lignes à double voie, il est bien difficile de supprimer complétement l'usage des plaques : toutefois, nous en avons un exemple dans la station de Chaussin, sur la ligne de Châlon-sur-Saône à Dôle, où une seule voie de garage, reliée par les deux bouts aux voies de circulation, suffit pour desservir la halle et le quai découvert (Pl. I, fig. 5). Cette disposition est à peu près celle des stations, sur les lignes à une seule voie, excepté que l'on y évite les aiguilles en pointe.

Mais la plupart des stations comportent une courte voie de garage, de chaque côté des voies principales ; une traversée rectangulaire reliant, à l'aide de plaques, ces deux voies, et une liaison qui permet de passer d'une voie à l'autre. Telle est, par exemple, la station de Thourotte, sur la ligne de Creil à Saint-Quentin (Pl. I, fig. 6).

Nous pourrions nous étendre plus longuement, mais il nous suffira d'avoir cité quelques exemples pour faire ressortir la tendance qui commence à prévaloir en France ; les installations coûteuses ont fait leur temps : parfaitement justifiées, à l'origine de la construction des chemins de fer, où l'on avait à créer des lignes à grand trafic et rémunératrices, elles n'auraient plus leur raison d'être sur les nouvelles petites lignes qui, souvent, ne paraissent même pas destinées à couvrir leurs frais d'exploitation; de là le désir qu'ont les Compagnies de rechercher le type de station le plus économique. Néanmoins, il faut toujours compter sur une dépense de 30 à 40,000 francs, pour les installations de la station proprement dite, abstraction faite des voies qui sont réservées à la circulation des trains et dont la pose est comptée dans le prix de revient kilométrique de la ligne.

Gares de bifurcation. — Nous ne nous attarderons pas à la description des gares de moyenne et de grande importance qui ne présentent aucune particularité nouvelle et remarquable ; il nous suffira de citer les dispositions adoptées dans certaines gares à plusieurs directions, qui ont à faire face à un service de trains mixtes, en correspondance entre eux.

On se trouve là en présence d'un problème que l'on n'avait pas à résoudre autrefois, quand les lignes aboutissant aux grandes gares étaient toutes desservies par des trains de marchandises; actuellement, pour faire face au trafic peu important des nouvelles lignes du troisième réseau, il suffit, la plupart du temps, d'ajouter des wagons de marchandises aux trois ou quatre trains de voyageurs, qui circulent, tous les jours, dans chaque sens; on forme ainsi ce que l'on appelle des *trains mixtes*, dont le stationnement dans les gares de passage,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est suffisamment long, pour que l'on ait le temps de laisser et de prendre des wagons de marchandises placés immédiatement derrière la machine, tandis que les voitures à voyageurs, placées à l'arrière du train, restent immobiles devant le quai de débarquement et ne participent pas à cette manœuvre.

Il faut, par suite, que, dans les grandes gares où aboutissent de telles lignes, on dispose, à proximité des quais de voyageurs, des voies dites *d'attente ou d'échange,* où les trains mixtes, arrivant d'une direction, prennent ou déposent les wagons que les trains des autres ligues ont amenés ou doivent prendre : il faut, de plus, que ces voies soient en relation directe, par des lignes de plaques, avec le service local des marchandises, car un certain nombre de ces wagons sont à destination ou en provenance de la localité même.

Nous ne pouvons mieux faire que de citer, pour fixer les idées, les dispositions adoptées pour la future gare de Compiègne, qui desservira six directions, Estrées-Saint-Denis, Creil, Tergnier, Ressons, Villers-Cotterets et Soissons.

Deux de ces lignes aboutissent à l'extrémité sud, et les quatre autres, à l'extrémité nord. Entre les voies principales, qui sont au nombre de cinq, et indépendamment du quai attenant au bâtiment principal des voyageurs, se trouvent deux quais centraux de débarquement où viennent aboutir, vers le nord, des voies en impasse, reliées aux voies principales, de telle manière que les trains se dirigeant vers Saint-Quentin, Soissons, Villers-Cotterets ou Ressons puissent prendre et laisser des wagons de marchandises. La manœuvre n'est compliquée que pour les trains se dirigeant vers Estrées ou venant de Ressons; on devra, dans ce cas, après la descente des voyageurs, faire rétrograder les voitures, placées à la queue du train, jusqu'au-delà de l'aiguille qui donne accès sur la voie d'échange, pour dégager cette aiguille et faire la manœuvre. Ces voies d'échange seront reliées, par des plaques d'un diamètre de $4^{m},20$, avec les traversées rectangulaires qui desservent les halles, les quais et les cours du service des marchandises. Nous donnons un croquis de cette disposition à la figure 1 de la planche II.

Gares de marchandises. — Les gares de marchandises proprement dites n'offrent, dans leurs dispositions générales, aucune nouveauté qui soit particulièrement remarquable. Presque toutes les Compagnies, ayant leur tête à Paris, ont été obligées de construire, en dehors des fortifications, des annexes à leurs gares intérieures, devenues trop restreintes, soit pour classer les wagons amenés par les trains de marchandises, soit pour former ces trains avant leur départ, soit enfin pour recevoir certaines natures de marchandises volumineuses ou encombrantes. C'est ainsi que la Compagnie de l'Est a construit une grande gare à Pantin; que la Compagnie de l'Ouest a installé un groupe de voies de débranchement, vis à vis les remises de voitures qu'elle possédait déjà dans la plaine de Levallois; que la Compagnie du Nord, enfin, vient d'ouvrir dans la plaine Saint-Denis une grande gare, couvrant une superficie de près de 28 hectares de terrain.

Cette dernière gare a été construite dans des conditions qui méritent d'attirer notre attention pendant quelques instants; la figure 2 de la planche II représente un croquis donnant le plan d'ensemble de cette grande gare, à l'échelle de $0^{m},001$ pour 4 mètres.

Il faut observer, en premier lieu, que, par suite des exigences locales, cette gare a dû être établie à plusieurs niveaux différents. On se rappelle, en effet, la description des passages superposés, destinés à supprimer les croisements de lignes à niveau, qui a été faite à la page 116 de l'Etude sur les chemins de fer publiée, en 1867, par la librairie Lacroix. Sans revenir sur cette description qui était empruntée à l'excellent ouvrage de M. Brame sur les signaux usités par les grandes Compagnies françaises, contentons-nous de rappeler que les trains de marchandises, partant de la gare de La Chapelle, s'élèvent sur une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rampe de 0m 010 par mètre, pour gagner, au kilomètre n° 3, les trois voies de départ vers Chantilly, vers Pontoise et vers Soissons, sans avoir à traverser à niveau les voies affectées au retour des trains de ces diverses directions. A ce même point, et pour rendre moins chargée la circulation sur la voie qui servait à la fois au retour des trains de marchandises de toutes les directions ainsi qu'aux trains de voyageurs de Chantilly et de Soissons, on a installé une série de bifurcations qui permettent d'envoyer, à partir du kilomètre n° 3, les trains de marchandises sur des voies de retour spéciales, suivant qu'ils sont à destination de la gare intérieure de La Chapelle, de la Ceinture et de la gare aux charbons, et enfin de la gare aux pierres et aux fers, ou de la ligne de Pantin aux Docks Saint-Ouen qui vient se confondre avec les voies de garage de la gare de la Plaine et qui passe au-dessous de toutes les voies d'arrivée et de départ.

Comme le raccordement, suivi par les trains qui se rendent à la gare des charbons et au chemin de Ceinture, passe sur un pont métallique, jeté au-dessus de la route nationale n° 1, à la cote (49), tandis que les aiguilles de bifurcation sont à la cote (43), il en résulte que la voie de retour du raccordement s'élève suivant une pente assez raide : la voie de départ descend avec une pente différente, parce qu'elle se raccorde en un point plus rapproché avec les voies de formation des trains; il en résulte également que toutes les manœuvres qui se rendent de la gare aux pierres située d'un côté du raccordement, à la cote (40), à la gare de formation, adossée aux fortifications et située de l'autre côté du raccordement, à la cote (45, 80), et *vice versâ*, doivent suivre les voies spéciales de circulation en rampe de 0m,110, et indiquées au croquis par des doubles flèches. Entre les voies d'arrivée et de départ du raccordement, et à la cote (44, 60), on a dû placer les halles de transbordement destinées à recevoir les wagons qui arrivent de la Ceinture et des autres Compagnies, et dont il faut transborder le chargement dans les wagons Nord. Enfin, à la même cote que les chantiers des pierres et des fers, et vis-à-vis la gare située sur la ligne de Pantin aux Docks, se trouve la gare locale de la Plaine, comportant des halles, des quais découverts et des cours de déchargement.

On conçoit donc que les relations entre les diverses parties de cette gare, nécessiteront des mouvements excessivement compliqués, que l'on n'a pu cependant éviter, à cause des différents niveaux auxquels elles se trouvent placées, et surtout à cause des rampes que présentent les voies de circulation des trains de marchandises.

Comme complément des installations de cette gare, citons encore les voies de garage et de débranchement qui se relient à la voie d'arrivée des trains se dirigeant vers la gare aux pierres; le faisceau des voies de garage attenant à la voie de départ de raccordement avec la Ceinture, enfin les deux groupes de voies destinées à la formation des trains avant leur départ: ces dernières voies sont reliées avec celles de la gare intérieure, avec les voies du raccordement de la Ceinture, avec le service du transbordement et enfin avec les voies servant à la circulation des manœuvres, en provenance et en destination de la Plaine.

Ne quittons pas ce sujet sans faire remarquer la disposition adoptée pour les chantiers de déchargement des pierres et des fers; pour les pierres, cinq longues voies desservies par des treuils roulants, mus par la vapeur, et par cinq traversées rectangulaires munies de plaques; pour les fers, trois voies reliées aux mêmes traversées et servant, celle du milieu aux wagons vides, les deux autres aux wagons en déchargement, et enfin le long de ces dernières les voies de roulement des grues à vapeur, destinées à effectuer ce déchargement.

Avant de passer à un autre sujet, il ne sera pas sans intérêt de citer quelles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sont, à présent, les surfaces des gares des marchandises, pour les Compagnies aboutissant à Paris :

Charonne				2 hect.	40
Belleville				2 »	33
La Villette				22 «	06
— (ateliers)				11 »	56
Pantin				22 »	20
La Chapelle, gare intérieure	18 hect.	36			
— gare aux charbons	14 »	24	60	»	96
— plaine Saint-Denis	28 »	36			
— (ateliers)			13	»	35
— (» au kil. n° 4)			4	»	17
Ivry			35	»	»
— (ateliers)			12	»	»
Batignolles, atelier et départ non compris			40	»	»
Montparnasse, —			11	»	»
Bercy, ateliers, dépôt et bâtiments de la G. V. non compris			45	»	31
Conflans (Bercy extrà muros)			16	»	92
Villeneuve-Saint-Georges (triage)			22	»	»

Gares de triage. — Le triage des wagons a pour but de les placer, dans les trains de marchandises, de telle manière que l'on ait à les manœuvrer le moins possible, depuis leur départ jusqu'à leur arrivée au point où l'on doit les décharger. De la célérité de ces opérations dépendent: la bonne utilisation du matériel qui menace sans cesse d'être insuffisant; l'économie de la main-d'œuvre dont le prix s'élève chaque jour; et la diminution des erreurs qui se traduisent toujours par des pertes pour les Compagnies de chemins de fer. Néanmoins, en raison de la multiplicité des lignes transversales qui forment un réseau dont les mailles se resserrent chaque jour, les trains de marchandises doivent, à peu d'exception près, être remaniés plusieurs fois, dans certaines gares d'embranchement, avant d'arriver à destination.

A leur arrivée dans ces gares, les trains sont décomposés, ou, comme l'on dit, *débranchés*; les wagons qu'ils renferment doivent être séparés en autant de groupes différents et déposés sur autant de voies distinctes qu'il y a de directions principales. L'ensemble des wagons de chaque direction doit être ensuite remanié, de manière à faciliter les manœuvres du train qu'ils devaient former: à cet effet, les wagons ayant une même destination sont groupés ensemble, et ceux de la première destination qui se présente, dans le sens de la marche du train, sont placés en tête, derrière le fourgon.

Cette seconde opération constitue la *formation* des trains.

Le plus généralement, ces deux séries d'opérations se faisaient autrefois, dans les gares, sur les mêmes groupes de voies reliées à leurs deux extrémités, et n'ayant rien qui les distinguât des voies de garage ordinaires. Mais, à mesure que ces opérations ont pris de l'importance, on a reconnu la nécessité de les isoler complètement du service des marchandises proprement dit, de les effectuer sur des voies spéciales, disposées *ad hoc*, et d'adopter dans l'organisation de ces voies les dispositions d'aiguillage, de profil et de longueur, les plus favorables à la promptitude et à l'économie des manœuvres.

C'est ainsi que dans la plupart de nos Compagnies françaises, qu'à l'étranger, en Angleterre et en Allemagne, on a été conduit à créer de grandes gares, pour le remaniement des trains de marchandises, aux points principaux de convergence des lignes importantes; que l'on n'a pas hésité à dépenser des millions pour couvrir de voies des hectares de terrain, dans la conviction où l'on était que l'on s'évitait ainsi des charges onéreuses, et que l'économie annuelle que l'on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réaliserait serait suffisante pour compenser l'intérêt et l'amortissement des frais d'installation de ces gares.

Si le but à atteindre est unique et bien défini, classer les wagons en bon ordre, on peut saisir, dans les moyens appliqués, plusieurs tendances distinctes.

En France, on paraît s'attacher plutôt à effectuer les opérations de triage sur des voies en palier, à l'aide de machines de manœuvres qui font indéfiniment des mouvements de navette sur les mêmes aiguilles, afin d'envoyer les coupes du train à débrancher sur des voies différentes; puis la même machine reprend les wagons sur ces voies, pour en former un autre train.

En Angleterre, les gares les plus récentes ont été installées d'après un système bien différent: les groupes de voies se succèdent les uns aux autres et forment des faisceaux ou *grils* reliés entre eux par des aiguilles; les trains arrivent mal composés à une extrémité et sortent, classés et en bon ordre, à l'autre bout; le passage des wagons, d'un groupe à l'autre, se fait, soit sous l'influence de la pente, soit à l'aide de chevaux de manœuvres. Il est incontestable que cette manière de procéder n'offre pas l'inconvénient de faire effectuer à un même wagon plusieurs fois le même trajet, sur les mêmes aiguilles.

En Allemagne, la tendance générale consiste plutôt à se servir de plaques ou de chariots roulants destinés à mettre en relation entre elles les voies de triage reliées entre elles à leur extrémité.

Nous allons donner quelques exemples des gares installées suivant ces diverses méthodes.

L'une des premières gares spécialement installées, en France, pour le triage et le classement des wagons, a été la gare de Villeneuve-Saint-Georges, au point de jonction de la ligne de Corbeil avec la ligne principale.

La disposition des halles de la gare de Bercy, qui sont, comme on le sait, toutes reliées par des batteries de plaques tournantes avec les voies d'arrivée des trains de marchandises, l'impossibilité de s'étendre à l'intérieur de Paris, rendaient absolument indispensable la création d'une gare *extra muros*, où l'on pût décomposer tous les trains arrivant de la ligne et les former à destination de chacune des halles.

Ce travail se fait sur douze voies de triage, longues de plus de 400 mèt., et reliées entre elles, au milieu de leur longueur, par une traversée rectangulaire munie de plaques tournantes. (Voir planche III, fig. 1.)

Les trains, arrivant de la ligne, sont refoulés sur cinq voies de garage, de 800 mèt., qui peuvent, par conséquent, contenir dix trains à la fois. Ces trains sont repris successivement, et par coupes, par une machine qui les remorque sur une voie de tiroir commandant toutes les voies de triage: chaque wagon, lancé par la machine, est dirigé par les aiguilleurs échelonnés sur son passage, sur la voie dont l'indication est donnée à haute voix par le chef de manœuvres. Dans ces conditions, on arrive facilement à débrancher un train en moins de deux heures.

Ainsi qu'on le voit, on n'effectue, à Villeneuve-Saint-Georges, en raison du cas spécial dont il s'agit, que la première partie des manœuvres de triage, le débranchement; quant à la formation, peu importe l'ordre dans lequel sont classés les wagons à destination d'une même halle, et l'on peut, par suite, supprimer cette seconde partie des opérations, qui est indispensable dans le cas général.

Comme exemple d'une gare ayant à satisfaire à toutes les conditions réunies, nous ne pouvons mieux faire que de citer la gare de Creil (Pl. III, fig. 2), dont les voies ont été installées très-méthodiquement, par la Compagnie du Nord, pour faire face au classement des wagons de marchandises en provenance et à destination des cinq directions qui aboutissent dans cette gare : Paris (Chantilly),

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Paris (Pontoise) et Beauvais, par l'extrémité sud; Amiens et Tergnier, par l'extrémité nord.

Deux véritables bifurcations ont été créées, à ces deux extrémités, pour les trains de marchandises, qui, au lieu de suivre les voies principales jusque devant le bâtiment des voyageurs, se détachent et pénètrent dans les groupes de voies situées du côté gauche, en venant de Paris. Cette disposition d'entrée directe des trains de marchandises est maintenant réalisée dans un certain nombre de grandes gares du réseau du Nord; mais, à la gare de Creil, on a cru devoir, en outre, affecter deux voies spéciales à la circulation de ces trains, une voie pour chaque sens. Ces voies de circulation séparent les groupes de voies de triage pour les trains venant du Nord, du groupe de voies pour ceux venant du Midi.

A leur arrivée, les trains se garent en entrant directement sur quatre voies qui ne sont que le dédoublement de la voie de circulation : les trains, qui ne font que passer, y stationnent pendant le temps de leur garage; s'ils doivent être débranchés, la machine de manœuvres vient les reprendre sur les voies d'attente et les trier sur des groupes de huit voies en impasse : à chacun de ces groupes sont adjointes deux longues voies de formation sur lesquelles on classe en bon ordre les wagons qui doivent composer les trains partant pour les diverses directions.

L'ensemble de ces voies est mis en relation avec le dépôt, avec le service local des marchandises et avec l'atelier des visiteurs, de manière que les manœuvres s'effectuent dans un ordre régulier et toujours dans un sens déterminé, disposition essentiellement favorable à la sécurité de la circulation.

Nous empruntons enfin, à un mémoire dont M. David, ingénieur aux chemins de fer du Midi, a donné récemment communication à la Société des Ingénieurs civils, une description textuelle d'une nouvelle disposition de voies qu'il a imaginé pour faciliter le classement des wagons dans les gares.

La solution consiste à emmancher des bouts de voie, de part et d'autre, sur une longue voie centrale de formation.

Ces bouts de voie sont de deux sortes : les uns très-courts, destinés à recevoir des wagons isolés, se groupent, dix par dix, autour d'une plaque tournante, posée sur la voie centrale; les autres, d'une longueur variable, sont soudés symétriquement par des aiguilles doubles à la voie centrale, et sont appelés à recevoir des lots de wagons de même destination.

Les plaques tournantes, échelonnées sur la voie centrale de l'atelier de classement, sont espacées de 28 mètres au moins; leur diamètre ne doit pas être inférieur à $5^{m},60$, pour que le nombre des voies rayonnantes, pouvant aboutir sans s'entre-couper sur la circonférence de la plaque, soit de douze, ce qui laisse dix bouts de voie disponibles. La longueur de ces derniers, 10 mètres environ, est déterminée par la condition de suffire au garage d'un seul wagon, la plaque restant abordable dans tous les sens lorsque les bouts de voie sont garnis de véhicules. Une traverse d'arrêt est fixée à l'extrémité de chacun des bouts de voie, pour retenir le wagon qui y est logé; sur un poteau voisin de l'arrêt, est inscrit le numéro d'ordre du bout de voie correspondant.

Ce numéro est remplacé par une lettre, A, B, C,... sur le poteau indicateur servant à désigner chacun des bouts de voie à aiguille. Ces derniers sont, en général, reliés à la voie centrale de l'atelier par des changements à trois voies, espacés entre eux de 30 mètres environ.

Les bouts de voie, une fois garnis de wagons chargés, dont les lettres de série et numéros matricules ont été relevés sur un *Carnet spécial de classement*, le chef de service indique sur ce carnet, par un signe convenu, les bouts de voie qui doivent être dégarnis pour composer le train, sans être obligé de s'en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

remettre, pour cette partie du service, au chef d'équipe, ce qu'il est le plus souvent contraint de faire aujourd'hui.

Le rôle du chef d'équipe se réduit à faire sortir, des bouts de voie servant de garages, les wagons ou lots de wagons désignés, en se conformant à l'ordre de succession des stations destinataires. Le train se trouve ainsi immédiatement composé sur la voie centrale de l'atelier.

Dans les gares qu'il a à desservir, le train est reçu sur la voie centrale de l'atelier de classement, et n'a à se mouvoir que sur cette seule voie, chaque fois qu'une coupure doit être faite à hauteur de la plaque ou de l'aiguille par laquelle le wagon ou le lot de wagons à prendre doit pénétrer sur la voie centrale.

Dans l'atelier de classement établi au point de soudure de plusieurs lignes, ou dans la gare de bifurcation, le service du train est exactement le même.

Les wagons, soit isolés, soit groupés en lots, qui doivent changer de direction, sont retirés du train et garés sur les bouts de voie rayonnants, ou sur les bouts de voie à aiguille, affectés à la direction des wagons; les wagons à prendre sont intercalés dans les coupures faites aux points voulus, la machine du train ne quittant jamais la voie centrale de l'atelier de classement.

L'atelier de classement des wagons peut également fonctionner comme atelier de triage. Un train mal composé étant amené sur la voie centrale, il suffit de le couper aux points où se trouvent des wagons irrégulièrement placés, et de faire passer ces wagons sur les bouts de voie de l'atelier. Au moyen de la machine du train, on pratique ensuite de nouvelles coupures aux points où les wagons en question doivent prendre leur place régulière, les coupures étant faites à hauteur des aiguilles ou des plaques par lesquelles les véhicules, groupés ou non, doivent être ramenés sur la voie centrale.

Des expériences, faites sur l'atelier de classement établi à la gare de Bordeaux-Saint-Jean, ont démontré que les manœuvres effectuées au moyen de cette nouvelle installation, n'atteignent pas à la moitié du prix de revient actuel des mêmes manœuvres.

Dans les manœuvres au lancer, qui constituent principalement les opérations de triage, le wagon mis en mouvement sur les voies doit, comme on le sait, vaincre deux sortes de résistances :

1° La résistance au roulement;

2° La résistance due aux courbes.

On est, par suite, conduit à donner aux voies de manœuvres, qui commandent les groupes de triage, une certaine pente destinée à neutraliser ces résistances, à nécessiter une moindre impulsion et à écarter par suite les chances d'avaries. Le calcul prouve qu'en donnant des pentes de 0^m008, aux voies de manœuvres, lorsqu'elles sont en ligne droite, et de 0^m010 lorsqu'elles, sont en courbe de 500 mèt., et en communiquant au wagon lancé une vitesse de 3 à 4 kilomèt. à l'heure, on est dans de bonnes conditions. Ce sont ces pentes que l'on a cru devoir adopter, dans l'étude des voies de manœuvres de la nouvelle gare de la Plaine Saint-Denis, dont il a été question ci-dessus.

Avant de quitter l'examen des gares de triage, dont les groupes de voies se rapportent au premier type, il ne sera pas sans intérêt de mettre sous les yeux de nos lecteurs une disposition assez ingénieuse, qui a été appliquée par une Compagnie allemande à la gare centrale de Magdebourg (voir planche IV, fig. 1); le faisceau des voies de garage qui sont toutes reliées par des aiguilles à leurs deux extrémités, est traversé obliquement, dans toute sa largeur, par une voie qui se trouve raccordée avec chacune des voies du faisceau, au moyen de liaisons réalisant ce que l'on appelle vulgairement, dans le métier, des « *bretelles* ». Il en résulte que l'on peut à volonté utiliser le faisceau de voies, soit comme un seul

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

groupe de voies de garage, soit comme deux groupes de voies de triage dirigées en sens inverse et commandées par la traversée.

On conçoit aisément quels sont les avantages de cette latitude qui permet de doubler à volonté la capacité de la gare; car, ce qui manque en général, ce n'est pas tant la longueur métrique des rails, suffisante pour garer un nombre donné de wagons, — et il y a fréquemment plus de voies et de plus longues qu'il n'est nécessaire, — mais, ce qui fait défaut, c'est le moyen de dégager facilement les wagons garés au milieu de la longueur de ces voies, sans être obligé d'en déplacer un grand nombre; aussi est-on arrivé maintenant à faire les voies de triage en impasse excessivement courtes, 150 mèt. à peine, et on les utilise beaucoup mieux que lorsqu'on leur donnait une longueur de 200 à 250 mèt. et qu'on ne les remplissait jamais.

Nous examinerons maintenant le type des nouvelles gares de triage anglaises, en empruntant la plus grande partie des détails qui vont suivre à l'excellent rapport publié par M. Mathieu, ingénieur en chef du service central de la Compagnie des chemins de fer du Midi, à la suite du voyage qu'il fit en Angleterre pendant les mois de septembre et d'octobre 1875.

C'est à M. Harry Footner, ingénieur attaché à la Compagnie du London and North Western railway, qu'il faut attribuer la théorie rationnelle du triage sur des *grils* successifs. Cet éminent ingénieur décrit ce système dans les termes suivants :

« Les voies de triage ou *grils*, comme on les appelle, forment deux groupes « de sept voies de garage, ainsi que le montre la fig. 2 de la planche IV. Ces « voies sont assez espacées pour qu'un cheval puisse passer entre elles et cha- « cune d'elles pourrait contenir dix wagons. Elles présentent une pente de 12 à « 13 millimètres par mètre. »

Ces voies sont précédées et suivies de longues voies de garage, présentant une pente de 8 à 10 millimètres, et dont chacune peut contenir un train complet.

« Le nombre des voies de chaque gril, et aussi le plus petit nombre de wa- « gons que chaque voie doive contenir, est la racine carrée du nombre de véhi- « cules du train le plus long que l'on ait à trier. Mais, en pratique, on peut « trier, sur les sept voies, plus de quarante-neuf véhicules, parce qu'elles ont « une longueur plus grande. »

Le diagramme représenté par la figure 3 de la planche IV explique la manière méthodique de se servir des grils.

« De E en F est indiqué, sur l'une des voies de formation, un train de « quarante-neuf wagons qui ont passé par les grils, prêt à se mettre en route; « de C en B sont indiqués les mêmes wagons, placés sans ordre sur l'une des « voies d'attente à l'arrivée. Le train est considéré arbitrairement comme com- « posé de sept sections, et une voie distincte est attribuée dans les grils aux « wagons de chaque section, de manière qu'ils puissent prendre leur direction « aussi rapidement que possible. »

S'il y a, en réalité, un moins grand nombre de sections et que l'une d'elles ait une importance supérieure à sept wagons, on pourra néanmoins se servir du même gril, mais en attribuant à cette section plus d'une voie.

La première opération consiste à faire passer les wagons, un par un, dans le gril supérieur C D, dont chacune des voies est attribuée à une section distincte; à la suite de cette opération, chaque voie du gril supérieur contient pêle-mêle les wagons de cette section. La deuxième opération a pour but de classer en ordre les wagons de chaque section sur un deuxième gril; à cet effet, on laisse passer successivement chacun des wagons de la première section du train à former, de manière qu'il occupe la première place sur chacune des voies du gril

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

inférieur. On opère de même dans les autres sections. Dès lors, tous les wagons de la première section étant disponibles au premier rang, on peut les laisser passer dans l'ordre voulu pour le classement sur la voie de formation.

Il en est de même des wagons des autres sections qui se présentent successivement disponibles en premier; la voie de formation ayant reçu, classés en bon ordre, les wagons des sept sections en commençant par la première, il en résulte que le train est formé.

Tel est le principe théorique sur lequel repose cette méthode de classement des wagons dans les trains. Dans l'application, la disposition des voies n'est pas rigoureusement identique à celle qu'indique l'ingénieur anglais : nous allons en donner quelques exemples.

Les gares d'Edge-Hill, à Liverpool, et de Chaddesden, sur le Midland, comportent chacune trois groupes successifs de voies communiquant ensemble; sur les voies du groupe supérieur on reçoit tous les trains de marchandises qui sont à décomposer : des employés font, à l'arrivée de ces trains, la reconnaissance de chaque wagon et inscrivent sur lui, à la craie, le numéro de la voie qu'il devra aller occuper dans le deuxième groupe.

Ce groupe est formé d'un grand nombre de voies, correspondant chacune à une station ou à une direction principale du réseau. On en compte dix à Edge-Hill et trente-deux à Chaddesden; ces voies sont assez longues pour recevoir les wagons de deux trains; elles ont jusqu'à 600 mèt. de longueur.

Quand deux ou trois trains ont été ainsi décomposés, suivant la destination des wagons, on recompose les trains sur le troisième groupe, en y conduisant, soit isolément, soit par masse, les wagons de chaque voie.

On emploie deux dispositions pour l'établissement de la plate-forme de ces gares de triage. Dans les unes, le niveau des rails est à peu près horizontal et n'est incliné que de 3 à 4 millimètres par mètre, au plus; dans ce cas, le service est fait par des chevaux qui conduisent les wagons du premier groupe au deuxième et, du deuxième au troisième. Les aiguilles sont faites d'après le numéro qui est inscrit sur la face d'avant du wagon.

Dans l'autre système, qui a été appliqué à Edge-Hill, entre autres, les voies présentent une forte inclinaison, 8 à 10 millimètres par mètre, et la descente des wagons, d'un groupe à l'autre, se fait par le seul effet de la gravité, après qu'un agent leur a communiqué, à bras, une première impulsion. Dans le parcours, le wagon est accompagné d'un homme, chargé de peser sur le frein à main; il se sert d'un long bâton en bois, aminci par un bout, et qu'il passe entre le châssis du wagon et le ressort, comme cela se pratique du reste en France, où l'on appelle ces bâtons des *garrots*.

En principe, le triage par la pesanteur est un procédé économique et rapide, mais il ne faut pas se dissimuler qu'il présente de sérieux inconvénients : on ne peut pas toujours enrayer à temps le wagon qui descend, et, comme sa vitesse augmente à mesure que son parcours se prolonge, il peut passer par-dessus les aiguilles et dérailler, ou bien se précipiter contre les wagons déjà garés : les taquets d'arrêt, destinés à retenir les wagons en stationnement sur une voie, n'ont guère d'effet utile que lorsque les wagons ne sont pas lancés, sans quoi ils sont facilement franchis. Aussi remplace-t-on, presque partout, le taquet primitif, qui était une simple cale de bois se rabattant sur le rail, par un taquet formé d'un morceau de rail transversal qui peut arrêter les boudins des roues à une certaine hauteur, lorsqu'il est relevé et épaulé contre une pièce de bois fixe : il peut d'ailleurs se rabattre dans la largeur de la voie, entre les rails, pour laisser le passage libre.

En Angleterre, l'ingénieur de la voie de la Compagnie du London North Western a imaginé un appareil à crochet mobile, destiné à obvier à l'insuffi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sance du taquet d'arrêt, en présence de wagons lancés sur une voie (voir pl. IV, fig. 3). Cet appareil accroche au passage l'essieu d'avant du wagon descendant et le force à dérouler derrière lui une chaîne d'un poids considérable, calculé de façon à ne laisser parcourir à ce wagon qu'un espace limité. Mais ce système assez compliqué n'est encore qu'à l'essai, et on se demande comment il peut fonctionner dans la pratique, où, par suite des nécessités d'un triage rapide, les wagons se suivent d'assez près.

Les gares de triage en pente offrent un autre inconvénient; c'est qu'elles sont extrêmement coûteuses, à moins que l'on n'ait été favorisé par le relief naturel du terrain, comme cela se présente à Edge-Hill : sans quoi, on hésite toujours devant l'exécution des remblais que nécessite l'établissement d'une plate-forme longue de près d'un kilomètre, large de 60 mèt. et offrant une pente continue de 8 à 10 millimètres.

Aussi nous paraît-il plus rationnel d'en revenir au système de triage par une voie de manœuvres, mais en donnant à cette voie une certaine pente, ainsi qu'on tend à le faire maintenant.

Ateliers.— Les ateliers de réparation et d'entretien du matériel des Compagnies de chemins de fer diffèrent peu des ateliers de l'industrie privée. Ils sont seulement garnis de voies ferrées servant au stationnement des wagons et machines, et munis de chariots à vapeur avec ou sans fosse, pour le dégagement de ces véhicules.

On trouve de sérieux avantages à couvrir ces ateliers de toits à deux inclinaisons inégales, comme on le fait maintenant, d'une manière courante, pour les ateliers de tissage; le pan le plus incliné, exposé au nord, est fermé par des châssis vitrés, qui donnent ainsi la surface d'éclairage maxima. La Compagnie du Nord vient d'appliquer cette disposition aux ateliers de voitures de La Chapelle, qu'elle a dû reconstruire à la suite de l'incendie de 1876.

Comme type d'organisation générale d'ateliers, nous pouvons citer les ateliers que cette même Compagnie vient de faire construire dans la plaine d'Hellemmes, près de Lille, pour remplacer les anciens bâtiments où l'on était trop à l'étroit, à l'intérieur de la gare de Fives, et qui d'ailleurs doivent faire place à des faisceaux de voies de triage.

Ces ateliers couvrent une surface de plus de 16 hectares de terrain; ils sont situés le long des voies principales de la ligne de Lille à Tournai, à 1 kilomètre environ de la gare de Fives, à laquelle ils se relient par une voie spéciale de circulation (Pl. V, fig. 1). Les ateliers des voitures qui se présentent les premiers comportent huit longues voies en impasse, pour le garage du matériel; ces voies sont desservies par un chariot roulant qui dessert également les seize voies placées sous le hangar du vernissage et de la peinture. Sur plusieurs de ces dernières voies, sont installées des fosses pour monter les freins, vérifier les plaques de garde, etc.

A cet immense hangar sont accolés : le séchoir, la voilerie, le quai de chargement des bâches, l'atelier des apprentis, la broierie, etc. Les bureaux et magasins lui font suite, puis la forge, les machines-outils, et en face, l'ébénisterie, la ferblanterie, la buanderie, la corderie, la sellerie; plus loin deux petites constructions pour le fumage et le flambage, et enfin le parc à roues, le hangar aux bois, l'emplacement réservé pour leur exposition en plein air et pour le classement des vieilles ferrures et la démolition des wagons avariés.

L'économat et sa cour pavée séparent les ateliers des voitures de ceux des machines : on sait ce que doit être ce bâtiment, affecté à la réception des matières premières, et dont le rez-de-chaussée et le premier étage sont divisés en compartiments ou en cases qui permettent de classer toutes les pièces, en atten-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dant qu'il en soit fait usage. De l'économat dépendent d'ailleurs une véritable épicerie et un réfectoire, la Compagnie vendant à ses ouvriers les aliments à un prix très-réduit sur la présentation de leur livret qui constitue un compte courant toujours ouvert.

Les ateliers des machines comportent le bâtiment des forges et des roues où se fait le calage des jantes; puis, dans les deux pavillons opposés, les tours et les machines outils d'une part, la chaudronnerie et le travail des tenders d'autre part; au fond, l'atelier de montage, desservi par un chariot central et présentant treize voies munies de fosses, de part et d'autre du chariot; de chaque côté de la cour de montage, les bureaux et l'atelier de peinture. Les chariots aboutissent aux voies de dégagement à l'extérieur et les tenders peuvent être garés sur deux voies de 255 mètres de longueur.

Tel est l'aperçu rapide de l'ensemble de ces installations qui réalisent ce que l'on a fait de plus récent d'un seul jet, les ateliers anciens ayant été généralement formés par des agrandissements successifs, comme il est advenu des ateliers de Tergnier, dont la Compagnie du Nord expose cependant un plan, dans la classe 64.

Nous n'avons rien à dire ici des plans de l'usine de Vitry, exposés par la Compagnie d'Orléans, ces ateliers sortant tout à fait du cadre des chemins de fer proprement dits, et destinés à fabriquer un certain nombre de matériaux très-divers.

Bâtiments.— Dans les bâtiments des gares et stations, il n'y a guère que la distribution du rez-de-chaussée du bâtiment affecté au service des voyageurs qui puisse donner matière à une discussion comparative et intéressante.

Ici, comme pour les voies, la préoccupation des Compagnies, dans les derniers temps, a été de restreindre, autant que possible, les dimensions, et de n'exécuter que les installations strictement nécessaires pour le service des stations de passage de minime importance. Lorsqu'il s'agit de lignes d'un intérêt véritablement local, il n'y a pas besoin de distribuer les voyageurs dans une série de salles d'attente distinctes pour chaque classe; le même vestibule peut servir à tous les usages. Le personnel est très-restreint; souvent il se réduit à un chef, s'il s'agit d'une halte, aidé d'un facteur dans les petites stations; un seul bureau suffit donc pour la tenue des écritures et la distribution des billets.

Comme exemple d'une installation restreinte, nous pouvons citer le bâtiment de la station de Villefranche-sur-Belvès (Pl. V, fig. 3), sur la ligne de Paris à Agen, exploitée par la Compagnie d'Orléans, Le rez-de-chaussée, qui présente une superficie utile de 63 mètres carrés, est divisé en quatre pièces, un vestibule, un bureau, une lampisterie et un escalier qui conduit à l'étage où se trouve le logement du chef de gare.

Le bâtiment des haltes de la Compagnie du Nord est encore plus réduit; la superficie utile n'est que de 40 mètres carrés. C'est la maison de garde primitive du passage à niveaux, que l'on transforme, en la doublant; la première pièce est conservée comme cuisine pour le chef de halte, et dans la seconde est un bureau large de $1^m,40$, dont les guichets ouvrent sur un vestibule de $4^m,40$ sur $3^m,25$. C'est ce que l'on peut faire de plus simple. (Voir pl. V, fig. 5 et 6.)

Lorsque la station est ouverte au service des bagages, et de la grande vitesse en général, des installations aussi restreintes ne peuvent plus suffire.

Il faut aussitôt séparer le service des billets de celui des bagages : c'est ce qui a lieu à la station de Rosporden, sur la ligne de Paris à Landerneau, exploitée par la Compagnie d'Orléans (voir pl. V, fig. 4). Le rez-de-chaussée présente une surface de 117 mètres carrés; une salle d'attente spéciale a été prévue pour les voyageurs munis de billets de première classe; le vestibule, servant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour les autres classes, est au milieu et sépare cette salle d'un bureau avec table de bagages, pour le facteur, et du bureau du chef de station qui délivre les billets.

Pour les petites stations de passage, la Compagnie du Nord a adopté deux types de bâtiments de voyageurs, avec un corps central élevé d'un étage, et avec deux ailes en rez-de-chaussée.

Le type n° 1 comporte un vestibule donnant accès à deux salles d'attente et servant de salles de bagages dans une partie de sa largeur; de l'autre côté, sont le bureau des billets et bagages, la consigne, le chef de gare, l'escalier qui conduit à son logement et un petit magasin, situé par derrière et pouvant servir de lampisterie ou de dépôt pour les archives (Pl. VI, fig. 4 et 5).

Dans le type n° 2, dont la distribution générale est à peu près la même, les trois classes sont séparées, la salle des bagages plus vaste contient une consigne à claire-voie, le bureau des bagages et messageries est distinct de celui des billets (Pl. V, fig. 2). L'ensemble de la façade ne manque pas d'élégance, et la marquise, que l'on évite de vitrer sur toute sa longueur, pour ne pas en faire une serre chaude en été, porte seulement des châssis vitrés vis-à-vis les bureaux, afin de leur donner plus de jour.

Le soubassement, les chaînes, chambranles de portes et croisées, cordons et couronnement sont en briques jointoyées au mortier rouge, les joints lissés au fer; les remplissages sont en briques rejointoyées au mortier blanc. Les seuils sont en pierre de roche bleue; les bordures des soupiraux, appuis de croisée, sont en pierre de roche dure ou en briques hourdies au ciment de Portland, avec enduit de $0^m,03$ au même ciment (2 sable, 1 ciment).

Les intérieurs sont enduits au mortier de bourre à trois couches, dans les pièces du rez-de-chaussée recevant de la peinture, et à deux couches dans le logement recevant du papier.

Les tuyaux de descente sont en fonte à emboîtement d'une faible épaisseur et de 0^m 108 de diamètre intérieur : les tuyaux aqueducs sont en grès de Sars-Poterie, jointoyés au ciment. Sous les poutres et linteaux en fer, on fait, pour coussinets, des massifs en briques hourdées au mortier de ciment, de 0^m 45 d'épaisseur, de 67 ou 0^m 45 de longueur et 0^m 40 de hauteur.

Les gares de passage ou de bifurcation plus importantes, destinées à faire face à un mouvement de 80,000 voyageurs par an et à un trafic de grande vitesse représentant plus de 20,000 fr., comme la gare de St-Roch (Amiens) par exemple, sont traitées plus largement. La surface totale est de 480 mètres carrés; le bâtiment comprend un corps central et deux ailes en rez-de-chaussée, plus deux pavillons extrêmes surmontés d'étages qui servent de logements aux principaux agents de la gare (Pl. VI, fig. 3).

Le corps central comprend le vestibule, les bureaux des billets, des bagages et du télégraphe; il ouvre, à gauche sur la salle des bagages, à droite sur les salles d'attente, qui sont suivies du bureau du chef de gare et de l'escalier conduisant à son logement. La salle des bagages, flanquée à gauche d'une vaste consigne et d'un bureau que l'on a abandonné à l'octroi de la ville d'Amiens, communique par un passage avec le couloir de sortie des voyageurs; à la suite, viennent le bureau du surveillant et l'escalier qui conduit à son logement.

Il existe une marquise vitrée du côté des voies, et une autre, du côté de la cour : tout le bâtiment est construit en briques, avec parements en pierres, et l'ensemble présente un aspect assez monumental.

Dans la distribution du rez-de-chaussée des bâtiments des grandes gares de bifurcation, où l'affluence des voyageurs rend nécessaire l'installation d'un buffet, le plus difficile est d'arriver à donner à tous les services, qui en ont également besoin, une sortie sur le quai des voyageurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La Compagnie d'Orléans a atteint ce *desideratum*, à la gare de Bourges, en donnant au bâtiment une longeur de 110^{m} sur 8^{m} de largeur seulement, sauf les pavillons qui ont 12^{m}. Seulement le buffet est, par rapport au vestibule central, situé du côté opposé aux salles d'attente, ce qui offre moins de commodité aux voyageurs; le bureau de factage occupe une excellente position centrale, entre la salle des bagages au départ et la salle des bagages à l'arrivée, laquelle est contiguë au couloir de sortie des voyageurs; mais ceux-ci sont obligés de sortir dans le vestibule. Dans le pavillon de gauche, on a concentré tous les bureaux: chef, sous chef, télégraphe, inspecteur, etc., y sont installés (Pl. VI, fig. 1).

Le pavillon de droite contient le commissaire de surveillance administrative, une consigne, un corps de garde pour les conducteurs, une lampisterie et une chaufferetterie. La surface totale est de 1,000 mètres carrés environ.

Le bâtiment de la gare de Beauvais, que la Compagnie du Nord vient de remanier complétement, n'a que 900 mètres carrés de surface; sa longueur n'est que de 76 mètres, mais sa largeur est de 10 mètres, et le vestibule, qui est tout à fait extérieur, mesure 32 mètres sur 5 mètres (Pl. VI, fig. 2).

Le bureau de la grande vitesse est situé entre les deux salles des bagages, mais la sortie des voyageurs est séparée du vestibule, et le couloir des salles d'attente s'ouvre, à son extrémité, sur le buffet qui occupe le pavillon de gauche, tandis que tous les bureaux et les latrines sont logés dans le pavillon de droite. En résumé, la distribution est commode et satisfait assez largement aux besoins complexes du service, qui doit faire face à l'expédition de 220,000 voyageurs et à une recette de 40,000 fr. pour la grande vitesse; nous n'en dirons pas autant de l'élévation qui, à cause des remaniements successifs, présente un mélange inextricable de pavillons et de tourelles dont l'effet architectural est peu satisfaisant.

Nous ne parlerons pas de la distribution des bâtiments, dans les grandes gares de tête proprement dites, pour les lignes aboutissant à Paris; il n'y a, sous ce rapport, aucune installation récente qui vaille la peine d'être citée, et les anciens bâtiments de toutes les Compagnies sont trop connus pour que nous nous exposions à faire ici des redites inutiles.

Contentons-nous seulement de dire quelques mots d'une disposition de salle de bagages au départ, destinée à remplacer les tables dont on faisait usage jusqu'à présent et que l'on disposait en forme de V, pour gagner de la longueur en développement, dans une surface de salle donnée. Jusqu'à présent les bagages des voyageurs étaient déposés par eux sur ces tables, repris successivement par des hommes d'équipe qui les pesaient sur des bascules ordinaires, puis chargés sur des chariots ou *tricycles* qui les conduisaient au fourgon. Dans le nouveau système, les bagages sont déposés et pesés sur le tricycle qui doit les amener jusqu'au fourgon : la tare de ces petits chariots est faite à l'avance et le pesage se fait sur des bascules à fleur de terre dont nous donnerons plus loin une description détaillée ; les tables sont presque entièrement supprimées, ce qui dégage la circulation, et le service se fait à peu près deux fois plus rapidement; cette disposition a été adoptée successivement par la Compagnie d'Orléans, par la Compagnie du Nord dans ses gares principales de Paris, de Boulogne, de Lille et d'Amiens. et enfin par la Compagnie de l'Est qui vient de remanier entièrement ses salles de bagages au départ.

La fig. 7 de la planche V indique la disposition adoptée à la gare du Nord, à Paris. L'enregistrement est fait dans quatre bureaux, dont les deux extrêmes sont à deux guichets; entre les deux bureaux du milieu, se trouve un passage pour les voyageurs munis de leurs billets, qui sont autorisés à se rendre immédiatement sur le quai.

Pour terminer, nous dirons quelques mots des plans de gares et de bâti

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ments qui décorent les parois de l'annexe autrichienne, au Champ de Mars. C'est, en effet, le seul pays qui ait exposé des dessins de cette nature.

La gare du Nord, à Vienne, a reçu une extension considérable, par suite du développement qu'avait pris le trafic depuis 1866. Sans entrer dans les détails fastidieux d'une description complète des voies, il est intéressant de faire remarquer qu'à la suite des travaux d'agrandissement entrepris,

La longueur des voies principales a été portée de	1,770^{m}	à	2,816	mètres;
— voies accessoires —	26,860	à	62,106	—
Le nombre des aiguilles —	192	à	375	
La capacité des estacades à charbon —	3,036^{t}	à	13,800	tonnes;
La surface des halles à marchandises —	9,488^{m}	à	17,860	mèt. carr.

Il en est de même pour les gares de Prérau, d'Ostrau, d'Oderberg, etc., situées sur le réseau du Kaiser-Ferdinands-Nordbahn; une série de plans montre au visiteur leurs transformations successives, et des tableaux statistiques, que nous nous dispenserons de reproduire, attestent l'active impulsion qui a été donnée aux travaux, pendant la période de 1867 à 1877.

Il est bon de signaler encore la tendance, accusée par la même Compagnie, et consistant à construire, pour ses employés, ses fonctionnaires et ses ouvriers, des habitations salubres et commodes, dans la plupart des gares importantes.

Les maisons de garde du type n° 4 ont 61 mètres carrés de superficie, et comprennent une chambre, une cuisine, un avant-corps d'observation, un cabinet et une cave.

Les maisons de fonctionnaires ont 240 mètres carr.és de surface bâtie; chacune d'elles comporte neuf logements, dont six sont composés chacun de deux chambres, d'une antichambre, d'une cuisine et d'un garde-manger, et les trois autres, de deux chambres, d'une antichambre et d'une cuisine. Elles renferment, en outre, des caves, une buanderie commune, une chambre à calandrer, et il y a un petit jardin devant chaque maison.

Les maisons d'employés renferment six logements composés de deux chambres et d'une cuisine, et six composés d'une chambre, d'un cabinet et d'une cuisine.

Dans les maisons d'ouvriers, chaque logement ne se compose que d'une chambre et d'une cuisine, et il y a des cabinets pour les ouvriers célibataires.

Toutes ces maisons sont couvertes d'ardoises et munies d'escaliers en pierre solidement construits.

II. — APPAREILS DESTINÉS A GARANTIR LA SÉCURITÉ DE L'EXPLOITATION.

SECTION A. — Signaux optiques et acoustiques.

§ 1er. *Classification des signaux.*

Il a été publié d'excellentes descriptions des signaux généralement usités pour assurer l'exploitation des chemins de fer; il nous suffira, par exemple, de citer l'ouvrage si détaillé de M. Brame sur cette matière, et de rappeler l'excellente analyse faite, en 1867, par M. Morandière, à propos de l'Exposition

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Universelle, pour nous dispenser de revenir sur les appareils qui s'y trouvent décrits.

Après un résumé aussi complet de la situation, à cette époque, il ne nous restera guère qu'à enregistrer ici les perfectionnements ou les inventions qui, pendant la période de onze années écoulée depuis la dernière Exposition, ont pu survivre à l'essai qu'en ont fait les compagnies des chemins de fer.

Mais, avant d'entreprendre cette revue sommaire, et pour mieux préciser les termes que nous serons obligé d'employer, nous croyons utile de donner une classification rationnelle des signaux actuellement en usage sur les divers réseaux.

1° SIGNAUX MOBILES.

a. *Signaux s'adressant aux mécaniciens.*

1° Signaux optiques.

Drapeaux, feux-signaux, torches, lanternes, etc.

2° Signaux acoustiques.

Sifflets, cornes, trompes, pétards, etc.

b. *Signaux s'adressant aux agents sédentaires et des trains.*

1° Signaux optiques.

Feux, lanternes, etc.

2° Signaux acoustiques.

Sifflets, cornes ,trompes, intercommunication des trains.

2° SIGNAUX FIXES (placés en un point invariable de la ligne).

a. *Signaux optiques.*

1° Poteaux fixes.

Poteaux kilométriques, indicateurs de profil et des courbes, indicateurs de bifurcation et de pont-tournant, indicateurs de vitesse, poteaux d'arrêt pour les machines, indicateurs des coups de sifflet, etc.

2° Signaux à révolution ou à oscillation.

Disques, sémaphores, indicateurs de direction, etc.

b. *Signaux acoustiques.*

Sonneries trembleuses des disques, sonneries d'annonce, pédales avertisseuses, contrôleurs d'aiguilles, appareils à contacts fixes.

Tel est l'ordre que nous suivrons, en ne nous arrêtant, d'ailleurs, qu'à ceux des articles précédents qui nous fourniront l'occasion de citer quelque appareil nouveau.

§ 2. *Signaux mobiles et poteaux fixes.*

Feux-signaux. — On a mis en service, depuis quelque temps, à la Compagnie de l'Ouest, des feux-signaux, destinés à protéger les trains dont la marche a ralenti considérablement, pour une cause quelconque.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce sont de petites torches, d'une longueur de 20 à 25 centimètres, composées d'un étui en carton renfermant une composition chimique, imaginée par M. Lamarle, et capable de produire, en brûlant, une flamme rouge ou verte, pendant un laps de temps déterminé.

L'agent placé dans le dernier véhicule d'un train dont la marche vient à ralentir, laisse tomber, dans l'entre-voie, l'une de ces torches, après l'avoir allumée, et en ayant soin de choisir une torche dont la couleur correspond au sens de la marche du train en question.

A la vue de cette torche brûlant sur la plate-forme de la voie, un mécanicien circulant sur la voie à laquelle elle se rapporte, d'après sa couleur, est averti qu'il est précédé, à moins de cinq ou dix minutes d'intervalle, par un train à marche ralentie, et il doit alors se rendre immédiatement maître de la vitesse du train qu'il conduit, de manière à pouvoir s'arrêter dans la limite de l'espace qu'il voit libre devant lui.

La flamme résiste bien aux intempéries de l'air, mais la composition chimique risque de s'altérer, lorsqu'elle est restée longtemps en boîte, et de ne plus pouvoir s'allumer, au moment où cela devient nécessaire.

Mais, d'un autre côté, le feu-signal a, sur les pétards, l'avantage de ne pas nécessiter que les agents quittent le train, pour le fixer sur les rails : il tombe à l'endroit précis qu'il y a lieu de protéger; enfin ce signal disparaît, au bout d'un certain temps, et il n'entraîne pas le ralentissement d'un train qui ne passerait en ce point qu'au bout d'une heure, inconvénient qui se présente dans l'emploi des pétards; ceux-ci, en effet, restent sur la voie, alors même qu'ils ne sont plus nécessaires à la sécurité du train qui les a posés.

Signaux des trains. — Pour distinguer, la nuit, la provenance des trains, convergeant de plusieurs directions, aux abords des grandes gares, telles que Paris, plusieurs de nos Compagnies françaises, l'Ouest et le Nord par exemple, ont adopté l'emploi de combinaisons diverses de lanternes et de falots, placés à l'avant de la machine, soit au-dessus des tampons, soit à la base de la cheminée.

Sans entrer dans plus de détails, on conçoit que la Compagnie du Nord ait pu ainsi rendre bien distinctes, aux yeux des aiguilleurs, la nature et la provenance des trains qui arrivent, au kilomètre 3, des directions de Soissons, Chantilly, Pontoise et Argenteuil.

En Angleterre, le rapport de M. Findlay, directeur du London and Nord-Western Railway, nous apprend que l'on a aussi recours à l'arrangement des lumières, pour distinguer la vitesse des trains en marche.

Ainsi, les machines des trains rapides ou munis du frein spécial portent deux lumières blanches, une sur chaque tampon; les machines des trains de voyageurs de petite vitesse et des trains légers ont une seule lumière blanche, placée sur le tampon gauche; les machines des trains express, pour marchandises et pour bétail, ont deux lumières vertes, une sur chaque tampon; les machines des trains de petite vitesse pour marchandise s, mineraiset ballast, ont une seule lumière verte sur le tampon de gauche.

Les trains ou machines en marche sur les voies additionnelles, réservées à la circulation des trains de petite vitesse, portent, en outre, une lumière verte, au pied de la cheminée.

Pendant le jour, les machines attelées à des trains express de marchandises ou de bétail portent un disque blanc diamanté, placé au pied de la cheminée.

Quant à la marche des trains spéciaux ou dédoubles, annoncée en France par les siguaux détaillés dans l'ouvrage de M. Brame, elle est, en Angleterre, indiquée par un drapeau ou une lanterne rouge, hissés à l'arrière du train qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

précède le train spécial. Pour désigner, en outre, la nature du train, on a soin de disposer les deux feux sur la même ligne, s'il s'agit d'un train spécial de marchandises ou de bétail, et de les superposer, si c'est un train de voyageurs.

Intercommunication des trains. — Il n'y a rien à ajouter à l'excellente description de la communication électrique du système Prudhomme, qui a été donnée dans les Études sur l'Exposition de 1867.

En Angleterre, le London and Nord-Western C°, ainsi que le Midland, ont adopté l'usage d'une simple corde, placée à la partie supérieure des voitures. Elle y est maintenue, au moyen de petits galets à chape supérieure, et, au repos, chaque extrémité est nouée à l'extrémité de la caisse. L'attache des cordes de deux voitures consécutives se fait à l'aide de petits crochets, dont l'entrée est très-étroite et que l'on ne peut accrocher qu'en les présentant, l'un devant l'autre, dans une certaine position.

La corde, manœuvrée en passant le bras par la baie de la portière, correspond à une sonnerie, placée dans le fourgon à bagages. Ce système gênant et incomplet, puisque l'agent ne peut savoir d'où part l'appel, est évidemment inférieur au système électrique.

Aussi, comme on peut le voir sur les voitures exposées dans leurs annexes du Champ de Mars, la Suède et l'Italie ont-elles adopté l'intercommunication électrique.

Les attelages suédois comportent un emmanchement à baïonnette, et, dans les appareils italiens, le contact est déterminé par la pénétration d'un cylindre plein dans un cylindre creux.

Ajoutons qu'un système anglais d'intercommunication électrique est exposé dans la section anglaise, à l'extrémité de la grande Galerie des machines, sous les noms de MM. Stroughby et Rusbridge, et un autre, par M. Stewart, dans la galerie latérale.

Poteaux de bifurcation. — On sait que plusieurs de nos Compagnies ont pour principe de signaler aux mécaniciens l'approche d'une bifurcation, en plaçant, sur la voie qu'ils parcourent, un poteau, dit *indicateur de bifurcation*, d'un type assez variable.

La Compagnie du Nord, entre autres, fait usage de poteaux, peints en mire, avec les couleurs blanche et verte, éclairés la nuit d'un seul feu vert Ce signal doit être placé à 800 mètres, au moins, de la pointe des aiguilles.

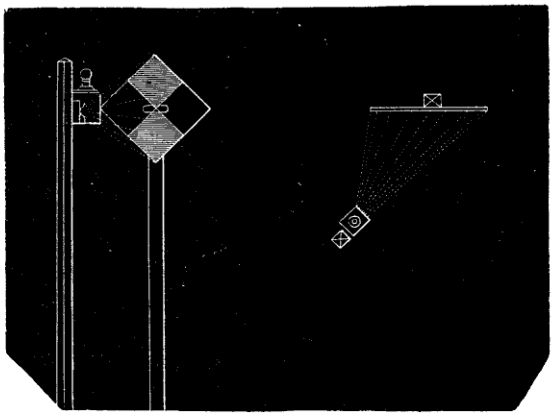


Fig. 1. — Poteaux indicateurs de bifurcations, à moins de 800 mètres.

Cependant, dans certains cas, et notamment dans les triangles de voies, où les courbes de raccordement n'ont pas toujours un développement de 800 mètres, on est conduit, pour éviter la confusion, à placer ces signaux à moins de 800 mètres des aiguilles de la bifurcation.

Pour signaler cette anomalie aux mécaniciens, la Compagnie du Nord a

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

décidé, au commencement de janvier 1875, que, partout où la distance réglementaire de 800 mètres ne pourrait être observée, entre les poteaux et la pointe ou les croisements des aiguilles, les voyants des poteaux indicateurs, également peints en vert et en blanc, seraient montés sur leur diagonale, conformément aux indications du croquis ci-contre (fig. 1).

Afin que la forme des voyants de ces poteaux indicateurs soit aussi bien visible la nuit que le jour, ils sont éclairés par la réflexion de la lumière d'une lanterne, placée en avant et portée par un poteau spécial P.

§ 3. — *Disques* (par M. Cossmann).

Disque à plusieurs transmissions. — On trouve, dans l'ouvrage de M. Brame, la description d'un disque à plusieurs transmissions, mis en service par la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

Il arrive, en effet, souvent que, pour ne pas multiplier les signaux, destinés à protéger une gare assez étendue en longueur, on se contente d'installer un seul disque à distance, que l'on fait actionner par des leviers placés à tous les points où la voie qu'il couvre peut être engagée par des manœuvres.

La Compagnie du Nord va faire l'essai d'une nouvelle disposition, imaginée par M. Forest, ingénieur du bureau des études, dans laquelle le nombre des transmissions a été limité à trois, mais qui pourrait en comporter un nombre supérieur.

Le mât A qui supporte le voyant (pl. VII, fig. 1, 2 et 3) repose, à 0^m70, du sol, dans une crapaudine qui fait partie d'un bâti B, en fonte, muni de solides nervures.

Sur ce mât, est montée, solidairement avec lui, une branche C, en fer forgé, reposant, à la partie inférieure, sur le bâti B.

L'action du contre-poids, qui tend constamment à mettre à l'arrêt les disques de la Compagnie du Nord, lorsqu'ils ne sont pas sollicités par un effort de traction agissant sur le fil de transmission, maintient, au contraire, dans ce nouvel appareil, le voyant effacé et la branche C dans la position indiquée à la figure.

Dans l'axe du mât A, sont montées trois poulies folles D D' D'', sur lesquelles s'enroulent les chaînes situées dans le prolongement des trois fils de transmission. A chacune des poulies est fixée un doigt E, qui vient buter contre la branche C, et dont la pression peut lui faire décrire un quart de tour, autour de son axe vertical.

Les contre-poids, placés au-delà des poulies folles, sont respectivement d'un poids supérieur au contre-poids du mât. Si donc, en manœuvrant l'un des leviers, on laisse agir le contre-poids placé à l'extrémité du fil de transmission, le butoir correspondant entraîne la branche C et, par suite, le disque se met à l'arrêt. Il en est de même si l'un des fils casse, de sorte que le principe, ordinairement admis, est encore sauvegardé. D'ailleurs, le disque ne peut être effacé, qu'après que les trois leviers ont été ramenés à la position de *voie libre*.

Trois sonneries trembleuses, dont le fonctionnement est assuré par l'existence de commutateurs électriques F, appartenant au système universellement adopté, sont placées chacune auprès d'un levier de manœuvre, et servent à indiquer à l'agent qui a manœuvré le levier que le voyant du disque a bien obéi à cette manœuvre.

Ce système, à la fois simple et ingénieux, est, en ce moment, monté aux ateliers que la Compagnie possède à Ermont, et tout prêt à fonctionner. Mais il n'a pas encore reçu la consécration d'un essai prolongé, et l'on ne pourrait encore porter un jugement définitif sur sa valeur pratique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Slot-signal. — En Angleterre, lorsque les sémaphores, qui remplacent les disques, sont manœuvrés par plusieurs agents, la tringle qui agit sur le bras du sémaphore porte autant de coulisses, dans chacune desquelles peut se mouvoir un levier à contre-poids manœuvré par le fil de transmission.

Lorsque tous les leviers sont à la partie inférieure des coulisses, le bras du sémaphore est maintenu dans sa position horizontale où il commande l'arrêt.

Il ne peut retomber et indiquer, en s'effaçant, que la voie est libre, qu'autant que tous les agents ont relevé le contre-poids qui leur correspond, en manœuvrant leur levier de transmission.

Disque à moteur électromagnétique. — Dans la section étrangère, on peut voir, exposé par la société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État, une manœuvre de disque s'exécutant au moyen de l'électricité, d'après le système breveté de M. Langie.

Nous nous contenterons d'en donner le principe.

A la station, se trouve installé un groupe formé : d'un manipulateur T, d'un appareil d'induction J, d'une batterie de pile P, d'une boussole G, et d'une

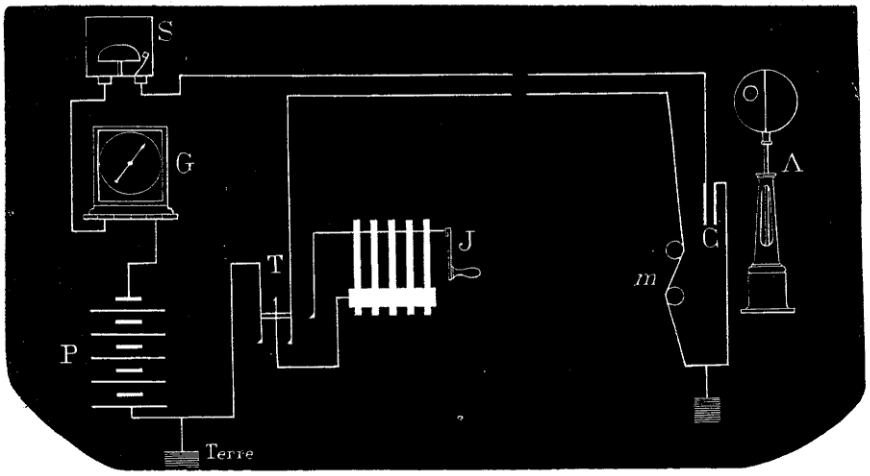


Fig. 2. — Disque électrique de M. Langie (exposé) : marche des courants.

sonnerie trembleuse S. Auprès du disque A, sont placés un électro-aimant, un échappement, un contre-poids, une roue motrice à gorge et des lamelles métalliques C dont le contact peut, comme l'indique le croquis ci-dessus, fermer le circuit électrique (fig. 2).

La roue motrice, qu'un mécanisme ingénieux met en mouvement sous l'influence de la chute du contre-poids, porte des arcs chevronnés qui servent de guide à une petite roulette pyriforme en acier, fixée à une bague boulonnée sur l'arbre du disque A.

La rotation de cette roue détermine, par suite, la rotation de l'arbre soit d'un angle de 90°, en avant, soit d'un angle de 90° en arrière, pour le ramener à voie libre.

En abaissant le manipulateur T, et en tournant simultanément la manivelle de l'appareil d'induction J, on produit des courants qui, en passant dans l'électro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aimant, déclenchent le contre-poids chargé de mettre en mouvement la roue motrice dont il vient d'être question.

Le disque se place à l'arrêt, une came fixée à la tige du disque amène les lamelles C au contact, et le circuit est, par conséquent, fermé.

Immédiatement, la boussole G accuse une déviation et la trembleuse S sonne, tant que le disque reste à l'arrêt.

Si l'on produit de nouveaux courants d'induction, on déclenche la palette de l'électro-aimant, le contre-poids continue à descendre d'une faible quantité, ce qui entraîne encore la rotation de la roue motrice ; mais, grâce à la disposition des arcs chevronnés qui est indiquée au croquis ci-contre (fig. 2 *bis*), le mouvement de la roulette fixée au disque est rétrograde, et le mât revient à la position correspondant à la voie libre : la trembleuse S cesse de tinter.

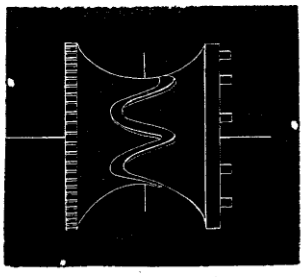


Fig. 2 *bis*.
Détail de la roue motrice.

En un mot, on pourrait caractériser cet appareil en disant que l'inventeur y a résolu le problème de la transformation, au moyen de l'électricité, d'un mouvement de rotation continue, autour d'un axe horizontal, en un mouvement alternatif de rotation autour d'un axe vertical.

Tous ces mécanismes sont des plus ingénieux, et l'on doit, avant tout, en admirer la perfection ; mais, indépendamment de l'inconvénient qu'il y a, en général, à confier le fonctionnement de signaux aussi importants que les disques à l'électricité si sujette aux dérangements, cet appareil mérite une critique bien plus grave encore.

C'est à l'aide du même courant d'induction que l'on obtient la mise à l'arrêt et la mise à voie libre, ce qui fait que le moindre courant, envoyé par mégarde, peut déterminer l'effacement du disque et entraîner les accidents les plus terribles, la sonnerie trembleuse n'étant, en réalité, qu'un appareil de contrôle sur lequel il serait imprudent de compter pour déceler cette erreur.

Photo-avertisseur. — L'effet protecteur des disques est, la nuit, réduit à néant, lorsque, malgré l'orientation convenable des voyants, la lumière qui doit les éclairer vient à s'éteindre.

M. Coupan, ingénieur civil, ancien inspecteur de la Compagnie du Nord, a eu l'idée d'appliquer, au contrôle de la combustion de cette flamme éclairante, un thermomètre métallique différentiel, capable de fermer ou de rompre un circuit électrique, en faisant tinter une sonnerie d'avertissement.

Sur le circuit électrique qui communique avec la sonnerie trembleuse, est intercalé un commutateur à lames flexibles A B, comme l'indique le croquis ci-dessous (fig. 3) ; le courant passe, pendant la journée, à travers les appendices *p q* fixés à ces lames. Mais, dès que la nuit commence à tomber, en hissant la lanterne du disque, on introduit, entre les lames, une pièce isolante A′ B′, fixée à cette lanterne, et garnie extérieurement d'armatures métalliques qui communiquent, par des fils, respectivement avec deux thermomètres différentiels CD, EF ; le circuit électrique n'est fermé complètement qu'autant que la vis D établit une communication entre les deux thermomètres.

Placés au-dessus de la lampe K, ces deux thermomètres sont formés de métaux inégalement dilatables : le thermomètre inférieur CD est le plus mince, de sorte qu'en s'infléchissant sous l'influence de la chaleur, il vient buter contre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la vis D et qu'il ferme le circuit : le courant peut passer, et, si l'on met le disque à l'arrêt, la sonnerie trembleuse fonctionne comme à l'ordinaire.

Si, au contraire, la lampe vient à s'éteindre, les lames se redressent, le contact cesse et la sonnerie ne fonctionne plus lorsqu'on met le disque à l'arrêt, ou cesse de fonctionner si le disque s'y trouvait déjà.

Ce qu'on peut reprocher à cette disposition, c'est précisément cette cessation

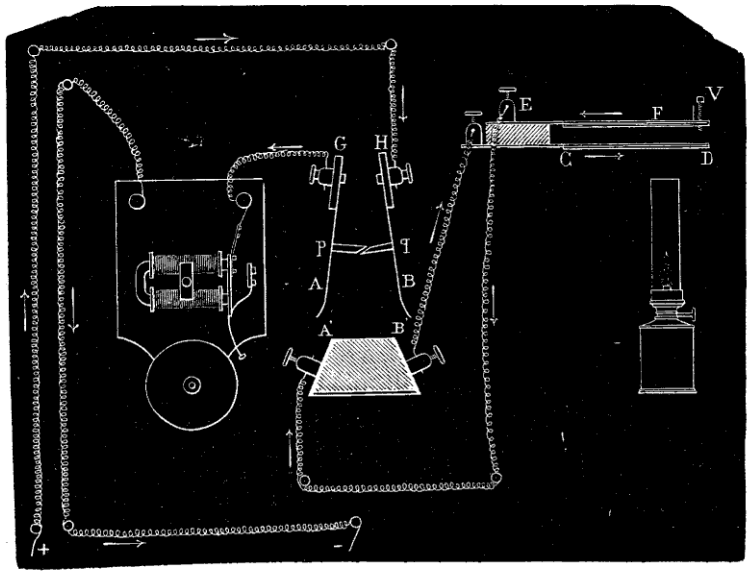


Fig. 3. — Photo-avertisseur Coupan. — Marche des courants.

du tintement de la sonnerie, qui peut rester inaperçue de l'agent chargé de manœuvrer le levier, alors qu'il serait surtout important de l'avertir.

Il est vrai que, répondant à cette objection, l'auteur ajoute que l'on pourrait, en renversant le sens de l'emploi des métaux composant les thermomètres différentiels, établir le contact à froid et ne le supprimer qu'à partir d'un pouvoir éclairant suffisant : la sonnerie, qui serait spéciale, ne se mettrait, par suite, à tinter que si l'éclairage était insuffisant ou nul; enfin, le courant ne devant plus être établi pendant le jour, on supprimerait les appendices *p* et *q*.

Quoi qu'il en soit, cet appareil ne paraît pas avoir encore été appliqué d'une manière courante.

Contrôleur du fonctionnement des disques. — Il arrive souvent que, par un défaut de construction, ou à la suite de brusques changements de température qui influent sur les fils de transmission, les voyants des disques n'obéissent plus rigoureusement au levier de manœuvre.

Dans ces conditions, si un mécanicien rencontre un disque dont le voyant est, par exemple, incliné à 45 degrés sur l'axe de la voie, il peut se demander si le disque est réellement effacé ou fermé.

Il est donc très-important que l'agent qui manœuvre un disque sache si l'effet à obtenir a été complet. Or, la sonnerie trembleuse, généralement adoptée, in-

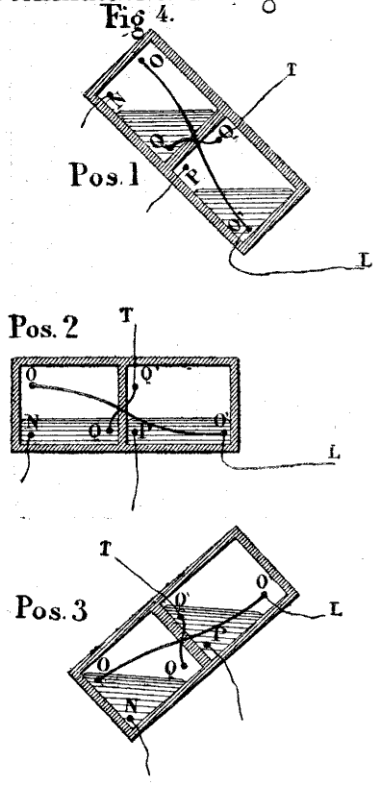
Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dique seulement si le disque a bien été amené à la position d'arrêt. Il serait utile de constater aussi si la mise à voie libre a été complète.

Ces considérations ont amené M. Lartigue, ingénieur électricien du service télégraphique de la Compagnie du Nord, à rechercher un moyen de contrôler exactement la position des disques, dans les deux sens. L'appareil qu'il a imaginé avait été étudié primitivement pour contrôler le fonctionnement d'un sémaphore du système anglais, dans lequel un bras rouge horizontal commande l'arrêt.

Commutateur Lartigue.

Fig. 4.



Nous donnons ci-contre (fig. 4) trois croquis indiquant les positions du commutateur électrique dont s'est servi M. Lartigue pour réaliser le contrôle.

Ce commutateur, fixé au voyant, est une boîte en ébonite, bien étanche, séparée, par une cloison pleine et isolée, en deux compartiments dans lesquels se trouve une certaine quantité de mercure.

A l'intérieur de chacun de ces compartiments, se trouvent trois boutons de contact en platine : les boutons N et P sont indépendants; le bouton O communique avec le bouton O′, et de là, avec le fil de ligne et la gare; le bouton Q communique avec le bouton Q′, et de là, avec le fil de terre.

Lorsque le voyant du sémaphore est effacé, le commutateur occupe la position n° 1 et, par suite de l'inclinaison de la boîte, le mercure ne baigne que les boutons Q et O′ : le circuit électrique est donc interrompu.

Lorsque le voyant du sémaphore est à l'arrêt, le commutateur occupe la position n° 3; le mercure baigne, d'une part, les boutons N et O, d'autre part les boutons P et Q′, et il passe un courant d'électricité négative.

Si le voyant occupe une position intermédiaire n° 2, pour peu qu'elle s'écarte de 10 degrés des positions précédentes, le commutateur donne un courant d'électricité positive, par le circuit O′P.

Dans ces conditions, il s'agissait d'obtenir deux sonneries d'un timbre différent, suivant que l'on avait affaire à un courant positif ou négatif.

M. Lartigue y est parvenu en intercalant, en gare, sur le fil de ligne, une boussole destinée à renverser les courants, dont il est également l'inventeur et qui est représentée à la fig. 5.

Sur l'axe de la boussole I, auquel aboutit une des extrémités du fil de la bobine, est monté un fléau F, muni de deux crochets plongeant dans des godets de mercure G, d'où partent des fils qui aboutissent à deux sonneries S, de timbre différent et, de là, à la terre.

Si le courant positif passe, la boussole s'incline vers la droite, et c'est la son-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nerie de droite qui tinte; c'est au contraire celle de gauche que l'on entend sonner, si le courant est négatif.

Cet ingénieux appareil doit être prochainement mis à l'essai, pour les disques à révolution, avec une légère modification, destinée à transformer le mouvement de révolution du disque en un mouvement d'oscillation, nécessaire au fonctionnement du commutateur.

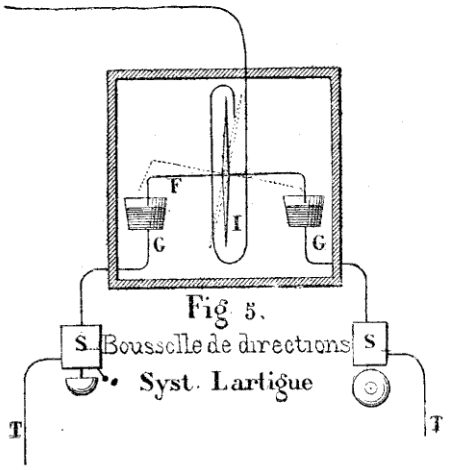


Fig. 5.

Contrôleur autrichien. — L'appareil de contrôle du fonctionnement des disques, exposé dans la section autrichienne, est un commutateur peu différent du type généralement adopté. Il est relié à l'arbre du disque par l'intermédiaire d'une bielle, et, bien que cette disposition puisse procurer une assez grande surface de contact, elle a l'inconvénient de multiplier les mécanismes des transmissions dans des appareils qui, par eux-mêmes, sont déjà fort délicats.

Disques bas. — On emploie, en Angleterre, pour l'entrée ou la sortie des voies de manœuvres ou de garage, de petits disques fixés, presque à fleur du sol, ce qui permet de réserver les signaux élevés exclusivement pour le service des voies principales.

Disques à deux feux. — Préoccupées, à juste titre, de la confusion que pouvait faire naître, dans l'esprit des mécaniciens, l'emploi du même feu rouge, pour éclairer, pendant la nuit, des disques de forme et de signification très-variables, plusieurs Compagnies, parmi lesquelles la Ceinture et le Nord, se sont décidées à éclairer d'un seul feu rouge les disques à distance que les mécaniciens peuvent franchir, et à munir de deux feux rouges les signaux d'arrêt absolu, qui ne doivent jamais être dépassés, tant qu'ils sont à l'arrêt.

Seulement, pour éviter le supplément de dépenses qu'aurait entraîné ce double éclairage, la Compagnie du Nord a appliqué une disposition indiquée à la planche VII (fig. 7 et 8).

La lanterne A est fixe, et le voyant mobile B vient la masquer, dans sa position d'arrêt, d'un verre rouge C : l'autre verre rouge D est éclairé par la réflexion du feu de la lanterne, au moyen d'un miroir M. Sur la même monture est posé un verre de couleur E qui sert à masquer la lanterne, dans la direction de la gare, lorsque le disque est effacé, dans le but de contrôler son fonctionnement.

Disque automoteur du système Pignel (exposé). — On sait que les disques à distance, dont les leviers de manœuvre sont placés dans les gares, doivent être mis à l'arrêt, pendant le stationnement des trains et pendant cinq ou dix minutes, après le départ ou après le passage de ces trains.

Une omission, un retard ou une négligence, dans l'accomplissement de cette prescription formelle, pourrait entraîner les plus graves conséquences. Aussi plusieurs inventeurs ont-ils songé à armer le disque d'une pédale, placée contre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le rail, de manière que la roue d'avant de la machine mette elle-même le disque à l'arrêt, et protège le train contre l'arrivée d'un train suivant.

Tel est, entre autres, le but principal du disque imaginé par M. Pignel, inspecteur de la voie au chemin de fer du Nord.

Ce disque, représenté d'une manière sommaire par les figures 4, 5 et 6, de la planche VII, se compose :

1° D'un mât A, en bois, sur lequel est fixé un voyant circulaire M, peint en rouge sur la face, en blanc sur le revers;

2° D'un écran blanc B, destiné à masquer le voyant, lorsque la voie est libre, et pouvant glisser, à l'aide de galets, sur deux guides verticaux N, N;

3° D'une poulie C, placée au-dessus du voyant M : sur la gorge de cette poulie passe une chaîne, attachée, d'une part, à la partie supérieure de l'écran, d'autre part à une poulie différentielle D.

La poulie D peut être mise en mouvement par le fil de transmission, au moyen du levier de manœuvre, et elle sert à remonter l'écran, c'est-à-dire à mettre le disque à *voie libre*.

Pour mettre le disque à l'arrêt, il suffit de faire basculer un taquet P, faisant partie d'un levier coudé commandé par une tringle Q. La mise en mouvement de cette tringle est obtenue sous l'influence :

1° d'une robuste pédale G, munie d'une lame de caoutchouc et s'abaissant, au passage du train, sous la première roue de la machine;

2° du bras R, poussé par le butoir S, lorsque le fil est abandonné à l'action du contre-poids T.

Le contre-poids T agissant sur le fil, soit lorsqu'on manœuvre le levier du disque, soit lorsque le fil se casse, on voit que le disque Pignel rentre dans la classe de ceux qui se mettent d'eux-mêmes à l'arrêt, en cas de rupture du fil.

L'écran mobile est percé d'une petite ouverture circulaire K, placée vis-à-vis le foyer lumineux. Derrière cette ouverture est adapté un tronc de cône L, muni, à sa grande base, d'un verre lenticulaire placé précisément en face du centre du verre rouge V de la lanterne ; ce centre est dépoli, suivant une surface elliptique de $0^m,03$ sur 0,02, ce qui n'altère pas l'intensité du feu rouge, lorsque le disque est à l'arrêt; mais, lorsque l'écran masque le voyant, les rayons blancs sont seuls recueillis par le verre lenticulaire, qui renvoie un feu blanc à la vue du mécanicien.

Ce disque présente, à certains points de vue, des avantages incontestables : le voyant et le feu sont fixes, ce qui permet l'emploi du pétrole, dont le pouvoir éclairant est bien supérieur à celui de l'huile végétale, et qui coûte moins cher.

De plus, grâce à sa pédale, ce disque fonctionne automatiquement, et le train, en passant devant le disque, se couvre lui-même.

Les essais d'application qui ont été tentés jusqu'à ce jour ont, d'ailleurs, donné des résultats satisfaisants.

Disque automoteur du système Moreau (exposé). — Le disque Moreau ne diffère des disques ordinaires que par le mécanisme placé à la base du mât qui supporte le voyant. Il est automatique, comme le disque Pignel, que nous venons de décrire, et il a sur lui l'avantage de ne pas entraîner, pour le voyant, l'adoption de formes nouvelles.

Examinons d'abord le fonctionnement de ce disque, abstraction faite de l'existence d'une pédale automotrice (Pl. VIII, fig. 1 et 2).

Le mât A du disque tend à tourner dans la position correspondant à l'arrêt, sous l'influence du contre-poids B. Sur ce mât est monté un doigt C qui peut osciller dans un plan vertical, et qui vient buter contre un redan R, servant de limite, sur la face supérieure d'une poulie folle D, à une surface héliçoïdale ascendante.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Si le fil de transmission E, qui s'enroule sur cette poulie, vient à se casser, ou si, en manœuvrant le levier, on laisse agir le contre-poids F, la poulie tourne d'un quart de tour, suivie du doigt C qui entraîne le mât dans sa rotation, et le disque se met à l'arrêt.

Inversement, lorsque l'on agit sur le fil E, pour ramener le disque à voie libre, le doigt est ramené à sa position initiale : le fonctionnement du disque est donc assuré.

Sur le bord du rail est installée une pédale G qui, en s'abaissant au passage de la première roue de la machine d'un train qui passe devant le disque, produit l'élévation du levier H. Si, à ce moment, le disque est effacé, le doigt C est soulevé par le levier H, et échappe au redan de la poulie D : sous l'influence du poids B, le disque se met à l'arrêt.

Dans ce cas, l'agent de la gare, préposé à la manœuvre du levier du disque, est prévenu, par le fonctionnement de la sonnerie trembleuse, que le disque s'est mis à l'arrêt, au passage d'un train qui est, par conséquent, annoncé à la gare.

Lorsqu'il s'agit d'effacer le disque, après qu'il a fonctionné automatiquement, l'agent doit d'abord ramener le levier à la position d'arrêt : par suite de ce mouvement, la poulie D, en tournant, élève progressivement sur sa face hélicoïdale le doigt C qui, arrivé au redan, retombe et se trouve ainsi enclenché de nouveau.

Dans ces conditions, l'agent ramène le levier à la position correspondant à la voie libre, et la poulie, revenant à sa position initiale, ramène le doigt C et, par suite, efface le disque.

C'est principalement la complication résultant de cette double manœuvre du levier, nécessaire quand il s'agit d'effacer le disque, que l'on reproche à ce système : les frais d'entretien sont d'ailleurs beaucoup plus élevés que pour les disques ordinaires.

Disques de correspondance. — On appelle ainsi des disques de petite dimension qui ne s'adressent pas aux mécaniciens, mais qui sont seulement destinés à transmettre, à distance, aux aiguilleurs certains ordres, certaines demandes ou certaines réponses.

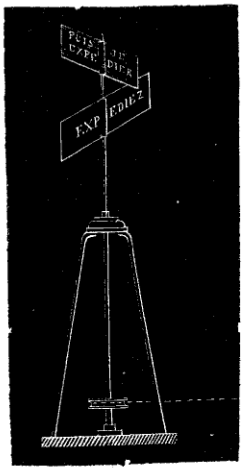


Fig. 6. — Disque de correspondance à double effet.

La Compagnie de l'Ouest qui en a exposé, cette année, au Champ de Mars, fait usage de voyants d'une forme triangulaire, peints en blanc : une lanterne et une sonnette sont joints au disque; l'un des deux disques exposés porte même une sonnerie électrique.

Les disques de correspondance ont, sur les anciennes sonnettes d'appel, l'avantage de laisser une trace de la correspondance, dans le cas où l'aiguilleur, à qui elle s'adresse, se serait momentanément éloigné de son poste, pour des raisons de service.

Dans les gares importantes, où les manœuvres intérieures sont nombreuses et compliquées, il est préférable que les disques de correspondance portent une inscription qui précise leur signification respective, de manière à ne donner lieu à aucune interprétation erronée.

Aussi des petits disques dont fait usage la Compagnie du Nord ont-ils une forme rectangulaire qui se prête mieux à l'inscription de phrases telles que : « *Déclenchez traversée* », « *Voie de service occupée,* »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« *Puis-je expédier?* » etc. Souvent même il arrive que, les deux positions du levier correspondant à deux ordres bien distincts, on monte, sur le mât du disque, deux voyants calés à angle droit, comme l'indique le croquis ci-contre (fig. 6); cette disposition est surtout usitée pour la circulation des machines ou des manœuvres, dans les deux sens, sur une seule voie de service.

§ 4. — *Indicateurs de direction* (par M. Cossmann).

Aiguilles en pointe. — On sait qu'il existe, dans l'exploitation des chemins de fer, un principe généralement admis, en vertu duquel les aiguilles qui se présentent par les pointes, dans le sens de la circulation des trains, ne doivent être abordées par les mécaniciens qu'avec un certain ralentissement.

Il est nécessaire que le mécanicien puisse se rendre compte si la direction, que donne l'aiguille en pointe, est bien celle où il doit aller. A cet effet, on a installé, auprès de toutes ces aiguilles, des signaux spéciaux, dits *indicateurs de direction*, assez variables suivant les Compagnies et dont la plupart ont été déjà décrits.

Dans les indicateurs, munis de deux feux, dont fait usage la Compagnie du Nord, la voie libre se trouve indiquée par le feu blanc, et la voie fermée par le feu vert. Il en est de même des indicateurs dont fait usage la C^ie^ de l'Ouest; le contraire a lieu en Angleterre, où le bras indique ordinairement la direction que donne l'aiguille.

Indicateur pour aiguille triple. — La Compagnie du Nord a fait construire des appareils analogues aux indicateurs de direction, et applicables aux changements à trois voies.

Ces nouveaux indicateurs se composent d'un poteau vertical A, en bois (voir pl. VIII, fig. 3, 3 *bis* et 4), portant à son sommet deux voyants ou bras mobiles C C′, peints en vert, dépendant chacun de l'un des deux leviers du changement, auquel ils sont reliés par les tringles B, B′, et pouvant osciller autour d'un centre commun O.

Lorsque la voie du milieu est ouverte, les deux voyants C C′ occupent la position horizontale et sont, par suite, masqués par un écran D. Par conséquent, le jour, on ne voit que l'écran peint en blanc, et, la nuit, on voit deux feux blancs.

Si les aiguilles sont disposées pour donner accès à droite, le voyant de droite C est seul masqué par l'écran et, par suite, on voit à droite, le jour, l'écran peint en blanc, et à gauche le bras vert : la nuit, on voit un feu blanc à droite, et un feu vert à gauche.

Si c'est au contraire la voie gauche qui est ouverte, c'est à droite que l'on voit le bras vert ou le feu vert.

Ces appareils ont été mis en service, d'une manière courante, sur le réseau du Nord, notamment à Armentières, où il y a plusieurs aiguilles triples se présentant en pointe.

Indicateur d'aiguilles. — Quoi qu'il en soit, la Compagnie du Nord, dans le but de réduire les frais de premier établissement ainsi que la dépense d'éclairage, vient de limiter l'emploi des indicateurs à deux feux, au seul cas où le mécanicien doit demander sa direction, et où il doit, par conséquent, être renseigné sur la position de l'aiguille en pointe.

Il arrivait, d'ailleurs, que la multiplicité des indicateurs de direction devenait gênante, surtout dans les gares des lignes à une seule voie, où il existe beaucoup d'aiguilles en pointe. Aussi, dans tous les autres cas, a-t-on préféré

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

employer un indicateur d'un modèle réduit, et qui reproduit, à peu près, celui dont la Compagnie de l'Est et quelques Compagnies allemandes font usage.

Cet indicateur, que l'on désigne plus spécialement par le nom d'*indicateur d'aiguilles*, est formé d'un écran A, en forme de flamme double, peint en vert et surmonté d'une lanterne à feu vert (Pl. VIII, fig. 5 et 6). Le mât B, sur lequel est monté ce signal, est relié par une tringle C à l'aiguille D, de telle manière que, lorsque l'aiguille occupe la position correspondant à la direction qu'elle doit donner normalement, l'écran est effacé et la lanterne présente un feu blanc. Lorsque l'aiguille donne, au contraire, la direction déviée, le mât décrit un quart de tour, et le signal, ainsi que le feu vert, se présente perpendiculairement à la voie.

D'après cette courte description, on se rend compte que le signal n'est applicable qu'aux aiguilles qui sont susceptibles d'occuper une position normale déterminée, telles que les aiguilles de dédoublement de la voie unique, à l'entrée des gares possédant une voie d'évitement.

Ces aiguilles sont, le plus souvent, munies d'une cheville cadenassée qui fixe leur contre-poids, de manière que, si l'aiguille est prise en talon par un train venant de la direction déviée, elle revienne d'elle-même à sa position normale.

Les indicateurs à disque muni de flèches, dont on fait usage dans les gares allemandes, ayant été sommairement décrits en 1867, nous ne reviendrons sur cette question que pour signaler le mécanisme qui transmet au signal le mouvement du levier de l'aiguille. Cette disposition réalise la transformation d'un mouvement de va et vient horizontal en un mouvement alternatif de rotation autour d'un axe vertical. Un indicateur de ce système est exposé au pignon de l'annexe autrichienne du Champ de Mars.

Sémaphores. — On voit, au Champ de Mars, le modèle d'un sémaphore, installé par la Compagnie de P.-L.-M. Cet appareil ne diffère de ceux dont sont munies toutes ses bifurcations que par l'existence de trois ailes, de part et d'autre du mât; il est donc applicable aux points de la ligne où se présentent trois directions.

Quant aux sémaphores manœuvrés à la main ainsi qu'aux électro-sémaphores, nous en parlerons, avec plus de détails, dans le chapitre où nous nous proposons de traiter et de comparer les méthodes mises en usage, pour l'application du *Block system*, en France.

§ 5. — *Sonneries d'annonce de la marche des trains*

(par M. Eugène Sartiaux).

But des sonneries d'annonce. — L'exploitation des lignes à une seule voie nécessite l'emploi de certaines précautions et la stricte observation des prescriptions formelles du règlement.

En service normal, l'expédition des trains doit se faire d'après les itinéraires prévus. Mais le moindre changement dans la marche, par suite d'un retard ou d'un secours à porter, nécessite, entre les stations, des communications télégraphiques.

Dans ces deux cas, un oubli ou une dépêche mal interprétée pourrait amener les plus graves conséquences; aussi a-t-on cherché depuis longtemps à intéresser autant d'agents que possible, principalement les garde-barrières, à l'observation de ce principe élémentaire de la circulation à voie unique, à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

savoir, qu'il ne doit jamais se trouver, entre deux points d'évitement, deux ou plusieurs trains marchant en sens contraire.

Pour atteindre ce but, on emploie, en Allemagne, de grosses sonneries électriques, échelonnées entre deux stations consécutives et mises en mouvement par les gares elles-mêmes.

Ces appareils sont généralement disposés ainsi qu'il suit : à chaque station sont placées deux sonneries, de part et d'autre du bâtiment des voyageurs; chacune d'elles sert à annoncer l'expédition d'un train dans un sens, ou à en recevoir l'avis.

A des points intermédiaires, et généralement aux passages à niveau gardés et les plus fréquentés, se trouvent également des sonneries actionnées par la gare expéditrice.

Une seule série de plusieurs coups, simples ou doubles, selon le type des sonneries, annonce les trains marchant dans un sens; deux séries indiquent un train marchant dans le sens contraire.

Lorsque les gardes des passages à niveau entendent le tintement des sonneries, ils ont simplement à se rendre compte, pour connaître la direction du train annoncé, s'il y a eu une ou deux séries de coups; et en supposant que deux trains viennent à marcher l'un vers l'autre, les gardes prévenus par le tintement des grosses sonneries, n'auraient qu'à se conformer aux règles prescrites pour éviter toute collision.

Types divers de sonneries. — L'usage des grosses sonneries d'annonce est très-répandu sur les chemins hollandais et autrichiens, sur ceux de la Haute-Italie, et principalement en Allemagne où il en existe environ 45,000, soit sur des sections à voie unique, où sur une longueur de 200 kilomètres circulent des trains express avec une vitesse de 70 kilomètres à l'heure, soit sur les lignes à double voie, où elles servent à prévenir les gardes des passages à niveau de se tenir prêts à interdire la circulation des voitures ou des piétons et à fermer leur barrière. Enfin, tout récemment, la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée en a également adopté l'emploi.

Une circulaire ministérielle, du 31 janvier 1877, a signalé aux Compagnies françaises ces sonneries, comme présentant des garanties sérieuses de sécurité pour l'exploitation des lignes à voie unique.

En 1855, dans une communication faite à la Société des Ingénieurs civils, M. Félix Mathias, actuellement chef de l'exploitation au chemin de fer du Nord, fit connaître les grosses sonneries avertisseuses en usage dans l'Allemagne du Nord, et, en 1862, la Compagnie du Nord en fit, sur son initiative, une première application sur la ligne à une seule voie de Namur à Givet, dépendant de son réseau belge.

Ces premiers appareils avaient été construits par M. Siemens de Berlin et fonctionnaient à l'aide de piles.

En 1867, la Compagnie du Nord fit l'expérience d'un nouveau type allemand, qui fut mis en service sur la ligne à voie unique d'Amiens à Tergnier et qui représentait un perfectionnement sensible du premier modèle de MM. Siemens et Halske.

Sonneries allemandes du 1er type. — Cette sonnerie (planche IX, fig. 1, 2, 3), construite par MM. Siemens et Halske, se compose d'un fort mouvement d'horlogerie Y, mû par un poids Z qui actionne deux marteaux A (fig. 3).

La roue principale B (fig. 1) porte, autour de son axe, un nombre de cames V correspondant au nombre de coups qu'on veut obtenir pour un tour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

complet de la roue. Ces cames font basculer deux leviers C et C′ (fig. 1), reliés aux marteaux par des tirages en fil de fer : les deux leviers se terminent à la partie supérieure par un pas de vis assez long muni de deux écrous à oreille. Cette disposition permet de régler les tirages en fil de fer qui subissent les influences de la température.

Les marteaux frappent alternativement sur deux timbres en fonte concentriques D et D′ (fig. 3), de son différent, et suspendus l'un au-dessus de l'autre, à la partie supérieure de la tour. Un volant B (fig. 2), à trois ailettes, sert à régler la rapidité d'action du mécanisme.

L'appareil comprend enfin un électro-aimant E et une palette de fer doux, à laquelle est fixé un crochet d'enclenchement O (fig. 1), qui maintient tout le mouvement.

Si l'on fait passer un courant dans les bobines, la palette est attirée, déclenche en même temps le mécanisme qui se met en marche, entraîné par le poids. Il est arrêté par une tige en fer qui vient buter dans un cran entaillé dans un petit disque H (fig. 2), fixé derrière la roue principale et faisant, comme elle, un tour complet.

Le mécanisme est enfermé dans une tour en tôle U, posée sur un bâti en ciment, et fixée à l'aide de quatre boulons (fig. 3). Enfin, un petit toit L, placé à la partie supérieure de la tour et au-dessus des deux timbres, empêche la pluie ou la neige de pénétrer à l'intérieur.

Cet appareil est solidement construit et n'exige qu'un entretien insignifiant; on doit seulement remonter le poids, lorsqu'il est à bout de course.

Mais il présente trois inconvénients sérieux :

D'abord l'enclenchement ne se fait à nouveau qu'à la fin de la série de coups; par suite, lorsqu'une station doit annoncer un train par deux séries, si l'inducteur a été manœuvré trop tôt, il se peut qu'en certains points intermédiaires, les séries ne soient pas distinctes; d'où il peut résulter une confusion.

En second lieu, la pièce M (fig. 1) qui, au moment du passage du courant, provoque la mise en marche du mécanisme, n'agit que par son propre poids, après le déclenchement. Lorsque le mécanisme est au repos, elle porte à faux sur une autre pièce saillante N (fig. 1), qui n'est maintenue que par un ressort léger : si la sonnerie repose sur un terrain peu solide, le déclenchement se fera au passage des trains et il pourra en résulter de fausses indications.

Enfin, cet appareil ne porte extérieurement aucun signal qui indique le nombre de séries données, ni le point où il est nécessaire de remonter le poids moteur.

Il y a cependant, au chemin de fer du Nord, encore 230 de ces sonneries en service, et la dépense d'entretien ou de réparation n'a pas dépassé, depuis 1867, une moyenne de 400 francs par an.

Le coût d'une seule sonnerie complète est d'environ 390 francs.

Sonneries françaises du 2e type. — En raison des inconvénients que présente le système de sonneries que nous venons de décrire, la Compagnie du Nord crut devoir s'adresser, en 1872, à un constructeur français, M. Vérité, horloger électricien à Beauvais, en lui demandant l'étude d'un nouveau type de sonneries d'annonce qui ne s'écarterait guère du principe du type allemand et dans lequel les imperfections, que nous avons signalées plus haut, seraient supprimées.

En conséquence, sur les données fournies par la Compagnie, M. Vérité construisit plusieurs modèles, en leur faisant subir successivement certaines transformations dont l'usage a fait reconnaître la nécessité. Le type actuel, s'il est construit avec soin, peut donner de bons résultats.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le mécanisme se compose d'un mouvement vertical [d'horlogerie (planche X fig. 1), mû par un poids P (fig. 2), et actionnant deux marteaux R et R′ (fig. 3).

La roue principale A (fig. 6) est munie de quinze cames Q. Elle fait un tiers de tour, pour une série de cinq coups doubles. Deux butoirs, reliés aux tiges verticales des marteaux R, R′ (fig. 3), rencontrent successivement les cames de la roue principale, et mettent en mouvement les deux marteaux, qui frappent alternativement sur deux timbres en fonte concentriques, B, B′ (fig. 2). Ces deux timbres ont un son différent, et sont placés à la partie supérieure de la tour. Un volant C (fig. 1), muni de deux ailettes, sert à régler la vitesse du mécanisme. A droite et à gauche du mécanisme, fixés sur le bâti, sont disposés deux paratonnerres à pointes qui sont reliés à la terre par la masse de la tour V et V′ (fig. 1).

L'appareil comprend, en outre, un électro-aimant D et une palette E, munie, à l'une de ses extrémités, d'un écrou et d'un contre-écrou S (fig. 1), formant masse, et destinés à remplacer le ressort antagoniste que l'on emploie ordinairement : cette disposition de palette équilibrée est bien préférable au ressort à boudin, parce que les influences atmosphériques n'ont aucune action sur elle et qu'elle n'a pas besoin d'être minutieusement réglée.

Un cadran F, muni d'une aiguille H et suspendu à l'arbre horizontal du barillet T, est placé, au milieu de la porte principale de la tour, devant une ouverture vitrée, afin d'indiquer, à la fois, le nombre de séries qu'a données la sonnerie, et le point où il est nécessaire de remonter le poids moteur.

La tour en fonte U, qui renferme le mécanisme, est moins volumineuse que celle des sonneries allemandes du premier type; elle est fixée au sol sur un bâti en ciment, à l'aide de quatre boulons de fondation.

Le premier timbre B (fig. 2), dont le diamètre est un peu plus fort que la tour, sert de toit et abrite le mécanisme contre la pluie ou la neige.

Au point de vue de la construction, cet appareil ne vaut pas la sonnerie allemande; on peut dire qu'il est trop parfait, et la complication des organes en fait plutôt un appareil d'horlogerie qu'un solide instrument d'exploitation. Néanmoins, à la suite des diverses modifications qui y ont été apportées, il y a tout lieu de croire, comme nous le disions plus haut, que cet appareil donnera de bons résultats.

Il y a actuellement en service, au chemin de fer du Nord, environ 300 sonneries de ce modèle. La dépense d'entretien et de réparation, depuis 1872, époque à laquelle on a commencé à les installer successivement, n'a pu encore être exactement évaluée par suite des diverses modifications apportées dans le mécanisme; mais il est probable qu'elle ne dépassera pas le chiffre que nous avons donné plus haut, pour les sonneries allemandes.

Le prix d'une sonnerie complète du système Vérité est de 300 francs.

Sonneries allemandes du 3e type. — Tout récemment, MM. Siemens et Halske ont imaginé un nouveau modèle de sonneries, que la Compagnie du Nord vient également de mettre à l'essai.

Il n'a pas encore été possible d'apprécier la valeur de ces nouveaux appareils, mais ils ont, en Allemagne, une excellente réputation. La construction en est, du reste, extrêmement solide et le mécanisme est d'une très-grande simplicité.

Il consiste en un fort mouvement d'horlogerie mû par un poids P (fig. 2). Une roue A (fig. 1) en fonte moulée, munie de neuf arêtes D, actionne un seul marteau B (fig. 1 et 2) qui frappe, sur un timbre, six coups simples (Pl. XI).

Ce marteau qui porte, à la partie supérieure, une masse assez lourde, est fixé sur une tige verticale G légèrement inclinée. Cette disposition très-ingé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nieuse a pour but de ramener automatiquement le marteau à sa position naturelle, tout en le faisant frapper sur le timbre.

Le mouvement est renfermé dans une boîte cylindrique, posée sur une colonne en fonte E (fig. 2) de $2^m,60$ de hauteur, dans laquelle descend le poids P. La colonne est, d'ailleurs, enfouie dans le sol, sur une hauteur de $0^m,90$, et maintenue avec de la terre battue mêlée de blocaille (fig. 2). Le seul reproche à faire à ces sonneries, c'est qu'elles n'ont extérieurement aucun signal indiquant le nombre de séries données et le moment où il est utile de remonter le contre-poids.

Il y a en service, au chemin de fer du Nord, 135 sonneries de ce modèle, et le prix d'une sonnerie complète est de 250 francs.

Sonneries autrichiennes du 4e type. — Les chemins de fer autrichiens, ceux de la Haute-Italie et la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée, en France, font usage d'un modèle de grosses sonneries construites par M. Leopolder, de Vienne. L'appareil se compose d'un mouvement d'horlogerie (fig. 8, pl. XIV) entraîné par un poids qui obéit à l'action d'un déclenchement.

Une roue B, munie d'un tambour, sur lequel s'enroule la corde du poids, porte sur la face latérale neuf cames A qui font osciller, selon le type de la sonnerie, un ou deux leviers *c* et *c'*, reliés par des fils de fer aux tringles des marteaux. Ceux-ci frappent sur des timbres concentriques en fonte placés, dans les gares, sur la façade du bâtiment, et, dans les maisons des gardes de la voie, sur le sommet du toit.

Les actions successives du mécanisme sont commandées par un électro-aimant D dont la palette E est en contact permanent, à l'état de repos. Elle est reliée à un échappement à fourche H, dont chaque branche est munie d'une petite palette M et M' sur l'une desquelles repose, selon le cas, le crochet d'enclenchement du levier d'échappement N. Le levier d'échappement s'abaisse, par son propre poids, mais il est relevé par un excentrique O qui, en tournant, vient frotter contre l'extrémité P du levier. Enfin l'enclenchement se fait au moyen de la pièce K, dont une des branches pénètre dans une encoche faite au disque L, et dont la partie supérieure sert d'arrêt au doigt J, monté sur l'axe du volant R.

On emploie, pour cette sonnerie, un courant continu, produit à l'aide de piles disposées au pied des appareils des gares; ceux des maisons de garde sont placés dans le circuit des piles des gares. Les interruptions de courant sont produites à l'aide d'un commutateur à bouton S; une boussole T indique le passage du courant. Les gardes des passages à niveau ont également un commutateur à bouton, mais placé sous une plaque scellée à la cire : en cas de besoin, ils doivent briser le scellé pour donner les signaux d'alarme.

En résumé, ces appareils sont très-simples et leur mécanisme est solidement établi. Cependant certains ingénieurs leur reprochent : en premier lieu, leur fonctionnement à l'aide de courants continus produits par des piles; en second lieu, de n'avoir généralement qu'un seul timbre et un seul marteau : or, d'après la réglementation qui régit l'emploi de ces appareils, à la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée, par exemple, lorsqu'un garde a besoin de demander du secours, il a vingt-quatre, vingt-six et même trente coups de timbre à donner pour se faire comprendre : en un mot, l'ensemble des communications nécessite onze catégories de signaux. Ces ingénieurs craignent, et peut-être avec raison, qu'il ne faille une grande attention aux agents des gares, pour compter ces coups de timbre espacés par séries de sept et de deux coups ou de sept et trois coups, puisqu'il suffit, soit d'un dérangement dans l'appareil, soit d'une communication défectueuse dans le commutateur, soit enfin d'un peu d'inattention, pour que le signal soit mal interprété.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sur les chemins autrichiens, il est vrai, les sonneries à un seul timbre et à un seul marteau sont en usage dans les gares, concurremment avec des sonneries à deux timbres et à deux marteaux. Dans ces dernières, les marteaux frappent presque successivement sur les timbres qui ont un son différent.

Cette disposition a pour but de donner aux agents des gares la facilité de reconnaître le sens de la marche des trains; c'est déjà, comme on le voit, une amélioration importante.

Le prix d'une sonnerie autrichienne est de (291 fr.); en ajoutant le prix d'un commutateur avec boussole (33 fr.), d'une pile (80 francs), et les frais d'installation, la dépense pour une seule sonnerie revient donc à 410 fr.

En supposant que les gares soient espacées de 4 kilomètres et que, dans l'intervalle, il se trouve trois maisons de gardes, ce qui correspond à un espacement d'un kilomètre entre deux postes successifs, la dépense ressort à environ 500 fr. par kilomètre.

Sources d'électricité des sonneries d'annonce. — Les premières sonneries que la Compagnie du Nord a mises en service, sur la ligne à voie unique de Namur à Givet, fonctionnaient au moyen de piles; la Compagnie a renoncé à ce système qui n'est pas sans présenter quelques inconvénients.

On a vu plus haut que les sonneries autrichiennes fonctionnaient également au moyen de piles et par l'interruption d'un courant continu. La Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État a utilisé, pour la correspondance télégraphique par le morse, les courants continus qui, sur les lignes les plus fréquentées, où sont installées des grosses sonneries, ne servent qu'à donner des signaux de courte durée.

Il fallait pour cela pouvoir faire fonctionner l'appareil Morse sans mettre en mouvement les sonneries électriques; la Société y est arrivée en affaiblissant le courant par l'adjonction au manipulateur d'une résistance artificielle. Les sonneries sont réglées de manière à ce que les palettes des électro-aimants ne soient repoussées qu'en cas d'interruption complète du courant et restent attirées malgré l'affaiblissement du courant par le manipulateur. En outre, les relais sont réglés de manière à ce que leurs palettes restent attirées pendant la durée du courant constant et soient repoussées, dès que le courant subit un affaiblissement. De cette manière, les sonneries à signaux et les appareils Morse fonctionnent simultanément à toute interruption du courant constant, tandis que les appareils Morse entrent seuls en jeu, quand le courant ne subit qu'un affaiblissement.

La Compagnie du Nord a trouvé plus économique et plus simple de substituer aux piles l'appareil d'induction de M. Siemens, qui ne demande aucun entretien et peut être manœuvré par tous les agents de chemins de fer indistinctement. Un demi-tour de manivelle suffit pour faire déclencher toutes les sonneries qui se trouvent dans un même groupe. Il est vrai que la disposition des grosses sonneries, en usage en Allemagne ou au chemin de fer du Nord, ne permet pas aux gardes des passages à niveau de faire fonctionner les appareils et de produire des signaux. Mais, en Allemagne, par exemple, les signaux à cloche sont complétés de façon à permettre aux agents de la voie de correspondre télégraphiquement en cas de nécessité. A la Compagnie du Nord, des appareils à cadran, dits *postes de secours,* sont installés le long de la voie, soit dans les maisons mêmes des gardes où sont les sonneries, soit dans une maison voisine; et, en cas de détresse, les agents des trains demandent le secours par le télégraphe, ce qui est beaucoup plus commode et plus sûr que par des signaux à cloche, que l'on peut ne pas entendre ou ne pas comprendre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil d'induction de M. Siemens est, comme on le sait, formé d'une grosse bobine, tournant, au moyen d'une manivelle, entre les branches de douze forts barreaux aimantés.

Un commutateur permet de diriger le courant électrique de l'inducteur dans le sens de l'un ou de l'autre des groupes des sonneries entre lesquels la gare est placée.

Pour éviter les erreurs de direction, le levier du commutateur est maintenu par deux verrous et ne peut être manœuvré qu'autant qu'on a relevé, au moyen d'une clef, le verrou du côté qui correspond au groupe de sonneries à faire fonctionner. Une boussole, placée au-dessus du commutateur, indique le passage du courant. Le prix d'un inducteur est de 330 fr. et celui d'un commutateur de 110 fr.

Aux dépenses d'achat des appareils, il faut ajouter les frais de pose, qui varient entre 40 et 60 fr., suivant les cas. Le fil spécial des sonneries revient à 100 fr. par kilomètre.

La dépense moyenne, résultant de l'installation des grosses sonneries des trois premiers types, ressort en général, à 600 fr. par kilomètre, avec des sonneries espacées de 1,400 à 1,500 mètres, en moyenne.

La dépense varie nécessairement avec les types et avec l'espacement.

Sur un réseau de 1,104 kilomètres de voie unique, elle a oscillé, au Nord, entre 450 et 650 fr. par kilomètre.

Sonneries anglaises (par M. Cossmann). — Des signaux électro-acoustiques étaient en usage, en Angleterre, depuis 1851, pour annoncer la marche des

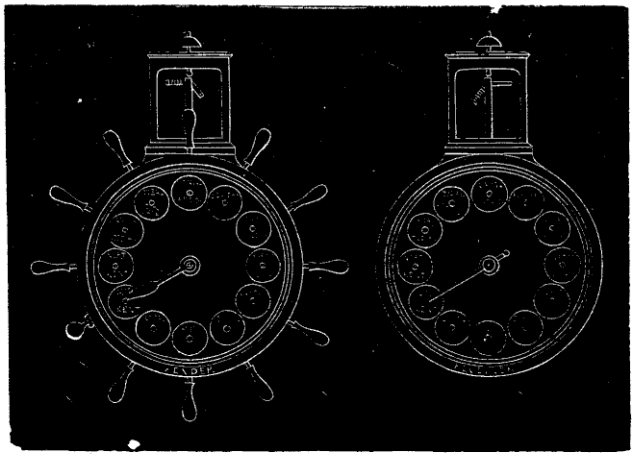


Fig. 7.

trains sur les lignes à double voie. Mais ils y sont peu à peu remplacés par les signaux électro-optiques.

Ces sonneries se composaient de timbres électriques, tintant lorsque l'on poussait un bouton à ressort servant à interrompre ou à rétablir le circuit électrique.

Tout signal, transmis d'un poste à un autre, était répété, par celui qui le recevait, à celui qui le transmettait.

Chaque train montant était annoncé par un coup; chaque train descendant, par deux coups; l'accusé de réception comportait trois coups. Cinq coups signifiaient voie obstruée; six, la vérification des instruments.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Walker a imaginé récemment un indicateur descriptif, destiné à simplifier ce code de sonneries. Il est employé à Cannon-Street, par exemple, où le service exige que l'on établisse une distinction dans l'annonce des trains de onze natures différentes.

Cet indicateur représenté aux croquis ci-contre (fig. 7) se compose d'un cadran, subdivisé en autant de petits cercles, portant les noms de ces trains. Une grande aiguille vient, sous l'influence de l'électricité, s'arrêter devant le nom du train annoncé : chaque poste comporte un manipulateur et un récepteur, comme une poste télégraphique ordinaire. Le manipulateur est armé de petites poignées mobiles, placées en rayonnant à l'extérieur du cadran, vis-à-vis les diverses désignations des trains. Une case et une poignée supplémentaires servent à annuler le signal, en cas d'erreur.

L'indicateur Walker nous amène à dire quelques mots du nouvel appareil télégraphique que la Compagnie du Nord installe dans ses postes de secours, échelonnés sur la voie, entre les stations, pour permettre aux conducteurs des trains restés en détresse de demander du secours.

En amenant un commutateur sur le bouton correspondant à la phrase qu'il veut transmettre, et en tournant simultanément une manivelle, l'agent le moins exercé peut donner avis de la détresse et demander la machine de secours.

Le commutateur met, en effet une lame en contact avec la circonférence d'un cylindre qui porte en relief les caractères composant la phrase, et chaque tour de manivelle entraîne, par suite, la transmission télégraphique de cette phrase.

§ 6. — *Pédale d'annonce pour les passages à niveau*

(par M. Eugène Sartiaux).

Il est quelquefois nécessaire, sur une ligne à double voie et à grand trafic, où se trouve un passage à niveau très-fréquenté lui-même, de prévenir le garde qu'un train va passer devant son poste et que, par conséquent, il doit arrêter la circulation des piétons ou des voitures et fermer les barrières.

M. Lartigue, ingénieur du service télégraphique au chemin de fer du Nord, a imaginé un système automoteur, basé sur l'emploi du commutateur à mercure, et au moyen duquel un train signale lui-même son approche.

L'appareil consiste en une pédale très-légère (Pl. XII), fixée intérieurement au rail, à une distance de 2,000 mètres environ du passage à niveau à protéger : elle comprend une petite boîte parallélipipédique, en ébonite, bien étanche, contenant une certaine quantité de mercure (Pl. XII, figures 4 et 5). Deux fils de platine établissent la communication, l'un avec le fil de ligne, l'autre avec le fil de terre; la boîte est fixée sur l'une des branches d'une bascule A (fig. 1), dont l'autre branche porte un ressort B, formé de plusieurs lames métalliques superposées et placées sur une plaque épaisse de caoutchouc.

Le ressort B atteint ou dépasse légèrement le niveau supérieur du rail, de manière que, dans quelque sens que marche le train, ce ressort est toujours abaissé par le boudin des roues des véhicules.

En s'abaissant, le ressort B, fait incliner la boîte contenant le mercure, qui réunit alors les deux fils de platine, c'est-à-dire la ligne et la terre, et complète ainsi le circuit sur le parcours duquel se trouve une sonnerie, installée au passage à niveau.

La sonnerie (fig. 3) est disposée de telle sorte que, lorsque le courant passe, la pièce D se déclenche, en complétant elle-même un circuit permanent, et l'appareil fonctionne comme une trembleuse ordinaire, jusqu'à ce que la pièce du contact D ait été ramenée, à la main, à sa position naturelle.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis trois ans, quinze de ces appareils ont été installés sur le réseau du chemin de fer du Nord; leur fonctionnement est généralement assez satisfaisant; mais l'appareil exige une construction très-soignée et très-solide; sinon, avec les fortes secousses qu'il reçoit sur les lignes où circulent des trains express, il se disloquerait rapidement et ne rendrait plus aucun service.

Le prix d'une pédale est de 85 francs; la sonnerie coûte 35 francs, et, en comprenant le fil de ligne, la pile et son abri, la dépense totale pour l'installation d'un seul appareil est d'environ 200 francs.

§ 7. — *Contrôleurs d'aiguilles*

(par **M.** Eugène. Sartiaux).

But des contrôleurs d'aiguilles. — La nécessité de grouper, sur un seul point, les leviers de manœuvres des aiguilles de changement de voie, en reliant ces aiguilles à leurs leviers, par des transmissions rigides, souvent assez longues, a donné naissance à quelques difficultés.

Ces transmissions sont, en effet, formées par de fortes tringles en fer, montées sur des poulies. Quel que soit le soin apporté dans l'établissement de ces appareils et malgré l'emploi de compensateurs, il se produit dans ces tiges, par suite des influences atmosphériques, des mouvements de dilatation et de contraction qui peuvent influer notablement sur la position des lames, sans que le levier ait subi aucun déplacement.

En outre, il peut se trouver, au moment de la manœuvre, un obstacle quelconque, qui s'oppose au mouvement complet de la lame et laisse l'aiguille entre-bâillée, bien que le levier ait été manœuvré et mis dans la position voulue, les tringles de transmissions pouvant fléchir sous la force d'action du levier.

Les aiguilles étant assez éloignées de l'agent chargé de les manœuvrer, ce dernier ne peut pas toujours se rendre compte si les lames ont obéi entièrement à l'action du levier; comme le moindre écart, dans leur application sur le contre-rail, peut être cause d'un déraillement, il est utile, et même souvent nécessaire, que l'agent du poste soit assuré de leur parfaite application.

Contrôleur électrique du système Lartigue. — Pour obvier à ces inconvénients, la Compagnie du Nord emploie un système de contrôle qui a été approuvé par une décision ministérielle du 17 décembre 1875 et qui est devenu réglementaire.

L'appareil, dont l'invention est due à M. Lartigue, est représenté à la planche XIII. Il est fondé sur l'emploi d'un commutateur à mercure, formé d'une petite boîte H (fig. 1), en ébonite, bien étanche, et vernie à la gomme laque à l'intérieur; des fils de platine pénètrent dans la boîte qui contient du mercure pur et bien sec.

La communication est établie ou interrompue entre les tiges de platine, selon que le mercure les baigne toutes les deux ou en laisse une à découvert, ce qui dépend de la position horizontale ou oblique de la boîte.

La boîte est divisée en deux parties par une cloison percée d'un petit orifice intérieur; le mercure ne peut ainsi s'échapper que sous la forme d'un mince filet; cette disposition a pour but de prolonger la durée des communications électriques, même lorsque l'appareil est brusquement déplacé. Des fils métalliques souples, protégés par des tubes en caoutchouc, établissent la communication entre le commutateur et la ligne.

L'appareil est disposé ainsi qu'il suit :

Aux côtés extérieurs des contre-rails, vis-à-vis l'extrémité de chacune des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lames mobiles de l'aiguille, est fixée une plaque J, sur laquelle est articulée une bascule L, munie d'une tringle K, qui traverse l'âme du rail et fait une légère saillie à l'intérieur du contre-rail. Le commutateur à mercure est fixé sur la bascule. La tringle est pourvue d'un écrou mobile M, sur lequel vient appuyer la lame de l'aiguille, et qui permet d'en régler l'écartement, à un millimètre près. Une sonnerie trembleuse et une pile sont placées près du levier de manœuvre de l'aiguille; toutes les pièces de l'appareil sont d'ailleurs contenues dans une petite boîte en tôle peinte E, fixée à la plaque.

Examinons maintenant le fonctionnement de l'appareil.

Tant qu'une des lames de l'aiguille est exactement appliquée sur le contre-rail, ce qui arrive en service normal, la tringle correspondante est repoussée et un des deux commutateurs à mercure prend une position inclinée; le circuit est donc interrompu et la sonnerie ne peut tinter.

Si au contraire, les deux lames de l'aiguille restaient à la fois écartées des rails, ce qui arrive pendant la manœuvre ou dans un cas accidentel, les deux commutateurs à mercure prendraient une position horizontale B (fig. 2): le circuit se trouverait ainsi complété et la sonnerie marcherait sans interruption.

Le dérangement de l'appareil se remarque immédiatement; car, si la sonnerie ne fonctionnait pas, pendant la manœuvre, l'aiguilleur serait averti que les communications électriques sont interrompues, et qu'il doit, par conséquent, constater d'une autre façon la position régulière de son aiguille, en attendant que l'on ait fait à l'appareil les réparations nécessaires.

Si, au contraire, en dehors de toute manœuvre, la sonnerie se mettait à tinter, ou si elle continuait à le faire après la manœuvre, l'aiguilleur serait prévenu que l'aiguille est mal faite et il devrait en rechercher la cause.

Une seule pile et une seule sonnerie suffisent pour chaque groupe d'aiguilles, car, plusieurs aiguilles ne pouvant être manœuvrées simultanément, le contrôle s'applique, sans aucun doute possible, à celle qui est mise en mouvement.

Les contrôleurs d'aiguilles sont disposés, par eux-mêmes, de manière à être à l'abri de l'humidité du sol, de la pluie ou de la neige; mais ils sont, en outre, protégés contre les avaries résultant soit du passage des trains, soit de la circulation en général, soit de toute autre cause, au moyen d'un abri en fer solidement construit, formé de deux pièces F. La partie inférieure est fixée sur une longrine avec des vis; la partie supérieure qui peut être retirée à volonté pour visiter l'appareil, s'emboîte dans la partie inférieure, et y est maintenue par les montants qui sont écartés de manière à faire ressort.

La Compagnie du Nord a installé environ cent soixante contrôleurs sur son réseau. Le prix d'un seul appareil est de 40 francs et l'installation complète, pour une aiguille isolée, varie de 250 à 260 francs; si, au contraire, une même sonnerie sert au contrôle de plusieurs aiguilles, le prix de revient s'abaisse à 100 francs environ par aiguille, indépendamment d'une dépense constante et initiale de 150 francs.

Depuis plus de trois ans que cet appareil a été mis en service, il n'a donné que de bons résultats; il paraît donc offrir toutes les garanties de sécurité désirables.

§ 8. — *Appareils à contacts fixes*

(par M. Eugène Sartiaux).

Définitions des contacts fixes. — Sous ce titre, nous avons l'intention de décrire sommairement plusieurs appareils nouveaux, de types et d'applications divers, mais qui dérivent tous d'un même principe, à savoir le frottement d'une brosse métallique, fixée à certains véhicules, sur une surface

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

métallique isolée, posée entre les rails et chargée, dans certains cas, d'électricité.

Sifflet électro-automoteur. — On a vu, dans la description qui a été faite des disques à distance, que les gares sont averties, par le fonctionnement des sonneries électriques, que les disques ont bien obéi à la manœuvre du levier. Mais rien ne leur prouve que les mécaniciens verront le signal d'arrêt, et c'est cependant une condition essentielle pour la sécurité.

La vue du disque peut échapper aux agents des trains par suite d'un brouillard intense, en cas de neige, surtout lorsque les flocons sont chassés, par le vent, sur la face rouge du disque, ou pendant une forte pluie ou une bourrasque, ou enfin par suite de l'extinction de la lanterne, pendant la nuit. En prévision de ces divers cas, il est donc indispensable de compléter le signa, optique par un signal acoustique.

MM. Lartigue, Digney et Forest ont imaginé un sifflet électro-automoteur fixé sur de la locomotive et mis en action, au moment du passage du train, devant un disque mis à l'arrêt.

A une centaine de mètres environ en avant du disque, est placé longitudinalement, entre les rails, un appareil, appelé *contact fixe* ou plus ordinairement *crocodile*, parce que, vu à une certaine distance, il présente une vague ressemblance avec l'animal de ce nom.

Le crocodile M (Pl. XIV, fig.3) se compose d'une pièce de bois, d'une longueur de 2 mètres, recouverte d'un enduit isolant et portant à sa partie supérieure une feuille de cuivre. L'appareil est posé sur des supports en fer, fixés avec des tire-fonds aux traverses de la voie, à une hauteur telle qu'il ne puisse être atteint par les pièces les plus basses de la locomotive. En outre, en avant du crocodile, est disposé un bouclier N formé d'une pièce de bois taillée. Ce bouclier, taillé en plan incliné, sert à protéger l'appareil contre le choc brusque des chaînes ou tendeurs qui traînent quelquefois sur le sol, surtout dans certaines voitures allemandes.

La plaque de cuivre qui recouvre le contact fixe est reliée, à l'aide d'un câble souterrain, au fil de ligne qui réunit le pôle positif d'une pile avec la sonnerie trembleuse de la gare. Le pôle négatif de la pile est relié au commutateur du disque, qui le met en relation avec la terre, lorsque le disque est tourné à l'arrêt, et l'isole, au contraire, pendant tout le temps que le disque indique la voie libre.

Sous la locomotive, est disposée une brosse métallique O (fig. 2), protégée par un écran; enfin, sur la machine, à portée des mécaniciens, se trouve un sifflet P en bronze, à cloche et à levier C (fig. 1), communiquant avec la chaudière par la prise de vapeur A.

Ce sifflet est porté sur une boîte en fonte B, fixée à la machine; cette boîte renferme un second levier D parallèle à celui du sifflet auquel il est relié par une tige, munie d'un ressort énergique qui tend à l'abaisser et, par suite, à livrer passage à la vapeur. Mais l'extrémité du levier intérieur porte une palette de fer doux D, en contact permanent avec un électro-aimant Hughes H : l'une des extrémités du fil des bobines de l'aimant est reliée à la masse de la machine et, par les roues et les rails, à la terre; l'autre fil, parfaitement isolé, aboutit à la brosse métallique.

Au passage de la machine, la brosse O frotte énergiquement sur le crocodile M (fig. 3). Si le disque est à voie libre, il ne se produit aucun effet; si, au contraire, le disque est à l'arrêt, la plaque de cuivre du contact fixe se trouve en communication avec le pôle positif de la pile du disque et avec l'électro-aimant du sifflet par la brosse. Comme, d'une part, le sifflet est toujours relié

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la terre par la machine et que, d'autre part, le pôle négatif de la pile est également relié à la terre par le commutateur du disque, le circuit se trouve complété et traverse l'électro-aimant en développant une force inverse à celle de l'aimant fixe. La palette D (fig. 1) se détache et laisse échapper la vapeur à travers le sifflet. Le mécanicien averti fait usage du levier E, placé à la partie supérieure de la boîte, pour réenclencher l'armature, dès qu'il a dépassé le disque.

A la suite de nombreuses expériences, faites au chemin de fer du Nord depuis 1872, on a constaté que les soubresauts ou les chocs de la machine n'ont pu faire détacher indûment l'armature de l'électro-aimant ; l'action du courant s'est invariablement produite, même avec une vitesse de marche qui a été poussée jusqu'à 110 kilomètres à l'heure, et alors que la plaque de cuivre était recouverte, soit d'une couche de neige, soit d'une couche de ballast.

Les inventeurs ont également prévu le cas où la disposition des voitures ou l'abondance des neiges ne permettrait pas de placer le crocodile entre les rails et la brosse métallique sous la machine ; dans ce cas, l'un et l'autre sont placés latéralement à la voie.

Deux cents machines sont munies actuellement du sifflet électro-automoteur et trois cents crocodiles ont été installés sur la voie. Une circulaire ministérielle, en date du 12 juillet 1876, a d'ailleurs signalé aux Compagnies de chemins de fer le système de MM. Lartigue, Forest et Digney.

Le prix d'un sifflet est de 200 francs ; celui de la brosse est de 50 fr., et celui du contact, de 100 fr. (droit de brevet compris). La dépense totale d'installation est, par machine, d'environ 100 fr., y compris la pose de l'écran qui sert à protéger la brosse ; elle varie de 20 à 40 fr. par contact fixe.

Protection électro-automatique des gares. — Tout récemment, la Compagnie du Nord, sur l'initiative de M. Mantion, ingénieur en chef des travaux et de la surveillance, a fait étudier une disposition qui, par l'emploi des sifflets électro-automoteurs et des contacts fixes, permet de réaliser, d'une façon simple et peu coûteuse, les mêmes avantages que les disques automoteurs, tels que les disques Pignel et Moreau, en s'affranchissant des chances de rupture que comporte leur mécanisme.

Sans rien changer aux dispositions et au mode de fonctionnement des disques ordinaires, on a obtenu, par l'adjonction d'un commutateur électrique spécial, placé près du levier du disque, et d'un second contact fixe disposé au pied du voyant, les résultats suivants :

Lorsqu'une machine, munie d'une brosse métallique passe devant un disque placé à voie libre, par le frottement de la brosse sur le contact fixe auxiliaire, elle met en relation avec une source d'électricité, automatiquement, et sans qu'il soit nécessaire de tourner le disque à l'arrêt, le crocodile placé en avant du disque.

Les sifflets électro-automoteurs, adaptés aux machines qui suivront, fonctionneront, en passant sur le premier crocodile, et les mécaniciens seront, par suite, prévenus qu'un train a dépassé le disque effacé et n'a pas été couvert par celui-ci.

En outre, ce frottement fait tinter une sonnerie trembleuse spéciale, placée dans la gare : cette sonnerie annonce l'arrivée du train et commande les précautions à prendre en pareil cas.

En se rapportant aux croquis représentant cette nouvelle disposition (Pl. XIV, fig. 5, 6 et 7), on verra que le crocodile auxiliaire A, placé au pied du disque M, est relié au pôle négatif de la pile N.

Dans la gare, est installé un groupe d'appareils comprenant : 1° un commutateur spécial (fig. 5), rattaché au levier B (fig. 6) de manœuvre par une articulation C ; 2° une pile P (fig. 7) ; 3° la sonnerie trembleuse d'annonce S.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quand le levier de manœuvre B et, par conséquent, le disque sont à *voie libre*, il s'établit une relation entre les appareils de la gare (groupe G) (fig. 7) et le nouveau crocodile A : si une machine, munie d'une brosse métallique, vient à passer sur celui-ci, le pôle négatif de la pile du disque est mis à la terre, le circuit se trouvant complété instantanément, en traversant le sifflet qui est relié à la terre par la machine elle-même. Mais le sifflet ne fonctionne pas, parce que ce courant est négatif.

Le courant positif de la pile du disque parcourt alors la ligne vers la gare, arrive au commutateur H qui oscille de *d* en *e* et, par ce déplacement, met à la terre le pôle négatif de la pile de la gare ; le circuit de celle-ci se trouvant également complété, du côté de la sonnerie trembleuse spéciale, cette sonnerie se met à tinter jusqu'à ce qu'on ait tourné le disque à l'arrêt ; pendant toute cette période, le premier crocodile O (fig. 7) fera déclencher le sifflet de toute machine qui viendrait à y passer.

Dès que le disque et le levier sont mis à l'arrêt par la gare, le commutateur est ramené de *e* en *d*, la sonnerie ordinaire du disque se met à fonctionner, et les appareils se retrouvent dans la même situation qu'avant le passage de la machine sur le crocodile auxiliaire, c'est-à-dire qu'il ne produira aucun effet, si une machine venait à y passer.

En résumé, grâce à cette nouvelle disposition, le mécanicien dont le sifflet électrique se déclenche, en passant devant un disque effacé, est prévenu qu'il a devant lui un train qui vient de passer et qui n'est pas encore arrivé à la station ou qui n'a pas été couvert par le disque ; par conséquent, il doit prendre toutes les mesures pour s'arrêter plus rapidement encore que si le disque eût été à l'arrêt.

La Compagnie du Nord n'a encore fait qu'un simple essai de ces nouveaux appareils. Le commutateur spécial, étudié par MM. Lartigue, Forest et Digney, d'après le programme qui leur a été donné, est la partie principale de cette combinaison ; mais, comme les dispositions n'en sont pas encore arrêtées définitivement, nous nous contenterons d'en donner un croquis (fig. 5), sans insister davantage sur les détails de sa construction non plus que sur les résultats obtenus et les dépenses d'installation qu'il n'est pas encore possible d'apprécier.

Appareils à contact fixe du système Sauvajon (par M. Cossmann). — Le système de M. Sauvajon, destiné à réaliser la *self protection* des trains, diffère du système Forest, Lartigue et Digney, que l'on vient de décrire, en ce que la voie est couverte par le passage de la machine d'un train sur un premier contact fixe, qu'elle charge d'électricité, et rendue libre, lorsque le train a parcouru une certaine distance, par le passage du wagon de queue sur un second contact fixe, situé dans un plan différent du premier ; toutefois s'il s'est produit une rupture d'attelage, la voie reste couverte.

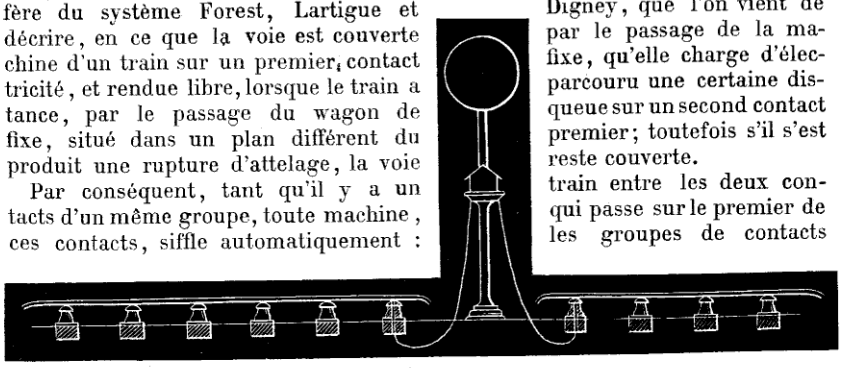


Fig. 8.

Par conséquent, tant qu'il y a un train entre les deux contacts d'un même groupe, toute machine, qui passe sur le premier de ces contacts, siffle automatiquement : les groupes de contacts peuvent être échelonnés de telle manière que chaque train, avant de découvrir la voie en passant sur le deuxième contact d'une section, la couvre en passant sur le premier contact de la section suivante : on réalise ainsi un *block-sys-*

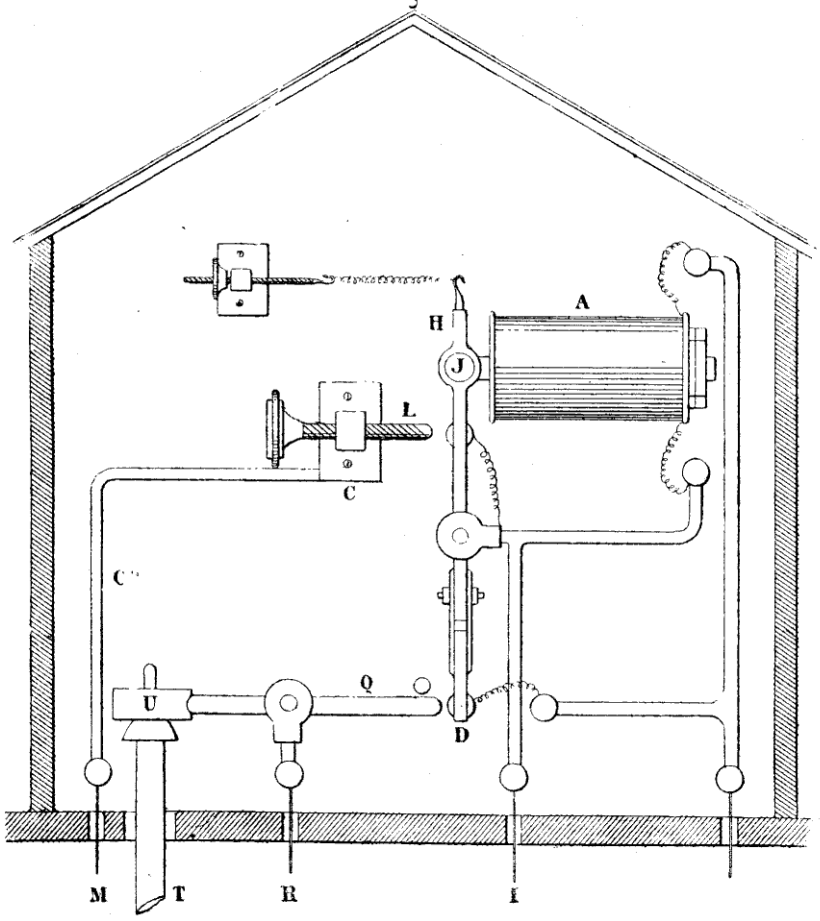
Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tem, absolument effectif, et indépendant de l'intervention humaine (fig. 8).

Mais cette disposition présente un grave inconvénient auquel échappe le système précédent. Dans chaque train, le wagon de queue doit être un *break* d'un modèle spécial portant une brosse destinée à frotter sur le deuxième contact de chaque groupe : il en résulte que ce wagon ne peut être intercalé dans les trains,

Boîte de distribution

Fig 8 *bis*



et que, si leur composition subit des modifications dans certaines gares, ou si on les dédouble, les manœuvres à faire seraient compliquées par la nécessité de placer le break en queue. De plus, le mécanisme qui charge d'électricité le premier contact fixe, au passage d'un train, n'agit que sous l'influence d'une pédale, mise en mouvement par un éperon fixé à la machine ; on retombe ainsi dans les inconvénients des disques automoteurs, tandis que, dans le système précédent, c'était le frottement de la brosse qui atteignait ce but.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

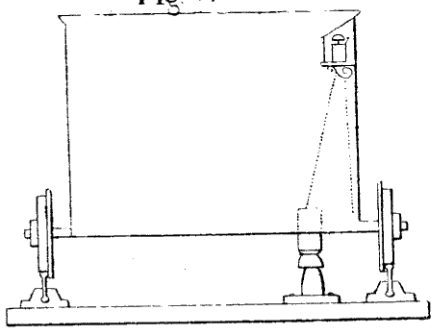
Cela posé, entrons dans quelques détails, concernant la description des appareils représentés par les croquis ci-dessus (fig. 8 *bis*).

Une boîte, solidement fixée à un support, renferme un électro-aimant A, une palette DH munie d'une armature J, et un levier Q terminé par une douille U, dans laquelle est engagée l'extrémité d'une tige T, mobile verticalement.

Au repos, la palette DH est attirée par l'électro-aimant qui communique avec la pile par le fil I, et sa partie inférieure est appliquée contre le levier Q qui communique avec la terre par le fil R : le circuit est donc fermé.

Au passage d'un train, le mouvement de la pédale fait élever la tige T, basculer le levier Q et rompre le circuit; la palette, sollicitée par un ressort de rappel, s'abat sur la vis d'arrêt L dont le support C communique, par la lame C″ et le fil M, avec le contact fixe placé sur la voie. Ce contact est donc chargé d'électricité.

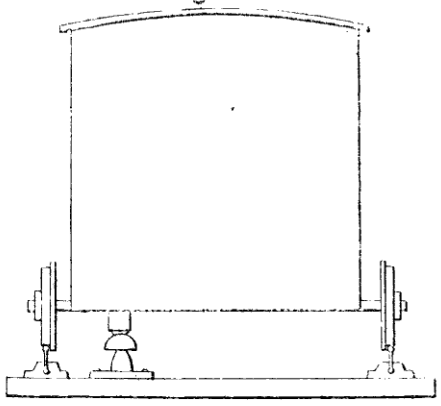
Brosse et sifflet sur tender
Fig. 9.



Dans ces conditions, le déclenchement du sifflet placé sur la machine se fait comme dans le système précédent (fig. 9).

Lorsque le train a parcouru l'intervalle compris entre les deux contacts d'un même groupe, la brosse du wagon de queue, en glissant sur le contact (fig. 10), rétablit, par le fil E et la lame C, le courant primitivement rompu, au passage du train devant la boîte : l'électro-aimant rappelle la palette qui retire au contact N le courant qu'elle lui avait transmis, et la voie est libre.

Brosse sur véhicule d'arrière
Fig. 10.



D'après M. Sauvajon, l'appareil que nous venons de décrire sommairement, pourrait également servir à annoncer l'arrivée des trains aux passages à niveau : il rentrerait alors dans le cas de la pédale d'annonce, décrite plus haut.

Il est à remarquer que, aux têtes de lignes, et dans les gares où tous les trains s'arrêtent, le contact fixe N doit être supprimé et remplacé par une sonnerie qui fonctionne aussi longtemps, que la voie demeure fermée en avant : par suite, aucun train ne se met en marche tant que dure le tintement de cette sonnerie.

Enfin, M. Sauvajon ajoute que chaque disque à distance constitue un emplacement où l'on doit placer une boîte de protection de son système, actionnée non-seulement par les trains, mais encore par le disque, faisant office de commutateur.

D'après l'auteur, la protection, dans les deux sens, d'une ligne à double voie, coûterait environ 3,000 fr. par kilomètre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Application des contacts fixes à la manœuvre des freins. — En ce qui concerne l'application des contacts fixes à la manœuvre des freins, tentée avec succès par la Compagnie du Nord, nous aurons l'occasion d'en parler avec plus de développement dans le chapitre où nous examinerons les nouveaux systèmes de freins.

Appareil Brunius. — On rencontre encore, dans l'exposition suédoise, un appareil à contacts fixes, imaginé par M. Brunius, de Malmö.

Dans cet appareil, le *crocodile* est situé sur la machine, et la brosse est fixée à une potence supportée, au-dessus des rails, à une hauteur telle que la brosse frotte sur le crocodile, au passage du train.

Une série de contacts est placée, à des intervalles réguliers, sur la voie parcourue par les trains, et le courant électrique qui se développe, à leur passage, a pour mission d'annoncer leur marche dans les gares vers lesquelles ils se dirigent.

A cet effet, dans le bureau du chef de gare, est installé un appareil enregistreur, consistant en un tambour, recouvert d'une feuille de papier, sur laquelle un crayon trace des repères correspondant au passage du train sous une brosse.

Sa marche est donc progressivement annoncée, et l'on peut, à tout instant, se rendre compte du point où il se trouve, et aviser, en cas de détresse.

Mais il faut ajouter immédiatement que cet appareil ne donne aucun moyen d'arrêter, par un signal, un train à marche rapide qui est sur le point d'en rattraper un autre, circulant devant lui, de telle manière que l'agent peut voir se dérouler devant ses yeux le graphique d'un accident qui est au moment de se produire, sans être en mesure de pouvoir le prévenir efficacement.

Indépendamment de cet inconvénient, qui réside dans le principe même de l'appareil, il en est un autre qui tient à la position des contacts. Le crocodile, étant situé à la partie supérieure de la machine, participe à ses perturbations de mouvement. Il est, par suite, à craindre que, pour peu que la marche du train soit rapide, la brosse ait de grandes chances de frotter, la plupart du temps, dans le vide.

Quoi qu'il en soit, cet appareil ne paraît encore avoir reçu aucune application.

Contact fixe anglais. — Cet appareil n'a rien d'électrique, et hâtons-nous d'ajouter qu'il a seulement été mis en expérimentation, en Angleterre.

A l'endroit où il convient d'avertir par un signal acoustique les agents du train, on fixe, latéralement au rail, un plan incliné de telle manière qu'une molette fixée à une tige en fer, qui communique avec le sifflet, puisse être soulevée verticalement au passage de la machine.

Ce plan incliné est manœuvré, à l'aide d'une transmission et d'un levier, de telle sorte qu'il ne se présente au contact que dans certains cas déterminés.

Nous n'avons pas besoin d'ajouter que ce système est de beaucoup inférieur aux appareils électriques et qu'il paraît, d'ailleurs, impossible de le faire manœuvrer à distance.

Système Baillehache (exposé). — On peut encore ranger dans la catégorie des appareils à contacts fixes la communication imaginée par M. Baillehache, pour l'échange des dépêches entre un train en marche et la gare vers laquelle il se dirige.

Cette disposition est, du reste, appliquée par la Compagnie de l'Ouest, à titre d'essai, sur l'embranchement de Grenelle au Champ de Mars.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION B — Organisation des signaux.

§ 1er. *Appareil du block system.*

Classification des appareils du block-system. — Le block-system consiste, comme on le sait, dans la substitution de l'intervalle de la distance à l'intervalle du temps à maintenir entre les trains circulant, dans un même sens, sur une voie ferrée.

Les appareils destinés à réaliser, entre les postes chargés de bloquer la ligne, la correspondance électrique qui est le principal caractère de ce système, étaient encore nouveaux en 1867, à l'époque où M. Morandière en fit le résumé, en décrivant les appareils Tyer et Preece. Aujourd'hui, la question a fait un grand pas en avant : un certain nombre d'appareils, tous fort ingénieux et de mérites divers, ont vu le jour, et, pour jeter un peu de clarté dans la question, nous ne pouvons mieux faire que d'emprunter, à l'excellente note que M. Sartiaux a publiée, en 1877, sur cette matière, la classification de ces appareils en deux groupes bien distincts :

« Le premier groupe, auquel appartiennent les appareils Cooke, Clarke, « Regnault, Tyer, Preece et dont l'appareil Tyer et les nouveaux indicateurs de « M. Regnault sont le type, a pour caractère distinctif que *les signaux électri-* « *ques que donnent ces appareils ne sont pas solidaires des signaux à vue.* En « d'autres termes, ces appareils fournissent aux agents, placés aux postes qui « séparent les sections, des indications qu'ils doivent répéter pour les porter à « la connaissance des mécaniciens.

« Les appareils du second groupe, dont les électro-sémaphores de MM. Sie- « mens et Halske, et ceux de MM. Lartigue, Tesse et Prudhomme sont les « types, sont au contraire caractérisés par la *solidarité des signaux électriques* « *et des signaux à vue*; c'est-à-dire que ces appareils traduisent, automatique- « ment, en signaux optiques, les indications fournies électriquement par les « postes avertisseurs. »

L'on doit rattacher aux appareils du second groupe le *Slot-signal* de MM. Tyer et Farmer qui figure, cette année, dans l'annexe de la section anglaise, au Champ de Mars.

Appareil Tyer. — Il est inutile de revenir sur la description des appareils Tyer et Preece, donnée en 1867 : il nous suffira d'indiquer que l'appareil Tyer est mis actuellement en usage, en France, par la Compagnie de P.-L.-M. sur une longueur de 510 kilom., comme le prouve, d'ailleurs, le tableau ci-dessous, extrait de la note déjà citée de M. Sartiaux :

Les autres Compagnies françaises n'ont appliqué ce système que sur des sections peu étendues; par exemple :

Le chemin de Ceinture de Paris, entre la bifurcation de l'avenue de Clichy et le pont du chemin de fer de Lyon, sur 13 kilom. environ;

Le chemin de fer de l'Est, entre Pantin et Noisy, soit trois postes, sur 4 kilom.

Cet appareil présente plusieurs inconvénients graves, sur lesquels la pratique permet de se prononcer.

Le mécanisme en est trop délicat, et le seul passage d'un train ou les perturbations atmosphériques peuvent suffire pour altérer les indications données par les aiguilles. En outre, l'accusé de réception de l'annonce d'un train ne peut

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avoir lieu qu'autant que l'employé, à qui on l'annonce, se trouve présent à son poste. Enfin, un poste peut toujours ramener son aiguille à la position correspondant à la voie libre, sans que le poste suivant puisse intervenir.

SECTIONS.	LONGUEURS.	NOMBRE de postes.	DISTANCE moyenne.
	Kilomètres.		Kilomètres.
Paris à Moret	66,600	17	4,150
Darcey à Dijon	49,200	12	4,480
Mâcon à Lyon	54,800	14	4,220
Lyon (Vaise) à Lyon (Perrache)	4,600	2	4,600
Lyon à Valence	102,000	24	4,435
Valence à Tarascon	145,800	35	4,290
Pas-des-Lanciers à Marseille	18,200	4	6,060
Marseille à la Blancarde	3,300	2	3,300
Dijon (gare) à la bifurcation	1,700	2	1,700
Tunnel de Terrenoire	1,475	2	1,475
Terrenoire à Rive-de-Gier	16,500	5	4,125
Rive-de-Gier à Gisors	14,000	5	4,000
Champvans-lès-Dôle à Dôle	2,400	2	2,400
Pyrimont à Génissiat	4,400	2	4,400
Bellegarde au P. N. de Longerey	5,670	2	5,670
Beaucaire à Bellegarde	8,200	2	8,200
La Voulte au Pouzin	5,700	2	5,700
Cette (la Peyrade) à Cette (déchargement)	3,600	2	3,600
Tunnel du Sauvage à Tunnel-Tarare	3,000	2	3,000
Totaux	511,145	138	»

Indicateurs Regnault. — Dans le système Regnault, chaque poste intermédiaire est muni de deux appareils, formés chacun d'une boîte portant deux aiguilles et deux poussoirs (Pl. XVI, fig. 9).

Toutes les fois qu'un stationnaire presse le poussoir de départ, pour signaler un train à la station suivante, l'aiguille *répétiteur* de son appareil ne s'incline que sous l'action du courant électrique, produit par l'inclinaison de l'aiguille *indicateur* du poste qui a reçu le signal.

Un simple tracé théorique nous permettra d'indiquer comment ce résultat est atteint (fig. 11).

Soient en effet deux postes A et B, *i* et *r*, leurs aiguilles *indicateurs* et *répétiteurs*, dont le mouvement est commandé, à l'aide de pignons, par des secteurs C montés sur des bras posés, à angle droit, aux extrémités des barreaux de deux électro-aimant EE'. En pressant sur le poussoir de départ, le poste A déplace une lame flexible qui, en changeant de contacts, établit un courant électrique; ce courant se rend, par le fil de ligne, dans les électro-aimants du poste B, après avoir circulé dans la bobine d'une sonnerie qui se met à tinter.

En passant dans l'électro-aimant de l'aiguille *r* (poste B), il détermine, à l'extrémité des bras du barreau, des pôles contraires à ceux de l'aimant fixe F, ce qui maintient l'aiguille dans sa position verticale.

En traversant l'électro-aimant de l'aiguille *i* (poste B), il polarise l'extrémité des bras du barreau dans le même sens que le pôle N de l'aimant fixe K, vers lequel les bras s'appliquent au repos. Le barreau se déplace par répulsion du pôle N et par attraction du pôle S dont l'aimantation est de nom contraire à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

celle des bras en fer : ce qui détermine l'inclinaison de l'aiguille *i* (poste B) et le déplacement du levier de contact L, qui interrompt la communication du fil de ligne avec les électro-aimants du poste B et met le fil en contact direct avec la

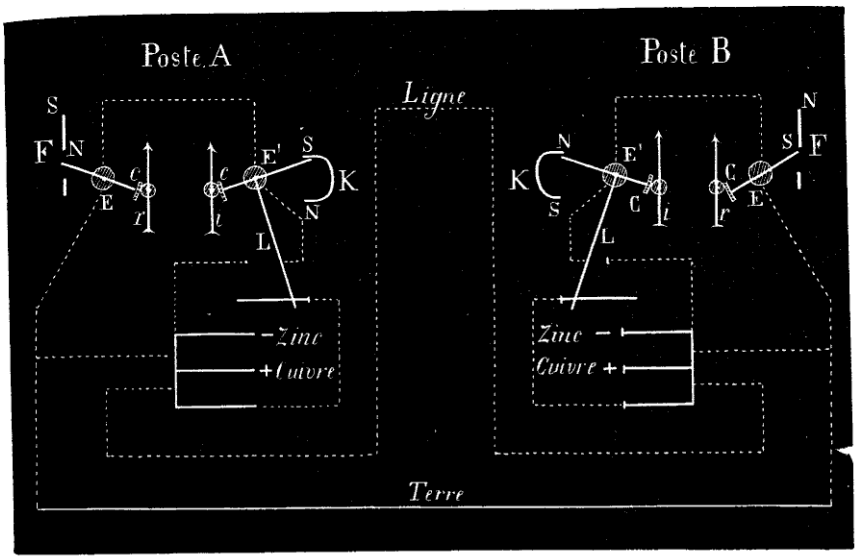


Fig. 11. — Croquis théorique des appareils Regnault, à l'état de repos.

pile de ce poste. Il en résulte qu'un deuxième courant est immédiatement dirigé vers le poste A.

Ce deuxième courant, en polarisant les électro-aimants des aiguilles *r* et *i*, au poste A, produit, par les mêmes raisons que nous venons d'expliquer, pour le poste B, l'inclinaison de l'aiguille *r* et l'immobilité de l'aiguille *i* (poste A). Il y a donc accusé de réception.

Les appareils présentent alors la disposition indiquée ci-dessous (fig. 12).

A l'arrivée du train au poste B, le stationnaire presse un instant sur le poussoir d'arrivée, ce qui a pour effet de placer les bras du barreau contre l'aimant fixe opposé : l'aiguille *i* revient à la position verticale, le courant de la pile du poste B cesse. Au poste A, cette suppression de courant ne produit aucun effet sur l'aiguille *i* dont l'électro-aimant cesse seulement d'être aimanté : mais la désaimantation de l'électro-aimant de l'aiguille *r* ramène le barreau contre l'aimant fixe F, et l'aiguille à la position verticale ; le stationnaire est, par suite, averti que le train qu'il a expédié est arrivé au poste B.

Un troisième poussoir, placé sur le côté de la boîte, permet, dans certains cas particuliers, de signaler au poste précédent que la voie est occupée.

On voit donc que : 1° le signal se produit au poste destinataire, et l'accusé de réception, au poste expéditeur, sans l'intervention du stationnaire du poste destinataire, rappelé toutefois à son poste par le tintement d'une sonnerie qui ne s'arrête que lorsqu'il pousse une palette spéciale ;

2° Une fois qu'un train est expédié par le poste A, l'aiguille répétiteur est maintenue inclinée, jusqu'à ce que le poste B l'ait ramenée à sa position verticale, et le poste A ne peut ni supprimer le signal ni envoyer un autre signal ;

3° Le signal se maintient au point d'arrivée, malgré la rupture du fil de li-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gne. La présence, dans ce même fil, d'un courant électrique, étranger à l'appareil, ne pourrait, au pis aller, que dévier momentanément l'aiguille.

En un mot, pour emprunter les conclusions de M. Sartiaux, cet appareil se-

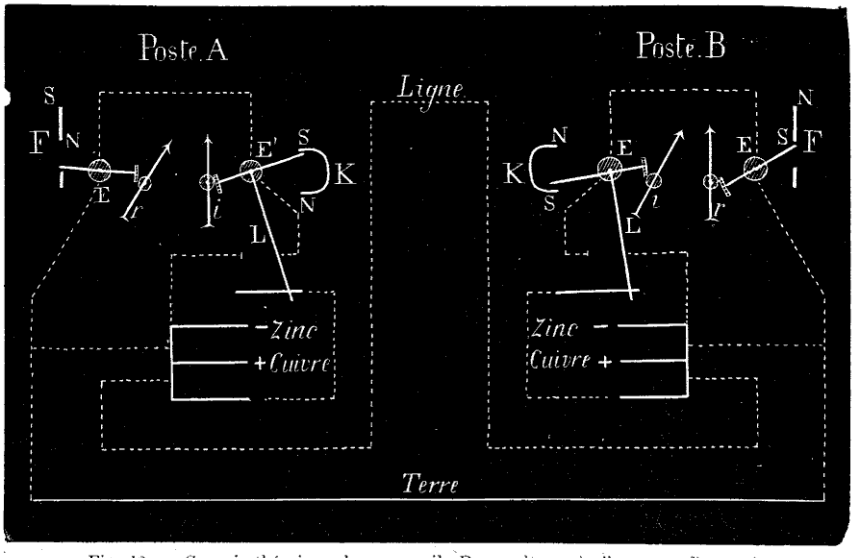


Fig. 12. — Croquis théorique des appareils Regnault, après l'annonce d'un train.

rait à l'abri de tout reproche, s'il ne présentait l'inconvénient commun à tous les appareils du premier groupe, dans lesquels il n'y a pas de solidarité entre les signaux électriques et les signaux à vue.

Les stationnaires des postes Regnault, comme ceux des postes Tyer, traduisent, en effet, les signaux qui leur sont transmis, à l'aide de sémaphores spéciaux ou des disques avancés des gares. En outre, un signal fixe carré, peint en rouge et muni, la nuit, de deux feux rouges, est établi à chaque poste indicateur, pour chaque direction. Ce disque est mis à l'arrêt par le stationnaire, aussitôt après le départ ou le passage des trains et des machines : il ne doit être effacé, de même que le disque à distance, qu'après la réception du signal de la voie libre.

Quoi qu'il en soit, la Compagnie de l'Ouest applique ces appareils sur les sections indiquées au tableau suivant :

SECTIONS.	LONGUEURS en kilomètres.	NOMBRE de postes.	DISTANCE moyenne en kilom.	DATE de la mise en service.
Ligne de Versailles (rive gauche).	14,100	10	1,566	1873
Oissel à Sotteville.	6,687	3	3,343	1875
Asnières à Versailles (rive droite)	18,300	8	2,287	1876
Paris Saint-Lazare à la Rapée Bercy. . .	18,600	18	1,100	1878
Embranchement du Champ de Mars. . . .	2,400	4	0,800	1878
Ligne de Rouen (jusqu'à Achères)	16,400	7	2,73g	1878
Totaux	76,487	50	»	»

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Appareils du second groupe. — Nous avons dit que l'inconvénient commun à tous les appareils du premier groupe, c'est qu'ils ne sont que des instruments de cabinet, donnant, soit à l'aide d'aiguilles, soit sur des sémaphores en miniature, de simples indications d'après lesquelles on fait, sur la voie, des signaux à vue. Il peut donc se produire, dans la répétition de ces signaux, des oublis ou des erreurs capables de compromettre tous les avantages du *block system*.

Pour rendre les signaux à vue solidaires des signaux électriques, il fallait obtenir le calage et le déblocage de ces signaux, soit directement à l'aide de l'électricité, en se servant, comme l'ont fait MM. Siemens et Halske, de machines d'induction produisant des courants qui aimantent les pièces qu'il s'agit d'attirer, soit, comme l'a fait M. Lartigue, en se servant de l'aimant Hughes, qui, désaimanté par un courant, laisse échapper une palette sous l'action d'une force antagoniste, que l'on peut utiliser comme moteur.

Nous allons maintenant décrire ces appareils.

Appareils Siemens et Halske. — Dans ce système, le signal destiné à commander l'arrêt aux mécaniciens consiste en un sémaphore dont les ailes, correspondant respectivement à chacune des voies principales, sont mises en mouvement à l'aide d'une manivelle, reliée mécaniquement aux appareils électriques.

Nous donnons, à la fig. 1 de la pl. XVI, un croquis théorique, indiquant l'intérieur de la boîte qui renferme tout le mécanisme. Sans entrer dans des explications détaillées, on se rend compte immédiatement que, tant que le cliquet Z_1 n'entre pas dans l'encoche pratiquée à la circonférence du tambour R, monté sur l'axe de la manivelle M, au moyen de laquelle on manœuvre le sémaphore, il est impossible d'abaisser le poussoir K_1. Or, toute pression sur le poussoir K_1, combinée avec l'émission de courants d'induction alternativement de sens opposé, obtenus en manœuvrant l'inducteur I à l'aide de la manivelle *h*, a pour effet d'élever le secteur s_1, de faire apparaître, au poste qui émet les courants, et devant une petite fenêtre pratiquée dans la boîte, un petit voyant rouge, monté à la partie inférieure de ce secteur S_1, de donner un mouvement d'oscillation à l'ancre d'échappement *a*, ce qui fait tinter la sonnerie trembleuse *t*, t^1, t^2, et enfin de déterminer, au poste précédent, l'oscillation d'une autre ancre d'échappement, telle que *a*. Grâce à ce déclenchement, le secteur S du poste précédent peut retomber sous l'influence de son propre poids, ce qui ramène devant la fenêtre de ce poste le voyant blanc : la pièce V_4 déclenche la tige U, le cliquet remonte, et rien n'empêche le poste précédent de ramener l'aile de son sémaphore à la voie libre.

Donc chaque poste ne peut se bloquer et débloquer simultanément le poste précédent, qu'autant qu'il a mis à l'arrêt l'aile de son sémaphore, et il ne peut se débloquer que lorsque le poste suivant s'est lui-même bloqué, en déclenchant la tige U.

Pour effectuer cette opération, il suffit que le signaleur tourne d'abord la manivelle *h* et appuie ensuite fortement, mais sans mouvement brusque, sur le bouton *k*, correspondant au secteur S_1 ; il faut encore faire décrire deux tours à la manivelle *h*, après que le disque, qui doit apparaître devant la fenêtre de l'appareil, est complètement transformé en rouge.

Chaque appareil comprend, en outre, des sonneries spéciales $T\,T_1$, destinées à annoncer l'approche des trains; on les fait fonctionner, en tournant la manivelle *h* de l'inducteur, en même temps que l'on appuie sur l'un des boutons pp_1, pendant cinq secondes au moins.

Cette simultanéité du blocage en avant et du déblocage en arrière est, à cer-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tains points de vue, avantageuse; mais elle présente un inconvénient sérieux. On est, en effet, conduit à interrompre la ligne du block, dans certaines stations, et à y faire usage, ainsi qu'aux extrémités de la ligne, de postes de *couverture de gare*, qui ne peuvent admettre les trains se dirigeant vers la station, qu'après y avoir été autorisés par le poste établi dans la station même, auquel ils sont reliés par deux fils.

La station est normalement bloquée, c'est-à-dire que les voyants des deux postes de couverture sont normalement au rouge; de plus, les voyants du poste de la station sont renversés, c'est-à-dire que la partie inférieure du secteur est blanche, et que la partie supérieure est rouge.

Il en résulte que, quand le poste de la station, averti de l'approche d'un train par la sonnerie, débloque le poste de couverture de gare, il ramène son propre disque au blanc : quand le poste de couverture de gare le bloque ensuite, pour couvrir le train garé, non-seulement il débloque le poste précédent, mais il ramène en même temps au rouge le disque de la station, qui est, par suite, avertie que le train entre en gare.

On se trouve donc dans l'alternative de placer, dans chaque station où des trains peuvent se garer, deux postes spéciaux de couverture de gare, ou de bloquer indéfiniment la section.

Si, pour éviter l'augmentation considérable de personnel, résultant de l'installation des postes spéciaux, on a installé, dans une station, un poste intermédiaire, et qu'un train soit obligé de se garer dans cette station, on est alors obligé de modifier, à la main, les indications de l'appareil.

A cet effet, la partie supérieure de la boîte est percée de deux ouvertures fermées par des clapets que l'on ne peut enlever qu'en brisant un cachet. On peut alors faire osciller, à la main, les ancres d'échappement aa_1, habituellement mises en mouvement par l'action des courants. Si le voyant est rouge, cette oscillation suffit, le secteur mobile descend et le voyant passe au blanc. Si, au contraire, le voyant est blanc, il faut, tout en faisant osciller l'ancre d'échappement, appuyer sur le bouton correspondant; cette pression fait remonter le secteur mobile et fait apparaître le voyant rouge.

L'aile du sémaphore est ensuite relevée, pour autoriser le passage du train qui doit dépasser le premier : le second train est couvert, comme à l'ordinaire, par le signal du sémaphore, et celui-ci, calé à l'arrêt en débloquant le poste précédent. Après le départ du train garé, le poste de la station qui avait été débloqué par le poste suivant doit être bloqué de nouveau, à la main. Après cette série d'opérations, l'on rentre dans les conditions normales d'usage de ces appareils.

Ainsi que le fait remarquer M. Sartiaux, cette disposition revient à donner aux agents la possibilité de supprimer la garantie que l'on avait demandé au système de réaliser.

De plus, le calage de l'aile sémaphorique est obtenu, au moyen de mécanismes d'horlogerie assez délicats : le passage des courants se fait par l'intermédiaire de ressorts légers dont le dérangement peut entraîner l'interruption des courants; le calage et le déblocage des signaux à vue dépendent d'attractions électriques qui se font sentir au maximum de distance, dans les conditions les plus défavorables; dans le cas où la source d'électricité faiblirait, toute garantie cesserait. Enfin, l'appareil ne comporte aucun accusé de réception et exige, par suite, une certaine assiduité de la part des agents.

Néanmoins ces appareils ont été appliqués sur les chemins de fer de Berlin à Hambourg, de Potsdam à Magdebourg, de Berlin à Stettin, de l'État de Saxe, de la Westphalie, de l'Est hongrois, de Magdebourg Cœthen-Halle, du Mein-Weser, de basse Silésie et Marche, et de Melle à Ostende, en Belgique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Électro-sémaphores Lartigue, Tesse et Prudhomme. — Ce qui distingue principalement ces électro-sémaphores de ceux dont il vient d'être question, c'est que la mise à l'arrêt des signaux à vue et leur calage dans cette position sont réalisés par des actions purement mécaniques, indépendantes de l'électricité. En outre, la manœuvre, consistant à bloquer la section en avant, est indépendante de celle qui consiste à la débloquer en arrière. On évite ainsi la complication des postes de couvertures de gare, nécessaires dans le système Siemens, puisque, si un train se gare en un point autre que celui prévu par l'itinéraire, le garde du poste sémaphorique se contente de débloquer la section en arrière, lorsque le train a dégagé la voie de service, et il ne bloque la section en avant que lorsqu'un train y est réellement entré.

Ce résultat est obtenu par l'installation de postes gardés, munis chacun :

1° D'une pile de douze éléments Léclanché;

2° D'un mât sémaphorique, pour les signaux à vue; ce mât supporte deux grands bras, placés à la partie supérieure et s'adressant aux mécaniciens qui circulent respectivement sur chacune des voies principales, et deux petits bras ou voyants, situés plus bas et servant à annoncer l'entrée ou la sortie des trains dans les deux sections, de part et d'autre du poste considéré (Pl. XVI, fig. 5);

3° De quatre appareils électro-mécaniques, dont chacun est relié, mécaniquement à l'aide de tringles de tirage, à l'un des bras de l'électro-sémaphore qu'il permet de relever, et électriquement au bras correspondant du sémaphore voisin, dont il peut déterminer la chute.

Ce problème est résolu par l'emploi d'un aimant Hughes représenté à la fig. 3 de la pl. XVI; on sait que cet appareil se compose d'un aimant ordinaire, en forme de fer-à-cheval, dont les deux branches N, S sont terminées par des cylindres en fer doux entourés de bobines E, E : en l'absence de tout courant, les cylindres formant les pôles de l'aimant supportent un poids P (qui pourrait s'élever à plusieurs centaines de kilogrammes) : si l'on fait passer un courant de sens contraire dans les bobines, on désaimante l'aimant et on détermine la chute du poids, ce qui permet, dans l'application aux électro-sémaphores, de déclencher électriquement et à distance une force considérable, et de ramener à la position horizontale, c'est-à-dire à l'arrêt, un bras de sémaphore qui était enclenché, c'est-à-dire maintenu dans sa position verticale par l'attraction de l'aimant.

Cela posé, entrons dans quelques détails, au sujet des appareils de manœuvre (Pl. XVI, fig. 2 et 4).

Chacun de ces appareils, renfermé dans une boîte en fonte, comprend une manivelle M, calée à angle droit avec une autre manivelle B qui agit sur la tringle T commandant le bras du sémaphore. Sur l'axe commun de ces deux manivelles sont montés : un doigt D, une came héliçoïdale *c* et un disque en ébonite *o*, qui tourne entre quatre frotteurs, ajustés sur ressorts et établissant la communication avec les deux pôles de la pile, la bobine de l'électro-aimant A et la ligne : sur cette dernière communication est interposé un paratonnerre Z, à pointes et à papier.

A la partie supérieure de la boîte M, et agissant sur une palette *f*, se trouve un deuxième électro-aimant R actionné par un courant positif, tandis que le premier électro-aimant A, qui agit sur une palette *p* dépendant d'un système de deux règles prismatiques *r* et J, non situées dans un même plan, est actionné par un courant négatif.

Un voyant V, mi-parti rouge et blanc, est solidaire des mouvements d'oscillation de la palette *f*, ainsi que de la tringle J par l'intermédiaire de la tige S.

A l'état de repos, dans chaque poste, la manivelle M de l'appareil n° 2, s'appliquant à la section d'avant, est horizontale, le grand bras A est pendant et déclenché, le voyant V est au blanc; de plus, ainsi que l'indique ci-dessous

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

(fig. 13), la position n° 1 du disque O ou commutateur, il n'y a aucune communication entre l'appareil et la ligne. La manivelle M, de l'appareil n° 1 s'appliquant à la section d'arrière, est, au contraire, à 210 degrés au-delà de la position horizontale, le petit bras est dressé et enclenché et le voyant est au blanc.

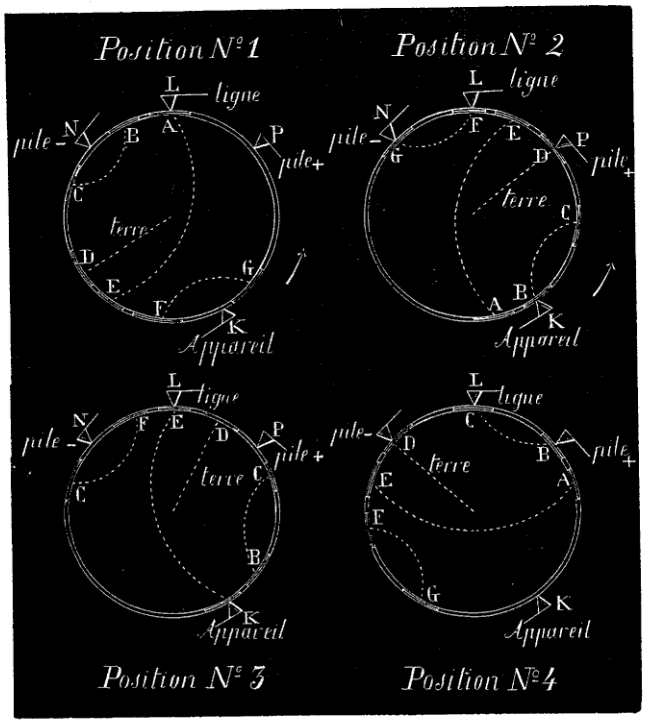


Fig. 13. — Croquis théorique des quatre positions du commutateur de l'électro-sémaphore Lartigue.

Au moment du départ d'un train, le poste expéditeur se contente de tourner de 210 degrés la manivelle M de son appareil n° 1 ; il amène ainsi, par l'intermédiaire de la manivelle B et de la tringle T, le grand bras du sémaphore à la position horizontale.

Le doigt D vient buter contre la pièce P et le commutateur (position n° 2) envoie, au moyen des frotteurs, un courant négatif dans l'appareil n° 2 du poste suivant, pour le prévenir de l'approche d'un train. Sous l'influence de ce courant, l'électro-aimant A de ce poste est désaimanté, la palette *p* se détache, le butoir P s'éloigne et dégage le doigt D qui s'appuyait sur lui; le système, entraîné par le poids du petit bras *a* qui tend à retomber, achève sa rotation de 150 degrés. De plus, la règle J, en s'abaissant, fait passer le voyant V au rouge et recolle la palette *f* contre l'électro-aimant R, au moyen de la tige S. A la fin de la rotation, la came *c* relève la règle J et applique la palette *p* contre l'électro-aimant A.

Dans la rotation de l'axe X, le commutateur O a pris la position de passage (n° 4), dans laquelle un courant positif est envoyé dans l'appareil n° 2 du poste expéditeur. Ce courant, qui n'agit que sur l'électro-aimant R de ce der-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nier poste, détache l'armature *f*, fait apparaître le voyant rouge à la fenêtre et frapper le marteau *t* sur le timbre T; il se produit, par suite, un double accusé de réception, optique et acoustique.

La section se trouve bloquée jusqu'à l'arrivée du train au deuxième poste.

A ce moment, ce poste agit comme le précédent pour bloquer la section suivante; puis, pour débloquer la section dont le train vient de sortir, il tourne de 210 degrés la manivelle de son appareil n° 2, qui, comme on vient de le voir, avait été ramenée électriquement à l'horizontale, et il envoie un courant négatif (position n° 2 du commutateur) dans l'appareil n° 1 du premier poste. L'effet de ce courant est analogue à celui qui s'était produit dans le premier cas, l'électro-aimant A se désaimante, le voyant revient au blanc, le commutateur achève la rotation et envoie (position n° 4) un accusé de réception, dans l'appareil n° 2 du poste B, au moyen d'un coup de timbre et en ramenant au blanc le voyant. Enfin, le grand bras, déclenché par le mouvement du butoir P, retombe à la position verticale de « *voie libre* ».

A tous les postes intermédiaires, les choses se passent de même, jusqu'au dernier, dont l'agent n'a pas à prévenir en avant, et se borne à effacer le signal d'arrêt du poste précédent.

Il est bon de faire remarquer immédiatement que l'électro-sémaphore Lartigue présente, sur les appareils de M. Siemens, cet avantage que la manœuvre en est bien plus simple, puisqu'elle se réduit à faire tourner une manivelle, tandis que, dans ces derniers, il faut, en outre, presser sur un bouton. D'ailleurs, ce qu'il y a de plus ingénieux dans ces électro-sémaphores, c'est que toutes les fonctions mécaniques de l'appareil sont réalisées par la chute d'un contre-poids qui n'est autre que le signal lui-même, et l'électricité n'y agit que pour effectuer un déclenchement, sans avoir à produire aucun effort.

Pour réaliser les avantages résultant, dans les appareils Siemens, de la simultanéité du calage en avant et du déblocage en arrière, M. Lartigue a récemment imaginé d'adapter aux tringles de son électro-sémaphore un loquet disposé de telle manière que le stationnaire d'un poste intermédiaire ne puisse manœuvrer l'appareil n° 2, pour débloquer en arrière, qu'après avoir manœuvré l'appareil n° 1, pour couvrir le train en avant. L'usage de ce loquet peut, d'ailleurs, être supprimé dans les postes placés en des points où des trains peuvent se garer ou stationner. Dans ce dernier cas, il est de règle que l'on ne doit pas attendre, pour débloquer la section en arrière, que les trains qui s'arrêtent dans une gare, l'aient quittée.

Les inventeurs ont paré aux inconvénients des mélanges de fils, en faisant déclencher le grand bras qui ouvre la voie, par un courant de sens contraire à celui par lequel travaillent les postes télégraphiques.

La désaimantation n'est pas non plus à craindre, car les aimants Hughes des appareils sont toujours armés.

Enfin, la fermeture de la voie étant exclusivement mécanique, l'interruption du circuit, par suite d'une rupture de fils ou de toute autre cause, peut seulement empêcher la réouverture de la voie en arrière et l'annonce du train en avant.

Ces appareils, exposés dans l'annexe de l'École militaire, ont été appliqués, depuis 1874, par la Compagnie du Nord, sur la ligne de Saint-Denis à Creil, d'une longueur de 43^{k}860. Cette ligne a été divisée en onze sections desservies par douze postes, dont la distance est, en moyenne, de près de 4 kilomètres.

Depuis cette époque, il semble que l'électricité atmosphérique n'ait eu aucune influence sur ces électro-sémaphores : et l'on a même constaté qu'ils fonctionnaient quand les appareils télégraphiques des gares étaient dérangés par les orages.

Néanmoins, la Compagnie d'Orléans ayant fait l'application de ces appareils, sur une longueur de 26 kilomèt., entre Paris et Brétigny, MM. Heurteau et Guillot

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ont eu l'idée de chercher une garantie supplémentaire, pour parer aux inconvénients qui résulteraient du déclenchement des bras par l'effet d'un orage.

Voici en quoi consiste ce perfectionnement, d'après M. Lartigue :

Pendant tout le temps que le voyant d'un poste B est apparent, ce qui annonce l'approche d'un train, une adjonction au commutateur de l'appareil n° 2 permet d'envoyer un courant dans l'appareil de manœuvre n° 1 du bras du poste A, qui se trouve à la position horizontale, pour couvrir le train. Ce courant augmente la force de l'électro-aimant qui enclenche l'aile; et si, malgré cela, elle venait à se déclencher et à retomber, le tintement d'une sonnerie d'alarme préviendrait les deux postes que les signaux ont été faussés et qu'il convient de rétablir, au plus tôt, la situation normale.

Des postes intermédiaires sont établis, au nombre de dix, par la Compagnie du Nord, pour le service spécial du jour des courses de Chantilly; ces postes, espacés de 2 kilomèt. en moyenne, sont munis d'appareils volants, simplifiés et réduits, mais dont les effets sont, sauf les accusés de réception, identiques à ceux des appareils que nous venons de décrire.

Les quatre bras fixés au mât sont enclenchés directement à la main, sans appareil de manœuvre, et l'envoi des courants est fait, en temps voulu, au moyen de commutateurs à mercure actionnés par des doigts q fixés soit aux petits bras a et b, soit aux leviers L et M reliés invariablement aux grands bras (Pl. XVI, fig. 7); les électro-aimants supérieurs H, H′ agissent sur ces leviers et les électro-aimants inférieurs h h' agissent sur les armatures des voyants a b.

En dehors des indications réglementaires pour le block system, les agents des postes sémaphoriques peuvent échanger des signaux accessoires, au moyen de sonneries et de commutateurs annexés aux appareils : on les utilise, au Nord, pour faire aviser, par le garde, les chefs des stations dont les appareils télégraphiques ne sont pas en communication permanente, qu'ils aient à rentrer dans le circuit pour recevoir une dépêche. Il est bien entendu que l'échange de ces signaux accessoires n'influe en rien sur la position des ailes et des voyants de l'électro-sémaphore.

Sur certaines lignes, en Angleterre par exemple, la voie est habituellement fermée; l'agent du poste doit l'ouvrir, s'il y a lieu, au moment où le train se présente devant la section. Dans ce cas, pour appliquer les électro-sémaphores, il suffit d'équilibrer les grands bras par des contre-poids. Le courant déclenche, non pas les bras eux-mêmes, mais un levier qui les calait de telle sorte que le grand bras, même déclenché, continue à rester horizontal et qu'il ne peut être effacé qu'à la main, pour le passage du train.

Electric-slot-signal. — MM. Tyer et Farmer ont exposé, dans la section anglaise, un sémaphore électrique destiné à réaliser, comme les précédents, la solidarité entre le signal à vue et la communication électrique des postes.

Le nom de *Slot*, donné à cet appareil, est d'ailleurs impropre, car il n'a rien de commun avec le sémaphore à coulisses, dont nous avons parlé dans la section des signaux. Le but est seulement d'empêcher, au moyen de l'électricité, un « *signaleur* » de mettre son sémaphore à voie libre, et, par conséquent, de pouvoir débloquer à distance une autre section, tant que le train qui y a pénétré, n'en est pas sorti.

A ce titre, l'appareil est plutôt un enclenchement électrique : seulement, comme on a immédiatement songé à l'appliquer au block system, c'est bien ici la place de sa description (fig. 8, Pl. XVI).

MM Tyer et Farmer ont atteint ce but en plaçant, sur le bâti du levier du sémaphore situé à l'entrée de la section, un électro-aimant M, dans lequel le poste, situé à l'autre extrémité de la section, peut envoyer un courant élec-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trique continu, et retenir ainsi, par attraction et au moyen d'une détente D, le marteau H dans une position verticale. Le levier de manœuvre du sémaphore agit, par l'intermédiaire d'une tringle T, sur une première pièce A, et le fil qui agit sur l'aile est attaché à une deuxième pièce S ayant même pivot que A; tant que A et S sont rendues solidaires par le crochet C, le levier agit directement sur le fil, et l'on peut effacer le signal.

Si, à un moment donné, le courant électrique vient à cesser dans l'électro-aimant M, le système D, H, se déclenche, le marteau H retombe par son propre poids, fait basculer le crochet C, et, la pièce S n'étant plus solidaire de la pièce A, le sémaphore se met à l'arrêt sous l'influence du contre-poids K.

Dans ces conditions, on peut, en manœuvrant le levier, relever ou abaisser A; en aucun cas, le crochet C ne saisira la pièce S, qui échappe à son action, et le disque restera à l'arrêt jusqu'à ce que le courant électrique soit rétabli; si alors on ramène le levier à l'arrêt, le marteau H est enclenché de nouveau par l'attraction de l'électro-aimant M; le crochet *c*, libre, saisit la pièce S, et l'on peut, à volonté, effacer l'aile du sémaphore.

Cette combinaison est assez ingénieuse, mais elle aurait besoin d'être complétée par d'autres dispositions, pour être tout à fait applicable au block system.

En outre, elle présente tous les inconvénients signalés pour les appareils à courant continu, et si les inventeurs, cherchant à s'y soustraire, appliquaient, au lieu de l'électro-aimant M, un aimant Hughes, ils emprunteraient précisément le trait saillant du brevet Lartigue, et, avec une modification dans la forme, l'une des dispositions de calage décrites plus haut.

Nous ne croyons donc pas, malgré le bruit qui se fait autour de ce nouvel appareil, qu'il soit destiné à un grand avenir : d'ailleurs, on s'est borné jusqu'ici à n'en faire que quelques essais.

Block-system automatique. — Nous ne reviendrons pas sur l'indication que nous avons donnée plus haut, à propos de la description des contacts fixes du système Sauvajon.

Il est évident qu'il serait possible d'installer une série successive de ces contacts, de telle manière que le déblocage de chaque section se fît par le simple passage du wagon de queue sur un contact. Malgré le côté attrayant de cette idée, nous ne savons pas jusqu'à quel point il serait avantageux de remplacer ainsi, d'une manière absolue, les signaux à vue par des signaux acoustiques à l'observation desquels le mécanicien seul serait intéressé.

Il nous semble plutôt que la présence d'un garde, à l'entrée de chaque section, est une garantie sérieuse qu'il serait peut-être téméraire de supprimer, et cette raison suffit pour que l'on hésite longtemps avant d'adopter un système absolument automatique.

Discussion du block-system. — En principe, dans l'exploitation par le block-system, la ligne étant divisée en sections d'une certaine longueur, aucun train ne doit pénétrer dans une section, si le train qui le précède ne l'a pas quittée.

Les signaux, faits aux mécaniciens à l'entrée de chaque section, soit à la main, soit mécaniquement, doivent donc être considérés comme des signaux d'arrêt absolu.

Tant que le service a lieu dans des conditions normales, et si la longueur des sections est bien proportionnée à l'activité du trafic, il est évident qu'il n'y a aucun reproche à faire à cette organisation : elle donne toute sécurité et elle ne peut, en aucune façon, entraver la circulation. S'il arrive qu'un train soit accidentellement obligé de s'arrêter pour attendre que celui qui le précède ait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dégagé la voie devant lui, à une distance suffisante, cet incident ne sert qu'à établir les intervalles prévus aux livrets de marche des trains. En un mot, quand il n'y a pas d'accidents, le block-system pratiqué, d'une manière rigoureuse, est un utile *régulateur* de la circulation.

Mais, dès qu'il se produit une perturbation dans le service, comme l'instrument qu'on emploie n'a pas été fait pour de pareils cas, il donne immédiatement naissance à un certain nombre d'inconvénients.

D'abord, lorsqu'un train tombe en détresse et qu'une machine de secours a été demandée à un dépôt, situé en arrière, cette machine ne peut remplir sa mission qu'en forçant la consigne à l'entrée de la section bloquée.

D'un autre côté, si la section est restée bloquée pour un tout autre motif que la présence d'un train sur la voie, comme un dérangement des appareils ou la négligence d'un agent qui a oublié de la débloquer, un train qui se présente à l'entrée de cette section peut être contraint de stationner indéfiniment, en arrêtant, à son tour, la circulation dans les sections précédentes ; et, pour une cause de peu d'importance, toute une ligne peut se trouver, à un moment donné, complètement paralysée.

Enfin, la plus grave objection que l'on fait à ce système, c'est qu'en l'appliquant rigoureusement, on n'arrrive à ne pas restreindre le trafic et à ne pas diminuer la capacité de transport de la ligne, qu'en faisant les sections extrêmement courtes, et, par conséquent, en augmentant les dépenses de premier établissement, d'une part, et, d'autre part, les frais d'exploitation.

D'ailleurs, on ne pourrait pas restreindre beaucoup la longueur de ces sections, sans arriver bientôt à une limite qui est naturellement fixée par la rapidité avec laquelle un train, lancé à toute vapeur, peut s'arrêter. Si, en effet, un express, marchant avec une vitesse de 70 kilom. à l'heure, pénètre dans une section déjà libre, mais que la section suivante soit encore bloquée et que la distance entre les deux postes soit insuffisante pour qu'il ait le temps d'amortir cette vitesse, il est évident qu'il forcera la consigne, en pénétrant dans la deuxième section, malgré le signal d'arrêt.

Nous allons examiner brièvement comment on peut obvier à ces divers inconvénients.

Au lieu d'appliquer le block-system absolu, comme cela se pratique en Angleterre, on est arrivé à n'en faire qu'un auxiliaire de la règle de l'intervalle de temps à maintenir entre le passage d'un train au même point; et la plupart des Compagnies, en France, ont admis qu'un train peut forcer une section bloquée, au bout d'un certain délai d'attente, écoulé depuis le moment où ce train a dû s'arrêter devant le signal d'arrêt.

Au bout de ce délai, le mécanicien est autorisé à continuer sa route, en marchant avec prudence : quant à la durée du délai d'attente et aux formalités à remplir avant la mise en marche du train arrêté, elles varient suivant les Compagnies.

Le règlement concernant le service des appareils Tyer, en vigueur à la Compagnies de P.-L.-M., dispose que, lorsqu'il s'est écoulé trente minutes depuis le passage d'un train, sans que l'on ait reçu le signal de *voie libre*, on peut laisser partir un train de même sens. Mais le stationnaire doit prescrire *par écrit*, au mécanicien et au conducteur chef, de ne marcher qu'avec la vitesse d'un homme au pas, jusqu'à ce qu'ils aient atteint le train précédent, resté probablement en détresse, ou bien le poste suivant, s'il y a eu dérangement dans les appareils.

Au chemin de fer de l'Ouest, un train ne peut forcer une section bloquée, qu'après dix ou cinq minutes écoulées depuis le passage du train précédent, suivant qu'il existe ou non, dans cette section, un tunnel en ligne droite de 1000 mètres ou en courbe de 600 mètres. En outre, le stationnaire doit dé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

livrer au mécanicien un ordre écrit, sur un imprimé spécial, lui recommandant de marcher lentement et avec prudence, jusqu'à ce qu'il ait rejoint le train précédent, et de ne pas dépasser, sous les tunnels, une vitesse de 15 kilomètres à l'heure.

Enfin, le nouveau règlement qui va être appliqué au Nord admet qu'un train peut forcer le block, s'il s'est écoulé un intervalle de cinq minutes depuis le passage du train précédent, et après que le mécanicien a remis, à l'agent du poste sémaphorique, une fiche portant le numéro de sa machine.

Nous ne parlerons que pour mémoire du *block permissive system* appliqué, dès le principe, par la Compagnie du Nord et dans lequel les sémaphores, placés à l'entrée des sections, commandaient aux mécaniciens l'arrêt relatif, dans les mêmes conditions qu'un disque à distance; c'est-à-dire qu'à la vue de ce signal à l'arrêt, les mécaniciens devaient se rendre immédiatement maîtres de la vitesse de leur train, par tous les moyens mis à leur disposition, sans toutefois s'arrêter absolument, et n'avancer ensuite qu'avec la plus grande prudence, jusqu'à ce qu'ils eussent atteint le poste suivant.

On a renoncé à ce système, parce qu'il réduisait le blocage à n'être qu'une mesure fictive, qui pouvait, d'ailleurs, ne plus offrir aucune garantie de sécurité, si le mécanicien ne voyait pas le signal, ou s'il n'y obéissait qu'avec lenteur et répugnance.

En résumé, le block system, mitigé par la règle du temps, donne d'excellents résultats; il y aurait seulement un reproche à faire à cette organisation, c'est qu'en établissant un délai d'attente uniforme, à l'entrée d'une section bloquée, on n'a pas assez tenu compte de ce fait que les sections sont, le plus souvent, de longueur inégale.

Longueur des sections. — Tout dépend, en effet, de la longueur des sections : si elles sont trop longues, on risque d'arrêter fréquemment les trains, en service normal; si elles sont trop courtes, la garantie matérielle, qui dépend de la possibilité effective d'arrêter un train, tend à disparaître.

En un mot, la longueur des sections devrait être directement proportionnelle à la vitesse, et inversement proportionnelle au nombre maximum des trains qui y circulent dans un même sens.

En pratique, on ne dépasse guère 4 kilom., et, à moins de circonstances spéciales, il est préférable de ne pas descendre au-dessous de 1 kilomètre.

Cette dernière longueur est obtenue en ajoutant, à la longueur d'un train (400 mètres au maximum), la distance nécessaire pour obtenir l'arrêt d'un train de grande vitesse, au moyen des nouveaux systèmes de freins continus (soit 600 mètres, au plus).

Cependant, lorsque la vitesse des trains est petite, comme sur le *métropolitain* à Londres, ou sur le chemin de fer de Ceinture à Paris, la longueur des sections peut être proportionnellement réduite.

De plus, si le besoin s'en fait sentir, rien ne s'oppose à ce qu'on établisse des postes intermédiaires, dont les signaux ne s'adresseraient pas aux trains rapides, et ce serait certainement le moyen le plus ingénieux de mettre la longueur des sections en rapport avec la vitesse des trains.

D'ailleurs, lorsque les sections sont très-courtes, on peut, ainsi que cela se pratique au chemin de fer de Ceinture, décider que chaque poste fera le signal de ralentissement, pendant quelques minutes après que la section a été débloquée par le poste suivant.

Sur l'indication de M. Mantion et sur la demande de M. Sartiaux, M. Lartigue avait même étudié une petite addition à ses électro-sémaphores, dans le but de donner mécaniquement satisfaction à cette nécessité supplémentaire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A cet effet, lors de son déclenchement, le grand bras est arrêté dans sa chute, à 45 degrés, par un verrou que l'on peut retirer soit à la main, soit automatiquement, au bout d'un délai fixé ; la chute complète de l'aile a lieu alors sous la seule action de la pesanteur.

Dépenses d'installation. — Pour terminer cette discussion comparative, nous emprunterons à la note de M. Sartiaux quelques chiffres intéressants, concernant les dépenses d'installation et d'exploitation des divers appareils du block-system, qui ont été mis en service jusqu'à présent.

Il est assez difficile de donner les prix moyens d'établissement des appareils du premier groupe, parce que ces appareils doivent être installés dans des abris couverts qui quelquefois existent déjà, tandis que, dans d'autres cas, il faudrait en construire spécialement à cet effet.

Les prix des appareils, proprement dits, sont les suivants :

Appareil Tyer.	— Un poste simple extrême.	500 fr.
— —	— Un poste double intermédiaire.	900
Appareil Regnault.	— Un poste simple extrême.	530
— —	— Un poste double intermédiaire.	940

A cette dépense il faut ajouter celle des abris, et le prix des fils de ligne, ainsi que des signaux destinés à reproduire, aux yeux des mécaniciens, les indications électriques des appareils.

Avec des postes espacés, en moyenne, de 3 à 4 kilom., le prix total d'établissement varie entre 6 à 700 fr. par kilomètre.

Les prix des appareils Siemens et Halske sont mal connus en France; mais, d'après les documents publics concernant l'établissement de ces appareils, entre Melle et Ostende, la dépense d'installation doit varier entre 11 à 1200 fr. par kilomètre, pour des postes espacés de $3^{k},5$ en moyenne.

Quant aux électro-sémaphores Lartigue, il nous est possible de donner quelques prix élémentaires :

1° Prix des appareils.

Appareil de manœuvre.		400 fr.
(Poste extrême), pièces du mât, échelle, éclairage		500
(Intermédiaire) — d° —		600
Mât et peinture.	(environ)	100
Pile et accessoires		100

2° Prix d'un poste extrême.

Deux appareils de manœuvre.	800
Pièces du mât, etc.	500
Mât et peinture.	100
Pile et accessoires	100
Total.	1,500

3° Prix d'un poste intermédiaire.

Quatre appareils de manœuvre.	1,600
Pièces du mât.	600
Mât et peinture.	100
Pile et accessoires.	100
Pose et imprévu.	100
Total.	2,500

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A ces prix il faut ajouter la dépense des fils de ligne qui est de 200 fr. par kilomètre, pose comprise.

La moyenne des dépenses, pour une ligne dont les postes seraient distants de $3^{k},5$, en moyenne, peut être évaluée à environ 1,000 fr. par kilomètre.

En résumé, les dépenses d'installation s'écartent peu de 700 fr. par kilomètre, pour les appareils du premier groupe, et de 1,000 fr. pour les appareils du deuxième groupe.

Les dépenses d'exploitation sont de deux sortes : l'entretien des appareils et les frais d'éclairage et solde de personnel. Les dépenses d'entretien et d'éclairage sont de 40 à 50 fr., pour les appareils du premier groupe; elle ne diffèrent guère de ce chiffre, pour les appareils Lartigue, et elles sont un peu plus élevées pour les appareils Siemens, surtout à cause des nettoyages fréquents aux quels ils obligent.

Si on les ajoute à l'intérêt et à l'amortissement, calculés à 10 0/0, des frais d'établissement des appareils, on voit que la dépense annuelle est de 100 à 120 fr. environ pour les appareils du premier groupe, qu'elle est à peu près de 150 fr. pour ceux de M. Lartigue, et qu'elle est plus élevée pour les appareils Siemens.

A ces dépenses, il faut ajouter les frais du personnel spécial, qui sont nuls, avec les appareils de M. Lartigue, manœuvrés par des hommes d'équipe ou des garde-barrières, tandis qu'ils ne sont pas sans importance, avec les appareils Siemens et Regnault, exigeant des agents spéciaux aux stations, et surtout avec les appareils Tyer, qui en demandent à tous les postes.

Les résultats économiques sont donc tout à fait conformes aux résultats techniques, et ne peuvent que confirmer la préférence donnée aux appareils du second groupe. Comme, d'ailleurs, les dépenses d'installation et d'exploitation des appareils Siemens sont supérieures à celles des électro-sémaphores Lartigue qui ne présentent pas les mêmes inconvénients, il semble que la préférence doit, en résumé, être donnée à ceux-ci sur ceux-là.

§ 2. — *Appareils pour la circulation sur une seule voie.*

Circulation sur les lignes à voie unique. — Plus les chemins de fer se multiplient, plus on voit s'accentuer la tendance de les construire avec une seule voie, et plus il devient nécessaire de se garantir contre la possibilité des rencontres, analogues à celle du lac du Bourget.

Si les règlements que les Compagnies ont mis en vigueur, étaient toujours observés, et s'il ne se produisait jamais d'irrégularité dans le service, les accidents de cette nature ne pourraient arriver. Mais il est impossible de compter sur l'infaillibilité humaine; une dépêche mal interprétée, un oubli peuvent compromettre la sécurité. Aussi a-t-on cherché à y remédier, soit en bloquant absolument la voie, soit en intéressant autant d'agents que possible à la transmission des signaux d'annonce de la marche des trains.

Block and staff-system. — Le *staff* est depuis longtemps en usage en Angleterre; c'est un bâton, de 0^{m}, 50 de longueur, portant les noms des deux stations entre lesquelles il est destiné à circuler, en faisant la navette.

Aucun train ne peut être expédié s'il n'est porteur du staff dont il n'existe qu'un exemplaire, d'une couleur déterminée, pour chaque intervalle compris entre deux stations. Il ne peut donc y avoir qu'un seul train sur la voie, et l'on doit attendre, pour expédier un second train marchant dans le même sens que celui qui porte le staff, qu'un train marchant en sens contraire ait ramené ce bâton au point de départ.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour remédier à cet inconvénient qui pourrait entraver la continuité du service, on adjoint au staff une boîte de tickets servant de passe-ports pour les trains que l'on expédie successivement dans le même sens : le staff n'est remis qu'au dernier de ces trains, et avec lui part la clef servant à ouvrir la boîte de tickets, de manière qu'on ne peut plus expédier aucun train jusqu'au retour du staff.

Les tickets sont, d'ailleurs, de la même couleur que le staff, pour éviter toute confusion.

Cette organisation présente toutes les garanties de sécurité; mais elle est trop primitive pour qu'on puisse l'appliquer, dès que le trafic a une certaine importance; elle exige surtout que tous les trains s'arrêtent à toutes les stations, tandis que, sur beaucoup de lignes à une seule voie, l'on a été conduit à faire circuler des trains express.

Sonneries d'annonce. — Nous ne reviendrons pas sur l'usage des sonneries d'annonce, décrites dans un précédent chapitre, et qui étaient, d'ailleurs, déjà en service, en 1867.

Il nous suffira de faire remarquer que si elles peuvent prévenir la rencontre, dans un grand nombre de cas, elles ont encore l'inconvénient de ne s'adresser qu'aux agents de la voie ou des stations. Le mécanicien et les agents du train qu'il serait surtout intéressant d'avertir qu'un train marche à leur rencontre, ne peuvent être prévenus, si ce n'est que lorsqu'un garde-barrière leur fait, à temps, le signal d'arrêt. Cette garantie n'est évidemment pas suffisante, d'autant plus qu'elle repose sur la perception de signaux acoustiques qu'il est facile de confondre et qui peuvent être transmis par erreur.

Électro-sémaphore Lartigue. — L'appareil exposé par M. Mors, dans l'annexe de l'École militaire, n'est qu'une transformation de l'électro-sémaphore dont on a vu plus haut la description, dans le paragraphe où sont décrits les appareils du block-system.

La seule différence extérieure consiste en ce que les bras inférieurs, qui n'étaient, dans l'électro-sémaphore pour double voie, que des voyants s'adressant au stationnaire du poste sémaphorique, sont, dans les électro-sémaphores pour les lignes à voie unique, identiques aux bras supérieurs et éclairés la nuit, ainsi que l'indique la fig. 6 de la planche XVI. Seulement, au lieu d'être enclenchés dans la position verticale redressée, ils le sont, dans la position verticale pendante : un contre-poids, placé à l'extrémité, près de l'axe d'oscillation, les fait d'ailleurs rentrer, au point de vue des actions mécaniques, dans les mêmes conditions que les petits bras qu'ils remplacent.

Mais ce qui constitue la différence capitale, c'est le clavetage des bras supérieurs dans la position horizontale; il est obtenu, pendant tout le temps que le bras inférieur est horizontal, au moyen d'un simple verrou ajouté dans le système de carillon.

Ce carillon, représenté à la fig. 11, est mis en mouvement par des loquets q, Q, fixés à l'axe d'oscillation des tringles de tirage qui servent à manœuvrer les bras; mais il porte en outre un verrou W que le loquet q correspondant au bras inférieur soulève de manière à lui faire enclencher la came r montée sur l'axe de la tringle du bras supérieur; c'est ainsi que le calage est obtenu, jusqu'à ce que l'on ait relevé le bras inférieur.

On voit, par suite, qu'à l'état de repos, les deux grands bras supérieurs sont horizontaux et commandent l'arrêt, sans que le stationnaire du poste puisse les effacer.

Lorsqu'un train se présente à l'entrée de la section, le poste expéditeur ne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peut effacer lui-même le grand bras du sémaphore; mais il manœuvre l'appareil n° 1 et envoie au poste suivant un courant qui déclenche le bras inférieur de ce poste et l'amène à la position horizontale; ce mouvement a pour conséquence de claveter le grand bras situé au dessus et d'envoyer automatiquement, vers le poste expéditeur, un courant qui déclenche le grand bras supérieur de ce poste.

Le stationnaire peut alors effacer ce signal, pour donner passage au train; et, dès qu'il lâche la tringle, ce bras se remet immédiatement à l'arrêt; par conséquent, le poste suivant est prévenu du départ du train déjà annoncé.

Pendant tout le parcours du train, aucun des agents ne peut modifier, à la main, les signaux; et ce n'est qu'au passage de ce train devant le poste d'arrivée, que le stationnaire, en ramenant le bras inférieur à la position verticale, déclavète le bras supérieur et annonce au poste expéditeur l'arrivée du train.

On voit donc, sans qu'il soit nécessaire d'insister davantage, que ce système rend impossible l'expédition des trains marchant en sens contraire, et que cette condition n'exige pas la présence continue des agents à leur poste; leur rôle se borne, en effet, à appuyer sur un commutateur pour faire ouvrir la voie avant le départ du train, et à relever, à l'arrivée du train, le bras inférieur, par un demi-tour de manivelle.

Des postes intermédiaires et accessoires sont placés à la plupart des passages à niveau; leur sémaphore ne comporte que les bras inférieurs dont le jeu est solidarisé de telle manière qu'ils ne puissent être effacés à la fois.

De cette façon, si un train force le signal d'arrêt au point de départ, il rencontre sur sa route une série de signaux analogues qu'il ne peut dépasser que si le mécanicien a une intention bien arrêtée de n'y pas obéir.

En outre, s'il arrivait par erreur qu'un poste annonçât prématurément l'arrivée d'un train, en effaçant le bras inférieur du sémaphore, et que le poste précédent fût, par suite, conduit à expédier un deuxième train dans le même sens, ce second train rencontrerait, à la position d'arrêt, dans tous les postes intermédiaires, les bras inférieurs que les gardes ont ordre de ramener à l'horizontale après le passage de chaque train.

Enfin, s'il arrivait, par hasard, que les deux postes, placés à l'extrémité d'une section, fissent simultanément la demande de passage d'un train, ils clavèteraient respectivement le bras supérieur du sémaphore de leur correspondant, et la voie serait bloquée aux deux bouts, situation dont il serait facile de sortir par l'échange des dépêches réglementaires.

Est-il besoin de faire ressortir la supériorité de ce système sur ceux qui ont été mis jusqu'ici en usage pour garantir la sécurité de la circulation sur les lignes à une seule voie? Les actions principales sont mécaniques; le rôle de l'électricité est borné à produire des effets dont l'absence causerait un surcroît de sécurité, par suite du blocage absolu.

Néanmoins ces appareils n'ont encore reçu aucune application, en France; mais la grande Société russe vient d'en faire une commande importante, après avoir procédé à une série d'essais dont le résultat a été des plus satisfaisants.

§ 3. — *Appareils d'enclenchement.*

But et définition des enclenchements. — En matière de chemins de fer, on appelle *enclenchement* le mécanisme, assez variable dans sa forme, qui a pour objet de rendre impossible le mouvement d'un ou plusieurs leviers, tant que d'autres leviers n'occupent pas une position déterminée.

Le but des appareils d'enclenchement est de garantir la circulation des trains et des manœuvres contre les résultats d'une erreur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aux bifurcations, ainsi que sur certains points de grandes gares, où les voies s'entre-coupent et se divisent, de manière à faire face aux nécessités d'un service compliqué, entre toutes les combinaisons auxquelles peut donner lieu le passage simultané de trains circulant sur des voies, dans un sens déterminé, ou dans les deux sens, il en est un certain nombre qui peuvent être autorisées comme n'offrant aucun danger : toutes celles qui pourraient occasionner une collision doivent être évidemment écartées; et, comme on ne peut se fier absolument à la responsabilité d'un aiguilleur, chargé de manœuvrer les leviers des disques qui interdisent le passage, on avait établi, en principe, que cet agent ne devait jamais accorder le passage que pour une direction principale, comme cela se pratique aux bifurcations de l'Ouest, ou bien que les trois directions étaient toujours condamnées et que les leviers des disques étaient assez éloignés les uns des autres pour que l'aiguilleur ne pût en effacer qu'un seul à la fois, comme aux bifurcations du Nord, par exemple.

L'application des enclenchements permet de supprimer toutes ces entraves : dès que l'on est certain que l'aiguilleur est mécaniquement dans l'impossibilité de réaliser des combinaisons de circulation, incompatibles avec la sécurité, il n'y a plus aucune restriction à lui imposer, et, en réalité, l'interdiction du passage simultané des trains aux bifurcations disparaît à mesure que l'on y installe des enclenchements, pour relier entre eux les leviers des signaux et des aiguilles.

L'étude de M. Morandière, en 1867, contenait, sur les appareils Vignier, Saxby et Farmer, des détails qui nous dispenseront de revenir sur les dispositions primitives de ces deux systèmes.

Mais de grands progrès ont été accomplis depuis cette époque, et nous aurons à parler des perfectionnements de ces appareils, ainsi que des autres systèmes qui ont pu surgir.

Enclenchements Saxby et Farmer. — On sait que, dans les premiers appareils, tels qu'ils ont été installés, en France, à la bifurcation de Villeneuve-Saint-Georges et à la gare de Nîmes, l'enclenchement était obtenu au moyen de flasques horizontales en fonte A, C, H, etc., appelées *locks*, et portant des entailles ou cales contre lesquelles pouvaient buter les leviers des aiguilles 1, 2 ou 3, comme l'indique le croquis ci-dessous (fig. 14).

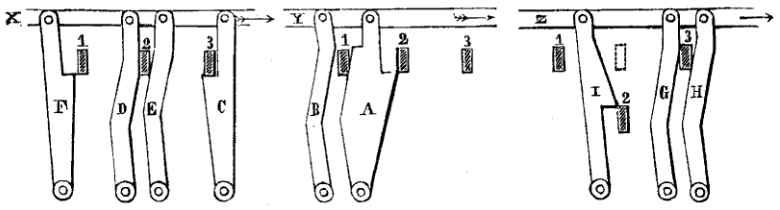


Fig. 14. — 1er système d'enclenchement Saxby et Farmer.

L'inconvénient de cette disposition consistait principalement dans l'usure rapide des locks; par suite, les cales n'occupaient pas toujours les positions requises et l'enclenchement n'était pas certain : de plus, les cales se trouvant en face des leviers et peu éloignées de leur axe, l'effort produit contre elles, chaque fois que l'aiguilleur voulait manœuvrer un levier enclenché, était considérable et déterminait une tension extrême de tous les appareils.

Un premier perfectionnement a consisté à faire mouvoir la barre d'enclenchement X, qui donne aux locks leur mouvement d'oscillation, non plus directe-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment par le levier, mais à l'aide du verrou mobile à ressort V qui est fixé au levier, et qui doit être soulevé par la pression de la main de l'aiguilleur, pour s'engager dans les encoches pratiquées aux deux extrémités du curseur servant de guide. Une équerre *a* et une broche *b* servent à transmettre le mouvement du verrou à la barre *c*, comme l'indiquent les croquis ci-dessous (fig. 15 et 16).

Mais l'appareil d'enclenchement le plus récent, perfectionné et exposé par MM. Saxby et Farmer, est celui qu'a appliqué la Compagnie d'Orléans à la bifurcation de Brétigny.

Il diffère absolument, même par le principe de l'enclenchement, des appareils précédents, et il ne s'en rapproche que par la ressemblance extérieure de la disposition des leviers.

Aussi entrerons-nous, à ce sujet, dans quelques détails (Pl. XVII, fig. 5, 6, 7 et 8).

Les organes d'enclenchement, placés au-dessus du plancher de la guérite, à la vue de l'aiguilleur, au lieu d'être disposés en hauteur, au-dessous des leviers, sont plus facilement accessibles pour l'entretien et les réparations.

Le point caractéristique du nouveau système, c'est que le mouvement de ces organes est obtenu par le balancier ou *rock* H (fig. 7) qui sert de guide au levier A muni de son verrou à ressort F, et que l'enclenchement est réalisé en calant, à l'aide d'ergots R, dépendant des barres d'enclenchement, les grils O qui tournent comme des clefs sous l'influence du mouvement du balancier, H.

Dans une rainure pratiquée sur ce balancier glisse, en effet, un bouton G dépendant du levier, et, suivant que le verrou à ressort F est logé dans l'encoche D ou l'encoche E, la bascule s'incline vers l'avant ou l'arrière du bâti. Ce mouvement de va-et-vient vertical est, par l'intermédiaire de la bielle M et de la manivelle L, transformé en un mouvement de rotation de l'axe N qui porte le gril O.

Quelques-uns de ces grils portent des équerres P qui communiquent un mouvement de va-et-vient horizontal aux tringles d'enclenchement Q sur lesquelles sont fixés les ergots R.

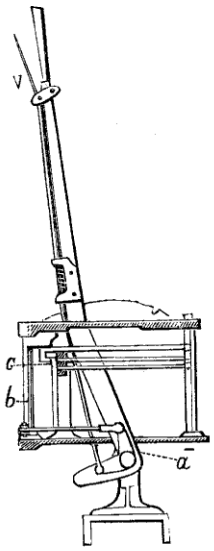


Fig. 15.
Manœuvre des locks par le ressort : élévation.

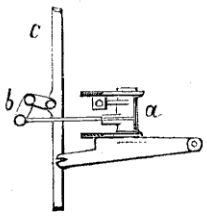


Fig. 16. — Plan.

Lorsque les leviers occupent leur position normale, les grils laissent passer, au-dessus d'eux, les tringles d'enclenchement, munies de leurs ergots; mais, lorsque ces grils sont tournés, comme en O″, ils s'opposent au mouvement des ergots et l'enclenchement a lieu; dans d'autres cas, c'est l'ergot R qui s'oppose au mouvement du gril O′.

On voit immédiatement qu'avec une tringle convenablement armée d'ergots, on peut enclencher tel gril, et par conséquent tel levier que l'on veut, et réciproquement qu'avec un gril, on peut enclencher telle tringle, et, par suite, tel levier qu'il est nécessaire.

En outre, la disposition du balancier et des encoches est telle que, dès qu'on appuie sur la poignée F, on produit l'enclenchement, par un léger mouvement des tringles et des ergots, mais que le déclenchement n'est obtenu que quand le levier est arrivé complètement à la fin de sa course. Par conséquent,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quand le levier occupe une position intermédiaire, il est impossible de manœuvrer aucun des autres leviers qui ont avec lui un rapport quelconque d'enclenchement.

Cela permet d'ailleurs d'employer des organes plus délicats et bien plus légers que ne l'étaient ceux du système primitif.

Enfin, il faut encore insister sur un point avantageux : c'est que l'addition de nouveaux leviers nécessite seulement l'élargissement du bâti ST qui supporte les enclenchements.

Block and interlocking system. — Le levier de l'*electric-slot signal*, que nous avons décrit dans les appareils du block-system, peut être adapté au système d'enclenchement dont il vient d'être question, de telle manière que l'on réalise ainsi l'enclenchement à distance; c'est-à-dire qu'un agent peut, grâce à cette disposition, empêcher électriquement un autre agent de manœuvrer tel ou tel levier d'aiguilles ou de signal faisant partie de son *signal-box*. C'est ce que les inventeurs appellent le *Block and interlocking system*.

Cela étant dit toutefois, sous les réserves que nous avons cru devoir faire, à propos de la description de l'appareil, dans le paragraphe du block-system.

MM. Saxby et Farmer ont complété encore leurs appareils d'enclenchement en les rendant susceptibles de recevoir l'application de la clef de sûreté d'Annett.

Cette clef, dont on faisait déjà usage pour ouvrir et fermer les boîtes à ticket du *staff-system*, dont nous avons parlé, s'adapte à une serrure fixée à l'extrémité du bâti qui supporte les tringles d'enclenchement. On peut donc, dans tous les cas où il existe une aiguille d'évitement, ainsi que dans les cas accidentels de pilotage, empêcher absolument l'aiguilleur, placé à l'origine de la voie unique, de diriger un train ou une manœuvre sur cette voie sans la présence et sans l'acquiescement du pilote, porteur de la clef.

Enclenchement des barrières de passage à niveau. — Le système d'enclenchement que nous avons décrit, se prête assez aisément à une série d'applications de détail, dont une des plus intéressantes est certainement la protection des passages à niveau très-fréquentés.

Au lieu de barrières roulantes, on fait usage, pour fermer le passage, de vantaux qui se rabattent, de manière à fermer soit la route, soit la voie, et qui sont fixés dans ces positions au moyen de loquets placés à fleur du sol (Pl. XVII, fig. 1).

Un jeu de tringles, armées de crémaillères D qui engrenent avec des secteurs E, fixés à la base des vantaux F, permet de faire pivoter à la fois les quatre vantaux, au moyen d'une roue à manivelles A (fig. 2 et 3). Cette roue est enclenchée directement avec les leviers de deux disques à distance et de deux sémaphores commandant l'arrêt absolu, ainsi qu'avec le levier qui commande à la fois les quatre loquets servant à arrêter les vantaux (fig. 4).

De cette façon, on ne peut manœuvrer la barrière qu'après avoir baissé les loquets B, qui sont équilibrés par un contre-poids C et taillés en biseau, de sorte qu'ils s'abaissent automatiquement lorsque les vantaux viennent buter contre eux. Les tringles de connexion sont disposées de manière que, quand deux loquets opposés s'abaissent, les deux autres se relèvent, et *vice versâ*, et le jeu des enclenchements, entre les leviers, est tel que l'on ne puisse abaisser les loquets situés sur le passage à niveau, pour ouvrir la barrière, qu'autant que tous les disques sont à l'arrêt. Lorsque l'on doit, au contraire, fermer les barrières pour ouvrir la voie, les leviers de signaux ne sont déclenchés de la position d'arrêt que lorsque la roue motrice principale a accompli sa course entière et que les barrières sont complètement fermées au public.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette disposition ingénieuse exige évidemment que le passage à niveau soit gardé, ce qui arrive d'ailleurs, pour peu qu'il soit fréquenté. Car il serait impossible de manœuvrer, de cette façon, les barrières à distance, comme cela se pratique sur certaines lignes d'intérêt local.

Mécanismes divers d'enclenchement. — Indépendamment des verrous du système Vignier et des grils du système Saxby, il y a beaucoup d'autres solutions mécaniques susceptibles de produire l'enclenchement.

Nous nous contenterons de citer les principales qui aient été appliquées, à notre connaissance.

Le système Rothmüller, exposé au Champ de Mars, dans l'annexe de la section autrichienne, consiste en une boîte cylindrique placée vis-à-vis de l'aiguille à enclencher.

Dans l'intérieur de cette boîte, recouverte par un chapeau en fonte, se trouve un segment dont l'axe, situé au centre de la boîte, est relié au fil du disque par un levier, de telle manière que le mouvement du fil entraîne la rotation du segment, tant qu'une pièce à coulisse, dépendant de l'aiguille, ne s'y oppose pas : si l'on déplace l'aiguille, la coulisse vient se placer devant le segment et l'enclenche; dans ce cas, il devient impossible d'effacer le disque.

Cet appareil mérite plusieurs reproches : c'est que les enclenchements sont placés près des aiguilles, au lieu d'être près des leviers; on est donc moins certain d'avoir obtenu le calage, lorsqu'on manœuvre un levier. En outre, indépendamment du défaut de concentration qu'entraîne cette disposition, elle se prête mal à des combinaisons plus compliquées que le cas très-simple auquel se rapporte le modèle exposé.

A ce titre, le nouveau type qui paraît devoir être adopté par la Compagnie du Nord, en France, est plus rationnel. Avant d'en parler, disons quelques mots des diagrammes employés pour l'étude des installations d'enclenchements.

Le diagramme le plus simple est celui dans lequel tous les leviers sont représentés, en plan, comme donnant naissance à des tringles et à des retours d'équerre (Pl. XVIII, fig. 1 à 4); entre toutes ces tringles sont indiqués des verrous, et sur les tringles, des interruptions qui figurent soit des encoches, soit des trous. Le sens uniforme du mouvement de toutes ces tringles, lorsque l'on manœuvre les leviers, pour les amener de leur position normale à la position opposée, c'est-à-dire pour les *renverser*, est représenté par une flèche; lorsque l'on manœuvre un levier, les verrous que porte la tringle pénètrent dans les encoches des autres tringles; et, les encoches du retour d'équerre n'étant plus placés devant d'autres verroux, il est impossible de manœuvrer certains leviers. C'est ce qui constitue l'*enclenchement réciproque*.

Le mécanisme, appliqué par la Compagnie du Nord, reproduit à peu près les dispositions théoriques du diagramme (Pl. XVIII, fig. 5, 6 et 7).

Les leviers M, qui portent tous des poignées à ressort N, et qui sont guidés par un secteur O fixe muni d'encoches P et Q, font mouvoir, les uns dans le sens longitudinal, les autres dans le sens transversal, des fers plats R portant des échancrures rectangulaires. De ces échancrures, les unes sont étroites, les autres sont larges; les barres longitudinales chevauchent sur les barres transversales de telle manière qu'elles pénètrent réciproquement dans leurs échancrures.

Ainsi que l'indique la fig. 6, la barre A empêche tout mouvement de la barre B parce qu'elle est encastrée dans une échancrure étroite de cette dernière : pour faire mouvoir B, il faudrait donc au préalable manœuvrer le levier qui commande A, de façon que l'échancrure de cette dernière vînt se placer au-dessus de B.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au contraire, la barre C n'empêche pas le mouvement de B, parce qu'elle repose dans une échancrure qui permet à B de se mouvoir dans le sens de la flèche.

De même, pour mouvoir la barre D, il faudrait, au préalable, déplacer la barre B qui s'y trouve encastrée, et ainsi de suite.

L'épaisseur de ces barres étant de 25 millim., elles résistent facilement au cisaillement qui tend à se produire, si on cherche à les manœuvrer malgré l'enclenchement; et, d'ailleurs, l'appareil est plus robuste que celui de MM. Saxby et Farmer. Mais il présente l'inconvénient d'être plus encombrant pour un même nombre de leviers.

Nous n'insisterons pas sur l'appareil rudimentaire, exposé par la Compagnie du Midi, dans l'annexe de l'École militaire, pour relier entre eux les leviers des deux disques d'une station, sur une ligne à une seule voie. Le verrouillage s'effectue, à 30 ou 40 centim. du sol, entre des tringles dépendant des deux leviers qui sont posés à angle droit; c'est ce que l'on peut rencontrer de plus élémentaire, et, dès que l'on empruntait le verrou Vignier, il aurait mieux valu placer l'enclenchement à fleur du sol, au lieu de le mettre à une hauteur où il constitue une barrière gênante pour la circulation des agents.

Exemples d'application des enclenchements. — En dehors des cas extrêmement variés, où l'on est conduit, dans un but de sécurité, à poser des enclenchements entre les leviers de certains disques et de certaines aiguilles, dans les gares et stations, il y a certaines applications fondamentales et uniformes dont il ne sera pas sans intérêt de donner le type : ce sont les bifurcations.

Il y a toutefois plusieurs subdivisions à considérer :

1° Le cas principal et le plus général est celui des bifurcations situées sur les lignes à double voie. Soit une de ces bifurcations (Pl. XVIII, fig. 1), l'enclenchement ne s'applique d'ordinaire qu'aux leviers des aiguilles et des signaux d'arrêt absolu.

Si l'on fait usage de sémaphores, il y a quatre ailes, correspondant aux quatre cas de circulation, et par conséquent quatre leviers; si l'on fait usage de disques d'arrêt, le disque qui précède l'aiguille en pointe est muni de deux leviers correspondant l'un à la direction de gauche, l'autre à la direction de droite. En y ajoutant les deux leviers d'aiguilles, cela fait donc, en tous cas, six leviers, dont la manœuvre simultanée donne lieu à soixante-quatre combinaisons dont treize seulement comportent une sécurité complète. Toutes les autres doivent donc être interdites, par le jeu même des enclenchements.

Le diagramme, tracé comme nous l'avons indiqué plus haut, montre que ce résultat peut être obtenu au moyen de cinq verrouillages, qui empêchent d'effacer les disques si les aiguilles ne sont pas bien dirigées;

2° Bifurcation d'une ligne à une seule voie, embranchée sur une ligne à double voie (fig. 2 et 3).

Il y a deux cas à distinguer suivant que le changement de voie est à gauche ou à droite.

Dans les deux cas, l'aiguille d'origine de la voie unique est manœuvrée à distance, du même coup de levier que l'aiguille en pointe de la double voie, et sept verrous suffisent pour garantir la sécurité.

3° Bifurcation de deux lignes à simple voie dédoublées (fig. 4).

Le cas se présente assez rarement et les enclenchements dépendent de la position normale de l'aiguille en pointe, située sur le tronc commun à double voie. Dans tous les cas, cette aiguille est manœuvrée du même coup de levier que les aiguilles d'origine de la voie unique, vers laquelle elle ne donne pas

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

accès en temps normal. En effet, on admet que toute aiguille, manœuvrée à distance, ne doit pas être prise en talon, en venant de l'une des directions auxquelles elle peut donner accès, sans qu'on ait été au préalable obligé de la tourner dans cette direction; sans quoi les tringles ou les lames pourraient être forcées. Cette condition conduit même souvent à prévoir les verrouillages que n'eussent pas nécessités les besoins de la sécurité.

On remarquera encore que les aiguilles d'origine de la voie unique ne devant jamais être prises en pointe autrement que pour aller à gauche, sous peine de marcher à contre-voie, il est inutile de donner plus d'un levier aux disques ou sémaphores qui les précèdent. En revanche, ces disques sont toujours enclenchés avec elles, de manière à éviter qu'un train ne s'engage à contre-voie sur le tronc commun dédoublé.

Enclenchement à distance. — Les enclenchements ne sont pas utilisés seulement pour relier entre eux des leviers concentrés entre les mains d'un seul agent.

Il arrive fréquemment, en effet, qu'un aiguilleur ne doit pas expédier un train, une manœuvre, ou une machine, sur certaines voies d'une gare, souvent à une distance de 200 ou de 300 mètres, sans être assuré que tout est prêt pour recevoir ce train ou cette manœuvre, et qu'elle ne se heurtera pas, en ce point éloigné, contre d'autres trains en mouvement. Les agents, postés aux deux points extrêmes, sont alors mis en relation, et celui vers lequel on expédie doit toujours avoir à sa disposition le levier d'une tige qui vient enclencher, au poste expéditeur, soit une aiguille sur sa position normale, soit un disque mis à la position d'arrêt, de telle façon que tant que le déclenchement n'a pas eu lieu, l'envoi du train soit impossible et que d'ailleurs on ne puisse déclencher sans avoir pris les mesures nécessaires, en manœuvrant certains signaux ou certaines aiguilles.

Comme la distance entre les deux postes est souvent assez grande, on met, à la disposition du poste expéditeur, le levier d'un disque de correspondance qui lui sert à demander le déclenchement à l'autre agent et, souvent, l'on perfectionne ce système, en établissant, entre les leviers servant à la demande et à l'autorisation, un verrouillage à ressort, tel que, lorsque l'agent réceptionnaire a autorisé l'envoi du train, en déclenchant, il ne puisse plus retirer cette autorisation, avant que l'agent expéditeur ait retiré sa demande. Ce surcroît de sécurité n'est pas sans importance dans un cas où l'on doit s'en rapporter, jusqu'à un certain point, à la faillibilité humaine.

Pédales de calage et verrous d'aiguille. — Nous rattacherons aux enclenchements deux appareils, destinés à donner une garantie contre la manœuvre incomplète ou intempestive des lames d'aiguilles, et exposés par MM. Saxby et Farmer, dans la section anglaise.

Si les lames des aiguilles abordées par les pointes ne sont pas parfaitement appliquées contre le rail fixe, ou si on les met en mouvement, pendant le passage d'un train, une partie des roues des véhicules suit une direction, l'autre partie s'engage dans une autre direction, et il en résulte un déraillement.

A l'effet d'obvier à cet inconvénient, en avant de l'aiguille en pointe, on place, intérieurement à l'un des rails, une *pédale* ou *latte* de bois A, un peu plus longue que l'écartement maximum des essieux des véhicules, et reliée à la tige qui fait mouvoir l'aiguille. Cette pédale est fixée aux rails par de petits leviers B formant un parallélogramme articulé, et reliée à la transmission de telle sorte qu'en manœuvrant l'aiguille, on fait mouvoir la pédale qui ne se trouve rabattue à gauche ou à droite qu'autant que l'aiguille occupe l'une de ses deux positions.

BIBLIOTHÈQUE

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Lorsque la pédale est à mi-course, elle dépasse le niveau des boudins des roues : quand un train passe, la pédale doit donc être rabattue et l'aiguille exactement appliquée contre le rail. De plus, on ne peut toucher à l'aiguille tant que le train ne l'a pas complètement dégagée (fig. 17).

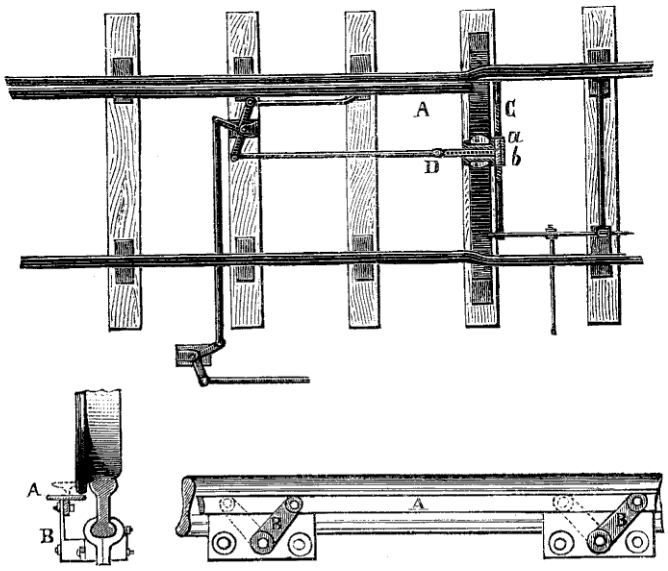


Fig. 17. — Pédale de calage et verrou d'aiguilles.

En outre, l'entretoise *c* qui réunit les leviers mobiles de l'aiguille porte deux gorges, *a* et *b* dans lesquelles peut s'engager un verrou D dépendant du levier de manœuvre de l'aiguille, et disposé de telle manière que si la lame n'est pas

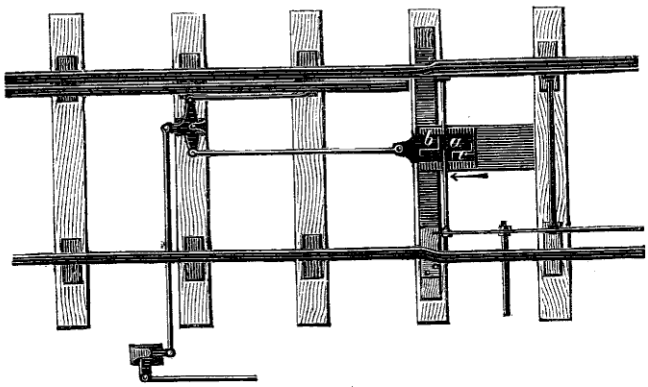


Fig. 18. — Verrou d'aiguilles à double action.

exactement appliquée contre le rail, l'enclenchement n'a pas lieu, ce dont l'aiguilleur s'aperçoit par la résistance du levier de manœuvre.

On substitue encore à cette disposition un verrou à double action. A cet

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

effet, on pratique une seule gorge *a* dans l'entretoise et le verrou porte deux redans opposés B, C, qui pénètrent dans la gorge de l'entretoise lorsque l'aiguille occupe chacune de ses positions extrêmes (fig. 18).

Quoi qu'il en soit, ces appareils perfectionnés n'ont ni la même valeur pratique, ni la même précision que le contrôleur électrique qui a été décrit dans le chapitre des Signaux.

Il en est de même du contrôleur électrique exposé dans l'annexe de l'École militaire, par la Compagnie de l'Ouest.

Dans cet appareil, le contact est établi entre un levier dépendant de la tige de transmission de l'aiguille, et deux lames communiquant avec la source d'électricité et la sonnerie : lorsque l'aiguille est entre-bâillée, ce levier auxiliaire ne touche aucune des deux lames, et la sonnerie se fait entendre.

Ce système est évidemment inférieur à celui de la Compagnie du Nord, qui repose sur l'emploi du commutateur Lartigue, placé près des lames de l'aiguille. En effet, plus le contact est rapproché des lames, plus on est garanti contre toutes les chances d'erreur qui peuvent résulter du jeu des mécanismes.

SECTION C — DES FREINS

(par M. Cossmann).

§ 1er. — État actuel de la question des freins.

Résumé des essais antérieurs à 1867. — Dès les premiers temps de l'exploitation des chemins de fer, on s'est préoccupé de rechercher les moyens d'obtenir l'arrêt plus ou moins rapide des trains, en leur appliquant des freins à sabot destinés à substituer le frottement de glissement au frottement de coulement. Tous les autres systèmes fondés sur l'emploi de griffes ou de tenailles ont été bientôt écartés, comme ne présentant aucune valeur pratique, et on a circonscrit le problème, en se proposant seulement de faire agir les sabots sur les bandages des roues aussi énergiquement et aussi rapidement que possible.

De là cette multitude de systèmes exposés en 1867 et ne différant, à peu d'exceptions près, que par les détails de la transmission entre la manivelle motrice et le sabot. Toutefois, il convient de mettre à part les freins Guérin, Newal et Achard, qui constituaient un premier pas dans la voie où l'on est entré depuis, d'une manière générale.

Freins continus. — En effet, à mesure que les voies ferrées prenaient un plus grand développement, la vitesse toujours croissante des trains mis en marche, le poids et la puissance du matériel employé, les déclivités plus prononcées des lignes du nouveau réseau, et aussi la pression de l'opinion publique, ont transporté les recherches sur un terrain tout à fait nouveau.

Là où il suffisait, dans le principe, d'enrayer la machine, le tender et un ou deux véhicules disséminés dans le train, pour obtenir un arrêt d'une rapidité compatible avec les habitudes admises, on a reconnu la nécessité de proportionner l'énergie des moyens d'arrêt à la puissance vive des trains en marche.

Or, ce résultat ne peut être obtenu qu'en augmentant le poids *sous frein*,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par rapport au poids total du train, c'est-à-dire en multipliant le nombre des sabots capables d'enrayer les roues, à un moment donné.

Comme on ne peut, d'autre part, multiplier, dans un train, le nombre des véhicules, munis de freins gardés, sans atteindre bientôt une limite qu'il serait onéreux de dépasser, à cause de l'augmentation du poids mort et du personnel nécessaire, on a été naturellement conduit à relier les véhicules les uns aux autres, de manière qu'un seul agent pût manœuvrer à la fois plusieurs freins.

Tel est le principe des *freins continus*.

Une des conditions essentielles des freins continus, c'est d'être mis à la disposition du mécanicien qui, le plus souvent, est le premier à s'apercevoir d'un incident ou d'un obstacle nécessitant l'arrêt du train qu'il conduit. D'ailleurs, les freins ne servent pas seulement dans les cas de danger; ils doivent aussi être mis en œuvre lorsque la voie présente une pente continue, d'une certaine longueur, ce dont le mécanicien est le seul juge compétent : il est même utile qu'il puisse, dans ce cas, graduer l'action des freins et ne les faire agir jusqu'à refus que pour obtenir un arrêt absolu; encore, dans ce dernier cas, est-il indispensable que des dispositions soient prises pour que les voyageurs ne ressentent aucune secousse.

Il est en outre utile que le frein continu soit à la disposition du conducteur, non plus, comme cela se passait autrefois avec les freins isolés, pour qu'il puisse obéir aux coups de sifflet du mécanicien, mais afin de lui laisser la latitude d'une action isolée.

L'efficacité des moyens d'arrêt mis à la disposition de ces deux agents étant, d'ailleurs, la même, il en résulte que la surveillance est doublée.

Freins automatiques. — Il ne faut pas confondre l'*automaticité* que l'on s'accorde généralement à réclamer des freins continus avec la qualité *automotrice* des freins qui, tels que celui de M. Guérin, fonctionnent par le fait de la rentrée des tampons de choc placés aux deux extrémités des véhicules.

On appelle ordinairement frein automatique, ou *self-acting*, un frein qui se serre de lui-même, dans certains cas. Si cette action automatique se bornait aux cas de rupture d'attelage, l'avantage serait très-discutable. Le rapport au *Board of Trade* sur les accidents survenus en Angleterre, pendant l'année 1876, signale, il est vrai, trois cas dans lesquels l'application instantanée et automatique des freins amena l'arrêt presque immédiat des parties de train restées sur la voie, à la suite de ruptures d'attelage.

Mais ce que l'on ne peut déterminer d'une manière certaine, c'est si un accident sérieux eût pu résulter de l'une de ces ruptures d'attelage qui n'étaient en elles-mêmes que des accidents sans importance.

Aussi serait-il plus exact d'appeler *automatiques* les systèmes de freins, « dans lesquels la force motrice est emmagasinée sous chaque véhicule qui « constitue ainsi une unité de frein séparée, et toujours prête à fonctionner, « dès que le besoin se fait sentir ». Dans ces conditions, la destruction partielle des organes d'un frein n'empêche pas l'action des autres unités, et c'est un point très-important.

Il arrive, en effet, souvent que, dans une collision ou un déraillement, le mécanicien, le chauffeur et même le conducteur sont mis hors d'état de manœuvrer les freins, ou que la machine et par suite le réservoir de la puissance motrice des freins sont mis hors de service.

L'automaticité a encore d'autres conséquences : s'il se produit un dérangement quelconque des appareils, les freins doivent se serrer immédiatement, et les agents du train sont avertis qu'une irrégularité vient de se produire, tandis que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

si les freins ne sont pas automatiques, ce n'est qu'au moment d'en faire usage qu'on s'aperçoit qu'ils sont détériorés.

Ces raisons, dont l'importance peut être discutée, nous paraissent suffisantes pour justifier les complications dont on surcharge les divers systèmes, dans le but de les rendre automatiques.

Inconvénients des freins continus. — Ce serait une erreur de croire que les freins continus sont absolument exempts d'inconvénients; mais les défauts qu'on peut leur reprocher sont très-largement compensés par les avantages que l'on en retire.

Cette réserve posée, nous ferons remarquer que les systèmes de freins continus nécessitent des accouplements spéciaux entre les véhicules des trains. Or, il existe déjà des chaînes et des tendeurs, souvent une intercommunication électrique, et même des tuyaux pour le chauffage des voitures à voyageurs au moyen de la vapeur. Si l'on ajoute de nouveaux organes de liaison entre les véhicules, on augmente les difficultés de formation des trains.

Les freins continus, et principalement les freins automatiques, augmentent considérablement le poids mort des véhicules, ce qui détermine un accroissement correspondant des frais de traction.

Ces freins sont assez coûteux et l'on n'a pas encore pu songer à les appliquer au matériel à marchandises, d'une manière générale, autant à cause du prix qu'à cause de la nécessité où l'on est de remanier fréquemment la composition des trains de marchandises.

Enfin, bien que cela puisse paraître un reproche paradoxal, ils ont l'inconvénient d'être de systèmes très-divers, ce qui fait que l'adoption d'un système unique pour tous les pays est d'autant plus difficile et que les trains internationaux, passant la frontière, ne pourront en être munis, tant qu'une entente commune ne se sera pas établie.

Conditions imposées aux freins continus. — Pour résumer la discussion précédente, nous allons énumérer les conditions auxquelles doit satisfaire un bon frein continu, en nous rapportant aux bases fixées par le capitaine Tyler, dont la compétence en cette matière est universellement reconnue :

1° Le contrôle doit en être simple et facile, spécialement pour les mécaniciens ;

2° Il doit se serrer automatiquement, dans le cas d'un accident ou d'une division de train, sans aucune intervention des conducteurs ni des mécaniciens ; en d'autres termes, la séparation des accouplements, entre deux véhicules, doit déterminer immédiatement le serrage des sabots, dans les deux parties du train ainsi divisé ;

3° En cas de dérangement des organes et de serrage automatique des freins, le desserrage ne doit pas pouvoir se produire sans que l'accouplement ait été rétabli au préalable, ni avant que tout l'appareil ait été remis en bon état ;

4° Dans tous les cas, l'application du frein doit être instantanée dans toute sa force ;

5° Les appareils doivent, autant que possible, être d'une construction simple, solide et durable et, de toute façon, d'un fonctionnement sûr, malgré la complication apparente des organes ;

6° Leur poids et leur prix doivent être aussi réduits que possible ;

7° Les freins doivent pouvoir être employés en service ordinaire et non pas seulement en cas de danger, ce qui implique la faculté de pouvoir graduer leur action, depuis le simple frôlement jusqu'au calage absolu ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

8° Le mécanicien et, au besoin, les conducteurs doivent être renseignés, à tout instant, par un indicateur spécial sur l'état de la puissance du frein ;

9° L'action des freins doit être assez énergique, non-seulement pour arrêter un train avec une vitesse déterminée dans l'espace métrique minimum, mais aussi et surtout pour amortir, le plus rapidement possible, la puissance vive que possédait le train au moment où on a commencé à les faire agir. En effet, si un obstacle est atteint sur la voie avant que l'on ait pu obtenir l'arrêt complet du train, l'importance des conséquences d'une collision est, le plus souvent, proportionnée à la puissance vive que possédait encore le train, au moment du choc ;

10° Lorsque le frein est desserré, il doit être à une distance de la roue, suffisante pour compenser l'usure du sabot et pour éviter qu'il ne frôle sur la roue, par suite du jeu des diverses pièces du mécanisme et principalement de la boîte à graisse dans la plaque de garde ;

11° Enfin, il faut que les hommes d'équipe puissent facilement desserrer les freins de chaque véhicule isolé, sans l'intervention de la machine.

On voit que l'énumération des qualités requises est longue, et les systèmes de freins, qui paraissent actuellement les plus perfectionnés, ne peuvent que répondre, d'une manière plus ou moins complète, aux exigences si variées et presque contradictoires de ce programme.

Classification des divers systèmes de freins. — Nous éliminerons tout d'abord les systèmes de freins non continus qui, dans l'état actuel de la question, n'offrent plus un grand intérêt, sauf le procédé bien connu de la contre-vapeur que l'on n'emploie guère que comme frein de secours.

Quant au frein électrique de M. Achard, déjà décrit en 1867, il constitue, il est vrai, une solution élégante et pratique du problème ; il est continu et, de plus, automatique ; mais il a l'inconvénient d'être assez brusque, et, comme on ne peut pas en graduer l'énergie, il est difficile de s'en servir en marche normale. C'est, en outre, un système coûteux. Aussi, bien que les nombreux essais que l'on en a faits aient, en général, donné des résultats satisfaisants, son application ne s'est-elle pas répandue, jusqu'à présent.

Il ne reste guère en présence que les freins dans lesquels l'agent de la continuité est un système mécanique tel qu'une ficelle, une chaîne, ou une tringle reliant les véhicules les uns aux autres, ou encore l'action des tampons, et ceux où le moteur est un fluide circulant d'une extrémité à l'autre du train.

L'eau ou la vapeur ont été écartés comme présentant l'inconvénient de se congeler ou de se condenser et il ne s'agit absolument que de systèmes atmosphériques : les uns fonctionnent par l'air comprimé, les autres par le vide. On est arrivé, dans les deux cas, à obtenir l'automaticité et à satisfaire aux principales conditions énumérées ci-dessus. Par conséquent, en les examinant de près, on ne trouverait pas de motifs bien puissants pour se déterminer plutôt en faveur du vide qu'en faveur de l'air comprimé. Toutefois, comme la discussion a pris, dans ces derniers temps, entre les partisans de ces deux systèmes, un caractère d'acrimonie très-marqué, on nous permettra d'être fort réservé dans nos appréciations et de nous borner à décrire les divers systèmes, en citant seulement les qualités et les défauts incontestables qu'ils présentent, ainsi que les résultats des expériences qui ont été faites officiellement, pour les comparer.

En résumé, nous avons à parler, parmi les freins du premier groupe, des systèmes Lefèvre et Dorré, Clarke et Webb, Heberlein, Becker ; parmi les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

appareils du deuxième groupe, des systèmes Westinghouse, Smith, Hardy, Sanders, Wenger et Mathieux.

§ 2. — Frein automoteur Lefèvre et Dorré,

Ce frein est fondé sur le recul des tampons, produit automatiquement ou à la volonté du mécanicien.

L'appareil se maintient au repos et se remet en place par l'action directe de l'un des ressorts du véhicle.

L'armement du frein est produit par le jeu d'un régulateur à force centrifuge, couché sur un des essieux ; le frein s'arme par la vitesse et se désarme toujours par le ralentissement.

Ce frein a été l'objet d'un rapport adressé au Ministre des travaux publics au nom de la commission des règlements et inventions par MM. Combes, Couche, Sauvage et Lebleu; nous emprunterons, à ce rapport, quelques détails descriptifs.

Ainsi que l'indiquent les figures 10, 11 et 12 de la planche XIX, l'un des deux ressorts de choc et de traction *o* agit seul sur les sabots, par l'intermédiaire des leviers *q* et *r*. Lorsque ce ressort tend à serrer les freins, par suite de la poussée exercée sur les tampons de choc, l'autre ressort oppose une résistance due à sa bande initiale et transmise par les tringles *t* et les leviers articulés *u*. La bande initiale des ressorts, leur flexion et leur élasticité sont calculés de manière qu'à partir d'une certaine poussée, il y a *échappement* de l'action du ressort *p*; dès ce moment, le ressort *o* peut commencer à agir : la poussée des tampons est intégralement transmise au levier de commande du frein qui se serrre s'il est armé, c'est-à-dire si le ressort *o* est débrayé et libre d'agir sur les leviers du frein.

Pour obtenir le débrayage du ressort *o*, MM. Lefèvre et Dorré ont fixé, sur l'essieu, un régulateur de Watt *a b c d e*. A l'état de repos, ou bien tant que la vitesse se maintient au-dessous de 20 kilomètres à l'heure, le manchon *a* occupe la position indiquée en trait pointillé, et repousse la fourche *f* et, par suite, le parallélogramme *g h*. Il en résulte que le manchon *j*, qui enveloppe la tige de traction et qui porte deux ailettes *k* opposées à une fourche *l*, montée sur cette tige, s'oppose à son libre jeu en la verrouillant en quelque sorte. Le centre du ressort *o* est alors maintenu fixe et n'agit pas sur le frein.

Si la vitesse dépasse 20 kilomètres, les boules du régulateur s'élèvent, le manchon *a*, en se retirant, laisse retomber le parallélogramme et la fourche *l* est débrayée. Par suite, la tige de traction peut avancer dans la traverse et le ressort *o*, rendu libre, transmet la pression au levier des freins qui se serrent alors, en vertu du ralentissement produit en tête du train, avec une énergie qui dépend de l'intensité de ce ralentissement.

Lorsque la vitesse est amortie, le frein se désarme de lui-même et, au moment de l'arrêt, le train se comporte comme s'il ne contenait aucune voiture à frein automoteur.

Les avantages de ce frein sont les suivants :

1° La poussée des tampons est entièrement utilisée;
2° Le fonctionnement est assuré, à la descente des fortes pentes;
3° Le frein se désarme par le ralentissement;
4° Les réactions et les secousses sont supprimées;
5° Les manœuvres en gare ne sont pas gênées ;
6° Le réglage des sabots est supprimé;
7° On a la possibilité de pousser les trains en queue;
8° Les wagons munis du frein peuvent être admis sur toutes les lignes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour rendre continu le frein exposé par M. Dorré, il suffirait de supprimer l'embrayage automatique à force centrifuge. Il resterait alors l'appareil de serrage, l'appareil de résistance et de rappel et le verrou d'embrayage, que le mécanicien pourrait actionner au moyen d'une chaîne placée d'un bout à l'autre du train. Cette chaîne pourrait se brancher dans les fourgons et dans les voitures de manière à produire simultanément le déclenchement du frein et un appel au mécanicien par le sifflet à vapeur.

Il faut observer que le frein Dorré se prête, à la fois, au déclenchement facultatif pour les trains de voyageurs et au déclenchement automatique pour les trains de marchandises.

§ 3. — Freins a chaine et a friction.

Principe des freins à chaîne. — Tous les freins à chaîne ont un principe commun qui n'est autre que celui du frein Clarke, connu depuis longtemps en Angleterre.

Sur l'axe de l'essieu d'une voiture, est calé un tambour qui participe au mouvement de rotation de cet essieu. Un mécanisme quelconque permet aux agents du train d'amener, à un moment donné, en contact avec ce tambour, une roue de friction à laquelle il communique son mouvement de rotation, ce qui détermine l'enroulement d'une chaîne commandant les sabots des freins.

Pour que ce frein soit continu, il suffit de relier, par une ficelle, toutes les manettes qui permettent d'appliquer la roue de friction contre le tambour et de mettre cette ficelle à la disposition du mécanicien et des conducteurs. Il suffit alors de tirer la ficelle pour amener le déclenchement de toutes les manettes et, par suite, le serrage des freins.

En cas de rupture d'attelage, le frein se serre de lui-même, parce que la ficelle est généralement tendue avant de se rompre; mais il n'est pas, à proprement parler, automatique, parce que le serrage ne se produit que dans le groupe de véhicules sur lequel s'est exercée la tension de la ficelle et que, d'ailleurs, il peut se faire que la ficelle se trouve rompue, ou plutôt coupée, sans avoir subi aucune tension préalable.

Frein Clarke et Webb. — En Angleterre, le *London and North Western* applique le frein de Clarke, perfectionné par M. Webb et modifié de manière à le rendre continu, comme il est dit ci-dessus.

Les manettes que l'on peut manœuvrer soit à la main, soit à l'aide de la ficelle circulant sur toute la longueur du train, sont situées sur un certain nombre de fourgons intercalés dans la longueur du train.

Comme l'indique le croquis ci-contre (fig. 19), en relevant la tige M, on détermine, par l'intermédiaire du levier A, un mouvement de la tringle *N*, dans le sens de la flèche, et l'on applique, par conséquent, la roue à friction B contre le tambour C. Ce dernier est fixé, en deux moitiés, sur l'essieu d'arrière du fourgon, tandis que la roue B est calée sur un arbre mobile autour de l'axe O, et sur lequel s'enroule la chaîne L destinée à agir sur les freins. L'autre bout de la chaîne est, d'ailleurs, attachée à l'extrémité de la dernière voiture soumise à l'action directrice du fourgon. Sous chacun des véhicules intermédiaires est un système de leviers et de poulies identique à celui qu'indique le croquis.

On se rend compte immédiate ment du fonctionnement de ces mécanismes : toute tension de la chaîne L a pour résultat d'élever la poulie P et le levier à contre-poids D. Ce mouvement se transmet au levier E et, de là, aux flas-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ques F, en déterminant, par suite, la rotation de l'arbre G, qui est suspendu, par ses extrémités, au châssis de la voiture et qui, étant libre d'osciller, assure une pression égale à chaque sabot S.

Ainsi que l'indique la figure 20, les flasques F sont reliées par des boulons, entre les têtes desquels sont interposées des rondelles H en caoutchouc ; l'un des boulons passe à travers la tige J, suspendue au châssis de la voiture dans un œil qui peut donner un pouce de jeu ; d'autre part, sur l'arbre G est calée une roue à rochet *r* ; la pression résultant de l'élasticité des rondelles H, serrant les flasques F sur la roue à rochet, est plus grande que l'effort exercé sur F, de sorte que, quand l'usure des sabots exige que le mouvement du boulon dépasse la course que permet le jeu de l'œil pratiqué sur la tige J, le rochet glisse et le

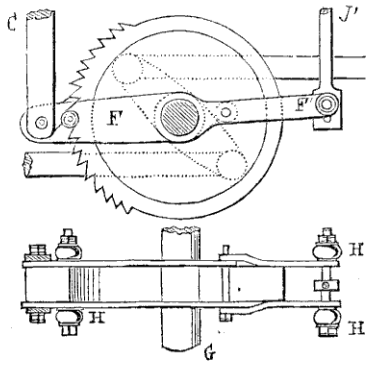


Fig. 20.

Détail de l'appareil pour maintenir les sabots à une distance déterminée des bandages.

cliquet s'engage dans une nouvelle dent, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'usure soit exactement compensée par la position plus verticale que prend alors la tige J, par rapport aux flasques F.

Pour desserrer les freins, il suffit d'abaisser le levier dans le fourgon : les leviers D, chargés à leur extrémité de contre-poids pesant 21 kilos, reviennent alors à leur position normale, en entraînant tout le système.

Il est difficile de donner à l'arbre qui porte le tambour B un diamètre suffisant pour enrouler la longueur de chaîne nécessaire au serrage de tous les freins d'un train. Il en résulte que l'on ne peut, avec un même embrayage à friction, enrayer qu'un nombre restreint de roues. Aussi doit-on, comme nous l'avons signalé au commencement, intercaler plusieurs fourgons moteurs, chacun d'eux

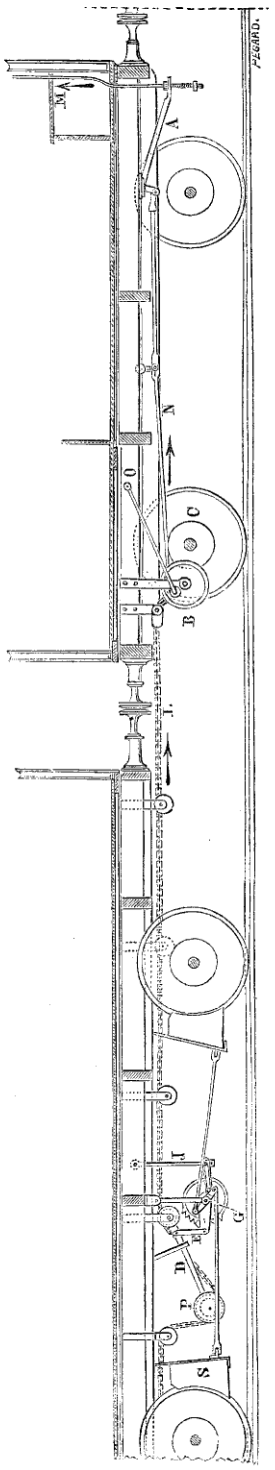


Fig. 19. — Coupe transversale de deux véhicules accouplés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ne pouvant caler efficacement que les roues de deux ou trois véhicules au plus. Ces freins ne sont, par conséquent, applicables qu'à des trains assez courts.

On ne peut nier qu'ils soient très-énergiques; mais cette énergie même condamne les agents du train à n'en faire usage qu'exceptionnellement, parce qu'il est impossible d'en graduer l'action. Aussi est-il admis que ce frein, dont les mécaniciens ne se servent qu'avec répugnance, est surtout un frein de détresse et, à ce titre, la Compagnie du London and North Werstern a reçu récemment, du Board of Trade, les invitations les plus pressantes, à l'effet de modifier l'emploi des freins appliqués à ses véhicules, de manière que l'on pût en faire usage en service normal.

De plus, il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que, le serrage n'étant pas absolument simultané dans les véhicules, il en résulte de brusques changements dans le degré de tension de leurs ressorts d'attelage et, par conséquent, des secousses qui ont le double inconvénient d'incommoder les voyageurs et de détériorer le matériel.

Toutefois, il est juste de reconnaître que ce système présente quelques avantages sérieux : le mécanisme en est simple et solide; l'intercalation des véhicules, non munis de freins, est assez facile, si l'on dispose d'une longueur de chaîne suffisante pour la faire passer sous le wagon intercalé; enfin, l'accouplement des voitures est très-rapide.

Frein Becker. — Le principe du frein imaginé par M. Becker, inspecteur central de la Kaiser-Ferdinands Nord-Bahn, est identique à celui du frein de Clarke : l'appareil n'en diffère que par le mécanisme destiné à embrayer la roue de friction, par les attelages et par la commande du frein qui se prête mieux à la continuité.

La roue de friction A (Pl. XIX, fig. 1, 2, 3 et 4) est montée sur un arbre B, autour duquel est attachée et peut s'enrouler la chaîne C qui agit sur les freins.

Ainsi que l'indique le croquis ci-contre (fig. 21), qui représente l'ensemble des appareils, cette chaîne C s'enroule sur un système de poulies D E, qui transmet son mouvement à un levier F et, de là, aux tiges G commandant les sabots.

Lorsque la roue A est mise en contact avec la surface du boudin de la roue du véhicule dont elle épouse le contour, la chaîne C s'enroule sur l'arbre B et les freins se serrent.

L'embrayage de la roue A, au lieu de se faire directement par le tirage d'une chaîne telle que celle du frein de Clarke, est obtenu par l'intermédiaire d'une poulie spéciale H, située à une extrémité du wagon et munie d'une double gorge sur laquelle s'attachent et s'enroulent deux chaînes K^2 et K^3; l'une de ces chaînes K^2 se relie au wagon voisin, l'autre K^3 commande une tige L qui passe sous le châssis du wagon et s'attache, à l'autre extrémité, à la chaîne K^1.

A l'arbre sur lequel est calée la poulie H sont d'ailleurs fixées des chaînes K^4 dont le déroulement met la roue de friction en contact avec le boudin de la roue du véhicule.

On voit donc qu'il suffit de tirer sur la chaîne K^1 pour produire le serrage des freins en faisant tourner la poulie H dans le sens de la flèche, ce qui détermine, d'ailleurs, l'enroulement de la chaîne K^2 et, par suite, le serrage des freins du wagon suivant, et ainsi de suite.

Sur l'arbre de la poulie H est montée une manivelle M qui, lorsque les freins sont desserrés, est accrochée à l'extrémité d'une chaîne N, fixée aux longerons du châssis; on peut donc serrer les freins d'un wagon isolé en détachant cette manivelle et en la laissant tomber.

L'accouplement des wagons est assez simple; les chaînes conductrices sont indépendantes des mouvements d'oscillation du wagon, leur tension est uni-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

forme et affranchie de toute espèce de tiraillement ou de relâchement.

L'attelage est formé, pour chaque wagon, d'un joint universel S^2, auquel s'attache une tige rigide R^2, portant, à son extrémité, la moitié de la poulie O; les deux moitiés de cette poulie se réunissent au moyen d'un boulon P^2, et la chaîne K^2, servant à manœuvrer les freins, s'enroule sur la poulie Q^2, mobile en tout sens, à cause de l'existence du joint universel S^2, et sur la poulie O pour aller s'attacher à la chaîne K^1, dont l'excédant de longueur est accroché en réserve, de même que le boulon P^1.

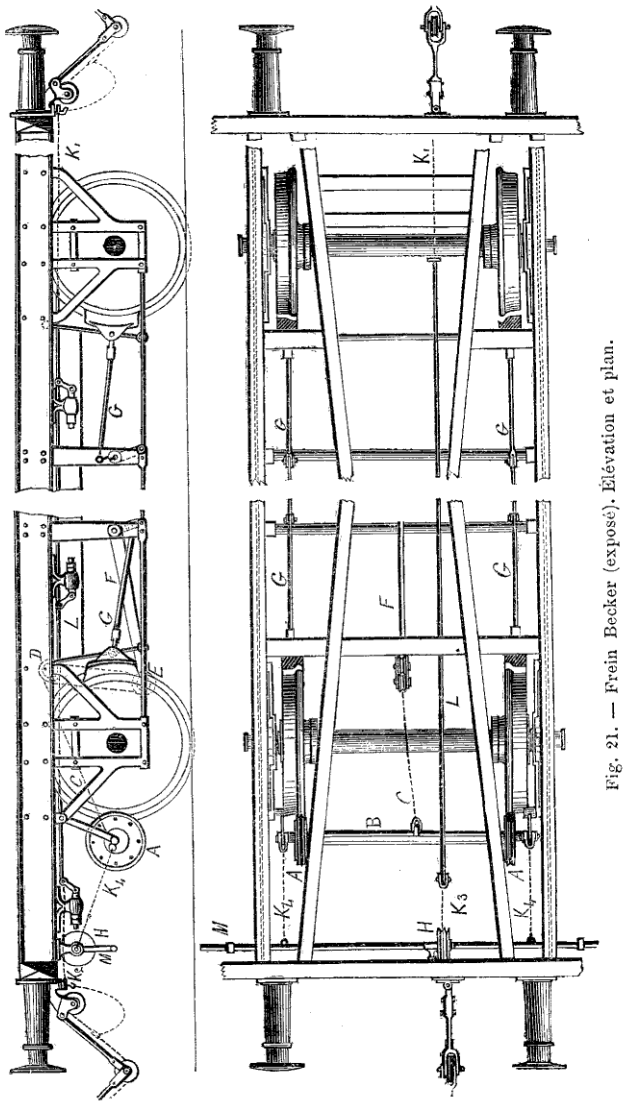


Fig. 21. — Frein Becker (exposé). Élévation et plan.

L'appareil de manœuvre, servant à tirer la chaîne, est représenté par les figures 6 à 9 de la planche XIX; la chaîne conductrice K^1 passe entre trois poulies T, T^1, T^2. Ces deux dernières sont fixes, tandis que la première T peut être élevée ou abaissée, dans une fente ménagée à l'intérieur du support V.

Ce mouvement est obtenu au moyen d'une tige V dont l'extrémité inférieure forme une fourche qui saisit la poulie T, tandis que la partie supérieure filetée est en contact avec un écrou qui dépend de la manivelle W. Une disposition spéciale de ressorts, indiquée par les figures 7 et 9, enclenche la manivelle, de telle manière qu'en cas de danger, il suffise de la déclencher, pour faire agir instantanément les freins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce frein, dont un petit modèle est exposé dans la galerie des machines de la Section Autrichienne, présente, sur le frein primitif de Clarke et Webb, une supériorité incontestable; son action est beaucoup plus rapide et il est facile de s'en rendre compte. Si, en effet, on se reporte à la figure représentant le système de Clarke, on verra que, pour obtenir le serrage des sabots, il faut que la chaîne soit raccourcie d'une longueur à peu près égale au déplacement de la poulie qui sert de contre-poids; donc la chaîne ne commence à être tirée pour agir sur la poulie d'un deuxième véhicule que quand le serrage des freins du premier est complet, et ainsi de suite. Il en résulte une action successive qui diminue beaucoup la rapidité de l'enrayage.

Au contraire, dans le frein Becker, grâce à la poulie intermédiaire H, le moindre déplacement de la chaîne conductrice K^1 se traduit immédiatement par une rotation simultanée de toutes les poulies servant à mettre en contact les roues de friction A : il en résulte que tous les véhicules sont, à ce point de vue, dans une situation identique, que le même appareil moteur peut agir sur un bien plus grand nombre de freins à la fois, et que l'on peut, par conséquent, dans la plupart des cas, supprimer la ficelle de déclenchement, tandis qu'elle est nécessaire, dans les systèmes de freins dont nous avons parlé jusqu'ici, lorsqu'on veut les mettre à la disposition du mécanicien ou du conducteur chef de train.

Comme tous les freins à chaîne, le frein Becker a, d'ailleurs, l'avantage d'être énergique et automatique; grâce à lui, un train rapide peut, dans les conditions de pente et d'humidité les plus défavorables, être arrêté au bout d'un parcours de 300 mètres, à partir du point où les freins commencent à agir. L'intercalation des wagons, non munis de frein, est possible, et l'accouplement des voitures est peu compliqué; les appareils s'adaptent facilement au matériel existant et les frais d'installation et d'entretien en sont peu élevés.

Mais on ne peut en graduer l'énergie, quoi qu'en dise l'auteur; car dès que l'on met la roue de friction en contact avec le boudin de la roue du véhicule, les sabots se serrent immédiatement et réalisent le calage de la roue.

Ce défaut est inhérent au principe même du système, quelles que soient les modifications que l'on y introduise : aussi nous n'insisterons pas davantage, bien qu'un troisième système, imaginé par M. Heberlein, soit en usage en Allemagne et ait été mis à l'essai par la Compagnie d'Orléans.

§ 4. — Freins a air comprimé.

Frein atmosphérique de Westinghouse. — Dès l'année 1869, M. Westinghouse, ingénieur américain, avait inventé un système de frein continu, fonctionnant par la pression de l'air.

La machine était munie d'une pompe à air, actionnée par le piston d'un cylindre à vapeur spécial. L'air comprimé était refoulé, au moment où l'on voulait produire le serrage, dans une conduite générale, formée d'une double ligne de tuyaux circulant, sous les wagons, dans toute la longueur du train. Au-dessous de chaque véhicule, la conduite était en communication, dans un cylindre, avec la face d'un piston dont l'autre face était soumise à la pression atmosphérique et dont la tige agissait directement sur les leviers des freins.

En comprimant de l'air à une pression variant entre 1 et 5 atmosphères, on obtenait donc un serrage d'une énergie graduée.

Le desserrage se produisait, lorsque la pression diminuait dans la conduite, et sous l'influence d'un ressort antagoniste qui ramenait le piston à sa position normale.

Les cylindres étaient réunis à la double ligne des tuyaux de conduite, par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des raccords munis de valves à double fermeture, disposées de manière que si l'un des tuyaux venait à se rompre, l'autre tuyau resté intact maintenait la communication entre les cylindres. De même, les manchons d'accouplement des tuyaux étaient munis de soupapes à fermeture automatique ; une rupture laissait, par suite, fermées les deux parties de la conduite.

Les facilités qu'offre le montage de ce frein peu encombrant l'a fait adopter immédiatement, en Amérique, par un grand nombre de Compagnies qui l'ont conservé, bien qu'il ait été perfectionné depuis. Actuellement, il est appliqué à 3,000 machines et 8,500 véhicules, mis en service sur 122 lignes de chemin de fer, aux États-Unis. On s'en sert aussi à Cuba, dans le Mexique, dans l'Amérique du Sud, et dans l'Australie du Sud.

L'inconvénient le plus grave qu'il présente, c'est que la moindre fuite d'air dans les tuyaux empêche le serrage du frein, et qu'il n'est pas automatique ; aussi M. Westinghouse y a t-il substitué une nouvelle disposition plus compliquée, mais plus ingénieuse, la seule dont il y ait lieu de parler d'une manière détaillée.

Frein automatique de Westinghouse. — *Description générale.* — Le nouveau frein à air comprimé, exposé dans la galerie des machines de la Section Américaine, est fondée sur un principe diamétralement opposé à celui dont nous venons de parler, bien que l'aspect extérieur en soit à peu près identique.

La pression de l'air règne, d'une manière continue, dans les tuyaux de conduite ; une diminution de pression, équivalente à une perte de charge de $1^{kg},3$ par centimètre carré, suffit pour serrer les freins à fond. Il en résulte que, si le mécanicien laisse rentrer de l'air ou si une rupture d'attelage vient à se produire, les roues de tous les véhicules du train se trouvent immédiatement enrayées.

A cet effet, la machine est munie d'un petit moteur à vapeur vertical A (Pl. XX, fig. 1 et 2) actionnant une pompe à air placé au-dessous de lui. L'air comprimé est refoulé dans un réservoir R, d'un volume de 250 litres environ, situé en arrière du foyer, au-dessous de la plate-forme où se tient le mécanicien.

De ce réservoir part un seul tuyau de conduite générale T, s'étendant sur toute la longueur du train : au dessous de chaque véhicule, est installé un réservoir auxiliaire R^1 communiquant, au moyen d'une soupape de construction spéciale D, appelée la *triple valve*, soit avec la conduite T, soit avec le cylindre C qui commande les freins à l'aide d'un système K de tringles et de leviers, et qui est tantôt vertical, tantôt horizontal, suivant le cas.

Le fonctionnement de ces appareils est le suivant : au départ du train, le mécanicien fait fonctionner la pompe foulante B et envoie de l'air comprimé dans les tuyaux T. La pression de cet air agit sur la triple valve qui, à l'instar d'un tiroir de distribution, met automatiquement en communication, sous chaque véhicule, d'une part le tuyau T avec le réservoir R^1, d'autre part le cylindre C avec l'atmosphère. Les freins se desserrent sous l'influence d'un ressort antagoniste contenu dans le cylindre C.

Si, par une cause quelconque, dépendant soit de la volonté du mécanicien, soit d'un accident, une perte de charge vient à se produire, en un point quelconque du tuyau T, elle entraîne le déplacement du piston de la triple valve qui ferme la communication entre le cylindre C et l'atmosphère d'une part, entre le tuyau T et le réservoir R′ d'autre part, et met, au contraire, en relation le réservoir R′ avec le cylindre C. Dans ces conditions, l'air comprimé pénètre dans le cylindre, fait mouvoir le piston et détermine le serrage des freins.

La diminution de pression qui donne lieu à ces divers mouvements correspond à la sortie d'une quantité d'air si faible qu'on peut la considérer comme

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

instantanée, d'où il résulte que l'enrayage des véhicules est immédiat et simultané.

Sans dépasser les limites restreintes que nous impose le cadre de cette étude sommaire, nous allons donner un aperçu détaillé des principaux organes dont il vient d'être question.

Pompe à air et son moteur. — Le piston de la pompe à air est fixé sur la même tige que celui du moteur : cette pompe n'offre aucune disposition spéciale. Mais le cylindre à vapeur appartient au type dans lequel la distribution s'effectue automatiquement, par le piston lui-même.

En se reportant à la Pl. XX (fig. 3), on verra que l'épaulement *f*, monté sur la tige du piston A′, rencontre des renflements de la tige C′, et détermine, par suite, le mouvement du tiroir C, fixé à l'extrémité de cette tige. L'arrivée de la vapeur se faisant par le tuyau d^1, et son échappement, par le tuyau d^2, elle est distribuée au-dessus et au-dessous du piston, par l'intermédiaire des pistons auxiliaires *b* et *b′*, dont le diamètre est différent et qui se meuvent dans des manchons percés de petites ouvertures communiquant avec le cylindre.

Cette disposition étant déjà connue, nous n'insisterons pas davantage.

Triple valve. — Cette pièce est l'organe essentiel : ainsi que l'indique la fig. 4, elle se compose principalement d'un piston D, qui se meut dans un cylindre en bronze B, et sur la tige duquel est monté un tiroir C pouvant ouvrir ou fermer, suivant la position du piston, deux orifices pratiqués latéralement dans la tubulure E qui surmonte le cylindre B. L'un de ces orifices *a* communique avec le cylindre à frein, et l'autre *b*, avec l'atmosphère.

Au-dessous du piston, et dans l'axe de sa tige, se trouve une autre tige indépendante F, constamment fermée par un puissant ressort A qui tend à appliquer l'embase *d* contre le fond du cylindre B. Cette tige F est terminée par un prolongement *f* d'un plus petit diamètre qui pénètre dans un orifice central pratiqué sur le piston, et qui est légèrement entaillé, pour permettre le passage de l'air.

Enfin l'intérieur du cylindre B est en communication constante avec une cavité cylindrique G, placée au-dessous de lui, où débouche un tuyau raccordé à la conduite principale d'air comprimé.

Cela posé, il est facile de se rendre compte du fonctionnement de cette soupape.

En temps normal, et dans la position des pièces indiquée par la fig. 4, la pression règne librement ; elle se transmet du tuyau à la cavité G et au cylindre B : de là, l'air traverse le piston, pénètre dans la boîte du tiroir et se rend, par la tubulure H, au réservoir auxiliaire placé sous chaque voiture. En outre, par suite de la position du tiroir, les deux orifices *a* et *b* sont en relation directe, c'est-à-dire que le cylindre à frein communique avec l'atmosphère.

Dès que la pression diminue dans la conduite générale et, par conséquent, au-dessous du piston D, l'air comprimé dans le réservoir agit sur le piston pour le faire descendre : l'aiguille qui termine la tige *f*, ferme absolument l'orifice central, et, toute communication cessant entre le réservoir et les tuyaux de la conduite principale, le piston descend rapidement en surmontant la résistance du ressort qui entoure la tige F.

Dans ce mouvement, le tiroir démasque l'orifice *a* et le met en relation avec la tubulure H, tandis que l'orifice *b* est condamné. Il en résulte que le cylindre à frein se remplit d'air provenant du réservoir, et que les sabots entrent immédiatement en contact avec les roues.

Dès qu'on rétablit la pression dans la conduite générale, le piston D remonte, le tiroir reprend sa position initiale, l'air contenu dans le cylindre à frein s'échappe par l'orifice *b* et les freins se desserrent.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On voit, d'ailleurs, que la vitesse de descente du piston et, par suite, la rapidité du serrage des freins dépendent, en partie, de l'intensité de la dépression qui se produit dans la conduite générale. On peut donc, en modérant cette perte de charge, arriver à graduer, dans une certaine mesure, l'énergie de l'enrayage.

Comme l'indique la fig. 5, le montage de cette pièce est extrêmement robuste, et quoiqu'elle soit d'un fonctionnement très-délicat, elle est construite de manière à résister aux avaries qu'éprouve si facilement le matériel roulant, en cours de route, et à ne pas s'encrasser par la poussière et le charbon.

Sur le tuyau qui relie l'orifice *a* au cylindre à frein est ordinairement vissée une petite boîte à clapet P, représentée à la fig. 6, et ouverte à la partie supérieure. Elle renferme un clapet *p'* d'un poids suffisant pour qu'il ne se soulève pas, lorsque l'accès de l'air comprimé n'est dû qu'à une simple fuite sur la conduite générale et n'a, par suite, que peu de vitesse et peu de force. Cet air s'échappe alors par un petit orifice *o*, pratiqué dans la soupape et le serrage des freins n'a pas lieu. Si, au contraire, l'air comprimé arrive en grande quantité, il soulève le clapet qui intercepte toute communication avec l'atmosphère.

Cylindres à freins. — Le cylindre qui commande les freins agissant sur les roues motrices de la machine est disposé verticalement, comme l'indique la fig. 1.

Lorsque l'air comprimé pénètre dans ce cylindre, il soulève le piston et force les cames excentriques à tourner et à appliquer les sabots de freins contre les bandages des roues.

Dans les voitures, le cylindre est souvent vertical, mais les cames qui agissent sur les sabots, par l'intermédiaire de tringles, sont suspendues au cylindre et sont commandées par des bielles articulées sur le piston moteur, qui a un très-fort diamètre et qui sort de la partie supérieure du cylindre. Dans les deux cas, le desserrage des freins s'obtient par la chute du piston, sous l'influence de son propre poids.

Lorsque le cylindre à frein est horizontal, le desserrage des freins s'obtient sous l'action d'un ressort antagoniste qui, primitivement, était placé extérieurement et dépendait d'un balancier articulé avec la tige du piston, ainsi que l'indiquent les fig. 1 et 2.

Dans les derniers appareils, le constructeur place le ressort à l'intérieur du cylindre, sur le fond duquel il prend son point d'appui.

Dans certains cas, le cylindre horizontal est à double action, comme l'indique la fig. 7. L'air comprimé pénètre, par la tubulure X, entre les faces des deux pistons et surmonte la résistance des deux ressorts. Cette disposition se prête à un agencement plus commode des mécanismes de transmission placés sous les châssis des véhicules, mais le serrage des freins est quelquefois inégal.

Cet inconvénient est évité dans le cylindre à simple piston (fig. 8).

Le frein du tender peut, en outre, être commandé à la main, comme l'indiquent les fig. 1 et 2; à cet effet, la crosse du piston, ainsi que la tige manœuvrée à la main, portent des rainures qui laissent réciproquement un certain jeu.

Accouplement des véhicules. — La pièce de raccord est ingénieusement disposée, de manière que la liaison des tuyaux est facile à faire rapidement et hermétiquement, et qu'ils se découplent sous un effort de faible intensité, sans que cette séparation occasionne aucune rupture des tuyaux en caoutchouc.

Cette pièce se compose de deux parties exactement semblables dont l'une est indiquée en coupe et l'autre en élévation, à la fig. 9. Chacune d'elles comprend une tubulure striée B sur laquelle on opère en *c* la ligature du tuyau de caoutchouc A.

Le rapprochement des deux parties s'opère en les présentant à angle droit

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et en les faisant tourner pour les ramener en ligne droite; les ergots *b* s'engagent alors dans les cannelures cintrées *a* et la jonction des deux pièces est ainsi solidement constituée.

Au centre se trouvent deux soupapes à lanterne D, que des ressorts à boudin E, prenant leur point d'appui sur les bouchons de fermeture, tendent à maintenir en contact pendant l'accouplement et à presser contre le siège G.

Soupapes auxiliaires et signaux d'avertissement. — Une boîte à soupapes, mise à la disposition des conducteurs de train, leur permet de serrer les freins, sans l'intervention du mécanicien.

Cette boîte comprend deux chambres superposées (fig. 12) communiquant l'une, par la tubulaire q', avec la conduite générale, l'autre, par la tubulaire q^2, avec l'atmosphère. En soulevant le levier Q^2, le conducteur élève les deux soupapes QQ′ et met en communication les deux chambres; il se produit, par suite, dans la conduite générale, une dépression qui détermine immédiatement le fonctionnement des triples valves et le serrage des freins.

Un système analogue est mis à la disposition des voyageurs, dans chaque compartiment, pour leur donner la faculté, non pas de serrer eux-mêmes les freins, ce qui ne doit pas être permis, mais de faire des signaux d'alarme.

La fig. 10 représente l'extrémité d'une voiture munie de cet appareil qui comprend un cylindre S (fig. 13), dont le piston agit sur deux bielles *s* reliées aux leviers de deux petits disques *s′*. En tirant sur une tringle *t* (fig. 10), le voyageur relève le levier U (fig. 11) et, par suite, les soupapes *u u′*. L'air comprimé de la conduite générale pénètre par la tubulure U′, passe dans la chambre inférieure et s'échappe par la tubulure U^2 qui communique avec le cylindre S.

Le piston que renferme ce cylindre est alors repoussé et fait apparaître les voyants latéralement à la voiture d'où part le signal.

La surface de la soupape *u′* étant plus étendue que celle de la soupape *u*, elle reste soulevée jusqu'à ce que le piston atteigne une ouverture *o′* pratiquée dans la paroi du cylindre; l'air comprimé s'échappe alors et la pression est insuffisante pour maintenir la soupape *u′*, qui retombe sur son siège.

Le piston s'est arrêté dans sa course et l'on est obligé de le ramener, à la main, à sa position initiale.

Dans l'intervalle, l'échappement d'air comprimé, jouant le rôle d'une simple fuite, fait fonctionner un sifflet placé à proximité du conducteur, afin d'appeler son attention sur l'apparition des voyants *s′*.

Toutefois, il est bon d'observer que si l'on tirait, d'une manière continue, sur la tringle *t*, on maintiendrait la soupape *u* assez longtemps ouverte pour obtenir le serrage des freins.

Applications du frein automatique. — Le nouveau frein automatique de Westinghouse a été monté jusqu'ici sur 1,000 machines et 5,000 voitures.

Il est mis en service sur 71 lignes aux États-Unis; en Angleterre, sur 12, parmi lesquelles on compte le Midland et le Chatham. Les chemins de fer de l'État, en Suède et en Belgique, l'ont adopté. En Allemagne, les chemins du Main-Weser et de l'État de Hanôvre s'en servent également.

La Compagnie de l'Ouest et celle de la Ceinture sont les seules Compagnies françaises qui en fassent usage, jusqu'à présent du moins.

Enfin, hors de l'Europe, il a été adopté par les chemins de fer de l'Inde, de la Nouvelle-Galles, de la Nouvelle-Zélande et de Queensland.

Frein aéro-électrique de M. Mathieux. — Préoccupé, sans doute, des inconvénients qui peuvent résulter de l'adjonction, sur la locomotive, d'une pompe et d'un moteur spécial, pour comprimer de l'air, M. Mathieux vient d'imaginer un frein à air comprimé, dans lequel l'accumulation de l'air est due

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la rotation des essieux, pendant la marche, et le serrage est déterminé par l'envoi d'un courant électrique dans des électro-aimants, placés sous chaque véhicule.

Nous ne donnerons qu'une description très-sommaire de ce système qui n'est encore qu'à l'état de projet.

Sur l'un des essieux de chaque véhicule, est montée une came excentrée qui agit, par l'intermédiaire d'un levier mobile et indépendant d'elle, sur un petit soufflet faisant l'office d'une pompe aspirante et soufflante. L'air comprimé est refoulé dans un réservoir qui communique avec une soupape électrique.

Si un courant passe dans les électro-aimants, la soupape attirée est soulevée de son siège et met le réservoir d'air comprimé en communication avec un deuxième soufflet en caoutchouc qui se détend et qui, par suite, met en mouvement les leviers agissant sur les sabots des freins.

Comme il est inutile de comprimer indéfiniment de l'air dans le réservoir, ce dernier est muni d'un petit soufflet auxiliaire qui, en se détendant, sous l'influence d'un excès de pression, éloigne de l'excentrique, calé sur l'essieu, la tige dont l'oscillation détermine le fonctionnement de la pompe. Dès que la pression baisse dans le réservoir, le soufflet auxiliaire se comprime de nouveau, et la tige mobile est remise en contact avec l'excentrique.

Ce système de frein continu est certainement fort ingénieux : chaque véhicule possède, par lui-même, un réservoir de puissance motrice du frein, et le réglage de la pression se fait automatiquement. Toutefois, pour obtenir l'automaticité, il faudrait que toute rupture d'attelage déterminât, dans les électro-aimants, le passage d'un courant capable de faire fonctionner la soupape électrique. En outre, des appareils aussi délicats ne peuvent présenter la robuste structure que l'on exige du matériel des chemins de fer, et ils doivent être assez coûteux.

Néanmoins il est juste de reconnaître que cette idée d'employer, pour la manœuvre continue du frein à air comprimé, l'intercommunication électrique, qui existe dans presque tous les trains de voyageurs, est une heureuse simplification des attelages.

§ 5. — Freins a vide.

Principe général. — Dans les systèmes de freins à vide, une conduite générale règne sur toute la longueur du train et le mécanicien peut, à un moment donné, faire le vide dans cette conduite, en ouvrant une valve à vapeur qui détermine le fonctionnement d'un appareil spécial, appelé *éjecteur* et placé sur la machine.

L'éjecteur, fondé sur le même principe que l'injecteur Giffard, est formé de deux troncs de cône concentriques; la vapeur, sortant de la chaudière, s'échappe par la tuyère centrale et entraîne l'air contenu dans l'espace annulaire qui communique avec les conduites dans lesquelles il s'agit de produire un vide relatif. Le mélange d'air et de vapeur est rejeté dans la cheminée, à la base de laquelle se trouve installé cet appareil.

Lorsque l'on fait le vide, pour produire directement le serrage des freins, le système n'est pas automatique; si, au contraire, le vide existe normalement dans la conduite générale, toute rentrée d'air a pour effet de déterminer le serrage des sabots, et le frein est automatique.

L'éjecteur est, d'ailleurs, un appareil peu encombrant qu'il est facile d'adapter aux machines existantes et son rendement est aussi avantageux que celui des machines à piston, moyennant un faible entretien, et avec des dimensions beaucoup plus restreintes, pour une puissance égale.

De sessais ont été faits au laboratoire de la Compagnie du Nord, sur onze types d'éjecteurs simples ou doubles, à l'aide d'un appareil spécial d'expérimentation

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

formé d'un cylindre bien étanche, d'une capacité de 175 litres environ. Deux robinets à brides, fixés à sa partie supérieure, le faisaient communiquer avec l'éjecteur essayé. Un manomètre à mercure et un vacuomètre Bourdon donnaient la dépression de l'air dans le réservoir, et la rentrée de l'air s'effectuait au moyen d'un robinet spécial.

Un tableau graphique, exposé dans l'annexe de l'avenue de Labourdonnaye, donne le résultat de ces expériences : les courbes comparatives ont été construites, en prenant pour ordonnées les dépressions produites par l'éjecteur, mesurées en centimètres de mercure, et, pour abscisses, les kilogrammes de pression dans la chaudière.

De l'inspection de ce graphique, il résulte que les éjecteurs, construits par M. Flaud, sur les données fournies par M. Giffard, et munis de tuyères centrales de 26 et 27 millimètres pour la sortie de la vapeur, ont produit la dépression maxima, pour une pression minima de la vapeur.

Ces préliminaires étant posés, nous examinerons successivement les divers systèmes qui sont en présence.

Frein Smith. — Le frein Smith est le premier en date : il se compose principalement :

1° D'une valve à vapeur B (voir Pl. XXI, fig. 1) : cette valve est équilibrée et tend à se fermer sous l'action de la vapeur; le mécanicien peut l'ouvrir à l'aide de la tringle Cc;

2° D'un éjecteur qui peut être double comme celui de la fig. 1;

3° D'une valve à air D, servant au desserrage des freins et formée d'un simple clapet à fermeture hermétique, placé sur la conduite qui établit la communication entre la tuyère à air de l'éjecteur et la conduite générale.

4° D'un vacuomètre E, indiquant le vide relatif produit par l'éjecteur, et, par suite, donnant la mesure du serrage des freins;

5° De sacs compressibles en caoutchouc ou soufflets S armés, à l'intérieur, de cercles en fer, pour éviter qu'ils ne s'écrasent latéralement, sous l'influence de la pression atmosphérique. Ces sacs sont fermés, à leurs extrémités, par deux plateaux en fonte, dont l'un est fixé au châssis du véhicule et percé d'une ouverture avec une amorce, branchée sur la conduite générale Pp. Le deuxième plateau, qui est mobile, agit sur le levier *m* de l'arbre du frein Q. Il y a ordinairement un sac sous chaque véhicule, deux sous la machine et deux sous le tender.

La conduite générale Pp est formée d'une ou de deux lignes de tuyaux en fer. Quand il n'y a qu'un tuyau, il se bifurque, à chaque extrémité des véhicules, pour que l'on puisse les attacher dans les deux sens et il prend la forme d'un T dont les branches horizontales reçoivent des tuyaux d'accouplement plissés, en caoutchouc, armés intérieurement d'une spirale de fil d'acier; les raccords se font en bronze; les deux tuyaux accouplés en queue du train ferment la conduite générale dont l'origine est l'éjecteur.

En résumé, pour faire agir le frein, on ouvre, soit à la main, soit automatiquement la valve à vapeur D : l'éjecteur fonctionne, le vide se propage dans les sacs S, et la pression atmosphérique, s'exerçant sur le plateau mobile de chacun d'eux, tend à le rapprocher du plateau fixe, ce qui détermine l'élévation du levier des freins et, par conséquent, le serrage de ces derniers.

Pour desserrer, il suffit d'ouvrir la valve à air D; l'air rentre dans la conduite générale et dans les sacs, et le poids du levier moteur suffit pour écarter le plateau mobile du plateau fixe, ce qui détermine le desserrage.

Comme on le voit, ce système est extrêmement simple : les appareils sont peu compliqués et n'exigent ni surveillance ni entretien. Le mécanicien peut graduer l'énergie du serrage, en produisant un vide plus ou moins complet; les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fuites qui se manifestent dans les tuyaux, n'ont d'autre inconvénient que de nécessiter une plus grande dépense de vapeur pour faire le vide; car la dépression produite par l'éjecteur se fait sentir même lorsque le circuit des tuyaux n'est pas fermé. Aussi l'accouplement des tuyaux de raccord est-il extrêmement simple.

Ce frein n'est pas automatique : c'est là le grief le plus sérieux qu'on lui ait, jusqu'à présent, opposé. En cas de rupture d'attelage ou si l'éjecteur vient à être mis accidentellement hors de service, le train se trouve absolument désarmé. Cette objection est, en effet, assez grave; en Angleterre, où l'automaticité fait loi, elle peut motiver le rejet définitif du frein Smith, bien que dix-sept Compagnies l'aient déjà adopté, et malgré la simplicité si grande du principe sur lequel il repose et des mécanismes qui en assurent le fonctionnement.

En France, la Compagnie du Nord qui semble décidée à adopter le frein à vide de Smith et qui a fait, à ce sujet, des essais multipliés sur lesquels nous aurons l'occasion de revenir, attache à cet inconvénient moins d'importance que le Board of Trade. En effet, tous les trains de voyageurs sont munis de l'intercommunication électrique du système Prudhomme : toute rupture d'attelage détermine le tintement d'une sonnerie électrique placée dans le fourgon de tête et, en même temps, le déclenchement électrique de la valve à vapeur; les freins se serrent donc dans la partie d'avant, si toutefois l'éjecteur n'est pas avarié par l'accident. Mais comme il est placé à la base de la cheminée qui le protège, ce fait doit être assez rare.

Le modèle de train exposé par cette Compagnie réalise même une combinaison extrêmement ingénieuse des contacts fixes et des freins à vide. Le passage d'un train, armé du frein Smith et du sifflet électro-automoteur de MM. Lartigue, Forest, Digney, sur un contact fixe placé près d'un disque tourné à l'arrêt, suffit alors pour déclencher la queue de la valve équilibrée qui commande le jeu de tout le frein pneumatique, de sorte que l'enrayage des roues et l'amortissement de la vitesse acquise se font indépendamment du mécanicien, même dans le cas où il n'apercevrait pas à temps le signal.

En outre, le déclenchement des freins est mis à la disposition des conducteurs. A cet effet, les fourgons de la Compagnie du Nord portent un commutateur spécial, peint en rouge, dont la manette doit être normalement mise sur l'inscription que porte la guérite du garde-frein, et qui correspond au sens de la marche du train, si le fourgon renferme la pile de tête. Dans le cas contraire, la manette doit être mise sur l'inscription de « *sifflet immobilisé* ». Aussi, dans le cas de rebroussement du train, les deux conducteurs d'avant et d'arrière doivent immédiatement renverser la position de la manette de leur fourgon.

Les conducteurs ne doivent se servir de ce commutateur qu'en cas d'urgence, et seulement pour provoquer un arrêt dont ils reconnaîtraient l'absolue nécessité. Dans ce cas, le conducteur, occupant le fourgon de tête, n'a qu'à pousser et à maintenir, jusqu'à ce que le frein ait produit son effet, la manette du commutateur dans la direction de la flèche auprès de laquelle elle se trouve.

Hâtons-nous d'ajouter que cette adaptation n'a rien de spécial au frein Smith et que l'on pourrait aussi bien déclencher automatiquement, ou par la main des conducteurs, la valve d'échappement d'air comprimé qui détermine le serrage des freins dans le système Westinghouse.

Dans le but de donner à son frein l'automaticité qui lui fait défaut, M. Smith a imaginé plusieurs dispositions mécaniques, fort ingénieuses, mais à peu près impraticables.

L'une d'elles consistait à placer, dans le fourgon d'arrière du train, une pompe aspirante dont le fonctionnement était assuré par le fait même d'une rupture

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'attelage; dans ce cas, comme le vide se produit suffisamment pour faire serrer les freins bien que les conduites soient ouvertes à l'une des extrémités, on obtenait l'enrayage des roues et la pompe cessait de marcher dès que l'essieu du fourgon s'arrêtait.

Dans un autre brevet pris par M. Smith, c'est un véritable éjecteur qui fonctionne lorsque l'on produit un choc qui détermine l'explosion d'une capsule placée à l'ouverture de son embouchure : l'expansion des gaz de la poudre produit l'effet de l'échappement de la vapeur. A cet effet, l'inventeur a adapté, à l'entrée de l'éjecteur, une sorte de revolver tournant sur un pivot de manière que l'un des canons soit toujours placé au centre du cône de l'éjecteur.

Il suffit donc de relier aux attelages la platine qui fait éclater la capsule, de façon que l'éjecteur fonctionne dès qu'une rupture vient à se produire. Nous n'insisterons pas davantage sur cette disposition qui n'a certainement pas été appliquée d'une manière sérieuse.

Frein Hardy. — On a reproché au frein dont nous venons de donner la description, la facile altération des outres en caoutchouc. L'inconvénient ne s'est pas encore fait sentir d'une manière bien certaine, dans la pratique, vu la date rapprochée à laquelle remonte la mise en service de ce système.

Quoi qu'il en soit, M. Hardy a imaginé de remplacer les sacs en caoutchouc par un cylindre en fonte représenté en coupe à la fig. 3 de la planche XXI. Le cylindre *c* est composé de deux parties coniques entre lesquelles est intercalé un diaphragme en cuir *d*, faisant corps avec un piston *p* dont la tige commande l'arbre des freins.

Lorsqu'on fait le vide à l'intérieur du cylindre, le diaphragme se soulève, entraîne avec lui le piston et détermine, par conséquent, le serrage des freins.

Lorsque l'air rentre dans le cylindre, le piston retombe par son propre poids et desserre les freins.

A part cette différence de construction du cylindre, les appareils sont identiques à ceux du frein Smith. Ce système a été mis en service par la compagnie autrichienne de la Südbahn et une note de M. Gottschalk, ancien directeur du matériel et des tractions de cette Compagnie, donne d'intéressants détails sur l'application qu'elle a faite de ce frein.

Deux conduites, tout à fait séparées, mettent l'éjecteur en relation, l'une avec les cylindres à vide de la machine et du tender seulement, l'autre avec les cylindres à vide des véhicules.

Il en résulte une action beaucoup plus rapide et plus sûre des freins de la machine et du tender, qui agissent, alors même qu'il existerait une solution de continuité dans la conduite unique, s'étendant sur toute la longueur du train; une diminution des dépenses de construction pour les véhicules; et, par-dessus tout, une réduction à moitié du nombre des raccords en caoutchouc, entre les véhicules du train.

L'application du frein Hardy a été faite à dix-huit machines et à cinquante voitures destinées à former la composition des trains express de la ligne de Vienne à Trieste.

Frein à vide automatique de Sanders. — Pour rendre *self acting* le frein à vide, M. Sanders s'est décidé à faire le vide d'une manière continue dans la conduite générale qui s'étend sur toute la longueur du train. Dans son système, il existe, sous chaque voiture, deux tambours A et B (Pl. XXI, fig. 4), de diamètre inégal et munis chacun d'un plateau mobile fixé à l'une des extrémités *cc* d'un levier à T qui commande, par la tringle G, les sabots des freins.

Le vide existant normalement dans la conduite générale *t* qui communique

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avec les deux tambours, la pression atmosphérique agit, d'une manière prépondérante, sur le fond du cylindre A qui est le plus large et maintient, par suite, le levier T dans la position indiquée par la figure et correspondant au desserrage des freins.

Lorsque l'on veut faire agir les freins, on admet une certaine quantité d'air dans la conduite : aussitôt la communication avec le petit tambour D est interceptée par une soupape qui se ferme automatiquement, tandis que l'air pénètre librement dans le cylindre A; dans ces conditions, le fond mobile du cylindre B se soulève, incline le levier T en sens inverse et détermine, par suite, le serrage des freins.

Le desserrage a lieu, sans l'intermédiaire d'aucun ressort antagoniste, lorsqu'on rétablit le vide dans la conduite.

Il y a un inconvénient qui se fait sentir lorsque l'on serre les freins : le fond du petit cylindre B s'élève et son volume diminue; il en résulte que comme le vide n'est que relatif, la pression augmente à l'intérieur de ce cylindre et elle pourrait arriver à équilibrer la pression atmosphérique et à empêcher le serrage des freins. Aussi l'inventeur a-t-il pris soin de disposer un réservoir de vide M, communiquant avec le cylindre B et destiné à rendre moins sensible cette diminution de volume.

La conduite, qui part de la machine pour aboutir au fourgon d'arrière du train, porte, à chaque extrémité, un indicateur qui permet de contrôler l'état de l'appareil et le degré de la pression.

De plus, une valve de commande, placée dans le fourgon de queue, permet de faire fonctionner le frein par le personnel du train.

Les accouplements de ce système sont plus simples que ceux du frein Smith et il n'y en a que deux par voiture : ils se composent de tuyaux en caoutchouc, terminés par des ajutages en bronze qui sont munis d'oreilles dans lesquelles on se contente de passer des clavettes. Des rondelles en caoutchouc assurent une fermeture hermétique, quand on serre les ajutages l'un contre l'autre, et la pression atmosphérique contribue à augmenter ce serrage.

Ce frein a le grave inconvénient d'être très-encombrant, à cause de la dimension que doivent avoir les tambours, lorsqu'on veut lui donner une puissance suffisante.

Il exige, en outre, que l'on installe sur la machine une petite pompe aspirante, mue par la crosse du piston de la locomotive ou par un excentrique calé sur l'essieu moteur, pour faire continuellement le vide dans la conduite générale.

L'étanchéité des ballons n'est jamais parfaite et elle diminue en raison de la distance qui les sépare de la pompe à air : ainsi l'on a constaté, sur un train composé d'une machine, d'un tender, de cinq voitures et d'un fourgon, que l'indicateur, placé à l'arrière du train, marque toujours une dépression moindre que celle qui est accusée par l'indicateur de la machine. Dans un train de quinze voitures, cette différence suffirait pour empêcher l'application des freins.

Ce frein a été essayé par la Compagnie anglaise du Great-Western, mais il ne paraît pas avoir encore été appliqué, d'une manière générale, sur aucune ligne de chemin de fer.

Frein automatique de Hardy.— Préoccupé, sans doute, de l'importance que l'on paraît attacher à l'automaticité des freins, M. Hardy vient d'apporter à ses appareils une toute récente modification qui les sépare complètement du frein *vacuum* primitif et qui se rapproche beaucoup du système de Westinghouse, au point de vue de la disposition des organes.

Le vide règne, d'une manière continue, dans la conduite générale et dans des réservoirs de vide placés sous chaque voiture ; pour serrer les freins, il suffit de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

déterminer, dans les tuyaux, une rentrée d'air qui fait fonctionner une soupape à double siège, dont la disposition rappelle la triple valve décrite plus haut. Aussitôt, la communication s'établit entre le réservoir de vide et le cylindre à frein qui agit sur les sabots, comme dans le système non automatique.

A cet effet, au-dessous de chaque véhicule est installé un réservoir A (Pl. XXI, fig. 5), dans lequel on fait et on maintient le vide : sa capacité est deux fois celle du cylindre à frein. L'une de ses extrémités est mise en communication avec la conduite générale P, au moyen d'une soupape M en caoutchouc qui se soulève et vient s'appliquer contre la plaque D, lorsqu'on fait le vide dans les tuyaux.

A l'autre extrémité se trouve une tubulure communiquant avec la conduite P, avec le cylindre à frein B et avec une ouverture O qui débouche dans l'atmosphère. L'intérieur de cette tubulure est cylindrique et formé de deux compartiments E E′ communiquant par des ouvertures *e*; dans la première chambre se meut un diaphragme en cuir *a*, muni d'une rondelle *m* en caoutchouc qui peut boucher la rentrée d'air, et qui est monté sur la même tige que la soupape *b* dont la surface est plus petite.

Dans ces conditions, dès que l'on fait le vide au moyen de l'éjecteur, d'une part, la soupape M se soulève et le vide se propage dans le réservoir A, d'autre part, la pression de l'air extérieur, arrivant par l'ouverture O, repousse la soupape *a* qui est plus grande que la soupape *b* et ferme toute communication entre le réservoir A et le cylindre à frein B où l'air pénètre librement. Les freins sont alors desserrés.

Dès que l'air entre dans la conduite générale, soit par la volonté du mécanicien, soit qu'une rupture d'attelage vienne à se produire, la soupape *a* supportant la même pression sur ses deux faces, l'air contenu dans la cavité E′ agit sur la soupape *b* et la repousse. Aussitôt la rondelle *m* ferme l'arrivée de l'air par l'ouverture O et le cylindre à frein communique avec le réservoir à vide qui a deux fois sa capacité : il en résulte que les freins fonctionnent.

La machine porte un appareil spécial destiné à maintenir une dépression à peu près constante dans les tuyaux, pendant la marche. Ce mécanisme auxiliaire comprend un petit cylindre à diaphragme *c* (Pl. XXI, fig. 6) et un petit cylindre à vapeur S, muni de son échappement X; le piston qui se meut dans ce cylindre S permet de manœuvrer automatiquement la tige D*d*; cette dernière actionne, d'ailleurs, la valve à vapeur dont l'ouverture détermine le fonctionnement de l'éjecteur.

Sur le tuyau d'alimentation de vapeur du cylindre S se trouve une soupape V qui peut être ouverte automatiquement par la tige du diaphragme du cylindre *c*.

Le clapet E servant à faire rentrer l'air dans la conduite générale est, en outre, relié à une soupape *o*, placée sur le tuyau qui va du cylindre *c* à la conduite générale, de sorte que, lorsque l'on veut serrer les freins, la rentrée d'air n'a aucune influence sur la position du cylindre *c*.

Si donc, avant de démarrer, le mécanicien ouvre la valve de l'éjecteur avec le robinet D, le vide se fait instantanément dans la conduite générale et il atteint une valeur de $0^{atm},8$; s'il se produit des rentrées d'air accidentelles et que le vide s'abaisse à 1/6 d'atmosphère, le ressort antagoniste *m* surmonte la différence de pression entre les deux faces du diaphragme dans le cylindre *c*, ce qui produit l'ouverture de la valve V; le piston du cylindre S détermine alors automatiquement le fonctionnement de l'éjecteur qui rétablit immédiatement la dépression initiale dans la conduite générale, et le cylindre *c* reprend sa position; quant au piston du cylindre S, il revient au point de départ, sous l'action d'un ressort ou d'un contre-poids.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On ne peut nier que cette disposition soit fort ingénieuse et simple de construction; mais elle ne peut effacer le défaut originel de ce système. Lorsque le cylindre à frein entre en communication avec le réservoir de vide, la pression résultante n'atteint même pas 1/3 d'atmosphère et l'énergie du serrage doit évidemment en souffrir. De plus, le fonctionnement de la soupape à double siège est moins sûr que celui de la triple valve du frein à air comprimé, et elle est moins étanche.

Enfin, pour que le frein ait une certaine puissance, on est forcé de donner aux réservoirs des dimensions telles qu'il devient difficile de les monter sur les machines. Aussi a-t-on été obligé de disposer, sur les wagons à marchandises, des contre-poids de 250 livres, correspondant à une puissance de frein de 3 tonnes sur les quatre roues.

Il est vrai que l'accouplement des tuyaux est peu compliqué. Comme l'indique la fig. 7, l'un des bouts de tuyau porte un crochet à ressort A qui saisit une oreille placée sur l'autre bout : une petite bande de métal repliée B complète la fermeture.

Le frein Hardy est surtout répandu en Allemagne, en Autriche et en Hongrie.

Aussi, comme les freins à chaîne et à friction ont été mis en usage dans ces pays, l'inventeur a-t-il appliqué son cylindre à diaphragme à la manœuvre de chaînes et de leviers qui approchent la roue de friction du bandage des véhicules dans le but de permettre d'appliquer les freins continus à chaînes, à des trains d'une plus grande longueur. Il est à remarquer que cette disposition augmente encore la complication des mécanismes et le poids mort des véhicules.

Frein Wenger. — Dans le cours d'un voyage, fait en Angleterre, pour y examiner les diverses dispositions de freins continus, M. Wenger, ingénieur des études du matériel au Chemin de Paris à Lyon et à la Méditerranée, a imaginé un système de frein à vide, agissant sur les sabots, sous l'action d'un contre-poids.

La Compagnie a mis ce système à l'étude, et elle paraît disposée à en faire l'essai, sur une grande échelle. Nous nous contenterons d'en donner le principe.

Chaque véhicule est muni d'un poids de 200 kilos environ, dont la chute détermine le serrage des freins. Ce poids se meut dans un cylindre vertical ouvert par le bas et communiquant, par sa partie supérieure, avec une conduite générale dans laquelle on maintient normalement le vide, au moyen d'un éjecteur.

Toute rentrée d'air, dans cette conduite, a pour résultat de faire tomber le poids, par suite de la rupture d'équilibre entre les pressions qui s'exercent sur ses deux faces. Pour relever le poids et desserrer les freins, il suffit de rétablir le vide relatif, dans la conduite générale.

Comme les freins se serreraient chaque fois que l'on dételerait une voiture, ce qui serait très-incommode, à cause de la nécessité où l'on serait de relever à la main des poids de 200 kilos, M. Wenger a imaginé de percer, sur la tige de ces contre-poids, des trous où peuvent pénétrer des clavettes; et, pour éviter la manœuvre isolée et très-longue de ces clavettes, on les a mises à la disposition du mécanicien, au moyen d'un système de tuyaux et de pistons auxiliaires, de telle manière qu'après l'arrêt du train, il puisse entraver la chute intempestive des contre-poids. Seulement il est essentiel de les déclaveter avant le départ, sans quoi le frein ne pourrait plus fonctionner en temps utile.

En donnant une section suffisante aux tuyaux et au cylindre à frein, on peut rendre le serrage aussi rapide et aussi énergique que l'on veut; et cette énergie maxima ne dépend, d'ailleurs, que d'une force naturelle dont l'action est toujours assurée, la gravité.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le seul inconvénient sérieux que l'on puisse reprocher à ce système, c'est la complication des organes et des attelages résultant de l'emploi des clavettes. Il est, en outre, assez lourd. Comme il est encore à l'essai, on ne peut porter, à son égard, aucun jugement définitif.

§ 6. — Comparaison des prix et des résultats obtenus avec les divers systèmes de freins.

Prix comparatifs. — Il est assez difficile d'établir une comparaison absolument exacte, entre les prix des divers systèmes de freins que nous venons de décrire.

Les uns peuvent, en effet, s'appliquer à des véhicules existants, moyennant une transformation peu coûteuse; d'autres exigent l'installation, sur les machines, de pompes et de réservoirs assez encombrants et très-chers; ici, les véhicules sont armés d'appareils identiques; là, au contraire, on doit distinguer entre les véhicules munis d'un mécanisme moteur et ceux qui sont simplement destinés à servir de jonction ou de raccord entre les premiers. On ne doit donc attacher qu'une importance relative, comme terme de comparaison, aux prix que nous sommes en mesure de citer.

Le prix d'établissement du frein automoteur Lefèvre et Dorré est de 151 fr. 40 c., d'après les documents fournis par la Compagnie de l'Est. A cette somme, il convient d'ajouter, s'il y a lieu, une plus-value pour la construction de l'arbre des freins.

Pour les freins Becker et Heberlein, le poids et les prix d'application sont les suivants, d'après les renseignements fournis par la Compagnie du Kaiser-Ferdinand's-Nordbahn :

Frein Becker.

	Prix.	Poids.
Locomotive avec son tender.	625 fr. »	323 kilos.
Fourgons et voitures.	690 fr. »	341 —
Véhicules intermédiaires.	442 fr. 50	284 —
Appareil de manœuvre.	83 fr. »	188 —

Frein Heberlein.

Locomotive avec son tender.	1,805 fr. »	770 kilos.
Voiture à frein.	1,265 fr. »	696 —
Véhicules intermédiaires.	300 fr. »	311 —

La Compagnie des freins continus de Westinghouse fixe les prix suivants, pour la fourniture et l'entretien de ses appareils :

NOMENCLATURE.	MACHINE et TENDER.	VÉHICULES de TOUTE NATURE.
Prix d'établissement des appareils . .	1500f	500f
Entretien annuel (période de 12 ans) .	125f	25f
Pièces de réchange pour répar. annuelle.	75f	15f
Poids des appareils	1130k	250k
Frais de montage complet.	750f	209f

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les prix des appareils Smith et Hardy sont empruntés aux listes fournies par la Compagnie des freins à vide : ils sont les suivants :

Appareils de la locomotive et du tender, comprenant l'éjecteur, les valves à vapeur et à air, le vacuomètre, les sacs à vide, tuyaux en fer et raccords en caoutchouc	1,000 fr.
Appareils des voitures, comprenant un sac à vide, les tuyaux et leurs raccords	300 »
avec une plus-value de 50 fr. pour un deuxième sac à vide.	
Appareils automatiques Hardy, pour machine et tender, comprenant l'éjecteur, les valves à air et à vapeur, cinq cylindres à vide dont un petit, un petit cylindre à vapeur, la soupape auxiliaire, la petite soupape à air, le clapet d'air, et les tuyaux avec raccords . . .	1,250 »
Appareils automatiques Hardy, pour voitures, comprenant le réservoir à vide et les soupapes, un cylindre à vide, tuyaux et raccords,	425 »
Appareils automatiques pour wagon de marchandises	125 »

En résumé, le prix d'un frein continu appliqué à un train composé de la machine, du tender, d'un fourgon et de six voitures s'élèverait environ :

Pour le frein Becker, à	1,290 fr.
— Heberlein, à.	3,670 »
— Westinghouse, à	5,000 »
— Smith ou Hardy, à	3,100 »
— automatique de Hardy.	4,200 »
— Lefèvre et Dorré	1,100 »

Essais comparatifs des freins Smith et Westinghouse. — Le North-British Railway a fait, en 1876, sur ces deux systèmes de freins, des essais comparatifs qui ont eu, en Angleterre, un assez grand retentissement, et qui ont principalement contribué à confirmer le *Board of Trade* dans la préférence qu'il parait accorder au système à air comprimé.

Ces essais ont eu lieu :

D'une part, sur un train, muni du frein Smith, pesant 175 tonnes, dont 86 % sous frein ;

D'autre part, sur un train muni du frein Westinghouse, pesant 160 tonnes, dont 86 % sous frein.

Les vitesses ont varié entre 45 et 90 kilomètres à l'heure. On a, en outre, relevé la vitesse que possédait encore le train, après avoir parcouru une certaine longueur, depuis le serrage des freins, afin de comparer l'amortissement de la puissance vive, conformément aux conclusions que nous avons énoncées au commencement de ce chapitre.

Nous résumons, dans le tableau ci-dessous, une partie des résultats fournis par ces essais :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Résultats comparatifs des essais faits, en 1876, sur le frein vide et le frein à air, par le North-British Railway.

VITESSE DU TRAIN EN KILOMÈTRES A L'HEURE.			48	64	80	88
Espaces parcourus avant l'arrêt (en mètres).		Smith.	144	232	318	412
		Westinghouse. .	100	165	233	273
Nombre de secondes nécessaires pour arrêter le train.		Smith.	17,25	20,25	27	28
		Westinghouse. .	13	16	18,75	21
VITESSE DU TRAIN, EN KILOMÈTRES, A L'HEURE, après avoir appliqué les freins pendant un parcours de	30 mètres. . . .	Smith.	47,2	63,6	79,6	87,6
		Westinghouse. .	45,2	63,6	79,6	86
	60 mètres. . . .	Smith.	44	61,2	78	86,4
		Westinghouse. .	35,2	58	76,8	83,2
	90 mètres. . . .	Smith.	37,2	57,6	76,8	84,8
		Westinghouse. .	20,8	50	69,2	76,8
	120 mètres. . . .	Smith.	28	52	74,8	83,2
		Westinghouse. .	0	40	60,8	68,8
	210 mètres. . . .	Smith.	0	24	61,6	72
		Westinghouse. .	0	0	32	44,8
	300 mètres. . . .	Smith.	0	0	41,46	56
		Westinghouse. .	0	0	0	0
	360 mètres. . . .	Smith.	0	0	0	40
		Westinghouse. .	0	0	0	0

D'après ces expériences, la distance parcourue, après le serrage des freins, a été de 146m,30 au minimum et de 419m,10 au maximum, soit en moyenne 307m,50 ; tandis que, pour le frein Westinghouse, le minimum a été de 100 mètres et le maximum de 289m,8, soit une moyenne générale de 181m,95.

Au point de vue du temps, le frein Smith a exigé un minimum de 17″,75‴, un maximum de 28 secondes et une moyenne générale de 24″,10‴ ; le frein Westinghouse, un minimum de 12″,50‴, un maximum de 21 secondes, et une moyenne de 16″,30‴.

On est donc en droit de conclure que le frein Westinghouse a fait preuve, dans cette occasion, d'une rapidité d'action bien plus grande, et qu'il s'est rencontré bien plus efficace que le frein Smith, au point de vue de l'amortissement de la puissance vive du train.

D'un autre côté, ces expériences ne sont pas absolument concluantes; car il

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est certain qu'en donnant aux soufflets du système Smith une surface suffisante, on arriverait à la même énergie que dans les freins à air comprimé. C'est une question d'espèce, suivant que l'on se propose ou non d'obtenir un calage absolu. Il est certain que les voyageurs goûtent fort peu l'enrayage complet des roues par les freins, à cause des secousses qu'il procure, quel que soit d'ailleurs le système.

Essais du North-Eastern (18 *mai* 1877). — De nouvelles expériences ont été faites, en Angleterre, sur un train de douze voitures toutes munies du frein Westinghouse, dans le but de vérifier surtout si l'emploi de deux blocs de serrage était préférable à l'emploi d'un seul.

Ces essais ayant été faits avec des vitesses de marche bien supérieures à celles dont étaient animés les trains dans les essais du North-British, nous croyons intéressant d'en donner ci-dessous les résultats :

Vitesse du train en kilomètres à l'heure.	60	68	76	76	80	80	82,4	96,8	96,8	100,8	102,4
Profil de la voie.	Pente de 1/330	Pente de 1/245	Pente de 1/286	Rampe de 1/381	Pente de 1/754	Rampe de 1/300	Pente de 1/246	Pente de 1/286	Palier	Pente de 1/170	Palier
Nombre de secondes écoulées avant l'arrêt.	12	15,25	15,25	16	15	15	16,5	19	19,5	24	20
Nombre de mètres parcourus avant l'arrêt.	114	185	180	195	182	198	200	265	289	389	388

Un indicateur de vitesse était installé dans un fourgon à la queue du train, et, au moyen d'une communication électrique avec le mécanicien, on pouvait enregistrer, avec une extrême précision, tous les détails de l'opération.

Dans un essai, sur une rampe de 1/381, les huit dernières voitures furent séparées du train, qui marchait avec une vitesse de 76 kilomètres à l'heure : les freins se serrèrent automatiquement et l'arrêt eut lieu au bout de 16 secondes, après un parcours de 195 mètres ; la queue du train s'arrêta à $52^{m},80$ du dernier wagon de la tête du train.

Essais du frein Sanders. — D'après l'*Engineering,* des expériences ont été faites par le Great-Western Railway sur un train formé : d'une machine, munie d'un frein à vapeur qui s'appliquait aux roues motrices et porteuses d'un tender; d'un salon et d'un fourgon, munis de freins à main; de six voitures et d'un fourgon, munis de freins Sanders. La longueur du train était de 107 mètres et son poids de 166 tonnes.

On obtint les résultats suivants :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

VITESSE par HEURE.	DISTANCE parcourue AVANT L'ARRÊT.	TEMPS NÉCESSAIRE pour ARRÊTER LE TRAIN.	DÉCLIVITÉ de LA LIGNE.
kilomèt.	mèt.	secondes.	rampe.
72	141,3	15	1/550
85	200	16	1/660

Essais de Güntershausen (*août* 1877). — Des expériences très-sérieuses ont été faites, en Allemagne, sur des freins construits, non par les inventeurs, mais par les Compagnies.

Les essais ont eu lieu sur le chemin de fer de Main-Weser, près de Güntershausen, sur deux sections de ligne spécialement préparées dans ce but.

Chaque section fut divisée en 15 longueurs de 33^{m},333 par 16 poteaux, vis-à-vis desquels se trouvait, sur la voie, un appareil de contact, relié par un fil à un appareil enregistreur qui était installé à Güntershausen; cette disposition a permis de relever graphiquement la vitesse de chacun des trains d'essai. Des disques réflecteurs attachés au rebord du train permettaient à un observateur, placé à l'intérieur du wagon, de se rendre compte du moment où les roues étaient enrayées par le frein.

Suivant le programme des essais, chaque train devait avoir un poids total de 126 tonnes. Ces trains étaient au nombre de treize et les noms des Compagnies qui les avaient fournis, ainsi que leur poids réel et les systèmes de freins dont ils étaient munis, sont indiqués au tableau ci-dessous :

NOMS DES COMPAGNIES concourant à l'essai.	SYSTÈME de FREIN.	POIDS du TRAIN D'ESSAI.
		tonnes.
Est-Allemand.	Steel.	105
Basse-Silésie et Marche.	Heberlein.	136
—	Smith.	149
Westphalie.	—	125
—	Steel.	125
État de Hanôvre. . . .	Heberlein.	138
—	Westinghouse.	125
Francfort à Bebra. . .	Smith.	127
— . . .	Steel.	125
Berg-Marche.	Heberlein.	125
—	Smith.	125
Main-Weser	—	128
—	Westinghouse.	128

Ces divers freins furent essayés de manière à produire finalement le même serrage sur les sabots, et la comparaison ne portait que sur le temps écoulé entre le moment où le mécanicien touchait l'appareil et celui où les freins avaient atteint leur maximum d'effet. La valeur du serrage était, d'ailleurs, exprimée par le rapport entre la pression du sabot sur la roue et la pression de la roue sur le rail, c'est-à-dire la charge de l'essieu augmentée du poids de la roue.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les diagrammes représentant le résultat des expériences, on avait pris pour abscisses les espaces parcourus par le train, et pour ordonnées la demi-force vive du train en tonnes-mètres.

La courbe représentait donc la loi des variations de la puissance vive de chaque train; tant que cette courbe est parallèle aux abscisses, le mouvement est uniforme; lorsqu'elle s'infléchit; le serrage des sabots augmente, et la tangente à la courbe présente un coefficient angulaire constant, dès que le serrage atteint la valeur de 50 °/₀ que l'on avait fixée à l'avance. Dans ces conditions, le meilleur résultat est celui donné par le frein où le serrage de 50 °/₀ est obtenu le plus rapidement possible.

Le rapport officiel mentionne le résultat de quatre-vingt quatorze expériences faites avec des vitesses variant de 56 à 94 kilomèt. à l'heure. Ici encore, on doit constater que le frein Westinghouse a montré sur ses concurrents une supériorité incontestable, comme l'indique d'ailleurs le diagramme reproduit à la fig. 22 et extrait de ce rapport.

Quoi qu'il en soit, il eût été bon de pousser les recherches jusqu'à l'arrêt com-

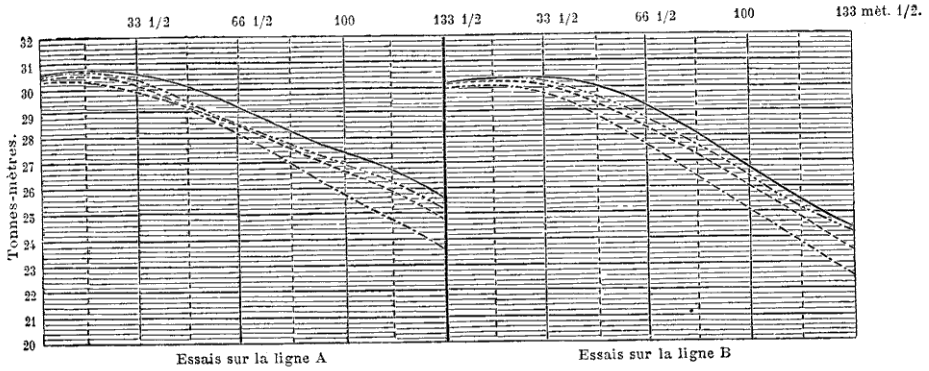


Fig. 22. — Expériences de Güntershausen.

——— Frein Smith.
— — — — Heberlein.
— - — — Westinghouse.
— - - — — Steel.

plet du train, au lieu de se contenter de déterminer le fonctionnement du frein, pendant la première partie de l'arrêt.

Essais du frein Smith par la Compagnie du Nord. — La Compagnie du Nord, après avoir monté le frein à vide de Smith sur un train d'essai, a procédé à une série d'expériences, du mois d'août 1876 au mois de mai 1878, en faisant circuler ce matériel sur la ligne de Paris à Creil par Chantilly comme train-omnibus.

Dans la première série d'essais, la vitesse, au moment du serrage, a atteint 78 kilomèt. à l'heure; l'espace parcouru n'a pas dépassé 350 mètres et le temps écoulé avant l'arrêt est toujours resté inférieur à 30 secondes, quelles que fussent les circonstances de l'essai, mais en supposant le régulateur fermé au moment même de l'application du frein.

Dans les séries suivantes, l'éjecteur était perfectionné et les résultats furent encore plus satisfaisants, puisqu'avec une vitesse de 70 kilomètres on obtenait l'arrêt au bout de 330 mètres, sur une pente de $2^{mm},6$ par mètre, et pour un train composé de douze véhicules.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La quatrième série d'expériences a donné lieu à huit procès-verbaux : elle avait pour objet de déterminer l'importance que peut avoir la longueur du train sur la propagation du vide dans des sacs compressibles, depuis la tête jusqu'à la queue, et le temps nécessaire au déclenchement du frein par l'électricité.

Le déclenchement est instantané ; mais le temps qui s'écoule, entre le déclenchement du levier de la valve en tête du train, et le moment où le vide commence à se produire dans le sac du fourgon de queue, a varié entre 2 et 6 secondes. Ce dernier résultat, qui est le maximum, a été obtenu sur un train de vingt voitures avec une seule conduite de $0^m,05$ de diamètre intérieur, c'est-à-dire dans des conditions de propagation notoirement défavorables. La rapidité de la propagation dépend, d'ailleurs, de la puissance de l'éjecteur.

On a reconnu, en outre, qu'avec des trains longs, il était bon de ne supprimer l'action du jet dans l'éjecteur qu'après l'arrêt complet du train ; que, pour diminuer les réactions qui provoquent des secousses, il était nécessaire que les ressorts de choc et de traction des voitures eussent une flexibilité beaucoup moindre que celle qu'on leur a donnée jusqu'ici, et qu'enfin il est avantageux de ne pas employer les freins à main concurremment avec les freins à vide, pour ne pas créer, dans la longueur du train, de brusques résistances.

III. — CHAUFFAGE ET ÉCLAIRAGE SUR LES CHEMINS DE FER.

(par M. Cossmann.)

SECTION A. — Chauffage.

§ 1er. — *Division du sujet.*

État actuel de la question. — A côté des installations qui intéressent la sécurité des voyageurs sur les chemins de fer et dont nous venons de faire une étude sommaire, dans le chapitre précédent, viennent se placer celles qui se rapportent uniquement à leur bien-être, et, en première ligne, le chauffage et l'éclairage des voitures dans les trains.

L'éclairage des compartiments de toutes les classes est un fait acquis dès les débuts de l'exploitation des chemins de fer ; mais, pendant longtemps, en France, le chauffage s'est borné aux voitures de première classe et ce n'est que depuis cinq ou six ans que l'opinion publique a commencé à se préoccuper de la question du chauffage des compartiments des trois classes.

Toutefois, avant d'entrer plus avant dans la question, il est utile, au point où elle est arrivée, de faire remarquer qu'en principe et d'après les cahiers des charges, aucune clause n'oblige un entrepreneur de transports à chauffer les compartiments des voitures qu'il offre aux voyageurs.

Si, dans les pays où la plus grande partie des lignes ferrées est entre les mains de l'État qui les exploite, le chauffage des voitures est réellement un service public, il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de Compagnies privées. Aussi, en Angleterre, le pays par excellence où se manifeste l'initiative industrielle, plusieurs Compagnies ont-elles abandonné complètement aux voyageurs les soins et les frais de leur propre chauffage.

Cependant, on doit rendre cette justice aux grandes Compagnies françaises que, désireuses, dès le début, de s'associer au mouvement accentué qui se produisait dans ce sens à l'étranger, elles se sont mises immédiatement à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'œuvre. Le problème était des plus complexes, et la preuve la plus certaine de l'existence des difficultés que doit soulever sa solution c'est la multiplicité même des systèmes proposés pour le résoudre. En présence de la diversité des opinions émises sur la valeur comparative de ces systèmes, le syndicat des six grandes Compagnies françaises accueillit la proposition de la Compagnie de l'Est qui se déclarait prête à faire des expériences spéciales pour étudier la question et à poursuivre ces essais, au besoin, pendant plusieurs hivers.

Le résultat de ces études est consigné dans un rapport détaillé qui émane de M. Regray, ingénieur en chef du matériel et de la traction de cette Compagnie, et auquel nous aurons à faire de fréquents emprunts.

Comme suite à ces conclusions, les Compagnies de chemins de fer ont immédiatement fait construire les appareils qu'elles ont, pour la plupart, exposés et dont nous aurons à parler dans le cours de ce rapide aperçu.

Programme à remplir. — Le but à atteindre serait théoriquement de communiquer à l'air des voitures une température constante, quelles que fussent les variations de la température extérieure.

Comme ce désideratum ne peut être réalisé, d'une manière absolue, qu'en faisant varier la quantité de combustible employée pour réchauffer l'air et que l'on ne peut y arriver qu'en laissant à la disposition des voyageurs eux-mêmes la direction absolue du chauffage, ce qui n'est pas toujours compatible avec les habitudes du public, on admet, le plus souvent, que l'on fournira la même quantité de calories, quelle que soit la température extérieure, en prenant pour base le cas d'une journée froide.

Comme il est toujours facile de mitiger, en ouvrant les glaces et les portières, un excès de chaleur à l'intérieur des compartiments, cette solution ne présente d'autre inconvénient que celui d'une dépense de chaleur souvent inutile.

En second lieu, il est essentiel que le chauffage soit hygiénique et n'incommode pas les voyageurs sous prétexte de les réchauffer. En d'autres termes, la ventilation doit être telle que l'air chaud s'accumule plutôt à la partie inférieure des compartiments qu'à la partie supérieure : c'est aux pieds des voyageurs que la température doit être le plus élevée.

Toutefois, il convient de remarquer que cette conclusion ne doit pas être prise dans un sens trop absolu : il est certain, par exemple, que, dans un pays tel que la Russie, où le froid peut atteindre et dépasser 30 degrés, on ne saurait se contenter de chauffer les pieds des voyageurs, à l'aide de simples chaufferettes.

L'air échauffé doit être parfaitement respirable et il ne doit emprunter aucune des propriétés toxiques des agents employés à lui communiquer le nombre de calories nécessaire.

Le système adopté pour chauffer les trains de voyageurs ne doit pas entraîner de modifications essentielles et coûteuses dans la construction du matériel roulant, d'autant plus que le chauffage n'a lieu que pendant quelques mois seulement dans les pays à climat tempéré. Son emploi doit être, avant tout, économique en raison de l'étendue de l'application que l'on en fait.

Les appareils mis en usage doivent être solides, faciles à entretenir et à visiter; il faut qu'ils puissent résister à l'influence des plus fortes gelées; il est essentiel qu'ils n'apportent aucune entrave à la continuité et à la rapidité du service; ils ne doivent enfin occasionner aucune chance d'explosion, d'incendie ou d'accident provenant de leur adaptation ou de leur usage.

Constatons immédiatement qu'aucun des systèmes, essayés ou adoptés par les divers chemins de l'Europe, ne réalise complètement toutes les données du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

programme précédent. La plupart de ces systèmes sont applicables à des conditions de climat ou d'exploitation déterminées, et l'on fait volontairement le sacrifice d'un ou de plusieurs des points du programme, dans le but de donner meilleure satisfaction à d'autres nécessités, parmi celles que nous avons signalées

Classification des divers systèmes. — D'après les dénominations généralement adoptées, le chauffage des trains est appelé *continu* lorsqu'il n'existe qu'une seule source de chaleur pour tout le train, *discontinu* lorsqu'il existe une ou plusieurs sources de chaleur par voiture ou par compartiment.

Enfin, on peut encore subdiviser le chauffage discontinu en deux cas, suivant que l'on restreint la discontinuité en n'employant qu'une seule source de chaleur par voiture, ou qu'on l'applique d'une manière absolue, en apportant de l'extérieur des calories renfermées, en général, dans autant d'appareils qu'il y a de compartiments.

Étant données ces définitions, nous classerons de la manière suivante les divers systèmes de chauffage dont l'essai a été fait jusqu'à présent :

Chauffage continu.

1° *Emploi du gaz pour chauffer l'air.* — (Système Chaumont, essayé par l'État Belge.)

2° *Emploi de la vapeur pour chauffer l'air.*
- (a) Vapeur fournie par la locomotive (systèmes Bavarois et Suédois).
- (b) Vapeur fournie par une chaudière spéciale installée en un point quelconque de la longueur du train (système de l'Est Prussien).

3° *Emploi de la vapeur pour chauffer de l'eau* — (Système des Charentes).

4° *Emploi d'une circulation d'eau chaude.* — (Système Belleroche).

Chauffage à discontinuité restreinte.

1° *Emploi de l'air chaud.*
- (a) Poêles (systèmes Allemands).
- (b) Calorifères (systèmes Grandvallet, Mousseron, etc.).

2° *Emploi de l'eau chaude*
- (a) Appareil Weibel et Briquet.
- (b) Thermo-syphon de l'Est.
- (c) Appareil Lemeunier.
- (d) Appareil à eau surchauffée.

Chauffage à discontinuité absolue.

1° *Emploi des combustibles agglomérés.*
- (a) (Systèmes allemands).
- (b) (Système Grandjean).
- (c) (Système de l'Est).
- (d) Chaufferettes fixes (système Chaumont), chauffées par des bougies ou par le pétrole.

2° *Emploi de l'eau chaude dans des chaufferettes mobiles.*
- (a) Remplissage d'eau chaude.
- (b) Réchauffage par injection de vapeur.
- (c) Réchauffage par immersion dans l'eau chaude.

Tel est l'ordre que nous suivrons dans notre étude. Mais, auparavant, nous croyons devoir énumérer, d'après M. Regray, un certain nombre de systèmes qui n'ont pas reçu d'application et sur lesquels, par suite, nous n'insisterons pas.

La plupart des inventeurs ont eu l'idée d'utiliser les chaleurs perdues ou les quantités de mouvement négligées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« Ainsi, M. Beaumont produit de la chaleur par le frottement d'un cône en bois garni de chanvre que le mouvement du train fait tourner dans une cavité de même forme, ménagée sur chaque voiture, et il recueille cette chaleur soit sur une chaudière, soit sur un calorifère à air chaud.

« M. Madaule emploie la chaleur perdue des calorifères de gares à chauffer des briques qu'il substitue aux chaufferettes.

« M. Boccard place un calorifère dans un fourgon, M. Azéma dispose des tubes sous la grille de la locomotive, et, au moyen d'un ventilateur, l'air chaud est envoyé dans une canalisation placée sous les voitures.

« Le système de M. Mougey consiste à chauffer, au moyen de la vapeur d'échappement de la machine, une partie de l'eau du tender contenue dans un réservoir assez élevé et à utiliser l'action de la pesanteur pour faire circuler l'eau chaude dans toute la longueur du train. »

Enfin, M. Grange avait proposé d'utiliser la chaleur que produit la chaux vive lorsqu'on l'éteint avec de l'eau.

§ 2. — *Chauffage continu.*

Chauffage au gaz du système Chaumont. — Le gaz est renfermé dans deux réservoirs dont le principal est placé dans le fourgon de tête du train; en queue se trouve un petit réservoir auxiliaire, de 100 litres de capacité, muni à l'intérieur d'un diaphragme en caoutchouc; tous deux communiquent avec une conduite générale en fer s'étendant, au-dessous des voitures, dans toute la longueur du train et alimentant deux becs par compartiment, au moyen de petits tuyaux en cuivre, munis de robinets.

Le bec est placé extérieurement à la voiture, au-dessous du plancher, dans une petite boîte munie d'une porte à charnière. Les produits de la combustion de chaque bec s'engagent dans une sorte d'entonnoir dont l'extrémité se recourbe et traverse le compartiment. Les deux courants de gaz chauds circulent ainsi en sens inverse dans une chaufferette garnie de feutre et débouchent, à chaque extrémité, dans une cheminée d'appel, de $0^m,04$ de diamètre. L'air nécessaire à la combustion est pris à l'intérieur des compartiments sous les banquettes, et, en se rendant dans la boîte qui contient le bec, il détermine une ventilation par appel.

L'essai que l'État Belge a fait de ces appareils a donné des résultats satisfaisants : le rapport de la commission constate, en effet, que, vingt minutes après l'allumage, les tôles des chaufferettes prenaient la température d'une chaufferette à l'eau chaude et que la consommation n'atteignait pas 50 litres de gaz par bec et par heure, ce qui donne un prix de revient de 0 fr. 208, par heure et par voiture à quatre compartiments, en comptant le gaz à 0 fr. 65 c. le mètre cube. Le prix d'installation des appareils s'élèverait environ à 1,000 fr. par voiture, à cause de la transformation qu'il nécessite dans les marchepieds des voitures existantes.

Il est incontestable que l'emploi du gaz, qui peut servir non-seulement au chauffage des voitures, mais aussi à leur éclairage, est une solution très-heureuse du problème, au point de vue de l'unité des installations; mais il présente de graves inconvénients; en cas d'accident, la rupture des conduites et la présence de becs, allumés sous chaque voiture, peut entraîner de terribles complications; une fuite importante peut, en outre, compromettre absolument le chauffage de toute la partie du train située au-delà du point où elle vient à se produire.

Dans le but de n'avoir pas à modifier le matériel existant, M. Chaumont a proposé de placer les chaufferettes en saillie de 5 centimètres sur le plancher des voitures : les conduits servant à la circulation des produits de la combus-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion seraient alors formés par une feuille de cuivre repliée et protégée par une tôle de fer : de simples ajutages remplaceraient les cheminées d'appel servant au dégagement du gaz dans l'atmosphère.

Chauffage de l'air par la vapeur empruntée à la machine. — Dans ce second système de chauffage, la vapeur empruntée à la machine sert à chauffer, soit l'air des compartiments des voitures (système Bavarois), soit l'air d'une conduite spéciale qui débouche sous les banquettes (système Suédois), Dans les deux cas, les voyageurs ont à leur disposition le moyen de régler l'intensité du chauffage.

1er *cas. Système Bavarois.* — Ce système est employé non-seulement par l'Est et par l'État Bavarois, mais par les chemins de Berlin à Hambourg, Charles-Louis de Gallicie, de l'Est Prussien, etc.

La Compagnie de l'Est Bavarois chauffe par la vapeur les voitures des trois classes circulant sur son réseau. Nous donnons à la fig. 3 de la planche XXIII un croquis de l'un des détails de la disposition adoptée.

Une conduite générale, s'étendant sur toute la longueur du train, communique, par des branchements B verticaux, avec des tuyaux D disposés à peu près horizontalement sous les banquettes, au nombre de deux ou quatre par compartiment, selon la classe, et isolés par un écran.

L'appareil de réglage, mis à la disposition des voyageurs, est une sorte de tiroir formé par un piston creux A, muni de lumières *a*, qui glisse dans le branchement vertical B et peut occulter ou ouvrir à volonté l'entrée des tuyaux de chauffage C; ce piston est mis en mouvement par une petite manette E que l'on peut amener devant les inscriptions « FROID », « TIÈDE », « CHAUD », placées sur un secteur F, comme l'indique la figure.

L'eau, provenant de la condensation de la vapeur dans les tuyaux de chauffe et dans la canalisation générale, s'écoule, en suivant la pente, par des soupapes automatiques placées, entre les véhicules, aux points où les conduites sont raccordées par des tuyaux en caoutchouc. Tant que la tension de la vapeur n'atteint pas une demi-atmosphère, la soupape est soulevée de son siège par un ressort à boudin et laisse écouler l'eau de condensation.

La pression de la vapeur la plus convenable pour le chauffage étant de 3 atmosphères environ, on installe sur la machine un régulateur de pression destiné à réduire automatiquement à ce chiffre la tension normale de la vapeur à l'intérieur de la chaudière. Ce régulateur consiste en une soupape à double siège, équilibrée par un ressort dont la bande initiale a été calculée et est réglée à volonté, de manière que la levée des soupapes augmente ou diminue suivant que la pression de la vapeur s'abaisse ou s'élève; il en résulte que la tension de la vapeur, qui passe au travers de ce régulateur pour se rendre dans la conduite générale, est maintenue constante; elle rencontre d'ailleurs, sur son parcours, une soupape de sûreté qui s'ouvrirait si la tension devenait un peu supérieure à 3 atmosphères.

Pour prévenir les pertes par condensation, sous l'influence de la température extérieure, les tuyaux en fer dont se compose la conduite générale sont enveloppés d'un mastic conduisant mal la chaleur et composé de ciment, de poils de vache, de tourbe et de minium : les tubes des raccords sont formés de plusieurs couches de caoutchouc, séparées par cinq épaisseurs de toile.

L'appareil complet, installé sur une voiture mixte de première et de deuxième classe à quatre compartiments, revient à 790 fr.; les dépenses d'aménagement d'une locomotive et de son tender varient de 5 à 600 francs. La dépense de combustible, pour une différence de 20 à 22 degrés entre la température de l'air extérieur et celle de l'intérieur des voitures, est de 2 kilogrammes de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

houille, par voiture à quatre compartiments et par heure, soit 0 fr.06 c. Mais les frais d'entretien, sur lesquels on n'a pu encore porter un jugement certain, doivent être assez élevés, à cause de l'action corrosive de la vapeur sur le caoutchouc et les joints; les nettoyages sont, d'ailleurs, fréquemment nécessaires.

L'énergie calorifique de ce système est très-grande; seulement il est difficile de chauffer des trains composés de plus de douze voitures, à cause de la grande différence qui s'établit entre la température des premiers wagons et celle des derniers.

Signalons un autre inconvénient grave : l'application de ce système nécessite que le mécanicien vienne atteler sa machine en tête du train, environ une heure avant le moment de son départ, pour préparer le chauffage et envoyer deux fois de la vapeur dans les conduites. Il en résulte une augmentation du matériel de traction, et une perte de l'effet utile de chaque machine, obligée de fournir de la vapeur pour le chauffage, au moment où elle peut avoir besoin de développer un effort de traction maximum.

Avant le départ, on ouvre le robinet du dernier véhicule, un agent du trai s'assure que les soupapes de purge fonctionnent bien et que la vapeur finit par sortir sèche en queue du train; il ferme alors le robinet placé à l'extrémité de la conduite générale. Pendant la marche, l'envoi de la vapeur ne doit pas se faire d'une manière continue, mais par intermittences, afin de ne pas gêner l'écoulement de l'eau de condensation.

Ce système est grevé de tous les inconvénients qui sont communs à tous les modes de chauffage continu par la vapeur; Ainsi, les voitures à chauffer doivent être placées immédiatement après le tender; il est donc impossible d'appliquer ce système aux trains mixtes, où les wagons de marchandises sont généralement placés en tête du train. La condensation et la congélation de l'eau dans les conduites, en cas de négligence ou en cas d'avarie des appareils, est, d'ailleurs, un écueil qui peut annuler leur fonctionnement. Enfin, l'objection la plus répandue, c'est que le mode de liaison que l'on est obligé de réaliser entre les véhicules, rend impossible l'intercalation dans les trains de voitures étrangères, chauffées d'après un autre système, et très-difficile l'adjonction ou la suppression rapides d'une voiture dans un train de passage.

Sur le chemin de fer de Charles-Louis de Gallicie, les tuyaux de chauffe sont, comme on pouvait le voir sur les voitures exposées dans l'annexe de la Section Autrichienne, d'un très-fort diamètre, et ils sont munis de robinets qui permettent aux voyageurs de régler eux-mêmes l'admission de la vapeur dans les appareils qui coûtent 1,300 fr., pour les voitures de première et de deuxième classe, et 750 fr., pour celles de troisième classe.

Quant à la dépense de combustible, l'augmentation de la consommation est trop faible pour que l'on puisse la calculer.

2e *cas. Système Suédois.* — Au-dessous du plancher de chaque voiture, est monté un caniveau longitudinal *b* en planches (Pl. XXII, fig. 1 à 3), percé de petites ouvertures *e*, pour l'admission de l'air extérieur.

Dans ce caniveau est installé un tuyau cylindrique en fonte, muni à sa circonférence d'un grand nombre d'oreilles ou de nervures qui augmentent la surface de chauffe. Ce tuyau est terminé, à ses extrémités, par des boites où aboutissent les raccords entre les véhicules et où se trouvent les soupapes de purge *c*, servant à l'écoulement de l'eau condensée, et pouvant être ouvertes ou fermées de l'extérieur, à l'aide d'une tige *m*.

La vapeur empruntée à la locomotive circule dans cette conduite *a*, en échauffant l'air qui pénètre, sous les banquettes, par des ouvertures *q*, dans un tambour *n* garni de fil de fer; un bouton *h*, mis à la portée des voyageurs, permet d'incliner, à volonté, une valve destinée à régler l'admission de l'air chaud.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces appareils, dont le montage est réalisé sur le train exposé dans l'annexe de la Section Suédoise, sont construits par M. Lilliehöks et paraissent adoptés définitivement pour le chauffage des voitures, sur les chemins de fer de ce pays. La dépense d'installation est d'environ 150 francs par voiture.

Chauffage de l'air par la vapeur empruntée à une chaudière spéciale. — Ce système est appliqué par l'Est Prussien, la grande Société des chemins de fer russes, l'État Bavarois, la Compagnie Charles-Louis de Gallicie, l'État de Wurtemberg, etc.

Les chaudières spéciales, employées pour la production de la vapeur, sont verticales et tubulaires : elles sont installées dans un compartiment isolé d'un fourgon à bagages dont la position, dans le train, est assez variable.

Tantôt, comme le fait l'Est Prussien, ce fourgon est placé en tête du train, à moins que le nombre des voitures exige l'intercalation d'un deuxième fourgon qui chauffe toute la queue du train ; tantôt, comme le fait l'État Bavarois, le fourgon est placé au milieu du train, à moins que le nombre des voitures soit inférieur à six, auquel cas on le place devant le fourgon de queue. Dans tous les cas, le nombre des voitures que peut chauffer une chaudière spéciale ne dépasse guère quatorze, et la différence de température, entre l'extérieur et l'intérieur, est d'environ 18 degrés au départ et 12 à 15 degrés pendant la marche.

Les chaudières spéciales de l'Est Prussien, dont la surface de chauffe est de $4^{m},75$, vaporisent 4 kilogrammes d'eau par kilogramme de houille : la vapeur circule, dans toute la longueur du train, dans des conduites en fer ayant un diamètre intérieur de $0^{m},033$ et contournées, sous le châssis de chaque voiture, de manière que le raccord se fait, au moyen de tuyaux en caoutchouc, obliquement sous le tendeur et que l'on n'est pas obligé de tourner les voitures d'après la position de la conduite de vapeur, comme on doit le faire sur les chemins bavarois.

Le robinet de purge est fixé à un tuyau cintré, en cuivre rouge, qui réunit les deux tubes en caoutchouc formant le raccord avec chacun des deux véhicules.

Chaque compartiment est chauffé par un ou deux tuyaux, placés sous la même banquette et isolés du fond par un double écran en tôle, où circule de l'air : dans les troisièmes classes, un grillage en fer garantit le tuyau contre les pieds des voyageurs. Ceux-ci, dans les première et deuxième classes, ont à leur disposition des leviers de réglage qui leur permettent d'ouvrir à volonté des volets mobiles en bois, fermant le dessous des banquettes ; un index fixé à ces leviers se meut devant une plaque qui porte les mots « CHAUD », « FROID ».

Comme l'air renfermé sous les banquettes, au contact des tuyaux, s'échaufferait à l'excès, pendant tout le temps que les volets restent fermés, il peut, dans ce cas, s'échapper par une cheminée d'appel débouchant à l'extérieur et fermée par un registre que l'on manœuvre du même coup de levier que les volets ; par suite, en ouvrant les bouches, on ferme l'échappement d'air chaud.

Dans les voitures de quatrième classe, où l'entrée des voyageurs se fait par les extrémités, les tuyaux de vapeur s'étendent longitudinalement sous une enveloppe de tôle perforée, et sont munis de robinets de réglage spéciaux, pour l'échappement de l'air et l'écoulement de l'eau de condensation.

Les dépenses d'installation de ces appareils sont, d'après la direction, les suivantes :

Par voiture	de première	classe,	à quatre	compartiments,	750 francs.
—	deuxième	—	—	—	719
—	troisième	—	cinq	—	687
—	quatrième	—	un	—	575

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La dépense du chauffage s'élève à 0 fr. 25 c. ou 0 fr. 30 c., par voiture à quatre compartiments et par heure, y compris les frais d'entretien, mais non compris l'intérêt et l'amortissement des frais d'achat des appareils ci-dessus cités. D'après M. Regray, la dépense de combustible entrerait dans ce chiffre pour 0 fr. 06 c. environ.

Les chaudières spéciales doivent être attelées et mises en feu, environ deux heures avant le départ du train, et chaque train est accompagné d'un chauffeur spécialement chargé de la conduite de la chaudière et des appareils.

Ce système présente évidemment l'avantage que l'on peut régler absolument le chauffage d'un train d'après la température extérieure. Il ne nécessite pas, comme le précédent, l'attelage de la machine en tête du train, une heure avant son départ; seulement il faut que le matériel du train soit formé et prêt à partir très-longtemps à l'avance. Enfin, en cas de déraillement ou de collision, la présence d'une chaudière, placée au milieu du train, peut aggraver considérablement les suites de l'accident.

Aussi, d'après les ingénieurs bavarois, le système des chaudières est-il destiné à disparaître, pour faire place uniquement au système dans lequel la prise de vapeur est faite sur la locomotive.

La grande Société des chemins de fer russes, qui a adopté le système de M. le baron de Derschau, dispose les tuyaux de chauffe le long des parois longitudinales, au nombre de deux par voiture. Ces tuyaux inclinés portent, à leur extrémité supérieure, un robinet de purge d'air que l'on ouvre, avant de commencer le chauffage.

Cette disposition a l'avantage de donner une assez bonne répartition de la chaleur dans les voitures qui sont toutes à circulation centrale, et la différence de température peut atteindre 44 degrés; la vapeur est lancée par intermittences, et, lorsque le froid ne dépasse pas 3 degrés, les admissions de vapeur ont une durée de quinze minutes et sont séparées par des intervalles d'une demi-heure. La dépense de combustible est d'environ 3 kilogrammes de houille, par voiture et par heure.

Chauffage continu des chaufferettes à eau par la vapeur. — Ce système a été appliqué par la Compagnie des Charentes. Il consiste simplement à supprimer la manipulation des bouillottes qui, rendues fixes, sont réchauffées sur place par une injection de vapeur, faite d'heure en heure et empruntée soit à la machine motrice, soit à une machine de réserve.

Dans certains cas, la machine de réserve était amenée sur une voie latérale à celle où stationnait le train dans les gares; dans les autres cas, une conduite souterraine munie de raccords en caoutchouc mettait en communication cette machine avec les tuyaux de chauffage qui s'étendaient sur toute la longueur du train.

Ces tuyaux, d'un diamètre intérieur de $0^m,05$, donnent naissance, vis-à-vis de chaque compartiment, à un tube droit percé de cent cinquante trous et plongé horizontalement dans une caisse à eau qui est située au niveau du plancher et qui constitue une chaufferette recouverte d'une plaque de tôle striée. La vapeur, en se dégageant du tube, se mélange à l'eau et élève sa température : un vase d'expansion, d'une capacité de 2 litres, muni d'un tuyau de trop-plein et placé sous une des banquettes, assure la libre dilatation de l'eau contenue dans chaque chaufferette.

Les raccords des tuyaux de conduite, entre les véhicules, se faisaient à l'aide de tubes en caoutchouc, munis du raccord à vis ordinairement employé entre les locomotives et les tenders.

D'après les renseignements fournis par M. Plainemaison, ingénieur en chef

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du matériel de la Compagnie des Charentes, les dépenses de construction et d'installation se sont élevées approximativement aux sommes suivantes :

Appareils des voitures de		première classe,	471 francs.
—	—	deuxième —	540
—	—	troisième —	636

Pour chauffer à 100 degrés l'eau des bouillottes d'un train composé de trois à quatre voitures, il fallait 8 à 10 minutes, et pour le réchauffage, 6 à 8 minutes. Dans le cas de l'emploi des conduites souterraines, il fallait 15 minutes, dont 5 pour la conduite de 60 mètres de longueur.

La différence de température obtenue par ce mode de chauffage est d'environ 10 à 15 degrés, et ce résultat est assez maigre en comparaison des moyens mis en œuvre pour l'obtenir : il est vrai que l'on avait surtout en vue de chauffer les pieds des voyageurs.

M. Plainemaison évalue à 0 fr. 003 environ, par voiture et par heure, la dépense de combustible nécessaire pour le chauffage d'un train dont le trajet durerait dix heures. Néanmoins, il est à croire que ce chiffre n'était pas exact ou que l'on n'y faisait pas figurer d'importantes dépenses accessoires, car les expériences ont été abandonnées, par la raison que l'application générale de ce système a été jugée trop coûteuse.

Indépendamment des inconvénients qu'entraîne, d'une manière générale, le chauffage continu par la vapeur, on peut reprocher à ce système de n'être capable de chauffer qu'un nombre de voitures très-limité. La température des chaufferettes va en diminuant, à mesure que l'on s'éloigne de la tête du train. Il est à remarquer, d'ailleurs, que la durée du réchauffage exige un stationnement au moins aussi long que le temps d'arrêt nécessaire pour remplacer les bouillottes mobiles; enfin les conditions d'installation de ce service par la Compagnie des Charentes étaient peu favorables à sa réussite. Il est certain que la nécessité d'amener une machine de réserve sur une voie de garage spéciale, pour fournir de la vapeur, était gênante; d'un autre côté, la plupart des trains étant mixtes devaient se déformer dans les stations principales et il était, par suite, difficile d'employer la machine du train pour le chauffage.

Chauffage par circulation d'eau chaude. *Système Belleroche.* — M. Belleroche, ingénieur en chef de service du matériel et de la traction du chemin de fer du Grand Central Belge, a imaginé de faire refouler, dans un circuit placé sous les pieds des voyageurs et partant du tender pour revenir au tender, un jet d'eau réchauffée et aspirée par un injecteur quelconque. L'eau qui a circulé dans le train retourne dans le tender ou se rend directement, en partie à l'injecteur de chauffage, en partie à l'injecteur d'alimentation et de la chaudière.

A cet effet, sur la machine sont montés deux injecteurs munis de robinets à trois voies qui permettent de diriger à volonté leur jet soit dans la chaudière, soit dans le train. Le seul passage de l'eau dans l'un de ces injecteurs, spécialement affecté au chauffage, suffit pour lui donner l'impulsion et la température nécessaires pour parcourir le circuit et chauffer le train.

Le circuit se compose de deux conduites générales, s'étendant sur toute la longueur du train; l'une d'elles est parcourue par l'eau qui s'éloigne du tender, et l'autre, par l'eau qui y retourne; à sa rentrée, une partie de l'eau est aspirée par l'injecteur *de chauffage*, et l'autre partie se rend dans un réservoir où elle est aspirée par l'autre injecteur, dit de *remplissage*, qui la refoule dans la chaudière.

Pour donner à l'eau qui circule dans le train une température variant avec le nombre des voitures attelées et avec la température extérieure, le mécani-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cien surchauffe l'eau injectée, au moyen d'un petit filet de vapeur amenée par un tuyau spécial à la rotule d'accouplement entre le tender et la locomotive.

Un robinet de vidange sert à vider la conduite, après que l'injecteur de chauffage a été fermé, toutes les fois que le train doit changer de composition ou lorsque la machine doit se découpler, ou enfin avant l'arrivée à destination.

Lorsque le train a une grande longueur et si l'on veut que la mise en marche du chauffage soit rapide, on ouvre, à l'extrémité de la conduite, un robinet spécial qui laisse écouler l'eau sur la voie; dans ce cas, on lance, dans la conduite de départ et dans celle du retour, le jet des deux injecteurs jouant à la fois.

Les raccords des conduites entre les véhicules sont formés de tubes recourbés en caoutchouc, de $0^m,011$ d'épaisseur, et recouvert de plusieurs plis de toile. Ils sont disposés horizontalement et en croix de manière que l'on ne soit pas obligé de tourner les voitures dans un sens déterminé pour les accoupler. La garantie de la fermeture de ces raccords est de deux ans.

Les chaufferettes en fonte C, dont un croquis (fig. 4, Pl. XXIII) indique la disposition détaillée, sont divisées en deux parties par une cloison transversale A; une partie est chauffée par l'eau de départ, et l'autre, par l'eau de retour : des cloisons longitudinales B forcent l'eau à circuler dans toute la longueur de chacune de ces parties. Les chaufferettes C sont logées dans le plancher et leur fond est formé de deux plans, inclinés vers le milieu de la voiture, afin d'obvier au cas où il y aurait, dans le plancher, un défaut d'horizontalité. Dans le même but, les chaufferettes du milieu de la voiture sont placées un peu plus haut que celles des extrémités.

Le système Belleroche, mis en service régulier, depuis 1876, sur tous les trains de voyageurs de la ligne de Sambre et Meuse, ainsi que sur un train de la ligne de Charleroi à Anvers, en 1878, donne des résultats satisfaisants et très-appréciés du public. Comme tous les systèmes où l'on fait usage de chaufferettes, celui de M. Belleroche a, en effet, l'avantage de chauffer les pieds des voyageurs plutôt que l'air du compartiment, qui se maintient à une température de 10 à 14 degrés, et c'est là une condition essentiellement hygiénique.

La diminution de la température de l'eau, dans sa circulation, n'est pas aussi considérable qu'on pourrait le croire; on peut l'évaluer à 1 degré environ, par voiture entrant dans la composition du train.

La consommation de combustible par voiture et par heure est d'environ 625 grammes de houille, auxquels il faut ajouter un chiffre constant représentant la consommation nécessaire pour deux mises en train pendant la journée.

Les trains de plus de quinze voitures exigent une surchauffe de l'eau de départ. Les trains de quinze voitures et au dessous sont chauffés d'une façon intermittente. Sur la ligne de Charleroi à Anvers, où les trains comportent cinq voitures et deux fourgons, le mécanicien chauffe entre deux stations et passe deux stations sans chauffer, de manière que l'injecteur de chauffage ne fonctionne que le tiers du temps environ.

Les prix des appareils, montage compris, sont, d'après l'inventeur, les suivants :

Locomotive.	700 francs.
Voiture de première classe.	443
— deuxième.	493
— troisième	543
Fourgons.	237
Raccords en caoutchouc.	14 fr. le kilogr.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 3. — *Chauffage à discontinuité restreinte, par des poêles.*

Avantages et inconvénients des poêles. — Lorsqu'il s'agit de chauffer des voitures, la première idée qui se présente à l'esprit, c'est d'employer des poêles. C'est, en effet, le procédé le plus simple et le plus économique, à la condition toutefois qu'il soit exclusivement appliqué au matériel dit « Américain », dans lequel chaque voiture ne forme qu'une seule salle; car l'installation des poêles serait peu praticable et peu économique dans des véhicules à compartiments séparés.

Le chauffage est extrêmement rapide et l'on peut ne mettre les appareils en feu que très-peu de temps avant le départ du train.

Mais les poêles présentent des inconvénients assez graves; le chauffage obtenu n'est pas agréable, tant à cause de l'influence des gaz délétères qui peuvent s'échapper du foyer en se tamisant, que par la disposition des couches d'air chaud qui se superposent par ordre de densité; les plus légères c'est-à-dire les plus chaudes, s'élevant à la partie supérieure, la tête des voyageurs se trouve exposée à une température beaucoup plus élevée que la partie inférieure de leur corps. La chaleur se répand, en outre, inégalement dans les diverses parties de la voiture, et, dans nos pays où l'on n'est pas habitué à ce mode de chauffage, les voyageurs se disent, avec quelque raison, incommodés par le voisinage du poêle, tandis que les places extrêmes sont peu ou point chauffées : la différence de température des couches d'air, dans une même voiture, peut, dans certains cas, dépasser 6 degrés.

Chaque voiture portant en elle un foyer incandescent, indépendamment des dangers directs d'incendie auxquels on se trouve exposé, des accidents, tels qu'un déraillement ou une collision, peuvent être rendus très-graves par l'éparpillement des charbons ardents projetés hors du foyer au moment du choc. C'est ainsi que, le 24 octobre 1875, sur la ligne d'Odessa, un train mixte renfermant 420 conscrits ayant déraillé sur un remblai de 32 mètres de hauteur, 67 conscrits furent brûlés dans l'incendie des voitures et 40 furent grièvement atteints.

L'installation d'un poêle, dans l'intérieur d'une voiture, réduit, en outre, le nombre des places et diminue l'effet utile du transport en supprimant près de quatre stalles. Enfin les agents du train sont astreints à une surveillance et à un entretien continuels.

Malgré ces inconvénients, un grand nombre de Compagnies de chemins de fer allemands, la Russie, la Suisse, la Sudbahn et l'État Autrichien, en un mot, les pays où le chauffage a une importance prépondérante et une longue durée, ont adopté ce système pour le chauffage des troisième et quatrième classes, où les compartiments communiquent généralement entre eux et sont habités par un public moins délicat qu'on ne l'est, en général, en France.

Il en résulte qu'il existe une grande quantité de modèles de poêles appliqués au chauffage des voitures. Il nous suffira d'en citer quelques-uns, sans entrer dans des détails que ne comportent ni le cadre de cette étude, ni l'intérêt du sujet.

Poêles allemands. — La plupart des Compagnies allemandes font usage de poêles pour le chauffage des troisième et quatrième classes.

Les appareils employés sont généralement formés d'une colonne centrale, où se fait la combustion, et d'une ou de plusieurs enveloppes en tôle, où circule l'air chaud qui débouche à la partie supérieure du compartiment. Le chargement se fait tantôt de l'intérieur, tantôt de l'extérieur de la voiture : ce der-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nier système est évidemment le plus incommode, puisque l'on est obligé de hisser le combustible sur le dessus des voitures.

Le chemin de Berg Marche emploie un appareil par voiture : c'est un poêle en fonte, à chargement intérieur, brûlant de la houille et muni de deux enveloppes concentriques en tôle. L'air chaud sort à la base et à la partie supérieure de la cheminée. On évalue la dépense à 0 fr. 05 c. par voiture et par heure. La Compagnie se déclare satisfaite de ce mode de chauffage; mais on ne dit pas si le public est du même avis.

Les chemins de fer royaux de Saarbruck appliquent au chauffage de leurs voitures-salons un poêle alimenté par le charbon de bois. Cet appareil est formé d'une colonne cylindrique, en fonte, reposant sur le plancher et au contact de laquelle s'échauffe l'air du compartiment. La colonne sort à l'extérieur, et, au-dessus du pavillon de la voiture, se trouve un couvercle à soupape par où se fait le chargement : les portes de la chambre de combustion et du cendrier sont fermées à l'aide de clefs spéciales, dont les agents sont seuls munis. Les produits de la combustion s'échappent, à la partie inférieure, dans un espace annulaire d'où ils se rendent dans une cheminée à cloche, d'une hauteur de $0^{m},70$. Complètement remplis, ces poêles chauffent pendant une durée de dix-huit à vingt heures. Leur prix est de 512 fr., y compris les frais d'installation.

Les chemins de fer de Nassau font usage d'un poêle en fonte, muni d'une enveloppe en tôle dont la section a la forme d'un carré à pans coupés. On le charge et on l'entretient de l'intérieur de la voiture. Le prix de l'appareil est de 75 fr. seulement. Mais le chauffage d'une voiture à quatre compartiments revient à 0 fr. 16 c. par heure et, d'après l'aveu de la Direction elle-même, la conduite du feu nécessite des précautions spéciales pour éviter la rentrée de la fumée et les chances d'incendie de la voiture.

Les chemins de Main-Weser et l'État de Hanovre emploient un poêle carré en fonte, armé de nervures destinées à augmenter la surface de chauffe et enveloppé d'un manteau de tôle mince où circule l'air à échauffer (Pl. XXII, fig. 9). De part et d'autre se trouvent latéralement des écrans doubles A, à circulation d'air, pour garantir les voyageurs contre l'excès de chaleur. Le combustible, qui est de la houille, est chargé de l'intérieur de la voiture et une cloison B garnie de terre réfractaire force la fumée à redescendre avant de se dégager par le tuyau.

Au point où la cheminée traverse le pavillon de la voiture, elle en est isolée par une couche d'air, une feuille de tôle et une couche de terre glaise battue entre cette feuille de tôle et les frises de la couverture. L'air chaud s'échappe à la partie supérieure par des trous percés sur trois des faces du manteau en tôle. Dans la cloison qui sépare le compartiment de celui des dames seules, sont installés, à la partie supérieure, un grillage qui laisse pénétrer l'air chaud et à la partie inférieure une rentrée d'air.

Le prix du poêle de l'État de Hanovre, avec le manteau en tôle, la cheminée et les frais d'installation, est de 337 fr. 50 c. Pour un voyage de trois à quatre heures, il suffit de remplir une fois les poêles et le prix de revient est, par heure, de 0 fr. 078 pour une voiture de troisième classe à cinq compartiments.

Le poêle du Main-Weser dont les assemblages sont à emboîtements ne coûte que 250 fr. pour les voitures de troisième classe et 212 fr. pour celles de quatrième classe. La différence de température qu'il permet d'obtenir est d'environ 28 degrés et la dépense par heure et par voiture à quatre compartiments est d'environ 0 fr. 184.

L'État de Wurtemberg chauffe les voitures de toutes classes à l'aide de poêles,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au bois ou à la houille, adossés aux cloisons. Mais comme on a reconnu que la répartition de la chaleur était très-mauvaise, que l'installation de ces appareils supprimait quatre places par voiture, la Direction paraît décidée à rechercher l'application d'un autre système de chauffage.

Poêles autrichiens. — Tandis que la Sudbahn, qui avait d'abord monté sur toutes les voitures de troisième classe le poêle Maüch et Brock, le remplace par le poêle Blazicek dont l'effet utile est généralement supérieur, l'État Autrichien conserve le premier de ces systèmes qu'il trouve très-suffisant.

Nous n'insisterons pas sur l'appareil Maüch et Brock, qui a de grandes affinités avec le poêle de Berg et Marche décrit plus haut et qui n'en diffère que par la mitre qui surmonte la cheminée et par les précautions prises pour isoler cette dernière du pavillon de la voiture : on interpose, à cet effet, une couronne faite d'un mélange de terre glaise et de bourre.

La disposition du poêle Blazicek est assez ingénieuse : la grille est verticale et forme une sorte de panier à combustible au-dessus duquel se trouve un couvercle de chargement. Ce poêle ne comportant aucune circulation d'air chaud, pour éviter le rayonnement direct des parois incandescentes, on l'a simplement substitué au poêle Maüch et Brock, dans le manteau en tôle qui enveloppe ce dernier.

La différence de température obtenue à l'aide de ce système est, en moyenne, de 17°,5. Le prix de revient des appareils est de 246 fr., y compris les frais d'installation, et la dépense de combustible est d'environ 0 fr. 037 par voiture et par heure.

A ce double point de vue, il est donc plus coûteux que le poêle qu'il est appelé à remplacer, puisque sur les lignes de l'État Autrichien, le poêle Maüch et Brock revient à 117 fr. 50 c., somme à laquelle il faut ajouter annuellement environ 8 fr. pour les réparations, le ramonage et le démontage, et qu'il nécessite une dépense de 0 fr. 024 seulement, par voiture et par heure.

Poêles russes. — Les poêles employés par le chemin de fer Nicolas, les chemins de Mittau, de Sébastopol et d'Azof, se rapportent uniformément au type de poêle en fonte muni de nervures et entouré d'une envlopppe en tôle où circule l'air chaud. Leur *effet utile,* c'est-à-dire la différence de température qu'ils permettent d'obtenir est de 17 degrés environ. Les compartiments où ne se trouve installé aucun appareil sont chauffés soit en laissant ouverte la porte de communication, soit par des ouvertures ménagées dans les cloisons de séparation, soit enfin au moyen de conduits spéciaux.

Le chemin de fer Nicolas emploie, en outre, un poêle américain du système James Spear, remarquable par la disposition de la circulation d'air. L'air froid entre à la partie supérieure par un entonnoir qui est placé au-dessus du pavillon de la voiture et dont l'embouchure est modifiée, suivant le sens de la marche du train, par l'existence d'un clapet mobile. Il s'échauffe méthodiquement dans une enveloppe en tôle qui entoure le poêle et s'échappe à la partie inférieure des compartiments dans des conditions relativement plus hygiéniques.

Le chemin de Losowo-Sébastopol emploie un autre système de poêle calorifère enfermé dans un placard et dans lequel les produits de la combustion, avant de s'échapper, sont obligés de circuler dans une série de quatre tuyaux verticaux dont le premier est en fonte, les deux suivants en tôle et le quatrième en cuivre.

Sur les chemins de Kursk, d'Azof, de Finlande, les voitures sont, en outre, munies de ventilateurs du système Kræmer dont nous donnons un croquis (Pl. XXIII, fig. 9).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il se compose d'une ouverture A, munie à l'intérieur d'une fermeture à papillon B, et placée sur la paroi longitudinale de la voiture : à l'extérieur, une valve pivotante *c*, que l'on dirige à l'opposé du sens de la marche du train, détermine la ventilation par aspiration.

Poêles Meidinger, adopté par les chemins de fer de la Suisse. — C'est un cylindre en tôle où le chargement du combustible, bois ou coke, se fait à la partie inférieure, et qui est divisé dans sa hauteur par une cloison en briques réfractaires servant à chicaner la fumée. L'air à échauffer circule dans une enveloppe en tôle, percée de trous en bas et en haut. Ce poêle revient à 120 fr. et la dépense de son installation dans une voiture est d'environ 10 fr., son effet utile est de 20 à 22 degrés, mais il nécessite un entretien fréquent et supprime quatre places.

Poêle calorifère essayé par la Compagnie de l'Est. — Dans le cours des essais qui ont eu pour résultat le rejet du chauffage par les poêles, la Compagnie de l'Est a appliqué le poêle calorifère de la Compagnie parisienne du Gaz, où le chargement se fait par la partie supérieure et où le chauffage est produit à la fois par le rayonnement direct et par une circulation d'air chaud. L'air frais, arrivant de l'extérieur par un entonnoir bitubulé placé sous le plancher, circule dans une enveloppe en tôle autour des produits de la combustion qui s'échappent à l'intérieur d'une première enveloppe concentrique.

Le poêle, installé à la place de la stalle médiane d'une des banquettes du compartiment central d'une voiture de première classe, dans une sorte de niche en bois garnie de tôle, donnait lieu à un chauffage très-inégal des différentes parties de la voiture, bien que l'effet utile ait été en moyenne de 15 degrés. Devant la répugnance marquée des voyageurs, on a renoncé à l'installation de ces appareils, dont le prix de revient était d'environ 250 fr. et qui coûtaient en combustible 0 fr. 044 par heure et par voiture de troisième classe, chiffre relativement peu élevé.

§ 4. — *Chauffage à discontinuité restreinte, par des calorifères.*

Avantages et inconvénients des appareils à air chaud. — Les appareils à air chaud, fort répandus en Autriche et surtout en Suisse, pour le chauffage des voitures dans les trains, sont presque tous fondés sur le même principe et ne diffèrent que par des dispositions de détail.

Ces appareils, que l'on peut entretenir de l'extérieur, sans pénétrer dans les voitures, donnent une forte élévation de température; mais, comme l'air a une capacité calorifique très-faible, la quantité de chaleur emmagasinée est rapidement détruite dès que l'on ouvre les glaces et les portières. D'ailleurs, comme pour les poêles, le chauffage est malsain tant à cause de la distribution des couches d'air par ordre de densité que par la nature même de l'air qui se charge d'oxyde de carbone, gaz essentiellement délétère.

Appareil Thamm et Rothmüller. — Ce système de calorifère a été appliqué par les chemins rhénans, ceux du grand-duché de Bade, la Compagnie autrichienne de la Sudbahn, et, avec quelques modifications, par les Compagnies du Central Suisse et de l'Union Suisse. Nous prendrons pour type l'appareil mis en service par la Sudbahn sur un certain nombre de voitures de première classe (Pl. XXII, fig. 8).

Dans ce système, le foyer cylindrique et horizontal, placé transversalement au-dessous du châssis de la voiture, reçoit par une porte de chargement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un panier de combustible A, contenant un mélange de coke et de charbon de bois.

L'air nécessaire à la combustion arrive à la partie inférieure, en B, et la fumée s'échappe par l'extrémité opposée à la porte, dans un conduit plusieurs fois recourbé, terminé par une double manche d'aspiration C. L'air à échauffer provenant, en partie de l'extérieur, en partie de la voiture, circule dans une double enveloppe en tôle D E concentrique au foyer. L'air chaud passe ensuite dans des conduites en tôle F qui débouchent aux deux extrémités de la voiture.

Le coffre en bois G, qui contient l'ensemble de l'appareil, est garanti contre le refroidissement extérieur par des écrans H, à circulation d'air, et séparé du châssis par une couche de terre réfractaire contenue entre deux tôles. Des ventilateurs par appel, munis de papillons de réglage, sont fixés au pavillon de la voiture.

L'allumage doit être fait très-longtemps avant le départ; mais, une fois en marche, une charge de 11 kilogrammes dure, en moyenne, pendant huit heures. L'effet utile obtenu est d'environ 13 degrés. Le prix de revient de l'appareil est fort élevé, à peu près 810 fr. par voiture; quant à la dépense de combustible, elle est de 0 fr. 095 par voiture et par heure.

Appareil Maëy, appliqué par la Compagnie du Nord-Est en Suisse. — Dans ce système, le foyer, placé au-dessous de la voiture, est vertical et se charge par une porte s'ouvrant vers la partie supérieure : les produits de la combustion s'échappent par le bas et la cheminée dans laquelle ils circulent est entourée d'une enveloppe en tôle où passe l'air froid venant de l'extérieur; une seconde enveloppe garantit l'air chaud contre le refroidissement extérieur. Les deux enveloppes communiquent avec des bouches placées sous les banquettes.

L'effet utile obtenu par ce mode de chauffage est de 22 degrés; le prix d'établissement est de 480 fr. par voiture, et la dépense de combustible, de 0 fr. 08 c. par voiture et par heure.

Le calorifère Maëy a l'inconvénient d'exiger de fréquents chargements de coke, espacés d'une heure et demie au plus; l'allumage doit être fait une heure d'avance, si l'on veut chauffer les voitures avant le départ.

Appareil des Dombes. — La Compagnie des Dombes et du Sud-Est paraît avoir adopté, d'une manière définitive, pour le chauffage de ses voitures qui sont toutes à circulation centrale, un système de calorifère à foyer amovible qui diffère des précédents par l'installation de l'appareil, qui est placé soit dans un angle, à l'intérieur de la voiture, soit dans une cloison si la voiture est mixte.

Après l'allumage du charbon de Paris qui sert de combustible, on suspend le foyer à une cloche en fonte qu'une tubulure raccorde à la cheminée. L'air froid est introduit dans une enveloppe concentrique, par une trompe que l'on doit orienter suivant la marche du train; il s'échauffe au contact du foyer et circule dans des conduits en tôle qui, dans les voitures de première et de deuxième classe, aboutissent à des chaufferettes en cuivre poli, et, dans les voitures de troisième classe, à des bouches de chaleur placées près du plancher.

D'après les renseignements fournis par la Direction, l'effet utile atteindrait 30 degrés, et la température des chaufferettes de première classe, 70 degrés. Le prix des appareils est de 180 fr. et la dépense de combustible paraît très-élevée, 0 fr. 457 par voiture et par heure, sans doute à cause de l'emploi du charbon de Paris qui est un combustible coûteux.

Pas plus que les calorifères précédents, celui des Dombes n'applique le chauffage méthodique, dans lequel l'air circule en sens inverse des produits de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la combustion. Il est étrange qu'aucun inventeur ou constructeur n'ait songé à mettre en pratique un principe aussi élémentaire du chauffage. Toutefois, l'on doit reconnaître que les inconvénients, provenant du contact de l'air fourni pour la respiration avec des parois fortement échauffées, sont en partie évités dans le système des Dombes.

Appareil Kiénast et Grandvallet. — Ce calorifère, disposé de manière à utiliser, autant que possible, la chaleur dégagée par les produits de la combustion, consiste en une caisse en fonte A, de forme à peu près cylindrique, placée transversalement au-dessous du véhicule (Pl. XXIII, fig. 4 *bis* et 5). Elle renferme trois serpentins en cuivre rouge à quatre circonvolutions, où l'air à échauffer pénètre par trois boîtes C munies de clapets D, pour la fermeture des pavillons de prise d'air, et de registres *d*, pour le nettoyage; des deux clapets D, on n'ouvre que celui qui correspond à la marche du train. L'air chaud est conduit à des bouches de chaleur placées sous les banquettes.

Au milieu des serpentins est le foyer qui se compose d'un panier E à combustible horizontal, que l'on peut introduire par une porte centrale de chargement F. De petites ouvertures *a* et *b*, pratiquées dans la caisse A, servent à l'introduction de l'air nécessaire à la combustion et à l'échappement des produits.

On y brûle soit des briquettes spéciales, soit de la braise nitratée.

Le prix de revient est de 800 fr. par voiture, et la dépense de combustible est de 0 fr. 15 c. ou de 0 fr. 072, selon que l'on emploie de la braise ou de la houille; l'appareil est donc fort coûteux, surtout si l'on tient compte que son effet utile a été presque nul dans les essais tentés par la Compagnie de l'Est.

Des résultats analogues ont été constatés dans les essais qu'en a faits l'État Belge, et, de plus, il a été reconnu que l'appareil ne fonctionnait pas au repos, ce qui empêche de chauffer les voitures avant le départ des trains.

Appareil Mousseron. — Nous ne croyons pas devoir entrer dans de grands détails à propos de cet appareil qui a été également essayé par la Compagnie de l'Est et qui a été rejeté à cause de la faiblesse de l'effet utile auquel il donne lieu, 10 degrés au plus.

Le foyer était entouré de deux enveloppes se rendant, d'une part, à des bouches placées sous les banquettes et, d'autre part, à des chaufferettes en tôle placées sous les pieds des voyageurs. La distribution de la chaleur se faisait très-inégalement dans chaque compartiment : il est vrai que la température des chaufferettes se maintenait, en moyenne, à 47 degrés.

Le poids considérable des appareils, leur prix élevé, ainsi que la forte dépense de combustible, mis en présence d'un effet utile aussi peu satisfaisant, enfin la répugnance des voyageurs pour ce mode de chauffage, en ont motivé le rejet.

§ 5. — *Chauffage à discontinuité restreinte, par l'eau chaude.*

Appareils à circulation d'eau chaude. — Ces appareils, connus sous le nom de thermo-syphons, reposent sur le principe suivant : une chaudière, au centre de laquelle se trouve un foyer, communique avec une canalisation fermée et munie d'un vase d'expansion, de telle manière que l'eau échauffée circule dans les conduites et revient au point de départ après avoir abandonné un certain nombre de calories.

Ce mode de chauffage est appliqué aux voitures de chemins de fer; chaque véhicule porte des appareils indépendants et la canalisation est formée par des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tuyaux de chauffe placés sous les banquettes ou par des chaufferettes installées sous les pieds des voyageurs.

D'après M. Regray, ce dernier système présente les avantages suivants :

1° Il maintient sous les pieds des voyageurs une température constante d'environ 60 degrés ;

2° Il élève la température intérieure de la voiture d'environ 10 degrés au-dessus de la température extérieure sans compromettre la salubrité ;

3° Il évite la manipulation des chaufferettes et l'ouverture de portières lors de leur renouvellement ;

4° Il évite l'accouplement des voitures au moyen de tuyaux dont les raccords ne sont jamais parfaitement étanches ;

5° Enfin l'emploi de l'eau, qui a une capacité calorifique considérable, est rationnel parce qu'elle forme comme une sorte de volant de chaleur qui met les voyageurs à l'abri des changements brusques de température.

Mais, d'autre part, il présente les inconvénients de tous les appareils nécessitant un foyer par voiture, entretien, réparations, danger en cas d'accident ; de plus, l'existence de tuyaux qui sont remplis d'eau exposée à la congélation peut être gênante si l'on interrompt le chauffage et il faut beaucoup de temps pour commencer à chauffer une voiture. Toutefois, il faut reconnaître que les chances d'incendie sont considérablement atténuées par la position qu'occupe le foyer au milieu de la masse d'eau. Enfin, il faut compter sur la nécessité de vider de temps en temps les chaufferettes, et la plus grande sujétion que leur vidange entraîne est précisément leur remplissage ultérieur.

Nous distinguerons deux cas, suivant que le chauffage des compartiments est réalisé au moyen de simples tuyaux de chauffe placés sous les banquettes, ou au moyen de chaufferettes fixes encastrées dans le plancher de la voiture.

1° *Appareil Weibel et Briquet.* — Dans l'appareil Weibel et Briquet, essayé par la Suisse occidentale et la Compagnie de l'Est français, chaque voiture porte, à l'un des angles, une chaudière cylindrique renfermant, au centre, un foyer à coke muni d'une trémie de chargement et d'une cheminée verticale pour le dégagement des produits de la combustion.

La colonne ascensionnelle, pour le départ de l'eau, s'élève jusqu'à la partie supérieure de la voiture et est mise en communication, d'une part, avec le vase d'expansion en tôle muni d'un flotteur indicateur en zinc et d'un couvercle-entonnoir pour le remplissage, d'autre part avec une double conduite de descente qui aboutit à des tuyaux de chauffe en cuivre rouge placés sous les banquettes de chaque compartiment et accouplés deux à deux ; la conduite de retour est placée à l'extérieur de la voiture, du côté opposé à celle de départ.

La chaudière porte, à la partie inférieure, une tubulure à laquelle est fixé le robinet de vidange de l'appareil dont le poids total est, à vide, de 400 kilos et dont la capacité est de 100 à 120 litres.

M. Regray en évalue le prix d'installation à 800 fr. environ ; le prix de revient du chauffage serait de 0 fr. 08 c. par heure de marche et par voiture, et de 0 fr. 052 par heure de stationnement. L'effet utile s'est toujours maintenu entre 11 et 14 degrés et la répartition de la chaleur a paru bonne.

L'emploi des tuyaux de chauffe a cependant certains inconvénients : l'air chaud s'accumule à la partie supérieure de la voiture, quoique avec moins d'intensité que dans le chauffage par les calorifères. Des fentes peuvent se produire dans les diverses parties de la canalisation. Le ramonage de la cheminée, nécessaire au bout de cent heures de fonctionnement, est assez difficile. Enfin, le vase d'expansion étant placé à la partie supérieure du pavillon de la voiture, le remplissage en est incommode et il est exposé à la gelée.

2° *Thermo-syphon de l'Est.* — La Compagnie de l'Est a essayé et monté défi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nitivement certain nombre d'appareils à circulation d'eau chaude où les chaufferettes remplacent les tuyaux de chauffe (Pl. XXII, fig. 4, 5, 6, 7).

Dans ces appareils, la chaudière en fonte A, d'une forme prismatique, renferme un foyer B muni d'une trémie C recourbée pour le chargement du coke et elle est protégée par une garniture de feutre D et une enveloppe en tôle. On la fixe vers le milieu de la voiture, au-dessous de l'un des brancards, et elle communique par des tubulures avec une double canalisation extérieure en cuivre rouge; l'une de ces conduites E, servant au départ de l'eau chaude, communique, avec une extrémité de chaque chaufferette et est protégée par une épaisse enveloppe de feutre roulé en spirale et recouvert de toile et de peinture; l'autre, F, pour le retour de l'eau refroidie, communique avec l'autre extrémité de chaque chaufferette et est protégée sur une partie de sa longueur seulement.

Les chaufferettes G, encastrées dans le plancher, sont en fonte striée; on les ferme, à leurs deux extrémités, par des couvercles à joints plats H et elles présentent une surface de chauffe de près d'un demi-mètre carré. Elles sont, d'ailleurs, munies d'un purgeur d'air I, dont l'existence permet de les remplir complètement d'eau, sans interposition d'aucun matelas d'air.

Le vase d'expansion J, qui est formé d'une simple boîte, en fonte est placé à l'intérieur des voitures, soit sur la conduite de retour, soit sur celle de départ, suivant la classe de la voiture. Il contient un tuyau de trop-plein K, pour l'écoulement de l'excès d'eau provenant de la dilatation.

La capacité des appareils varie entre 80 et 115 litres, et leur poids, entre 550 et 750 kilos, non compris les pièces en bois. La dépense de combustible est relativement faible; elle s'élève à 0 fr. 056 par heure, pour une voiture en marche, et à 0 fr. 032, pendant le stationnement; l'effet utile obtenu est de 12 à 15 degrés. Mais le prix des appareils est assez élevé : il est, en effet, de 720 fr. par voiture de troisième classe.

Une autre disposition de thermo-syphon a été appliquée, par les chemins de fer rhénans, au chauffage d'une voiture-salon : la chaudière verticale et cylindrique est suspendue entre les tampons et le vase d'expansion est fixé à l'autre extrémité contre la paroi de la voiture. L'eau chaude sort de la partie supérieure de la chaudière, se rend dans les chaufferettes et revient à la partie inférieure de cette chaudière. La consommation de houille est de 25 kilos par vingt-quatre heures, stationnement compris, et les frais d'installation, de 560 fr. environ.

3° *Système Lemeunier.* — Le but de l'inventeur a été de diminuer, jusqu'à la dernière limite, le volume d'eau à employer, le poids, le prix et les frais d'installation des appareils.

L'appareil, renfermé au-dessous du châssis de la voiture, dans un coffre prismatique en fonte A, de 30 centimètres de côté, se compose, comme l'indique la fig. 6 *bis* de la planche XXIII, d'une lampe à gaz B entourée d'une mince enveloppe de tôle C, où se trouve renfermée l'eau à échauffer. Au-dessus de cette chaudière minuscule, est installé un vase d'expansion D caché par la banquette.

Les chaufferettes, qui communiquent avec cet appareil par des tuyaux, sont formées de deux compartiments E en cuivre rouge très-mince; l'un d'eux constitue la conduite de départ et l'autre, la conduite de retour du courant d'eau. Leur fond replié et rivé établit entre elles et le plancher une sorte de canal F servant à produire une circulation d'air.

Il y a une chaufferette par compartiment et deux chaufferettes forment un système alimenté par le même appareil; il en résulte qu'il y a, en général, deux appareils par voiture à quatre compartiments. Le volume d'eau employé est de 12 à 15 litres par voiture, pour une surface de chauffe de 2 mètres car-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rés, ce qui représente un rendement considérable. Ajoutons que le poids des appareils ne dépasse pas au total 150 kilos, c'est-à-dire à peu près le même poids que celui des chaufferettes mobiles nécessaires au chauffage d'une voiture par le procédé ancien.

Mais ces avantages sont compensés par le peu de chaleur que l'on emmagasine dans un espace aussi restreint, par l'extrême délicatesse des appareils, le nombre des lampes à éteindre ou à alimenter, les difficultés de remplissage et de vidange, et surtout par la dépense de combustible.

Si l'on emploie l'huile de colza pour alimenter les lampes, comme l'a fait le Grand-Central Belge dans ses essais, la consommation par heure et par appareil est de $0^{kg},12$; la dépense est donc de près de 0 fr. 30 c. par voiture et par heure, c'est-à-dire six fois la dépense du chauffage par les chaufferettes mobiles. Quant au gaz comprimé qui a été expérimenté par l'État Belge avec d'autant plus de raison que l'éclairage de ses voitures se fait déjà à l'aide de ce gaz, la dépense est d'environ 0 fr. 06 c. par voiture; elle se rapproche donc davantage de la moyenne admise.

Emploi de l'eau surchauffée. — M. Sartiaux, ingénieur des ponts et chaussées, sous-chef de l'exploitation au chemin de fer du Nord, a indiqué un procédé dont M. Delebecque, ingénieur du matériel de cette Compagnie, étudie, en ce moment, la réalisation et qui, sans présenter les inconvénients résultant de la continuité et de la présence d'un ou de plusieurs foyers par voiture, éviterait, comme le thermo-syphon de la Compagnie de l'Est, la manipulation coûteuse des chaufferettes, supprimerait l'ouverture des portières et enfin chaufferait les pieds des voyageurs.

Dans ce système, chaque compartiment serait muni de chaufferettes fixes, encastrées dans le plancher et disposées à peu près comme celles de l'appareil à thermo-syphon de l'Est ou comme la chaufferette à vapeur des Charentes. L'eau de chaque voiture serait réchauffée, dans certaines gares, voiture par voiture, au moyen d'une seule injection de vapeur.

A cet effet, une ou plusieurs chaudières mobiles montées sur des roues et non munies d'un foyer, comme celles du système Lamm, d'une capacité de 4 à 600 litres environ, contenant de l'eau surchauffée sous une pression de 6 à 7 atmosphères, seraient amenées à proximité d'une tubulure communiquant par des tuyaux avec les quatre chaufferettes de chaque voiture : une injection d'une durée très-courte, une à deux minutes au plus, suffirait pour donner à l'eau des chaufferettes une température de 80 degrés. L'eau des chaudières mobiles serait elle-même réchauffée par de la vapeur empruntée à des appareils analogues à ceux qui existent actuellement. Nous ne pouvons encore donner de détails plus précis sur cette solution qui est encore à l'étude, mais qui paraît, au premier abord, éminemment pratique.

§ 6. — *Chauffage à discontinuité absolue, par les procédés autres que l'eau chaude.*

Emploi des combustibles agglomérés. — Ce procédé, qui consiste à placer dans les compartiments, soit des paniers, soit de véritables chaufferettes renfermant des briquettes en combustion, a été appliqué, d'une manière presque générale en Allemagne, essayé en Autriche, en Belgique et en Hollande et expérimenté par la Compagnie de l'Est.

M. Regray estime que « ce mode de chauffage est extrêmement coûteux « et ne donne lieu qu'à un effet utile relativement faible; qu'en outre, il y a « lieu de tenir compte des risques d'incendie que peut présenter l'existence de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« boîtes à feu intercalées sous les banquettes des véhicules et des dangers d'as-
« phyxie résultant d'un défaut dans l'étanchéité des chaufferettes; que, pour
« assurer le succès du chauffage à l'aide de charbons agglomérés brûlant dans
« des chaufferettes, il faut un combustible s'allumant facilement, brûlant avec
« lenteur, régularité et constance, enfin dont on puisse faire varier la durée de
« combustion par de simples changements de dimension : il faut que ce com-
« bustible soit assez solide pour résister, sans trop de déchets, aux manipula-
« tions et que, de plus, il ne se désagrège pas sous l'action de la chaleur. »

Les expériences que la Compagnie du Nord a faites pour l'application de ce système aux voitures de troisième classe semblent démontrer que les critiques précédentes ne sont pas aussi fondées qu'on le pourrait croire. En réalité, un grand nombre de Compagnies allemandes font usage de ce système et elles s'en déclarent fort satisfaites. Tout dépend, d'ailleurs, de la qualité du combustible employé et nous verrons plus loin que l'on peut en trouver d'excellent.

Nous distinguerons deux cas, suivant que les caisses à combustible sont placées sous les banquettes et réalisent, par suite, le chauffage à l'air chaud, ou qu'elles constituent des chaufferettes placées sous les pieds des voyageurs.

Caisses placées sous les banquettes. — C'est le mode de chauffage adopté par la plupart des chemins de fer de l'Allemagne du Nord et du Centre et que la Compagnie du Nord vient, en dernier ressort, d'essayer pour le chauffage de ses voitures de troisième classe. Tantôt les paniers à combustible sont au nombre de deux par banquette et les portes de chargement sont ouvertes de part et d'autre, de manière que le sens de la marche n'apporte aucune gêne au service des paniers; tantôt il n'y a qu'un seul panier et l'ouverture de la caisse est alternativement située d'un côté ou de l'autre du compartiment. La circulation de l'air, destiné à alimenter la combustion, offre aussi quelques différences. Mais le type principal auquel peuvent se rapporter la plupart des systèmes est celui dont se sert le chemin de fer de Berlin à Anhalt (Pl. XXIII, fig. 1, 2); nous entrerons, à son égard, dans quelques détails.

Chaque caisse en tôle F occupe la moitié de la longueur transversale d'une banquette et communique avec l'air extérieur par un tuyau vertical A, percé de fentes B et traversant le châssis de la voiture. Dans chacune de ces caisses, on introduit, par une porte de chargement C, percée de deux rangées d'ouvertures, pour la sortie des produits de la combustion, un panier D en fil de fer contenant les briquettes allumées au préalable. Ce panier est suspendu au-dessus d'une plaque de tôle E ou *tiroir*, formant le cendrier, munie de poignées et maintenue en place à l'intérieur de la caisse par des ressorts latéraux.

Trois écrans successifs en tôle G, G, G, entre lesquels circule l'air qu'il s'agit d'échauffer, ont pour mission de protéger, en même temps, les parois en bois et la banquette. L'air chaud sortant de l'espace compris entre les écrans s'échappe à l'intérieur du compartiment, en traversant un grillage en fer H qui sert à garantir l'appareil contre les pieds des voyageurs.

Pour protéger les voitures de première et de deuxième classe contre le rayonnement du foyer, on intercale, entre le plancher et la caisse, une couche de terre réfractaire I, qui n'existe pas dans les appareils montés sur les voitures de troisième classe.

Le prix d'installation de deux appareils par compartiment est, en Allemagne, de 112 fr. 50 c., pour les voitures de première et de deuxième classe, et de 75 fr., pour celles de troisième classe.

Les briquettes employées, qui coûtent 37 fr. 50 c. les 100 kilogrammes, sont composées d'un mélange de charbon de bois pulvérisé et de nitre; la durée de la combustion de celles de la plus grande dimension est d'environ dix heures

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et elles produisent un effet utile de 12 à 15 degrés. Le prix de revient du chauffage est, d'ailleurs, évalué à 0 fr. 50 c. par voiture à quatre compartiments et par heure.

Ce système présente tous les inconvénients du chauffage par l'air chaud : il suffit qu'il y ait une fissure dans les parois de la caisse en tôle ou dans les joints, pour rendre un compartiment inhabitable : en outre, plus d'une heure avant le départ du train, les briquettes doivent être rangées dans les paniers et allumées à la flamme de becs de gaz, dans un appareil breveté par MM. Kiénast et Schütze.

Malgré ces inconvénients, ce mode de chauffage est adopté par le chemin de Berlin à Potsdam et à Magdebourg, par celui de Berg-Marche, par les chemins royaux de Saarbrück et de Westphalie et par les chemins rhénans. Seuls, les prix sont assez variables, à cause de la qualité des briquettes employées.

Toutefois, les appareils de Saarbrück présente une disposition spéciale, pour assurer le tirage, quel que soit le sens de la marche du train. A cet effet, la porte de chargement est munie d'une tubulure dirigée dans un sens, et à l'autre extrémité, le tuyau vertical qui, dans le système de Berlin-Anhalt, servait à l'arrivée de l'air, est terminé par un coude dirigé en sens inverse. Il en résulte que l'alimentation de l'air et l'échappement des produits de la combustion peuvent se faire alternativement par l'une ou l'autre extrémité, et que le sens de la circulation des gaz dépend de celui de la marche du train. Cette disposition assez ingénieuse méritait d'être signalée.

D'un autre côté, dans les voitures des chemins rhénans et de Westphalie, les deux caisses placées sous une même banquette sont renfermées dans la même enveloppe en tôle, et le tuyau de fumée de l'une longe l'autre caisse, ce qui a l'avantage de donner un peu plus de longueur à la circulation et, par conséquent, de mieux utiliser la chaleur.

Appareil de la Compagnie du Nord. — Le premier des types que la Compagnie du Nord a essayés pour le chauffage de ses voitures de troisième classe, de préférence à l'emploi des bouillottes mobiles, reproduit, à très-peu près, la disposition des appareils du chemin de Berlin à Anhalt.

Comme l'indiquent les fig. 13 et 14 de la Pl. XXV, une seule caisse, munie de deux paniers, chauffe deux compartiments. La banquette sous laquelle est placée cette caisse, est protégée par un simple écran et l'air à échauffer, après avoir circulé entre cet écran et la caisse en tôle qui renferme le panier à combustible, s'échappe dans l'un des compartiments, par huit ouvertures percées dans l'écran, et pénètre librement dans l'autre compartiment. A vrai dire, la portion antérieure et percée de trous de l'écran sert surtout à protéger l'appareil contre les pieds des voyageurs. L'air nécessaire à la combustion pénètre par une double manche à vent et il sort par un conduit vertical, placé à l'extrémité opposée de la caisse en tôle.

Le combustible employé est la briquette Grandjean et Lefranc, du prix de 30 fr. les 100 kilogrammes; cet aggloméré est bien supérieur à la briquette de M. Berghausen. Cette dernière ne coûte que 25 fr. les 100 kilogrammes; mais comme on en emploie 6^{kg},720 par voiture, tandis qu'on n'emploie que seize briquettes Grandjean, du poids de 5^{kg},440, le chauffage revient encore à meilleur compte avec celles-ci, soit à 1 fr. 63 c. par voiture à cinq compartiments et pour une durée de dix heures environ; c'est donc un prix de revient de 0 fr. 163 par voiture et par heure, tandis que le chauffage par bouillottes mobiles reviendrait, pour une voiture de troisième classe et pour la durée d'un même voyage, à 0 fr. 189.

Les essais que la Compagnie a déjà faits de ce mode de chauffage ont donné des résultats assez satisfaisants. Les premiers ont été faits sur un train de Paris à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Calais, chauffé par les briquettes Berghausen; nous donnons ci-dessous le tableau des résultats obtenus :

GARES.	HEURES.	TEMPÉRATURE CONSTATÉE. AU DEHORS.	TEMPÉRATURE CONSTATÉE. A L'INTÉR. de la VOITURE.	NOMBRE DE VOYAGEURS occupant la voiture.	OBSERVATIONS.
Au dép. de Paris	4h » s.	+ 10°	+ 14°	24	2 glaces ten. ouv. pr l. voyagrs.
A l'arr. à Chantilly . . .	4h,53′ »	+ 8°	+ 15° ½	24	2 — — —
— Creil	5h,09′ »	+ 8°	+ 15° ½	24	2 — — —
— Clermont . . .	5h,40′ »	+ 7° ½	+ 14°	15	4 — — —
— Saint-Just. . .	6h,03′ »	+ 5°	+ 14° ½	15	1 — — —
— Breteuil. . . .	6h,25′ »	+ 5°	+ 14° ½	15	3 — — —
— Ailly-s.-Noye.	6h,54′ »	+ 5°	+ 14° ½	12	1 — — —
— Amiens	7h,24′ »	+ 5°	+ 14° ½	12	1 — — —
— Longpré. . . .	8h,22′ »	+ 5°	+ 14° ½	17	1 — — —
— Abbeville . . .	8h,49′ »	+ 6°	+ 13° ½	9	2 — — —
— Noyelles. . . .	9h,12′ »	+ 5°	+ 14°	9	1 — — —
— Rue.	9h,29′ »	+ 5°	+ 15°	10	Toutes les glaces fermées.
— Verton.	9h,53′ »	+ 5°	+ 15°	10	— — —
— Boulogne . . .	10h,43′ »	+ 6°	+ 16°	15	— — —
— Marquise . . .	11h,17′ »	+ 5°	+ 16°	15	— — —
— Calais.	minuit.	+ 6°	+ 16°	10	— — —

Un autre essai, portant sur un train chauffé par des briquettes du système Grandjean et Lefranc, a donné les résultats suivants :

DÉSIGNATION.	TEMPÉRATURE CONSTATÉE. A L'EXTÉRIEUR.	TEMPÉRATURE CONSTATÉE. A L'INTÉRIEUR de la VOITURE.
Au départ de Paris	+ 14°	+ 18°
— Creil	+ 14°	+ 18°
— Breteuil.	+ 11°	+ 17°
— Longueau.	+ 10°	+ 16°
— Albert.	+ 9°	+ 15°
— Achiet	+ 7°	+ 15°
— Arras	+ 7°	+ 15°
— Douai	+ 6°	+ 14°
A l'arrivée à Lille.	+ 7°	+ 14°

Quoi qu'il en soit, la Compagnie recherche si, en apportant quelques modifications soit dans la position, le nombre et l'orientation des prises d'air, soit dans l'emplacement des trous pour le passage de l'air chaud, il ne serait pas possible

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'augmenter l'effet utile du chauffage. De nouveaux essais ont été entrepris, mais nous ne pouvons encore donner de résultats précis à leur égard.

En ce qui concerne le combustible, outre que les briquettes Lefranc sont plus économiques que celles de Berghausen, elles ont l'avantage de moins s'effritter, après l'allumage, et de donner moins de déchets, ce qui en rend la manutention plus facile, et la combustion plus régulière. Enfin, elles conservent leur forme, jusqu'après leur extinction. Le seul inconvénient qu'on puisse leur reconnaître, et qu'elles partagent, d'ailleurs, avec les charbons allemands, c'est de s'éteindre partiellement, faute de tirage, pendant un arrêt un peu prolongé, dans une station.

Ces briquettes doivent être allumées soit à un feu de coke, soit à un feu de charbon, dégageant peu de fumée. Lorsqu'elles sont bien embrasées, on les place dans les paniers, à plat, bout à bout, et sans les superposer. Après avoir mis les paniers à leur place, dans les caisses en tôle, on laisse ouvertes, pendant cinq minutes environ, les portes de chargement, afin que l'air puisse y pénétrer, en grande quantité. Les caisses doivent être garnies environ une demi-heure avant le départ du train, et l'on doit tenir fermés, à partir de ce moment, les portières et les vasistas des compartiments.

Les résidus des briquettes, retirés des paniers, après la fin du service de chaque voiture, sont utilisés dans les poêles, les cheminées ou les calorifères des bureaux et des salles d'attente des gares et stations.

Types d'appareils à une seule caisse par banquette. — Ce type, adopté par l'État de Hanovre, imité par les chemins d'Alsace-Lorraine, de Nassau, de Cologne-Minden, du grand-duché de Bade, et légèrement modifié par ceux de Rhein-Nahe et du Main-Weser, comprend, en général, deux appareils par compartiment et coûte de 700 à 1,100 fr. par voiture à quatre compartiments. Le prix de revient du chauffage, par voiture et par heure, ne descend guère au-dessous de 0 fr. 40 c. et dépasse souvent 0 fr. 50 c.

Dans la disposition, mise en usage par l'État de Hanovre, le tuyau d'entrée est muni d'une double manche appropriée aux deux sens de la circulation des voitures, et le tuyau de sortie est terminé par un chapeau d'une forme telle que l'échappement de la fumée ait lieu, quelle que soit la direction du vent. La circulation se produit donc toujours dans le même sens.

Les portes de chargement sont alternativement situées d'un côté ou de l'autre de la voiture. Des précautions multiples ont été prises contre l'incendie; indépendamment des écrans qui protègent la paroi et la banquette, le plancher est séparé de la caisse en tôle par une couche d'une matière isolante, formée d'une sorte de mortier de sable et de silicate liquide.

La caisse et les tuyaux sont en cuivre rouge, et les joints sont formés, pour la caisse, par une rivure, et, pour les tuyaux, par une soudure forte. Le soin apporté à la construction de ces appareils élève les frais d'installation à 1,135 fr. par voiture à cinq compartiments, renfermant quatre de ces appareils.

Le chemin de Rhein-Nahe, tout en ne conservant, par double banquette, qu'une seule caisse, surmontée d'un réflecteur en forme de V qui renvoie la chaleur dans les deux sens, a préféré installer une porte à chaque extrémité de la caisse, de manière que le chargement puisse se faire indifféremment d'un côté ou de l'autre. Le panier qui doit être déposé à peu près au milieu de la largeur du compartiment, porte, dans ce cas, des poignées fort allongées.

Les briquettes employées coûtent, en général, de 30 à 40 fr. les 100 kilogrammes. Celles de Berghausen, dont se sert le chemin de Nassau, ne durent que deux heures; mais leur allumage n'a pas besoin d'être commencé plus d'une demi-heure avant le chargement. Le chemin de Cologne à Minden emploie, pour l'allumage de ses briquettes, des appareils spéciaux, dans lesquels on dirige sur les briquettes un jet de gaz, sortant d'un chalumeau analogue à l'in-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jecteur Giffard. Lorsque la briquette a pris feu, il suffit de diriger un jet d'air pour activer la combustion. Dans le grand-duché de Bade, on emploie des briquettes composées de charbon de bois pulvérulent, de salpêtre et d'une matière agglutinante; leur durée de combustion est d'environ six heures.

En résumé, les appareils dont il vient d'être question ne chauffent pas assez les pieds des voyageurs; on a cherché à se rapprocher davantage de la classique chaufferette, en encastrant les appareils dans le plancher.

Caisses-chaufferettes. — *Système rhénan.* — Sur les chemins rhénans, où un certain nombre de voitures avaient leur caisse séparée du châssis par des traverses de $0^m,07$, on a pu appliquer un système de chaufferettes à combustibles agglomérés dont nous donnons un croquis (Pl. XXII, fig. 10 et 11).

Dans ce système, il y a une chaufferette à deux portes par compartiment : les paniers A sont chargés, par des portes situées aux deux extrémités, dans des tubes en tôle B, munis de tuyaux d'échappement C pour la fumée. Le tout est enfermé dans une caisse en tôle D, où circule l'air à échauffer et qui est munie d'un écran E à la partie supérieure, pour la garantir de la boue et de la poussière. Cette caisse est fixée au fond d'une sorte de caniveau en bois F, de forme trapézoïdale, doublé de tôle mince à l'intérieur et recouvert d'une plaque de tôle striée G, qui est percée latéralement de deux rangées de trous et qui forme le couvercle de la chaufferette.

L'air nécessaire à la combustion pénètre par de doubles manches à vent H et sort avec la fumée par un tuyau C, recourbé muni d'un chapeau aspirateur.

Le prix d'installation de ces appareils est de 712 fr. 50 c. par voiture.

Le système de MM. Berghausen et Philipps qui est analogue à celui dont il vient d'être question, et que l'État belge a essayé, sans l'adopter, n'en diffère que par les trous dont le couvercle de la chaufferette est percé, sur toute sa surface. Cette disposition à des inconvénients : l'air à échauffer s'échappe trop facilement de la chaufferette. On a, d'ailleurs, reconnu que l'allumage des briquettes, et le chauffage des compartiments étaient extrêmement lents à se produire et qu'en outre, la combustion diminuait d'intensité, d'une manière sensible, pendant le stationnement des trains. Enfin, par suite de l'inégalité de combustion des briquettes, la chaleur ne se répartit pas uniformément, sur toute la longueur de la chaufferette.

Système primitif de M. Grandjean. — Pour ne pas modifier le matériel existant et pour éviter le surhaussement de la caisse, qu'entraîne la nécessité de réserver des portes de chargement au-dessous du niveau du plancher, M. Grandjean accepte, dans son système, une sujétion très-gênante : c'est le chargement des paniers de combustible, par le dessus de la chaufferette, à l'intérieur du compartiment.

Aussi serons-nous très-bref à l'égard de cette disposition qui présente peu de chances de succès, tant auprès des Compagnies dont elle complique le service, qu'auprès des voyageurs que l'on dérange en ouvrant les caisses pour y déposer les paniers à combustible.

Ces paniers A (Pl. XXIII, fig. 8) sont en tôle, leurs parois sont percées de trous et on les transporte à l'aide d'un crochet : on les dépose entre des équerres B, faisant partie de la caisse fixe, et ils sont maintenus, dans cette caisse, par des ressorts latéraux.

La chaufferette de chaque compartiment est formée de trois parties; au milieu, un grillage fixe C recouvre les bouches de chaleur qui communiquent avec l'intervalle des écrans D, où circule l'air à échauffer; aux extrémités, deux grillages mobiles E forment, en quelque sorte, des couvercles à charnière qui se relèvent à l'intérieur de la voiture pour l'introduction du panier.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Deux enveloppes protectrices, séparées par des écrans en tôle, sont situées de part et d'autre de la caisse où se fait la combustion : l'air y entre à chaque extrémité et elles sont traversées, vers leur milieu, par les conduites F d'échappement de la fumée.

A chaque extrémité de la caisse, dans laquelle on dépose les paniers, sont des prises d'air fermées par des registres que l'on peut incliner à volonté, pour régler la quantité d'air nécessaire à la combustion.

Système de l'Est. — Après avoir rejeté, en principe, l'appareil Grandjean, à cause des inconvénients qu'il présente et que nous avons signalés ci-dessus, la Compagnie de l'Est a étudié un autre type de chaufferettes à chargement extérieur, ne nécessitant pas de remaniements importants dans le matériel (Pl. XXIII, fig. 7).

Comme dans le système précédent, la circulation de l'air chaud se fait, entre des écrans latéraux en tôle, traversés en leur milieu, par des tuyaux en cuivre rouge, pour l'échappement de la fumée. Cet air chaud se dégage, au milieu, par une bouche de chaleur A, de forme circulaire, les couvercles B des chaufferettes, en tôle striée, sont fixes. Le chargement des paniers C, munis de poignées D, de manière qu'ils puissent s'accrocher indistinctement les uns aux autres, se fait par des portes E, placées aux deux extrémités de la caisse. L'air nécessaire à la combustion pénètre par des ouvertures pratiquées dans ces portes et à la partie inférieure de la caisse, en son milieu F.

L'air à échauffer est introduit dans les enveloppes latérales par des ouvertures percées dans la tôle des écrans. Enfin le plancher est protégé contre le rayonnement du foyer, par trois épaisseurs de tôle qui constituent des coussins d'air empêchant la déperdition.

Grâce à la disposition des poignées des paniers, indiquée ci-dessus, le chargement et l'enlèvement des deux paniers peut se faire d'un même côté : le jeu des paniers dans la caisse est, d'ailleurs, limité par des cornières en tôle fixées aux écrans et terminées par des plans inclinés.

Des traverses, rapportées entre les brancards de la caisse, soutiennent les extrémités des frises du plancher, coupées par le passage des chaufferettes; néanmoins, on a dû surhausser les caisses d'environ $0^{m},05$, afin d'éviter d'avoir à entailler les brancards de la voiture, pour le passage des paniers. Aussi est-on obligé, pour les introduire, de les incliner légèrement. Grâce à ces dispositions, on n'a eu, pour effectuer le montage de ces appareils, qu'à modifier les ferrures qui relient la caisse au châssis.

Les dépenses d'installation, y compris le surhaussement de la caisse des voitures, s'élèvent environ à :

480 fr. par voiture de première classe, à trois compartimeuts;
630 fr. — deuxième classe, à quatre compartiments;
780 fr. — troisième classe, à cinq compartiments;

§ 7. — *Chauffage à discontinuité absolue, par l'eau chaude.*

Bouillottes mobiles. — L'emploi des boules d'eau chaude, pour le chauffage des compartiments, a été, pour ainsi dire, le premier procédé employé par les Compagnies de chemins de fer.

Au point de vue des voyageurs, ce système primitif présente quelques inconvénients; le chauffage est uniforme, quelle que soit la température extérieure, et la moyenne que l'on est obligé d'adopter ne convient pas toujours aux froids précoces de la fin de l'automne ou aux chaleurs printanières d'avril. En outre, en admettant que la boule ait une température suffisante au mo-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment du départ du train, ce qui n'arrive pas toujours, surtout quand le train est formé longtemps à l'avance, cette température, suffisante au commencement, finit par s'abaisser rapidement et, lorsque le moment est venu de changer les chaufferettes, au bout d'un trajet de deux heures en général, elles ne donnent plus guère de chaleur.

Ajoutons aux inconvénients résultant de cette inégalité de chauffage que la substitution des bouillottes chaudes entraîne l'ouverture des portières, ce qui est fort gênant pour les voyageurs, principalement pendant la nuit.

Au point de vue des Compagnies, les inconvénients résident principalement dans la manutention des chaufferettes, que l'on est obligé de retirer des compartiments, de vider, de remplir et de replacer une à une, et ces opérations sont en général fort coûteuses. On perd, en outre, un temps considérable, pendant l'arrêt des trains, et on y consacre un personnel nombreux.

Néanmoins, il faut reconnaître que ce système est avantageux, précisément par l'exclusion des incommodités que présentent tous ceux dont il a été question jusqu'ici : et la preuve la plus certaine en est dans la préférence que l'Angleterre, le pays du progrès par excellence, continue à lui accorder.

Les chaudières qui servent à échauffer l'eau dont on remplit les bouillottes appartiennent à plusieurs types : les unes sont de véritables bouilleurs dans lesquels on se borne à entretenir une pression de 1 atmosphère environ, les autres sont verticales et contiennent leur foyer à l'intérieur; enfin, la Compagnie de Lyon a installé des chaudières Field, munies de petits bouilleurs verticaux suspendus au milieu du foyer et donnant une meilleure utilisation de la surface de chauffe (Pl. XXVI, fig. 10).

Dans tous les cas, le tube de prise d'eau se termine par une partie horizontale munie de robinets, placés à une distance de $0^m,30$ environ les uns des autres. Les chaufferettes destinées au chauffage des voitures de première classe et des compartiments de deuxième et troisième classes réservés pour les dames voyageant seules, sont en tôle ou en cuivre étamé. L'ouverture, fermée par un bouchon à vis, est pratiquée, tantôt sur l'un des fonds, tantôt sur le dessus dans une cavité emboutie afin que le bouchon ne fasse pas de saillie. Les Compagnies du Nord et de l'Ouest garnissent le fond, et même les parois latérales, de bois d'orme, pour éviter l'usure des tapis qui recouvrent le plancher : cette disposition est indiquée aux fig. 10 et 11 de la planche XXV et fig. 5 de la planche XXVI.

Les Compagnies de Lyon et d'Orléans emploient des chaufferettes de section ovale comme la Compagnie de l'Est, mais elles les recouvrent de moquette.

Le poids d'une chaufferette vide est, en général, de 7 à 8 kilos et sa contenance de 10 litres.

On les amène, sur des tricycles, jusqu'aux robinets où se fait le remplissage, soit à plat, soit dans la position verticale, suivant que le bouchon est situé en dessus ou sur l'un des fonds. Il faut ensuite les replacer sur le chariot, les transporter et les charger dans les compartiments, opération qui dure un quart d'heure et pendant laquelle leur température s'abaisse quelquefois de 20 degrés.

D'après les expériences de la Compagnie de l'Est, leur température est encore de près de 30 degrés au bout de quatre heures; l'effet utile obtenu ne dépasse guère 7 à 8 degrés, pour le chauffage de l'air du compartiment : il est vrai que ce n'est pas là le but qu'on cherche à atteindre. Quant à la dépense, M. Regray l'évalue à 0 fr. 14 c. par chaufferette livrée aux voyageurs, soit environ à 0 fr. 42 c. par voiture à trois compartiments et par heure.

Quoi qu'il en soit, de sérieux efforts ont été tentés par les Compagnies françaises pour améliorer les conditions d'emploi des chaufferettes mobiles, d'une part, en élevant leur température, et, d'autre part, en supprimant la nécessité

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de les vider et de les remplir. Ce double but peut être atteint soit en injectant de la vapeur à haute pression dans l'eau refroidie qu'elles renferment, soit en les immergeant simplement dans un bain d'eau bouillante, pendant un temps suffisamment long pour leur communiquer une température déterminée.

Les appareils, destinés à réaliser ces deux opérations, ont été exposés au Champ de Mars par les cinq Compagnies qui rayonnent autour de Paris et nous allons entrer dans quelques détails à leur égard.

Réchauffage par injection. — *Type Orléans et P.-L.-M.* — Les appareils adoptés par ces deux Compagnies sont à peu près les mêmes : ils ne sont que la reproduction du type primitivement étudié par M. Forquenot, ingénieur en chef du matériel de la Compagnie d'Orléans.

Dans une chaufferetterie d'une disposition spéciale, sont installées des chaudières tubulaires à haute pression qui communiquent avec un appareil d'injection appelé *herse*, auquel on donne la forme carrée ou la forme rectiligne, suivant qu'il s'agit d'une gare de grande ou de moyenne importance.

La herse de l'appareil carré, installé dans les grandes gares, est formé d'un bâti fixe en fonte A (Pl. XXIV, fig. 1 et 2) dans lequel peut monter ou descendre, au moyen d'un levier à contre-poids B, une pièce creuse C munie de vingt tubes D, disposés au nombre de cinq sur quatre rangées et guidés par une plaque trouée qui les empêche de dévier. La pièce C glisse, à frottement doux, dans une boîte à étoupes. Deux robinets à volant V permettent d'envoyer à volonté dans ces tubes, soit de l'eau pour le remplissage des chaufferettes, soit de la vapeur pour réchauffer l'eau qui y est contenue. Chaque tube D porte, en outre, un robinet R de manière que l'on peut, au besoin, le condamner et injecter la vapeur dans un nombre de chaufferettes inférieur à vingt.

Les bouillottes sont placées sur des tricycles d'une forme spéciale (Pl. XXIV, fig. 3 et 4). Comme les bouchons sont situés sur le fond, on doit présenter la chaufferette dans la position verticale sous la herse et la ramener à la position horizontale, pour le chargement et le déchargement dans les voitures. A cet effet, le chariot, formé d'un châssis en fer N, monté sur trois roues, porte un casier rectangulaire en tôle M divisé en vingt compartiments et pouvant basculer sur deux tourillons O, autour d'un axe horizontal et parallèle à l'essieu des roues porteuses. On peut fixer le casier M dans la position horizontale au moyen d'un crochet P, qui l'empêche de reprendre naturellement la position verticale.

Le tricycle est introduit sous la herse de l'appareil d'injection, dans une position parfaitement déterminée à l'avance par des guides E qui sont fixés sur le plancher (fig. 1 et 2) et que les roues porteuses sont forcées de suivre. Il en résulte qu'à chacun des tubes D vient correspondre une chaufferette débouchée.

On descend alors la herse; chaque tube entre dans une chaufferette et donne la vapeur. L'eau s'échauffe rapidement et atteint, en trois ou quatre minutes, la température de 90 degrés. On relève la herse et, après avoir retiré le tricycle et replacé les bouchons à vis des bouillottes, on fait basculer la caisse du tricycle, on l'amène à proximité des voitures et on fait l'échange des chaufferettes une à une.

D'après les documents fournis par la Compagnie de Lyon, un appareil carré, desservi par une chaudière d'environ $25^{m \cdot q}$ de surface de chauffe, permet de réchauffer 240 bouillottes par heure, et la dépense de vapeur ne s'écarte guère de 2 litres par chaufferette.

L'appareil rectiligne, destiné aux gares moins importantes, que l'on ne veut pas munir de tricycles spéciaux, ne diffère du précédent que par la forme de la herse qui, au lieu d'être rectangulaire, est rectiligne (Pl. XXIV, fig. 5). Les chaufferettes sont alignées debout dans un râtelier qui les fixe exactement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au-dessous des tubes et la manœuvre se fait comme pour l'appareil carré. Un appareil rectiligne desservi par une chaudière, d'environ 15 mètres carrés de surface de chauffe, permet de réchauffer 150 bouillottes par heure.

Les appareils de la Compagnie d'Orléans sont en service depuis le mois d'octobre 1876 dans vingt et une gares de son réseau.

La manœuvre des bouchons à vis dont on s'était toujours servi pour fermer les chaufferettes présentant certains inconvénients, principalement à cause de sa lenteur, la Compagnie d'Orléans a eu l'idée d'y substituer un bouchon dont la fermeture se fait, en une fraction de tour, au moyen d'un emmanchement à baïonnette (Pl. XXVI, fig. 6 et 7). Le joint ne peut être fait en cuir, parce que la vapeur le rendrait cassant; aussi l'on interpose une rondelle *m*, de métal blanc et malléable.

Type Nord. — Pour ne pas modifier le type de chaufferettes en service et conserver leur ouverture sur la face supérieure, la Compagnie du Nord a été conduite à adopter un appareil d'injection fondé sur le même principe que celui de M. Forquenot, quoique un peu différent dans ses détails (Pl. XXV, fig. 8 et 9).

Pour bien comprendre la disposition des tubes, il est nécessaire d'indiquer d'abord la forme du tricycle servant au transport des bouillottes, et leur position sur ce chariot (fig. 1, 2 et 8).

Le chariot, formé de quatre flasques en tôle, réunies par des fers cornières, et supporté par deux roues porteuses et une roue directrice, contient trois étages séparés chacun en sept cases par des fers cornières, soit, en tout, la place de vingt et une chaufferettes que l'on a préféré répartir sur une largeur plus grande et une hauteur moindre, afin de placer les trois étages à peu près à la hauteur du plancher des voitures et de faciliter la manutention. Le fond de chaque étage est incliné et les chaufferettes sont placées en recul, de manière que celles d'un étage découvrent l'ouverture des chaufferettes situées au dessous.

Il en résulte que, dans l'appareil d'injection, les trois rangées de sept tubes A sont elles-mêmes situées à des hauteurs différentes. Ces tubes sont suspendus à un châssis mobile C que l'on peut élever ou abaisser, à volonté, au moyen d'une glissière D, commandée par un levier à contre-poids E. La poignée M du levier est munie d'un ressort qui, sous la pression de la main, amène un verrou dans les encoches *a* et *b*, pour limiter la course du levier.

La vapeur arrive aux tubes par des tuyaux F en caoutchouc, terminés par des tubulures, de telle manière que la conduite générale G reste fixe, au lieu de se mouvoir dans un presse-étoupes, comme celle de l'appareil Forquenot. Le tout est supporté par un solide bâti B en bois, dont les montants sont réunis par une entretoise N, située à la partie supérieure. La conduite générale G est munie de quatre tubulures communiquant avec un manomètre, avec le tuyau de prise d'eau de vapeur pour l'injection, et avec un tuyau d'évacuation. Ce dernier est en relation avec une pompe P, fixée latéralement au bâti, et destinée à vider partiellement les chaufferettes, en cas de besoin.

Les chaufferettes (fig. 10 et 11) en cuivre, encastrées dans une enveloppe R en bois, qui laisse à nu leur face supérieure, portent, à l'intérieur, sur la moitié de leur longueur, un tube recourbé S, dans l'embouchure duquel s'adapte l'ajutage de l'appareil d'injection. Ce tube lance la vapeur au milieu de la masse liquide, par son extrémité et par une fente longitudinale. Quatre supports T soutiennent la face supérieure de la bouillotte et s'opposent à toutes les déformations qui pourraient résulter de la forme aplatie.

Les chaufferettes pèsent, vides, 13 kilogrammes et, pleines, 21 kilogrammes; la dépense de vapeur, nécessaire pour porter de 15 à 90 degrés l'eau qu'elles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

renferment, est d'environ 1 kilogramme. La durée de l'opération consistant à déboucher les vingt et une chaufferettes, à les injecter et à les reboucher, est de quatre minutes environ.

D'après les renseignements fournis par la Compagnie, le prix de revient du chauffage est, à la gare de Paris, de 0 fr. 035 par chaufferette, non compris l'intérêt et l'amortissement du capital nécessaire à l'établissement de tout l'appareil. Par l'ancien système d'emplissage à l'eau bouillante, le prix de revient était de 0 fr. 052, dans les mêmes conditions. Le prix d'acquisition d'une chaufferette est de 35 fr. 20 c., et celui d'un tricycle est de 476 fr. Les appareils réchauffeurs coûtent 2,000 fr. environ, et les chaudières 6,000 francs.

Les dépenses d'installation, peu importantes, varient avec les dispositions des lieux : nous donnons en croquis le plan d'un local de forme irrégulière (fig. 3) approprié, à la gare d'Amiens, pour une installation de ce genre. Au fond se trouve la chaudière V, généralement timbrée à 7 kilos, et alimentant deux appareils I qui sont desservis chacun par trois rails Z, en forme d'ornières, sortant à l'extérieur sur les quais, et destinés à centrer le tricycle sous l'appareil.

Type de l'Ouest. — L'appareil d'injection, exposé et mis en service par la Compagnie de l'Ouest, se rapproche du précédent par la disposition étagée des tubes et, de l'appareil Forquenot, par la manœuvre.

En se reportant aux fig. 1 et 2 de la planche XXVI, on verra que les tubes sont disposés, au nombre de quatre, sur six rangs successifs. Le châssis A, qui les porte, peut être élevé ou abaissé à volonté, à l'aide d'un levier à contre-poids C, qui fait mouvoir la glissière G. Le tout est supporté par un fort bâti en fonte B.

Il résulte de ce qui précède que le tricycle (fig. 3) est à six étages, disposition évidemment moins commode que la précédente, pour la manutention des chaufferettes, à bord du plancher des voitures. A part cet inconvénient, le tricycle qui est entièrement à claire-voie, est assez léger, et la roue conductrice peut pivoter autour d'un axe vertical.

Les chaufferettes en cuivre (fig. 4 et 5) sont fixées par des équerres sur des fonds en bois et leur face supérieure est garantie, contre la déformation, par une pièce de tôle longitudinale qui s'arc-boute sur le fond. Aucune disposition spéciale n'est prise pour assurer la répartition égale des calories qu'amène la vapeur injectée, à l'une des extrémités, par l'ouverture. L'emmanchement des bouchons est à baïonnette, d'après un système analogue à celui de la Compagnie d'Orléans.

Réchauffage par immersion. — *Appareil à noria de la Compagnie de l'Est.* — L'appareil exposé par la Compagnie de l'Est et établi par elle dans douze des plus grandes gares de son réseau, a pour but de réchauffer rapidement les bouillottes, dans un bain d'eau bouillante, en supprimant la nécessité de les boucher et de les déboucher. On a reconnu expérimentalement qu'il suffisait de prolonger cette immersion pendant cinq minutes dans un milieu porté à la température de 100 degrés, pour élever de zéro à 90 degrés la température de l'eau contenue dans les chaufferettes.

L'appareil qui réalise mécaniquement cette opération (Pl. XXVI, fig. 8 et 9), consiste dans une sorte de *noria*, composée de deux chaînes sans fin, dont les maillons peuvent recevoir les chaufferettes et les plonger dans un puits rempli d'eau chaude, qui est maintenue à une température constante, par une injection de vapeur arrivant à la partie inférieure.

La cuve verticale A, dont la capacité dépasse 10 mètres cubes, est formée de trois cylindres en tôle rivés ensemble, et descendus au fond d'un puits en maçon-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nerie : sa partie supérieure affleure le sol et elle est recouverte d'un plancher percé des ouvertures nécessaires au passage des chaufferettes.

La vapeur injectée est amenée par un tuyau B, en cuivre rouge, de $0^m,04$ de diamètre, bifurqué à son extrémité et percé de petites ouvertures. Un robinet C, placé à la partie supérieure, permet de régler l'admission de la vapeur dans ce tuyau. La cuve est, en outre, munie, vers le haut, de deux autres tuyaux, dont l'un D sert à l'arrivée de l'eau pour le remplissage, et l'autre E sert d'écoulement pour le trop-plein, provenant de la condensation de la vapeur injectée.

Cette eau est reprise par une pompe alimentaire et refoulée dans une chaudière verticale et tubulaire, du système Field (fig. 10). Ce générateur fournit la vapeur nécessaire, d'une part, à l'échauffement de l'eau contenue dans la cuve, et, d'autre part, à l'alimentation du petit cheval moteur qui fait fonctionner l'appareil. C'est donc la même eau qui accomplit continuellement le circuit que nous venons d'indiquer et la dépense, en eau, se réduit à la quantité minime qu'il faut pour remplacer celle qui a été perdue par évaporation, à la surface du bain, ou à la surface des bouillottes, après leur sortie de la cuve.

Les maillons de la chaîne sont, de deux en deux, munis d'entretoises en fer, qui servent à maintenir leur distance; sur les autres maillons sont articulés des paniers P métalliques, à claire-voie, destinés à recevoir les chaufferettes. Ils sont au nombre de trente-six par appareil et, sous l'action de leur propre poids, ils conservent la position verticale, pendant tout le trajet.

Le mouvement est donné par un tambour polygonal F, commandé par des poulies G et des engrenages H. Il porte alternativement, à sa circonférence, des dents, qui assurent l'entraînement des entretoises de la chaîne, et des parties aplanies contre lesquelles s'appliquent les paniers. La vitesse de rotation de ce tambour est de $\frac{8}{10}$ de tour par minute, ce qui correspond à une durée d'immersion de cinq minutes pour les trente-six bouillottes, dont vingt-quatre sont simultanément immergées dans la cuve.

La chaîne passe, au fond de la cuve, sur un deuxième tambour F', qui peut monter et descendre avec elle, pour n'en pas gêner la dilatation.

Il est essentiel que les paniers ne se renversent pas pendant l'immersion : à cet effet, on a installé un ensemble de courbes directrices et de butoirs qui assurent leur fonctionnement régulier. Le mouvement de la chaîne ayant lieu dans le sens indiqué par les flèches, un butoir I, placé vis-à-vis du tambour F', oblige le levier *m* fixé à l'extrémité de l'axe de chaque panier à s'incliner pour épouser le contour d'une courbe directrice qui fait corps avec le palier du tambour et qui assure l'indépendance du panier et des maillons de la chaîne.

A la partie supérieure, sont installées deux autres courbes directrices, pour le chargement et le déchargement des bouillottes. La première K donne aux paniers qui descendent, une certaine inclinaison, afin que l'agent qui amène les chaufferettes froides puisse les y introduire rapidement. L'autre courbe L, qui a la forme tourmentée d'une *s*, renverse le panier qui remonte chargé d'une chaufferette chaude, de manière que cette chaufferette s'en échappe sous l'action de son propre poids et vient tomber sur une table M sur laquelle un agent la ramasse pour la charger sur un tricycle.

Comme le nombre des bouillottes à charger, dans l'espace de cinq minutes, nécessaire pour une opération de réchauffage, est de vingt-quatre, l'intervalle qui sépare le chargement ou le déchargement de deux bouillottes consécutives est de douze secondes environ, ce qui est largement suffisant pour la manœuvre, ainsi que l'expérience l'a prouvé. Il en résulte, en outre, que la production de l'appareil est de 288 chaufferettes, par heure de marche.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans une grande gare, comme celle de Paris, on installe, côte à côte, deux norias de la même puissance, ce qui porte à 576 la production totale des appareils et ce qui permet de réchauffer, en dix minutes, 96 bouillottes, c'est-à-dire la quantité suffisante, pour la formation d'un train de douze voitures. On se rend compte, d'après ces chiffres, que la continuité du travail peut être assurée d'une manière très-régulière, pour une série de trains qui se succèdent à l'intervalle réglementaire et en admettant que les chaufferettes froides d'un train servent, une fois réchauffées, à la composition du train suivant.

Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que toute l'opération est conduite très-méthodiquement, puisque les bouillottes froides arrivent à une extrémité et sortent chaudes à l'autre bout, ce qui est évidemment plus avantageux pour la rapidité de l'organisation du service, que si l'on était obligé, comme cela se pratique dans les appareils d'injection, de retirer un tricycle pour en mettre un second en batterie.

Enfin, l'appareil prend peu de place et se développe surtout en hauteur. Le poids total de l'appareil à noria est de 2,100 kilos; celui de la cuve est de 1,500 kilos; le prix d'installation est de 4,400 fr., y compris la construction du puits et de la fosse de transmission. Chaque bouillotte réchauffée, placée dans les compartiments des diverses classes, revient à 0 fr. 0525, en y comprenant tous les frais d'entretien et d'amortissement des appareils.

Ce prix de revient est un peu plus élevé que celui auquel on arrive par l'emploi des appareils injecteurs : il est bon également de faire remarquer que la durée de l'opération est de 20 0/0 plus longue, bien que le débouchage et le rebouchage aient été supprimés.

SECTION **B — Éclairage des trains.**

§ 1er. — *Divers modes d'éclairage.*

Importance de l'éclairage des trains. — D'après l'article 24 de l'ordonnance royale de 1845 sur la police des chemins de fer, les Compagnies doivent éclairer les trains extérieurement et intérieurement, pendant l'obscurité et pour le passage de ces trains sous les souterrains désignés par l'Administration.

En règle générale, il est admis que les trains ne doivent être éclairés sous les tunnels que si la longueur de ces derniers atteint ou dépasse 1,200 mètres. Toutefois, sur le chemin de fer de Ceinture de Paris, les compartiments sont éclairés le jour, et les signaux des trains, allumés d'une manière permanente.

L'obligation d'éclairer les trains vient d'être aussi imposée aux Compagnies allemandes par le règlement du mois de juin dernier; mais les trains y étaient aussi éclairés depuis l'origine.

L'éclairage extérieur est une question de sécurité absolue : nous en avons déjà dit quelques mots au sujet des signaux mobiles. Quant à l'éclairage des compartiments, il est certainement susceptible de perfectionnements, autant dans l'intérêt des Compagnies que dans celui des voyageurs.

Augmentation du confortable pour les voyageurs, diminution des dépenses pour les Compagnies, tel doit être le but de toutes les recherches.

Pour donner une idée de l'importance de cette question, il ne sera pas sans intérêt de citer à quel chiffre s'élevait, en 1873, le budget des dépenses de l'éclairage des trains pour cinq de nos grandes Compagnies françaises :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

INDICATION des réseaux	NOMBRE de kilomètres exploités.	NOMBRE de kilomètres parcourus par les trains.	DÉPENSE annuelle de l'éclairage.	MOYENNE des dépenses annuelles par kilomètre parcouru.
	kilomèt.	kilomèt.	fr. c.	fr. c.
Est.	2,449	18,130,346	177,883 20	0,0098
Lyon.	4,715	39,785,060	486,035 89	0,0122
Nord.	1,661	19,889,039	253,021 41	0,0127
Orléans	4,158	24,011,066	225,835 63	0,0094
Ouest.	2,397	20,096,654	314,996 18	0,0156
Totaux et moyenne.	15,380	121,992,165	1,457,772 31	0,0120

Matières employées pour l'éclairage des trains. — Si l'éclairage fixe est destiné à entrer dans une voie nouvelle, dès qu'il sera possible d'obtenir, à bas prix, une lumière électrique d'une intensité déterminée, il n'en est pas de même pour les trains. On se contente, jusqu'à présent, d'utiliser la combustion des hydrocarbures, dans laquelle le carbone joue le double rôle de combustible et de milieu vibrant pour la production de la lumière.

Parmi les corps capables de produire pratiquement ces hydrocarbures, on a successivement essayé :

1° Les matières grasses, provenant du règne animal ou végétal, telles que les cires, les graisses, les huiles, etc.;

2° Les matières liquides, provenant de la distillation des schistes et des goudrons, telles que les essences minérales, le pétrole, etc.;

3° Les gaz provenant de la distillation de la houille.

Les matières de la première catégorie ont été employées dès l'origine, et c'est dans les dernières années seulement que l'on a essayé d'y substituer le pétrole ou le gaz dont le pouvoir éclairant revient moins cher que celui de l'huile ordinaire, mais qui présentent, soit dans leur manipulation, soit dans leur emploi, certains inconvénients et nécessitent certaines précautions.

Emploi et essai de l'huile végétale. — On emploie, en France, l'huile de colza français, à l'exclusion de la plupart des autres matières végétales ou animales : la raison de cette préférence est expliquée par le tableau ci-dessous, où les matières sont rangées par ordre d'excellence :

N° D'ORDRE.	DURÉE de la combustion dans une lampe à une mèche.	INTENSITÉ de la combustion dans une lampe à mèche creuse.	RÉSISTANCE à la congélation.	INFÉRIORITÉ du prix en France.
1	Coco.	Coco.	Colza anglais.	Baleine.
2	Arachide.	Colza français.	Colza français.	Colza français.
3	Sperma-ceti.	Colza anglais.	Baleine.	Colza anglais.
4	Colza français.	Baleine.	Olive.	Coco.
5	Colza anglais.	Arachide.	Sperma-ceti.	Arachide.
6	Olive.	Sperma-ceti.	Arachide.	Olive.
7	Baleine.	Olive.	Coco.	Sperma-ceti.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On voit, d'après ce tableau, que si l'huile de colza français est loin d'occuper le premier rang, au point de vue de la durée de la combustion, elle donne une intensité suffisante, pour peu que l'on n'emploie pas une mèche plate; elle résiste bien à la congélation et ne coûte que 137 fr. les 100 kilos à Paris (les droits d'octroi s'élèvant à 48 francs). Ces deux dernières qualités sont essentielles, étant donnés notre climat et nos habitudes d'exploitation. D'ailleurs, le colza est un produit de notre pays, et son prix est, par suite, à l'abri de certaines fluctuations que détermine toujours le moindre changement dans les relations internationales.

La forme de la mèche a une grande influence sur l'intensité de la combustion. Si l'on emploie, comme on l'avait toujours fait, des mèches plates pour l'éclairage des compartiments, l'huile de colza reste au-dessous de ses congénères. Elle regagne, au contraire, le premier rang, si l'on se décide à adopter le bec rond, qui a, il est vrai, l'inconvénient de nécessiter un verre de lampe.

Cette différence considérable tient à ce que, dans le bec rond, l'air nécessaire à la combustion arrive au centre et l'utilisation est, par suite, meilleure que dans les mèches plates où l'air ne peut arriver qu'à la surface extérieure, tandis que le milieu de la flamme manque généralement d'oxygène pour brûler le carbone.

Étant donnée la préférence accordée à l'huile de colza, sa principale qualité est d'être parfaitement pure : aussi les cahiers de charges qu'imposent les Compagnies à leurs fournisseurs d'huile, prescrivent-ils l'essai de ces huiles par leur usage prolongé, dans des conditions déterminées à l'avance. Mais le procédé consistant à faire usage de l'huile, pour l'essayer, est long et donne des résultats peu précis.

En effet, on mélange à l'huile de colza, pour la falsifier, des huiles de cameline, de lin, d'œillette, de ravison et de baleine dont la densité est très-inégale. Si l'on n'a pas eu la précaution de rouler, au préalable, les tonneaux, les prises d'essai faites à diverses hauteurs peuvent être tout à fait inexactes au point de vue de la densité et, par suite, de la nature de l'huile essayée.

Aussi a-t-on cherché d'autres procédés à la fois plus expéditifs et indiquant plus nettement la nature de la fraude. Nous en dirons successivement quelques mots.

Oléomètre Lefebvre. — La densité des huiles végétales varie selon leur nature, mais elle est constante pour une huile donnée, si on la mesure à une température déterminée, à 15 degrés par exemple. On gradue, par conséquent, un pèse-liquide, de manière qu'il suffise de le plonger dans l'huile à essayer et de vérifier jusqu'à quelle hauteur il s'enfonce, pour être édifié sur la pureté de cette huile.

On peut, d'ailleurs, faire l'essai à toute température, excepté au-dessous de 4 degrés, température à laquelle l'huile commence à se figer, à la condition de faire une correction à l'aide d'une table jointe à l'oléomètre et donnant le poids de l'hectolitre d'huile de colza à chaque degré de température.

Néanmoins, ce procédé a l'inconvénient de ne pas déceler la nature de l'huile mélangée à celle qu'il s'agit d'essayer.

Essai par la fluidité. — Le degré de fluidité de l'huile de colza est sensiblement modifié par le mélange des autres huiles. En adaptant, par conséquent, un ajutage de faible diamètre à un tube de verre rempli d'huile, et en recueillant l'huile qui s'écoule par cet ajutage, pendant une durée de cinq minutes par exemple, le poids recueilli peut donner une idée assez exacte de la pureté de l'huile, si on la compare à un poids normal correspondant à de l'huile vierge.

On pourrait également déterminer la fluidité de l'huile, en se servant de la machine à étudier le pouvoir lubrifiant des corps gras, du système Déprez et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Napoli. Cette machine était exposée dans la grande galerie de la Section Française et nous dirons quelques mots du principe sur lequel elle repose.

On donne mécaniquement à un plateau parfaitement lisse et recouvert d'une couche d'huile à essayer, un mouvement de rotation qui se communique, avec plus ou moins de rapidité, à un plateau supérieur placé en contact avec le premier. L'entraînement du plateau supérieur est d'autant plus grand que le pouvoir lubrifiant de l'huile est moins considérable. Il existe plusieurs dispositions dans le détail desquelles il serait trop long d'entrer et qui servent à apprécier graphiquement ce coefficient de frottement. Il nous suffira de dire que, si l'on a gradué l'instrument pour une huile déterminée qui, par sa pureté, a été appelée à servir de type, il peut donner des indications très-satisfaisantes sur le degré de pureté d'une autre huile à essayer.

Essai par la sécativité. — On expose à l'air, pendant un certain temps et à l'abri de la poussière, une plaque de verre sur laquelle on a déposé, au préalable, quelques gouttes de l'huile à essayer. Si l'huile de colza est pure, la goutte qui s'est étendue sur la plaque garde sa limpidité; si elle est mélangée d'autres huiles, la plaque de verre prend, au bout d'un certain temps, un aspect vernissé facile à reconnaître.

Essai par l'acide sulfurique. — Si on laisse tomber une goutte d'acide sulfurique au milieu de quelques gouttes d'huile étendues sur une plaque de verre, au-dessus d'une feuille de papier blanc, il se forme immédiatement des auréoles dont la couleur varie suivant la nature de l'huile essayée.

L'huile de colza donne une auréole d'un bleu pâle qui disparaît au bout d'un quart d'heure; mais, suivant qu'elle est mélangée d'une huile ou d'une autre, la place où est tombée la goutte d'acide devient jaune ou brune, et l'ensemble finit généralement par prendre une teinte d'un gris sale.

Si elle est mélangée d'huile de baleine, de cameline ou de lin, il ne se produit aucune auréole, mais seulement des stries colorées et un changement de couleur de la tache.

Essai de Maumené et Fehling. — En mélangeant à l'huile une quantité déterminée d'acide sulfurique, on obtient une élévation de température particulière pour chaque espèce d'huile, et déterminée par le tableau suivant :

HUILE ESSAYÉE.	ÉLÉVATION DE TEMPÉRATURE PRODUITE.	
	D'APRÈS MAUMENÉ 50 gram. d'huile pour 10^{c3} d'acide.	D'APRÈS FEHLING 15 gram. d'huile pour 10^{c3} d'acide.
Olive	42°	57°,5′
Œillette	74°,5′	»
Colza	58°	»
Amandes douces	53°	40°,3′
Navette	57°	55°
Pavot	»	70°,3′
Lin	133°	74°
Sésame	68°	»
Ricin	47°	»
Noix	101°	»
Foie de morue	103°	»

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce procédé n'est pas complet puisqu'il ne permettrait pas de reconnaître le mélange d'huile de colza et de navette, à cause de la faible différence des températures caractéristiques de ces deux huiles : il faut donc corroborer l'essai par un essai d'une autre nature qui décèle, au besoin, le mélange d'huile de navette.

Essai par le permanganate de potasse. — Comme la plupart des matières organiques, les huiles réduisent le permanganate de potasse et le décolorent : seulement il faut un volume d'huile différent pour opérer cette réduction, selon la qualité d'huile à essayer.

Ainsi, pour décolorer l'unité de volume de permaganate, il faut employer :

Colza	190	unités.
Lin	100	—
Chènevis	283	— etc...

Malheureusement, dans le cas d'un mélange d'huiles, ce procédé ne peut donner que des résultats peu précis et quelquefois tout à fait erronés.

Essai par la comparaison des pouvoir réfringents. — Une goutte d'huile que l'on laisse tomber d'une certaine hauteur sur une nappe d'eau forme, en s'étalant, des figures caractéristiques de chaque espèce d'huile, et dont les différences tiennent à ce que leur pouvoir réfringent n'est pas le même.

Il serait fastidieux de décrire les figures qui se produisent dans chaque cas. Chaque essayeur doit donc commencer par se créer une série de types.

Pour faire cet essai, il faut opérer avec de l'eau distillée, dans un vase toujours le même, que l'on doit avoir soin de rincer, après chaque essai, avec de l'acide sulfurique concentré, puis avec une dissolution de soude, sous peine de commettre des erreurs grossières.

Quoi qu'il en soit, la multiplicité des méthodes employées, pour l'essai des huiles, prouve qu'aucune d'elles n'est parfaitement sûre et précise : chaque opérateur combine, à son gré, celles qui lui paraissent les plus propres à le fixer sur la qualité de l'huile destinée à l'éclairage.

En résumé, d'après les conditions généralement acceptées dans les cahiers de charges, l'huile doit être refusée si les appareils dans lesquels on l'essaie s'éteignent spontanément, après une combustion de moins de quatorze heures, qui a eu lieu dans des conditions normales. Si la combustion ne se soutient pas pendant plus de vingt heures, l'huile est réputée de qualité douteuse. Alors l'épreuve décisive résulte de sa comparaison avec toute autre huile de colza d'une qualité et d'une pureté bien reconnues : si, pendant une combustion de seize heures, l'huile essayée ne donne pas une aussi belle flamme et dépose plus de charbon sur les mèches que l'huile prise pour terme de comparaison, toutes circonstances égales d'ailleurs, on en conclut que la première n'est pas recevable.

Emploi et essai de l'huile de pétrole. — En présence du faible pouvoir éclairant des huiles végétales, de leur prix, et de l'extension que prend le commerce du pétrole depuis quelques années, les Compagnies de chemins de fer ont pris le parti de l'employer presque partout pour l'éclairage fixe des gares et stations. Le Nord en France, le Kaiser-Ferdinand's Nordbahn en Autriche, ont même essayé de le substituer à l'huile végétale, pour l'éclairage des voitures et des falots que l'on suspend à l'avant des machines.

L'huile minérale présente, en effet, de grands avantages sur l'huile de colza : non-seulement, à volume égal, son prix est beaucoup moindre, mais encore on constate qu'un litre de pétrole produit la même quantité de lumière que $1^{lit}.70$ de colza; enfin, sa fluidité étant beaucoup plus grande, il en résulte une moins grande complication des appareils. Il est vrai que le pétrole a l'inconvé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nient d'être inflammable ; mais cela tient surtout à ce que son épuration laisse souvent à désirer.

En effet, dans la distillation des schistes bitumineux et des goudrons, on recueille successivement trois sortes de produits :

1° Les essences légères qui se dégagent jusqu'à la température de 120 degrés et qui s'enflamment avec la plus grande facilité : leur volatilité est telle que leur transport est difficile et que leur emploi est évidemment dangereux ;

2° Les huiles d'éclairage qui se dégagent entre 120 et 220 degrés et qui marquent au densimètre 0,820. Leur emploi n'offre aucun danger, si elles ne sont pas mélangées des précédentes ;

3° Les pétroles lourds et résidus de goudron, inutilisables pour l'éclairage.

Il suffit donc que le pétrole employé soit compris dans les huiles de la deuxième catégorie, parfaitement purifiées et clarifiées. — Dans ces conditions, on obtient un liquide limpide et incolore, ne présentant presque aucune odeur, à la température ordinaire, et ne dégageant pas de vapeurs inflammables, tant que la température reste inférieure à 40 ou 42 degrés centigrades.

Indépendamment de ces caractères, très-faciles à reconnaître, on peut vérifier la pureté du pétrole, en y plongeant une allumette enflammée : elle doit s'éteindre si le liquide a été convenablement raffiné. En employant, en outre, le densimètre ou le naphtomètre, on complète l'essai, de manière à lui donner toutes les garanties les plus sérieuses.

L'appareil, généralement adopté pour ces essais, est celui de M. Casartelli, de Liverpool ; ce naphtomètre marque la température à laquelle se dégagent du pétrole les vapeurs inflammables. Pour du pétrole parfaitement rectifié, cette température devrait être de 51 degrés. Mais les Compagnies poussent la tolérance jusqu'à 42 degrés.

M. Santi, de Marseille, a fait breveter, en France, un appareil qui se rapproche beaucoup du naphtomètre et qui porte le nom de *phlog-élaïo-mètre*.

Une autre série d'essais, par la densité, consiste à colorer une huile que l'on prend pour type, par exemple avec de l'orcanète. Puis on prend une goutte du pétrole à essayer, au bout d'une baguette de verre, et on la laisse tomber dans l'huile type. Cette goutte se conduit comme un aréomètre : suivant qu'elle monte ou qu'elle descend, on en conclut que l'huile à essayer est moins ou plus lourde que le type.

Le pétrole se conserve dans des vases métalliques ou en bois doublé de métal et l'on ne doit pénétrer dans le magasin qu'armé d'une lampe de sûreté.

Emploi du gaz. — Nous n'avons que peu de chose à ajouter sur l'emploi du gaz qui se fait dans les conditions ordinaires et bien connues de l'éclairage fixe.

Toutes circonstances égales d'ailleurs, le gaz est certainement d'un emploi moins coûteux que les huiles : il ne nécessite pas d'appareils spéciaux pour la combustion, mais il a d'autres inconvénients sérieux dans l'application à l'éclairage des trains.

Si l'on emploie un réservoir unique, placé en tête du train, par exemple, on retombe dans tous les inconvénients de la continuité nécessaire à établir entre les diverses voitures du train, inconvénients sur lesquels nous avons déjà insisté à propos du chauffage continu, et auxquels vient s'ajouter celui de la pression et, par suite, de l'éclairage qui va en diminuant de la tête à la queue du train, à moins que l'on emploie un régulateur pour chaque bec, ce qui est une grande complication.

Si l'on veut éviter ces inconvénients, on est conduit à établir un réservoir par voiture ; et indépendamment de la complication que nécessite cette dispo-

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS BIBLIOTHÈQUE

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sition, il en peut résulter de sérieux dangers, en cas d'accident, choc ou collision : de plus, on perd l'avantage de pouvoir éteindre à la fois toutes les lampes, comme on peut le faire dans le oas de l'éclairage continu.

Quoi qu'il en soit, l'éclairage continu au gaz a été appliqué par l'État Belge. L'éclairage discontinu est appliqué par quelques chemins de fer allemands, notamment par ceux de Berg-Marche et de basse Silésie (gaz Pintsch) ; enfin il a été mis à l'essai par la Compagnie d'Orléans (gaz comprimé de M. Hugon).

Signalons, en passant, que les résultats que nous a paru donner l'éclairage belge ne sont guère satisfaisants. Dans la plupart des lampes, la flamme est très-agitée par la marche du train ; il en résulte un dépôt de noir de fumée qui retombe sur la coupe en verre, et, par suite, une diminution sensible du pouvoir éclairant.

§ 2. — *Appareils d'éclairage.*

Forme et position des brûleurs pour l'huile végétale. — Étant donné l'emploi des huiles végétales ou minérales, le brûleur est formé d'une mèche plongeant dans un godet rempli du liquide combustible.

Tantôt le niveau de la lampe est variable, c'est-à-dire que la mèche s'alimente par le seul effet de la capillarité ; tantôt il est constant, c'est-à-dire que le réservoir est placé au-dessus du brûleur et alimente, d'une façon régulière, le bec qui se trouve au même niveau que celui de l'huile dans le réservoir ; tantôt enfin, un modérateur, formé d'un ressort et d'un piston, tend à faire arriver l'huile à la partie supérieure jusque dans la mèche.

La dimension des lampes de voiture, devant être nécessairement fort restreinte, exclut les complications qui résultent de l'emploi d'un modérateur, et, en résumé, on n'a guère de choix à faire qu'entre la lampe à niveau variable et celle à niveau constant, et, en ce qui concerne la forme du brûleur, entre le bec plat et le bec rond.

Il est inutile d'insister sur les avantages que présente le bec rond dans lequel l'arrivée de l'air se fait au centre et qui, par conséquent, réalise une combustion plus complète de l'huile. La dépense d'huile est, il est vrai, plus considérable que dans les becs plats, mais cette huile est mieux utilisée. Le bec rond nécessite une cheminée en verre, ce qui présente des inconvénients, au point de vue du temps nécessaire à l'allumage et à l'extinction des lampes, mais ce qui donne plus de régularité à la combustion et protège la flamme contre l'arrivée trop brusque de l'air.

En résumé, le bec rond, employé à l'éclairage des compartiments, réalise un progrès sur les anciennes lampes à mèche plate.

Les mèches sont généralement en coton, d'un tissu convenablement serré ; leur trame est en soie si elles sont destinées à l'huile végétale, parce que le coton plus épais s'opposerait à l'ascension de l'huile par l'effet de la capillarité.

Lampe ordinaire à bec plat. — La lampe se compose principalement d'une couronne creuse et cylindrique, en fer-blanc, communiquant par deux conduits, qui servent, en même temps, de supports au bec, avec un godet inférieur, fermé en bas par un bouchon à vis et dans lequel doit plonger la mèche.

On la remplit en la renversant et en dévissant le bouchon du godet pour y verser l'huile qui pénètre dans la couronne creuse par l'un des conduits : lorsqu'on retourne la lampe, après l'avoir rebouchée, l'huile arrive régulièrement à la mèche par l'autre conduit sans dégorger, parce qu'au fur et à mesure de la consommation, le vide se produit au-dessus du niveau de l'huile dans la couronne creuse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'air nécessaire à la combustion arrive par une fente qui se trouve entre la couronne et la lampe. Les produits de la combustion s'échappent par une cheminée qui supporte en même temps le réflecteur; cheminée et réflecteur font partie d'un chapeau percé de trous qui se rabat, autour d'une charnière, sur le pavillon de la voiture, lorsque l'on veut allumer, éteindre ou nettoyer la lampe.

Nouvelle lampe à bec plat de 20 m/m. — Dans le nouveau type qui va être appliqué par la Compagnie du Nord à l'éclairage des voitures de deuxième classe, tandis que les premières seront éclairées par des lampes à bec rond, le réflecteur est fixe et fait partie de la couronne creuse, servant, comme dans la lampe précédente, à l'alimentation de la mèche. En outre, pour verser l'huile, il n'est plus nécessaire de renverser la lampe : un bouchon à vis, situé à la partie supérieure de la couronne cylindrique, ferme l'orifice destiné au remplissage.

Lampe à bec rond de 20 m/m. — La nouvelle lampe à bec rond, appliquée par la même Compagnie aux voitures de première classe, paraît devoir donner d'excellents résultats : elle permet de lire sans difficulté, quelle que soit la position que le voyageur occupe dans le compartiment; et, grâce à l'emploi d'une cheminée en verre, absolument nécessaire, quand il s'agit d'un bec rond, la stabilité de la flamme est parfaitement assurée.

Cette lampe, qui est à niveau constant, est représentée par les fig. 4, 5, 5 *bis*, 6 et 7 de la Pl. XXV. La couronne creuse en fer-blanc A, qui supporte le porte-mèche, est formée de deux parties : l'une D est fixe et fait corps avec le porte-mèche, et le tube de descente de l'huile y débouche. L'autre partie mobile C, que l'on peut enlever pour la remplir d'huile, est munie, à la partie inférieure, d'une ouverture fermée par une soupape D. Celle-ci se termine par une tige E d'une longueur telle que, lorsqu'on replace la couronne mobile C sur la couronne fixe B, la tige E vient se heurter contre le fond *a* du tube de descente et, en se levant, ouvre, par conséquent, l'orifice par où l'huile doit s'écouler et arriver jusqu'au pourtour de la mèche; l'huile qui dégorge pendant la combustion s'écoule dans un godet F, ouvert à l'air libre, où plonge la mèche cylindrique.

Une clef latérale permet de faire descendre la mèche et de la noyer, lorsque l'on veut éteindre la lampe; pour l'allumer, il faut nécessairement retirer le verre, ce qui prend plus de temps que l'allumage assez primitif des lampes à bec plat.

Ici, comme dans le système précédent, le réflecteur fait corps avec la partie fixe de la couronne creuse.

Lampe à pétrole. — La fluidité du pétrole étant infiniment plus grande que celle de l'huile de colza, on peut, dans les lampes qui brûlent de l'huile minérale, se fier à la capillarité pour l'alimentation de la mèche, et supprimer, par suite, la disposition assez compliquée des couronnes creuses, avec ou sans soupape.

L'emploi du pétrole ne présente, d'ailleurs, aucun danger, si l'on a soin de disposer le réservoir d'alimentation de la mèche à une distance suffisante pour que la chaleur de la combustion ne le porte pas à une température de 40 degrés, au-delà de laquelle le liquide pourrait dégager des vapeurs qui formeraient des mélanges détonants avec l'oxygène de l'air.

Aussi emploie-t-on pour le bec des substances isolantes et conduisant mal la chaleur, telles que la porcelaine, par exemple. Le bec a un diamètre de 14 millimètres, dans les appareils nouvellement mis à l'essai par la Compagnie du Nord.

Une clef à crémaillère permet de régler la hauteur de la mèche et la flamme

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est garantie par une cheminée en verre. Son extinction est encore plus facile que celle du bec rond à l'huile végétale : il suffit au lampiste de souffler à la partie supérieure de la cheminée en verre.

Les expériences qui ont été faites, pour l'éclairage des trains, en France, ont prouvé qu'avec une dépense moindre, on pourrait arriver à un pouvoir éclairant un peu supérieur à celui du bec rond à l'huile végétale.

A l'étranger, la Compagnie autrichienne du Kaiser-Ferdinands Nordbahn, qui emploie le pétrole pour les lampes des voitures de luxe et pour les falots placés à l'avant des machines, déclare qu'elle obtient un pouvoir lumineux équivalent à celui de neuf bougies, moyennant une faible consommation d'huile. Le falot, d'une construction légère, résiste, d'ailleurs, aux plus violentes tempêtes, et la fermeture hermétique ainsi que l'épaisseur de son enveloppe le mettent à l'abri de la gelée, qui eût été à craindre à l'altitude considérable qu'atteint la ligne, dans la traversée du Sœmmering.

Le réflecteur employé pour éclairer la voie a, d'ailleurs, la forme d'un segment de paraboloïde de révolution, au foyer duquel se trouve le point lumineux.

Éclairage au gaz. — Dans les appareils d'éclairage continu au gaz, employés par l'État Belge, le brûleur n'a rien de particulier; c'est un bec fendu, surmonté d'un robinet réglé une fois pour toutes, et dont les lampistes n'ont pas la clef. Ce régulateur est branché sur la conduite qui est placée au-dessus de chaque voiture et qui est formée d'un tuyau en fer, de $0^m,03$ de diamètre.

La pièce de raccord qui relie entre eux ces tuyaux, lorsqu'on attelle les voitures, est formée d'un tube de caoutchouc, dont l'extrémité est fixée par une ligature sur une embouchure métallique, munie d'oreilles et prolongée par un tube qui peut entrer, à frottement doux, dans le tuyau principal de chaque voiture. Pour le maintenir dans cette position, il suffit d'abaisser une patte fixée par une charnière au tuyau principal et munie d'une fourche, dans laquelle s'emboîte le tube de raccord et qui s'oppose à ce que les oreilles faisant partie de l'embouchure n'éprouvent aucun mouvement de recul.

Pour dételer, il suffit de relever la patte, et de retirer l'embouchure du tuyau : ce système est donc extrêmement simple.

Le réservoir à gaz, placé dans un compartiment du fourgon de tête, a un diamètre de $0^m,60$ environ et une longueur de 2 mètres, ce qui représente une capacité de plus de 560 litres.

Emploi des verres colorés pour les signaux. — Les feux que l'on emploie sur les chemins de fer sont ordinairement blancs, rouges ou verts. C'est par exception que l'on emploie le jaune ou le bleu ; on restreint cet emploi aux signaux qu'il n'est pas nécessaire d'apercevoir de loin.

En effet, l'emploi d'un verre coloré a toujours pour conséquence d'atténuer, dans une certaine mesure, l'intensité de la lumière blanche ; et si (à l'exception de la Compagnie d'Orléans) l'on a choisi le rouge comme signal d'arrêt, et le vert comme signal de ralentissement, c'est parce que les verres de ces deux couleurs absorbent une moins grande quantité de lumière et parce qu'à distance, il est plus facile de les apercevoir que les feux d'une autre couleur.

Le rouge peut être obtenu soit par l'or, soit par l'argent, soit par le cuivre ordinaire, avec des teintes plus ou moins foncées.

Nous donnons au tableau suivant le résultat d'expériences photométriques extrêmement rigoureuses qui justifient la préférence dont il vient d'être question :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

COULEURS OBSERVÉES.	VALEUR DE LA LUMIÈRE COLORÉE COMPARÉE A LA LUMIÈRE BLANCHE A UNE DISTANCE DE				
	0m,20.	2 mètres.	4 mètres.	6 mètres.	8 mètres.
Rouge à l'argent ordinaire. .	0,262	0,382	0,482	0,555	0,614
Rouge à l'argent ordinaire. .	0,191	0,250	0,325	0,404	0,413
Rouge à l'argent foncé. . . .	0,080	0,127	0,194	0,241	0,262
Rouge au cuivre ordinaire . .	0,049	0,074	0,093	0,119	0,149
Rouge au cuivre foncé.	0,019	0,044	0,068	0,098	0,131
Vert ordinaire.	0,073	0,062	0,056	0,048	»
Vert foncé	0,049	0,038	0,033	0,030	»
Bleu.	0,015	0,012	»	»	»

Ce tableau prouve d'abord qu'à distance égale, le feu rouge ordinaire absorbe moins de lumière que le feu vert, et ce dernier, moins que le feu bleu; en outre, plus on s'éloigne du feu, moins le feu rouge absorbe de lumière, tandis que c'est le contraire pour les couleurs verte et bleue.

Ce dernier résultat est, d'ailleurs, confirmé par des expériences qui ont été faites à de grandes distances : ainsi, à 500 mètres, une lumière blanche a cessé d'être visible tandis qu'un feu rouge de même intensité était encore très-vif; à 750 mètres, le feu rouge au cuivre foncé donnait encore une sensation distincte à l'œil. Il est vrai que certaines brumes modifient absolument ces résultats en décolorant les feux.

Nature et forme des réflecteurs. — Le prix élevé des matières métalliques, employées comme réflecteurs et donnant le meilleur rendement en lumière réfléchie, avaient conduit plusieurs Compagnies de chemins de fer allemandes et l'État Belge à essayer la tôle ou la terre cuite émaillées : mais ces matières ont un faible pouvoir réfléchissant en raison des aspérités que présente leur surface et les réflecteurs s'écaillent et se fendillent rapidement. Il est vrai que l'emploi du gaz pour l'éclairage des lampes de voitures interdit l'emploi de l'argent pour les réflecteurs de ces lampes parce que les émanations sulfureuses de la combustion du gaz noirciraient bientôt la surface de ces réflecteurs. Pour les lampes à l'huile, on emploie généralement le cuivre avec une épaisseur de $0^m/^m\ 4$ à $0^m/^m\ 7$, plaqué d'argent sur une épaisseur de $0^m/^m\ 010$ à $0^m/^m\ 017$.

Malgré la supériorité incontestable de cette espèce de réflecteurs, on se sert quelquefois de laiton ou de cuivre, recouvert d'une mince couche de nickel. Mais le pouvoir absorbant de ces matières nuit un peu à leur effet utile; d'ailleurs, la couche de nickel se ternit rapidement à l'air. Aussi l'économie réalisée par la substitution du nickel à l'argent (l'écart est de 7 fr. les 100 kilos au lieu de 220 fr.) est-elle en partie compensée par la durée qui est moindre, par l'entretien qui est plus coûteux, par l'effet utile qui est loin d'être comparable à celui de l'argent, et enfin par le travail du polissage qui est plus difficile que le brunissage de l'argent.

La forme des réflecteurs est obtenue par un emboutissage sur un modèle dont la coupe est généralement une parabole, une ellipse ou une hyperbole, suivant les cas. Il résulte des essais récemment entrepris, à ce sujet, par la Compagnie du Nord, que la forme qui paraît être la plus avantageuse, pour l'éclairage des compartiments de voiture, est celle d'un segment de tore ellip-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tique, obtenu en faisant tourner une ellipse autour d'un axe perpendiculaire à son grand diamètre et passant par l'un de ses foyers.

En plaçant à ce foyer un point lumineux, on arrive à obtenir un éclairage égal pour toutes les parties du compartiment, jusqu'à une certaine hauteur pratique.

Cette forme de réflecteurs, appliquée aux nouvelles lampes à bec rond, a donné les résultats les plus satisfaisants.

Position des lampes dans les compartiments. — Les lampes des voitures sont, le plus souvent, fixées au milieu du pavillon, au nombre d'une par compartiment pour les voitures de première classe et les nouvelles voitures de deuxième classe, d'une pour deux compartiments dans les anciennes voitures de deuxième classe, et de deux par voiture dans celles de troisième classe.

Cette position des lampes présente un inconvénient : elle nécessite que les lampistes montent sur le pavillon de la voiture, pour nettoyer, allumer ou éteindre les lampes, et qu'ils sautent d'une voiture à l'autre. Aussi a-t-on imaginé de placer les lampes latéralement, sur les parois verticales des compartiments, au nombre de deux par compartiment. Cette disposition est employée sur le chemin de fer de Vincennes et sur les chemins de fer suédois, comme on a pu le voir sur les voitures exposées au Champ de Mars. De cette façon, les lampistes n'ont plus qu'à circuler sur les marchepieds, ce qui est plus rapide et moins dangereux, surtout en cas de gelée, et ce qui permet, en outre, de visiter, d'allumer ou d'éteindre les lampes pendant la marche, si le train s'arrête peu de temps, ou très-rarement.

Conclusion. — Le tableau suivant donnera une idée assez exacte des résultats comparatifs que fournissent les divers modes d'éclairage dont nous avons parlé :

DÉSIGNATION DES BECS.	PRIX DE LA LAMPE avec la lanterne.	CONSOMMATION horaire en grammes ou en litres.	PRIX DU KILO ou du mètre cube de liquide ou de gaz employé.	DÉPENSE PAR BEC et par heure	ÉCLAIRAGE OBTENU comparé à la lampe Carcel type.
	fr. c.	kilogr.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Lampe à bec plat de 0m167 à l'huile (voitures de 2e et 3e classes).	36 50	0,012	1 10	» 013	» 33
Lampe à bec plat de 0m227 à l'huile (voitures de 2e et 3e classes)	40 »	0,016	1 10	» 018	» 45
Lampe à bec rond de 0m020 à l'huile (voitures de 1re classe). Type Nord	50 »	0,0218	1 10	» 023	» 62
Lampe à bec rond de 0m022 à l'huile (voitures de 1re classe). Type Nord.	50 »	0,024	1 10	» 026	» 68
Lampe à bec rond de 0m014 au pétrole lourd (voit. de 1re cl.). Essais du Nord.	50 »	0,016	» 65	» 01 0	» 38
Lampe à bec rond de 0m018 au pétrole lourd (voit. de 1re cl.). Essais du Nord.	50 »	0,020	» 65	» 013	» 47
Éclairage au gaz ordinaire comprimé (État-Belge) bec fendu	»	0,040	» 66	» 026	» 85
Éclairage au gaz Pintsch (Berg-Marche et Basse-Silésie) bec fendu.	»	0,020	1 205	0 024	» 53

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

IV. — APPAREILS DIVERS DE L'EXPLOITATION TECHNIQUE.

(Par M. Cossmann).

SECTION A. — Manutention.

§ 1er. — *Appareils de pesage et de levage.*

Bascules. — Il y a peu de choses à dire de ce genre d'appareils.

Les ponts à bascule pour le pesage des vagons ou des voitures appartiennent à un type uniforme et connu depuis longtemps : nous n'insisterons donc pas davantage, et nous nous contenterons de faire remarquer que la Compagnie de l'Ouest avait exposé, dans les pavillons de l'annexe de la classe 64, située sur le quai de Billy, une série de ponts à bascule et de bascules ordinaires d'une construction soignée.

Cependant il serait regrettable de passer sous silence les excellents résultats que paraissent maintenant devoir donner les bascules de MM. Bailly et Roche ou celles du système de la Mulatière, que l'on installe maintenant, au niveau du sol, dans les grandes gares de tête, où le service des bagages est très-actif. Nous avons déjà indiqué, dans le premier chapitre de cette Étude, à quelles nécessités ces appareils donnent satisfaction, et comment sont disposés les locaux où on les installe (Voir Pl. V, fig. 7). Il ne nous reste donc qu'à parler de la bascule proprement dite.

Le système de MM. Bailly et Roche consiste dans l'addition aux bascules romaines, actuellement en usage, d'un cadran de rotation, muni d'une aiguille fixe, placée sur un support qui fait corps avec le fléau. L'appareil est combiné de façon que la pesée, réalisée par le déplacement du poids sur le bras du levier se constate :

1° Comme à l'ordinaire à l'aide des divisions qui y sont tracées;

2° Par l'aiguille du cadran de rotation qui est circulaire et vertical, et dont les divisions correspondent à celles du levier de la romaine, de manière que le poids indiqué par le curseur du fléau soit exactement reproduit par l'aiguille.

Ce résultat est obtenu au moyen d'une crémaillère dont le poids forme le complément de celui que doit avoir le curseur. Le déplacement du curseur actionne la crémaillère ; et celle-ci, en rapport avec des engrenages de transmission, imprime au cadran un mouvement de rotation qui présente successivement les divisions devant l'aiguille. Dans ces conditions, si l'on donne au diamètre du cadran une longueur égale à celle du fléau, les divisions seront plus que triplées.

Le système de la Mulatière diffère des bascules de MM. Bailly et Roche, en ce que l'aiguille se meut sur un cadran fixe et s'arrête devant la case correspondant au poids du colis. Le mécanisme des deux systèmes est à peu près identique, mais il paraît préférable et plus rationnel de ne laisser voir que la partie du cadran qui indique le poids que l'on cherche.

Le prix d'une bascule du système Bailly et Roche, d'une force de 2,000 kilos, est de 930 fr., y compris la pose et les fondations : si la bascule ne porte pas de cadran, le prix n'est que de 640 francs.

Grues fixes et pivotantes. — Il faudrait faire un ouvrage spécial si l'on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

voulait décrire tous les systèmes de grues pivotantes, en usage sur les chemins de fer.

Aussi notre intention n'est-elle pas d'entrer, au sujet de leur construction, dans des détails qui ne seraient plus du ressort de cette Étude. Qu'il nous suffise de dire, d'ailleurs, que l'emploi d'une grue pivotante pour desservir une gare importante, mais munie d'un seul appareil de levage, n'est pas aussi avantageux que celui d'un treuil roulant. La grue fixe, en effet, ne peut étendre son action que dans un rayon très-limité, par exemple sur un quai de chargement; aussi est-ce généralement l'emplacement qu'elle occupe dans les gares et stations. D'un autre côté, il est juste de faire remarquer que les grues sont généralement d'une manœuvre plus facile et plus rapide que les treuils, et que, dans les petites gares, la portée d'un appareil de levage ne joue qu'un rôle secondaire.

Pour mieux faire ressortir l'économie qui résulte de la substitution des engins mécaniques à la manutention à bras, empruntons quelques chiffres à des documents fournis par le Chemin Rhénan, au sujet des opérations faites, en 1874, sous le hangar central de la gare de Géréon, à Cologne.

Le tonnage des marchandises, manutentionnées à bras sous ce hangar, s'élève à 167,000 tonnes environ; la dépense résultant des salaires payés à 135 ouvriers et maîtres chargeurs atteint 165,000 fr.; la tonne revient donc à près de 1 fr.; et ce prix de revient s'élève à 1 fr. 15 c. si l'on tient compte de la manœuvre nécessaire pour amener les wagons à quai.

La gare de La Chapelle dépense par an 2,500,000 fr., pour un tonnage de 3,300,000 tonnes, dont les 0,35 environ sont manutentionnés par le public : c'est une dépense de 0 fr. 76 environ, par tonne manutentionnée.

A la gare d'Anvers, où sont installées des grues hydrauliques et des cabestans sur lesquels nous aurons l'occasion de revenir, les dépenses sont de 900,000 fr. seulement pour un tonnage de 1,500,000 tonnes, soit 0 fr. 60 c. tous frais compris.

Le prix de la main d'œuvre continuant toujours à s'élever et étant d'ailleurs très-insuffisamment rémunéré par les frais accessoires que les Compagnies sont autorisées à percevoir du public, on a été conduit à employer, pour la manœuvre des grues, dans tous les cas où la continuité du travail et la nécessité d'agir rapidement justifient cette dépense, l'eau ou la vapeur.

Les grues Armstrong à piston hydraulique, et les grues Chrétien qui portent leur chaudière et leur machine à vapeur, s'orientent et effectuent la levée des fardeaux mécaniquement et avec la plus grande promptitude. Aussi commence-t-on à les employer avec succès dans les grandes gares de marchandises, toutes les fois que cela est possible.

Ajoutons toutefois, que l'emploi des grues hydrauliques est surtout avantageux quand l'établissement de ces engins n'est que la conséquence et l'accessoire d'installations destinées, comme elles le sont en Angleterre, à permettre l'usage des gares à étages ou à niveaux très-différents.

Il faut, d'ailleurs, comme l'a fait remarquer M. Sartiaux, dans une note qu'il a publiée sur une visite à la gare d'Anvers, que le matériel roulant employé soit, autant que possible, découvert; que l'importance du trafic soit telle que la manutention ne souffre pas d'intermittences; que les habitudes du public, ainsi que la législation sur la réception des marchandises, permettent de ne pas laisser les marchandises séjourner sur les quais; enfin que le climat ne soit pas, par sa rigueur, un obstacle sérieux à l'emploi de l'eau.

Dans les wagons couverts, au fond desquels il faut fouiller ou pousser les marchandises, l'opération du chargement ou du déchargement devient assez difficile à l'aide d'une grue; et, pour peu que l'on dispose d'un quai étroit, on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

transborde bien plus rapidement, sur une brouette, un colis qui sort d'une voiture pour entrer dans un wagon couvert et *vice versa*, à la condition toutefois que le poids de ce colis ne soit pas trop fort, et qu'on ait toujours un wagon prêt à être rempli vis-à-vis d'un camion et inversement; or, cette dernière condition ne peut être remplie si, comme en France, les destinataires jouissent d'un délai de quarante-huit heures pour l'enlèvement de leurs marchandises.

Quoi qu'il en soit, la grande halle de la gare maritime d'Anvers, longue de 200 mètres et large de 70 mètres, recouvre quatre quais de 7 mètres de largeur, séparés par deux voies charretières de 10 mètres de largeur, et coupés transversalement par quatre traversées rectangulaires, qui sont munies de plaques. Sur ces quais sont installées vingt-huit grues hydrauliques de 1,000 à 2,000 kilos; à l'extérieur, sur les quais découverts, seize autres grues, dont trois sont de la force de 10,000 kilos.

D'après M. Sartiaux, le prix de revient de la manutention, effectuée à l'aide d'une des grues hydrauliques, s'établirait de la manière suivante :

DÉSIGNATION.	DÉPENSE PAR JOUR.
	fr.
Intérêt et amortissement du prix de la grue, entretien, etc	1 90
Part d'intérêt et d'amortissement de l'installation générale	20 60
Salaire des hommes	10 50
TOTAL.	33 »

En supposant que la grue travaillât à pleine charge et sans interruption pendant dix heures par jour, à raison d'une manœuvre en deux minutes, elle pourrait théoriquement manutentionner 300 tonnes de marchandises et le prix de revient serait, dans ce cas, de 0 fr. 11 c.; mais il est évalué à 0 fr. 33 c. par les ingénieurs belges, parce que la grue travaille, en moyenne, au tiers de la charge nominale, ou qu'elle nécessite quatre à cinq minutes pour chaque opération.

En résumé, on voit que la plus grande partie des avantages, que l'on peut recueillir de la manutention mécanique, disparaît, soit lorsque l'arrimage et le classement des colis sont peu rapides, soit lorsque l'on n'emploie la grue qu'à soulever de faibles fardeaux, soit enfin lorsque le travail est intermittent.

Grues Nepveu. — A l'exception des grues hydrauliques dont il vient d'être question et de quelques autres cas particuliers, les grues à bras sont généralement installées à découvert et ne peuvent, par conséquent, servir à manœuvrer que les marchandises lourdes et ne craignant pas l'humidité. Pour les colis dont la manutention se fait sous halle, et qui se présentent souvent par masses indivisibles d'un grand poids, comme les sucres, les grains, les tissus, etc., il est un appareil qui rend de grands services, dans les gares de moyenne importance : c'est la grue Nepveu.

On sait que le chemin de roulement de cet appareil, fixé à la charpente du comble, permet de le transporter transversalement de la face du quai où viennent aborder les voitures jusqu'au-dessus de la voie ferrée qui longe l'autre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

face du quai. Au chariot mobile est suspendue la grue elle-même, que l'on peut faire pivoter de manière à saisir les colis de part et d'autre de la voie qu'elle suit. Le prix d'une grue Nepveu de la force de 2,000 kilos est de 1,800 fr., dont 1,000 francs pour la grue proprement dite, et 800 pour le chemin de roulement, y compris le montage de ce chemin.

Les grues Nepveu ont toutefois l'inconvénient d'être un peu encombrantes sous les halles où l'on ne dispose pas toujours d'une place suffisante : il faut leur laisser, sur le quai, non-seulement le passage libre, mais un certain jeu latéral, pour enlever les ballots et les fûts.

A ce point de vue, les treuils du système Mégy qui, comme ces grues, ont un chemin de roulement fixé à la charpente du comble, ont, sur elles, un avantage; c'est qu'ils permettent de gerber les colis, même au-dessous de ce chemin de roulement, c'est-à-dire précisément à l'endroit où il est le plus utile de les accumuler pour les déposer et les enlever mécaniquement. L'homme n'a pas besoin d'accompagner le chariot dans sa marche; il le manœuvre à distance au moyen d'un treuil à manivelle et à engrenages, situé à l'une des extrémités de sa course. Mais ces appareils, mis en mouvement à la main, sont d'une manœuvre très-lente : il faut près de cinq minutes pour chaque opération et l'emploi de la vapeur ou d'une machine à gaz, pour accélérer leur marche, n'est admissible que si l'importance de la station justifie de pareilles installations.

Quoi qu'il en soit, et quand le travail en vaut la peine, l'emploi du treuil à main sous halle peut donner de bons résultats. La dépense d'installation peut être évaluée à 6,500 fr. par travée, soit 1,300 fr. pour le chariot proprement dit et 5,200 fr. pour le chemin de roulement qui a 10 mètres de longueur, ainsi que pour ses accessoires.

En employant cinq hommes pour manœuvrer et desservir un de ces chariots, et en tenant compte des diverses pertes de temps, on évalue à 1,500 environ le nombre des sacs de sucre que l'on pourrait décharger dans une journée, tandis qu'une équipe de sept hommes par travée ne peut charger ou décharger à la main que 900 sacs dans le même temps. Le prix de revient de la manutention d'un sac est donc abaissé de 0 fr. 030 à 0 fr. 012, y compris l'intérêt et de l'amortissement des frais d'installation. Il est, d'ailleurs, bon de faire remarquer que, tout en exécutant, à meilleur compte, un travail plus considérable, on se trouve dispensé d'avoir recours à des hommes d'une aptitude physique tout à fait spéciale.

Grues roulantes et pivotantes. — L'importance décroissante des lignes qui restent à ouvrir et le faible trafic que l'on peut espérer dans les nouvelles stations, nécessitent des installations aussi restreintes que possible et qui soient en rapport avec ce trafic.

Aussi, dans ces stations, n'y a-t-il généralement aucun appareil de levage; et, comme le personnel en est très-restreint, et qu'il peut se présenter des cas où l'on ait à manutentionner des colis d'un poids considérable, on a pris e parti d'affecter un seul appareil de levage à un ensemble de lignes de cette nature. Cette mesure a été appliquée par la Compagnie du Nord-Est, et elle a été également adoptée par la Compagnie du Nord qui a repris l'exploitation des lignes du Nord-Est.

La grue à pivot, d'une force de 6,000 kilos, est alors montée sur une plate-forme roulante, pouvant circuler sur les voies ferrées et munie de tampons, de crochets d'attelage et de chaînes de sûreté, en un mot, de tous les organes nécessaires pour que l'on puisse atteler la grue à un train et la transporter facilement d'une station à une autre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'emploi et le transport de cette catégorie de grues exigent quelques précautions qu'il ne sera pas sans intérêt de faire connaître.

Lorsque la grue n'est pas en service, il faut desserrer les vis de pression placées sous les boîtes à graisse, pour rendre aux ressorts l'élasticité nécessaire; fixer la queue de la grue dans l'axe de la voie, au moyen de cames de calage placées à l'arrière de la plate-forme, pour que la flèche ni la queue ne puissent gêner la circulation des wagons sur les voies latérales; ramener le contre-poids au plus près du pivot et le maintenir, dans cette position, à l'aide de broches d'arrêt que l'on engage dans les trous des oreilles du contre-poids et dans ceux du chemin de roulement.

Lorsque la charge à soulever ne dépasse pas 3,000 kilos, on peut faire les opérations de transport des colis et d'orientation de la grue, sans le concours des vérins dont elle est munie; au-dessus de ce poids et jusqu'à la limite représentée par la charge maxima, il faut caler les roues sur les rails, serrer les vérins placés de chaque côté de la plate-forme sur des semelles en bois reposant sur le sol. On doit avoir soin de pilonner le terrain sous ces semelles, afin de diminuer, autant que possible, les tassements qui peuvent se produire sous l'action de la charge, pendant l'orientation.

Pour le transport de la grue, on doit la placer près d'un wagon plate-forme destiné à recevoir la flèche que l'on abaisse et qui est supportée sur une traverse à laquelle on le fixe au moyen de deux chantignolles : la queue de la grue est fixée dans l'axe de la voie, comme au repos, au moyen des cames de calage. Le couple formé par la grue et la plate-forme doit être placée, autant que possible, à l'arrière du train. Le prix d'une de ces grues, du système Rolin, est de 7,000 francs.

Ne quittons pas les grues roulantes sans parler de celles qui sont destinées à rouler sur le pavé ou sur les empierrements. Il existe des grues de cette nature en service sur le port de Dunkerque, où elles rendent de grands services pour la manutention rapide des colis d'un poids relativement peu élevé.

Treuils roulants. — Ce sont les engins les plus utiles dans les gares où il s'agit de charger ou de décharger des marchandises, telles que les pierres qui séjournent dans la gare et finissent par former de véritables chantiers. La charpente en bois, ou même en tôle, roule sur des rails, écartés de 8 à 12 mètres, suivant la dimension de l'appareil, et comprenant entre eux une voie ferrée et un chantier où l'on empile les matériaux amenés par wagon ou par voiture.

Le treuil qui est placé à la partie supérieure et qui peut recevoir un mouvement de translation transversale, de manière à desservir tous les points du chantier, est mû soit à la main, soit à la vapeur. Mais on n'emploie guère la vapeur que pour une installation d'une importance égale à celle des gares de tête, à Paris.

La machine du treuil roulant de la gare aux fers de la Plaine Saint-Denis, appartenant à la Compagnie du Nord, est même disposée de manière à effectuer mécaniquement le déplacement de la charpente sur son chemin de roulement.

Pour ne pas perdre le bénéfice de cette installation, en enlevant chaque pièce séparément, on a mis en service un sorte d'élingue métallique, appelée *trapsier*, à l'aide de laquelle on peut enlever tout un lot de barres ou de fers ronds.

Transbordement mécanique des marchandises. — Les opérations de transbordement sont celles dont la rapidité importe peut-être le plus au bon service : il est, en effet, nécessaire de libérer le matériel d'autant plus promptement qu'il appartient à une Compagnie étrangère, et que, si son séjour dé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

passe les limites convenues, il est perçu, par cette Compagnie, une redevance onéreuse, 3 fr. par jour d'absence et par wagon.

Dans ces conditions, il est nécessaire d'activer les opérations de manière à restituer, le plus tôt possible, le matériel emprunté. En outre, comme la partie des frais accessoires concernant les droits de transmission est, ainsi que nous l'avons déjà dit, loin de couvrir les frais de cette opération, il importe de réduire ces frais, autant que possible. Il y a enfin d'autres raisons qui, à défaut des précédentes, influent en faveur de l'emploi des machines : la difficulté toujours croissante d'embaucher un personnel sûr et qui ne déserte pas, à l'approche de l'hiver, c'est-à-dire au moment où l'activité des transports commence à redoubler; la nécessité de ne pas encombrer des gares déjà trop restreintes pour le rôle d'entrepôts que le public tend à leur faire jouer.

Toutes ces raisons réunies ont déterminé certaines Compagnies à mettre le travail à la tâche et à employer des moyens mécaniques.

Le travail à la tâche est une première amélioration dont il est facile d'apprécier les résultats pour les opérations de toute espèce effectuées dans les gares.

Ainsi, à la gare de La Chapelle, une équipe de quatre hommes, coûtant 14 fr. 25 c. pour un travail de dix heures par jour, déchargeait autrefois 60 tonnes de fer dans sa journée, ce qui faisait ressortir la tonne à 0 fr. 2375, et le travail de chaque homme, à 15 tonnes : depuis que le travail a été mis à la tâche, on a pris pour point de départ un prix de 0 fr. 20 c. par tonne et le travail de l'équipe a atteint $2^t,8$ par heure et par homme, soit 28 tonnes par jour et par homme : on a donc réalisé une économie sensible et gagné beaucoup en rapidité.

Pour le transbordement de wagon à wagon, on a fixé un prix de 0 fr. 25 c. par tonne, évidemment bien inférieur au prix de revient antérieur qui était près de 0 fr 35 c., et le rendement de l'équipe s'est élevé à $1^t,8$ par heure et par homme, chiffre considérable si l'on tient compte de ce que l'opération complète comprend le déchargement, le transport à bras, le chargement et le rangement des colis.

Le chef d'équipe tient attachement du travail à la tâche, les chiffres sont vérifiés par un surveillant chef, acceptés par le chef des arrivages et contre-vérifiés au bureau du personnel. Il y a donc une entière garantie de leur exactitude.

Mais les résultats ont été à peu près doublés, au point de vue de la rapidité, sans que le prix de revient ait notablement changé, par l'emploi de grues à vapeur du système Chrétien.

Deux grues de ce système ont été essayées : l'une de 10 tonnes, destinée au chargement des fers dans la Plaine Saint-Denis, était munie de vérins qui permettaient de la caler pour l'emploi de sa puissance maxima. Elle a été remplacée depuis par le treuil roulant dont nous avons parlé plus haut : l'autre, de la force de 1,500 kilos, est en service courant, pour les opérations du transbordement, où elle rend les plus grands services. Elle est montée sur une plateforme roulante d'une longueur de $5^m,50$, ce qui permet de la placer sur une voie intercalée, à une distance de $2^m,80$ d'entre-voie, entre celles où stationnent les wagons à transborder; on peut ainsi se dispenser de faire l'opération sur un quai spécial d'une faible largeur. La levée des fardeaux est obtenue par l'action directe de la vapeur sans détente sur un piston dont la tige est attelée aux poulies d'un palan; quant à l'orientation de la grue, elle est obtenue à la main, afin que l'on ne puisse fatiguer l'appareil par des évolutions brusques et plus rapides que ne le comporte un bon travail.

Un seul homme suffit pour manœuvrer la grue : d'une main, il agit sur le levier qui fait monter ou descendre la charge; de l'autre, il agit sur un volant,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour produire l'orientation. Ces deux mouvements peuvent être exécutés simultanément et sans grand effort. Il faut quarante à cinquante minutes pour opérer l'allumage.

Avec une équipe composée de :
Un chef d'équipe,
Un mécanicien,
Un homme sur le wagon à charger,
Deux hommes sur le wagon à décharger,

Soit en tout cinq hommes, on a pu, en travaillant à la tâche, arriver à un rendement de 130 tonnes transbordées, par journée de dix heures. Dans la pratique, on utilise, la grue pour un travail moyen de 93t,5 par jour. La dépense de combustible s'est sensiblement maintenue égale à 8 kilos par heure de travail ; le salaire des hommes s'est abaissé à 18 fr. 50 par heure.

En résumé, le prix de revient de la tonne transbordée, à l'aide de cet appareil, se décompose de la manière suivante :

Salaire du chauffeur	0f,0500	par tonne.
Chef d'équipe	0 ,0425	—
3 hommes d'équipe.	0 ,1050	—
Dépense de combustible et entretien.	0 ,0250	—
Intérêt, amortissement du prix d'acquisition . . .	0 ,0250	—
TOTAL.	0 ,2475	

Soit au plus 0 fr. 25 c. Ce résultat confirme ce que nous avions dit en commençant.

Transbordement mécanique des masses divisibles. — Si le transbordement mécanique des colis, d'un poids moyen supérieur à 200 kilogrammes, est avantageux au point de vue de la rapidité, on doit convenir que les avantages disparaissent à mesure que le poids des colis s'abaisse. En effet, ce qui demande le plus de temps dans la manutention à la vapeur, c'est l'application de l'élingue qui sert à attacher le fardeau à la grue et le dégagement de ce fardeau. Si donc on était réduit à élinguer chaque sac de 100 kilos, on ne transborderait pas aussi vite qu'on le fait en transportant à bras les colis sur une brouette ; aussi a-t-on appliqué au crochet de la grue un armement spécial qui permet d'enlever à la fois jusqu'à dix sacs de 100 kilos. Mais cette disposition n'est guère applicable qu'à des colis de même forme, malléables dans une certaine mesure.

Dès qu'il s'agit de masses divisibles, on est obligé de renoncer à l'emploi direct des grues. Cette impossibilité, jointe à la nécessité de transborder rapidement et sans perte des marchandises telles que la houille, dans les gares de contact entre des lignes à voie large et des lignes à voie étroite, a conduit à l'emploi des cadres.

Cet outillage est déjà depuis longtemps en usage pour la manutention des poteries ; on s'est proposé de l'appliquer aussi au transbordement des bagages des voyageurs arrivant par bateau sur un quai où les attend un train, et *vice versâ*. Avec deux ou trois cadres qu'on disposerait sur le pont du paquebot, ou sur une plate-forme attelée au train, et, en se servant d'une grue roulant sur le bord du quai, on éviterait trois opérations faites à bras, le déchargement, le transport et le chargement de ces bagages, et, indépendamment de la perte de temps, on supprimerait les chances d'avaries et, par suite, de réclamations de la part des voyageurs.

Toutefois, on se contente jusqu'ici de plateaux qui présentent le seul avantage

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de transborder un certain nombre de colis à la fois, mais que l'on est obligé de charger sur le bateau et de décharger dans le fourgon du train. Des expériences, faites à Boulogne, ont prouvé qu'à l'aide d'une grue à vapeur et d'un plateau pouvant contenir une vingtaine de colis, on arrive à transborder quatre-vingt huit colis en quatre voyages, d'une durée totale de dix minutes au plus.

L'emploi des cadres est aussi applicable au transbordement des wagons de houille ou de minerais, au point de jonction de deux lignes dont la largeur de la voie n'est pas la même; il suffit que le wagon plate-forme de la ligne à voie large puisse renfermer et supporter un nombre exact de cadres, correspondant chacun aux dimensions d'une plate-forme de la ligne à voie étroite. C'est cette méthode de transbordement qui a, d'ailleurs, été invoquée, avec raison, par les partisans des chemins à voie étroite, quand on leur opposait la nécessité et la difficulté de transborder toutes les marchandises dans les gares communes, faute de pouvoir faire circuler les mêmes wagons d'une ligne sur l'autre.

Grousokate. — Le grousokate de M. Wonlarlarsky est un appareil de levage essentiellement portatif. On peut l'installer, en un point quelconque, sans travaux préalables, pour transborder les colis d'un poids de 400 kilogrammes, au maximum, et à une distance aussi grande que l'on veut, d'un bateau situé sur un canal, par exemple, à un quai ou à un wagon stationnant sur une voie ferrée qui longerait ce canal : il permet donc d'effectuer mécaniquement cette opération, dans des conditions où les inégalités de terrain présenteraient de sérieux obstacles à l'installation d'un autre mode de déchargement et où on serait, par conséquent, obligé de l'effectuer à bras d'homme.

Il se compose essentiellement :

1° De chevalets-trépieds, d'une hauteur de 6 mètres environ, construits en bois ou en fer tuyauté, et formant un point d'appui tout à la fois solide et facile à déplacer. Ce trépied peut être avantageusement remplacé, pour le service des quais, par une chèvre à deux pieds, maintenue dans un plan incliné par des haubans;

2° De poutres de 6 à 8 mètres de longueur, en bois muni de rails plats, ou en cornières rivetées, ou en fer à double T. L'assemblage d'un nombre quelconque de poutres se fait au moyen de boîtes de jonction, en réunissant, par des boulons, la partie saillante d'une poutre à la partie creuse de la poutre suivante. Chaque portion de poutre porte des anneaux boulonnés dans l'axe du chemin de roulement;

3° De poulies différentielles de Weston, munie de chaînes, pour suspendre les poutres aux chevalets;

4° D'un chariot à deux roues et à axe cintré, portant, à la partie inférieure, un palan à frein auquel on suspend le fardeau.

Pour faire fonctionner l'appareil, on installe plusieurs trépieds en ligne droite à des intervalles égaux, et on y suspend, au moyen des poulies différentielles, le même nombre de poutres réunies préalablement entre elles. En soulevant cette voie ferrée à une hauteur de 3 ou 4 mètres au-dessus du sol, et en lui donnant, au moyen des poulies, une légère inclinaison, le chariot et la charge qui y est suspendue parcourent rapidement toute la longueur des poutres, sous l'influence de leur propre poids, et sans dépenser aucune force motrice. Un treuil, s'adaptant à l'un des supports du chevalet, permet de soulever le fardeau à la hauteur voulue, et il suffit de trois ou quatre hommes pour faire fonctionner convenablement tout le système.

Le prix d'un appareil à trois chevalets, avec poutres, poulies, treuil, etc., est de 3,000 francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cet appareil a déjà reçu d'assez nombreuses applications en Russie; l'administration de l'Artillerie russe s'en sert, depuis 1872, pour les travaux dans les ports maritimes, et pour le transbordement des obus de gros calibre.

Néanmoins, on peut se demander s'il pourrait s'acclimater en France, où les les gares des Compagnies de chemin de fer sont généralement pourvues d'appareils de levage et de transbordement assez variés, comme on l'a vu précédemment. Il résulte, d'ailleurs, des expériences faites, à Vincennes, sur le grousokate que l'on y avait installé, à titre d'essai, que le montage ou le démontage de cet appareil exige près d'une heure, et que son transport peut être assez encombrant. Il reste à savoir s'il paraît convenir aux exigences militaires, auxquelles l'outillage de nos gares et de nos ports donne, la plupart du temps, une satisfaction bien suffisante. Cependant, en cas de guerre et en rase campagne, il est certain qu'il pourrait rendre des services importants.

Transbordement de la houille. — Le déchargement de la houille et son transbordement de wagon en bateau, ou de benne en wagon, sont des opérations extrêmement répandues et qu'on s'est depuis longtemps préoccupé d'effectuer mécaniquement, soit en plaçant des estacades au-dessous desquelles viennent accoster soit les wagons, soit les bateaux. Le récipient dans lequel arrive la houille et qu'il s'agit de vider est muni d'un fond mobile, ou bien il bascule sur une sorte de roue qui le retourne et le vide entièrement. Mais ces dispositions bien connues ont généralement l'inconvénient d'exiger que les voies, sur lesquelles on amène les wagons, soient perpendiculaires à la bordure du quai auquel accoste le bateau et de nécessiter un matériel de forme spéciale; de plus, les basculeurs ordinaires des mines ne sont construits qu'en vue du déchargement des wagons nets et des bennes, dont le poids est le $^1/_{10}$ ou le $^1/_{20}$ de celui des wagons à houille, employés sur les chemins de fer.

Il peut donc y avoir un intérêt sérieux à signaler le basculeur hydraulique, employé par la compagnie des mines de Bruay (Pas-de-Calais), pour décharger directement dans les bateaux des wagons contenant 10 tonnes de houille. La voie, qui dessert le rivage d'un canal, étant généralement parallèle à ce canal, le nouvel appareil diffère de ses prédécesseurs en ce que le mouvement de déversement se produit autour de l'axe longitudinal du wagon et parallèlement au rivage.

A cet effet, la voie ferrée porte une plate-forme A analogue à celle des ponts à bascule (Pl. XV, fig. 5). Les fers transversaux des extrémités de cette plate-forme sont recourbés verticalement et viennent s'appuyer sur deux tourillons B reposant sur deux supports C. Deux taquets D que l'on peut approcher à volonté, à l'aide d'un mouvement de vis sans fin, maintiennent le châssis du wagon pendant la rotation.

Au-dessous de la plate-forme se trouve un piston de pompe hydraulique M, qui, au moyen de deux bielles F, peut communiquer un mouvement d'élévation à l'axe de cette plate-forme.

La trémie de chargement G est supportée par un axe, reposant sur deux paliers fixés sur la bordure du quai. On peut, à l'aide du treuil K, ramener cette trémie à l'horizontalité, pour laisser le passage libre aux bateaux, et régler, en outre, son inclinaison, de manière à faciliter la descente du charbon. Son extrémité offre une disposition spéciale, qui permet de répartir le charbon sur tous les points du bateau, en déplaçant l'embouchure à l'aide du treuil à vis sans fin I.

D'après ce qui précède, on voit qu'en plaçant un wagon ordinaire sur la plate-forme, en ouvrant le loquet qui maintient fermées les portes latérales, et en manœuvrant simultanément le robinet d'admission d'eau, la plate-forme et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le wagon se soulèvent, en tournant autour de l'axe D, et les portes s'ouvrent, à mesure que le wagon s'incline, jusqu'à ce qu'il fasse un angle de 32 degrés avec l'horizontale. Le charbon coule dans la trémie et tombe dans le bateau avec une faible vitesse et sans se briser.

Un basculeur hydraulique peut décharger, en moyenne, dix à douze wagons à l'heure, toutes manœuvres comprises. En déchargeant le charbon à la pelle, on arrivait à un effet utile de vingt à vingt-cinq wagons par jour, et à un prix de revient de 0 fr. 12 c. par tonne. Ce nouvel appareil a abaissé le prix de revient à 0 fr. 04 c. et donne un rendement de soixante wagons par jour. Son prix n'est pas très-élevé, mais il nécessite l'emploi de l'eau sous pression et ne peut être réellement économique qu'autant qu'on dispose, sans frais d'installation spéciaux, d'une pression suffisante.

Transbordement des liquides. — Le transport des acides ou des engrais liquides s'effectue souvent, avec avantage, dans des wagons-citernes spéciaux. Généralement l'usine est reliée par un embranchement avec la gare qui la dessert. Cependant il est arrivé, à Noyon, que, faute d'une voie de raccordement, on a été obligé de recourir, sur la demande de l'industriel, au procédé suivant pour transborder l'acide sulfurique, arrivant, par wagon, à destination d'une usine de produits chimiques, située à un niveau inférieur à celui de la gare.

L'acide est versé du wagon-citerne dans un entonnoir placé à l'abri dans une guérite, près de l'une des voies de garage. Une conduite en plomb, sans joints, d'un diamètre de $0^m,35$ environ, longe les voies pendant 400 mètres ; elle est protégée par une caisse en planches goudronnées, de $0^m,10$ de côté, disposée, à fleur du sol, sur la paroi inclinée des remblais. Son épaisseur, qui est de $0^m,002$ à $0^m,003$, éloigne tout risque de piqûres et l'on peut arriver à transborder ainsi environ 1,200 tonnes d'acide par an.

§ 2. — *Manœuvre des wagons.*

Prix de revient du triage. — Nous avons, dans la première partie de ces Études, examiné la question du triage des wagons, au point de vue de la disposition et du profil les plus favorables à adopter pour les voies sur lesquelles s'effectuent ces opérations.

Il nous reste à indiquer, d'une manière générale, les résultats commerciaux donnés par les diverses méthodes, et à faire ressortir, autant que possible, le prix de revient du triage qui joue un rôle très-important dans le coefficient d'exploitation d'un réseau.

Il est assez difficile de se rendre compte de la valeur réelle de ce chiffre : en effet, pour procéder d'une manière tout à fait exacte, on devrait faire entrer en ligne de compte la portion des dépenses de toute nature qui paraît devoir être affectée, d'une manière tout à fait spéciale, au travail de classement des wagons, et il y a là une ventilation assez difficile à établir.

En supputant néanmoins le total des dépenses journalières résultant : 1° de la solde des sous-chefs et surveillants, des aiguilleurs, chefs de manœuvre et hommes d'équipe employés au service du triage ; 2° de l'usage des chevaux de manœuvre et des machines, payées à raison de 6 francs par heure ; en divisant ce total par le nombre de wagons triés, dans l'espace de vingt-quatre heures, on trouve un prix de revient qui oscille entre 0 fr. 20 c. et 0 fr. 70 c. par wagon, selon la méthode employée pour faire le classement.

Le triage à l'aide d'une machine, sur des voies terminées en impasse, où l'on est obligé de faire continuellement franchir, au même wagon, les mêmes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aiguilles, est assez dispendieux. Le relevé qui a été établi pour la gare de Creil, accusait un prix de revient de 0m,50 par wagon.

Les manœuvres faites à l'aide des chevaux et par l'emploi des plaques paraissent être également très-coûteuses : ainsi, d'après les documents fournis par la la Compagnie du Midland, le prix de revient de la manutention se serait élevé, en 1874, pour les deux gares de Chaddesden et Toton, aux chiffres suivants :

DÉSIGNATION.	CHADDESDEN.	TOTON.	OBSERVATIONS.
	francs.	francs.	
Employés.	235,160	169,770	On comprend dans la dépense des chevaux la valeur correspondant à leur dépréciation.
Habillement.	8,361	11,275	
Chevaux.	113,695	111,975	—
Machines.	334,275	208,925	La machine se paie à raison de 6 fr. 25 par heure. Elle sert à amener les wagons sur les voies de débranchement.
TOTAUX	689,491	501,945	

En estimant à 1,200,000 et à 1,000,000 le nombre des wagons passant annuellement sur les voies de ces deux gares, on trouve que le prix de revient est d'environ 0 fr. 38 c. par wagon, pour la gare de Chaddesden, et de 0 fr. 50 c. pour celle de Toton.

Lorsque le triage est fait sur des voies en pente, le prix de revient s'abaisse considérablement. Aussi, à la gare de Shildon, où la pente des voies est de 0m,009, en moyenne, on emploie trente-sept hommes d'équipe et visiteurs, dix graisseurs et sept inspecteurs ou pointeurs : deux locomotives servent à amener les trains qu'il s'agit de trier, et à enlever ceux qui sont formés ; le nombre des véhicules triés est d'environ trois mille par jour, soit un million par an.

La dépense annuelle et le prix de revient s'établissent de la manière suivante :

DÉSIGNATION.	DÉPENSE.
	francs.
Inspecteurs et pointeurs.	7,000
Hommes d'équipe et visiteurs.	60,000
Graisseurs.	10,000
Machines.	50,000
	127,000
TOTAL.	
Prix de revient par wagon .	0,127

Les essais de triage par la gravité, sur les nouvelles voies en pente de la gare de la Plaine Saint-Denis, semblent démontrer qu'il est possible de descendre bien au-dessous de ce chiffre. Il résulterait, en effet, des relevés qui ont été faits depuis deux mois que le prix de revient du wagon trié, qui était au commencement de 0 fr. 17 c., s'est abaissé à 0 fr. 074, dont 0 fr. 011 pour le triage proprement dit et 0 fr. 063 pour amener les wagons sur la voie de manœuvres.

BIBLIOTHÈQUE

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces résultats peuvent être attribués à une meilleure utilisation de la machine qui sert à amener les wagons et à l'habitude que le personnel commence à prendre de ce nouveau mode de travail.

Cependant il est essentiel de ne pas oublier que, pour comparer absolument les divers chiffres que nous venons de citer, il faudrait auparavant être certain que les données qui ont servi à les établir, sont elles-mêmes comparables; et il est à craindre que, dans les chiffres mis en avant, on n'ait pas toujours fait entrer en ligne de compte les mêmes natures de dépenses. En outre, dans une même gare, où le travail se fait d'une façon uniforme, le prix de revient oscille lui-même, en raison de l'activité assez variable du trafic; chaque gare importante est, en effet, outillée de manière à pouvoir faire face à un mouvement de wagons plus actif que celui qui a lieu en réalité. Il arrive donc, en général, que le trafic peut s'élever sensiblement, sans que les dépenses du personnel subissent aucune augmentation, et le prix de revient diminue d'autant. A partir d'une certaine limite, au contraire, les dépenses s'élèvent brusquement et le prix de revient fait un saut correspondant. En d'autres termes, on pourrait représenter graphiquement cette situation en traçant, pour l'accroissement régulier du trafic, une ligne obliquement ascendante; pour l'accroissement graduel des dépenses, une ligne brisée en escalier, de direction ascendante; enfin, pour la variation des prix de revient, une série de crans, formant pour ainsi dire les dents d'une scie horizontale.

Quoi qu'il en soit, la digression précédente n'avait d'autre but que de justifier les tentatives qui ont été faites pour substituer au triage, tel qu'il se pratiquait jusqu'à présent, des moyens mécaniques dont nous allons maintenant dire quelques mots.

Chariots transbordeurs. — L'un des moyens mécaniques que l'on peut employer pour classer les wagons et remplacer l'usage des plaques et des chevaux, c'est de se servir d'un chariot transbordeur, sans fosse, capable de remorquer un wagon sur une voie perpendiculaire à son chemin de roulement, de l'amener sur sa plate-forme, de le transporter vis-à-vis une autre voie parallèle à la première et de l'y déposer.

Toutes ces manœuvres peuvent être effectuées mécaniquement à l'aide du chariot que la Compagnie de l'Ouest avait exposé dans l'annexe de l'École militaire, et qui fonctionne actuellement aux Batignolles (Pl. XXIV, fig. 6, 7 et 8). Un chariot identique, et sortant également des ateliers de la Société de Fives-Lille, vient d'être installé à la gare des marchandises de Lille (Saint-Sauveur), pour remplacer l'un des files de plaques qui traversent les onze voies de garage sur lesquelles on classe les wagons en provenance ou en destination des huit halles.

Cette disposition, à laquelle on a dû recourir, faute d'espace entre les pignons des halles, est moins avantageuse que celle que l'on a pu adopter aux Batignolles (fig. 8), où les trois rails R du chariot ont pu, grâce à l'intervalle qui existait entre les quais Q Q′ des halles, être établis à côté d'une traversée rectangulaire, et non pas à la place : ce qui fait que le chariot sert, en outre, à tourner les wagons sur les plaques dont est armée cette traversée et que, en cas d'accident ou d'avarie au chariot, il est toujours possible de faire usage de la traversée.

A part cette différence d'installation, le type des deux chariots est absolument le même : ils se composent d'une plate-forme P (fig. 6), montée sur deux essieux couplés E E, munis chacun de trois galets G qui peuvent se mouvoir sur trois files de rails perpendiculaires aux voies qu'il s'agit de desservir. Cette plate-orme porte une chaudière et une machine horizontale, à deux cylindres et à changement de marche, qui actionne un arbre moteur A, muni des engrenages U

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et V nécessaires pour faire tourner, d'une part, le tambour T sur lequel s'enroule la corde qui remorque les wagons, d'autre part, l'essieu E : deux manchons d'embrayage *d d*, mis en prise par deux manivelles *m m'*, déterminent soit la rotation du tambour, soit la translation de chariot : une poignée *p* permet d'arrêter le chariot à l'endroit nécessaire, en faisant descendre un verrou dans une des encoches pratiquées, de place en place, sur le rail central.

Le chariot porte un tablier K sur lequel sont posés deux rails ordinaires *r r'* situés à $0^m,125$ environ au-dessus du niveau des voies et raccordés, à chaque extrémité, par des plans inclinés d'une longueur de 1 mètre.

Un cabestan C, dont le profil est représenté à la figure 7, est fixé à l'angle opposé au tambour et à la même hauteur, c'est-à-dire à 1 mètre environ du sol : il sert à remorquer les wagons dans le sens opposé à celui qui est naturellement obtenu par l'enroulement de la corde sur le tambour.

Enfin, aux trois autres angles du chariot, sont installées des poulies de renvoi B qu'on utilise lorsque l'on veut faire traverser un ou plusieurs wagons, sans les faire passer sur le chariot.

Un système de ressorts réalise l'indépendance de la machine et du chariot, de manière à prévenir toute oscillation horizontale et à faciliter le passage de l'appareil dans les courbes. Le poids total est de 21,500 kilos et le prix de l'appareil est de 22,500 fr., non compris la pose du chemin de roulement.

La machine est assez forte pour mettre en mouvement une rame de 15 à 18 wagons et lui faire franchir, au besoin, le tablier K ; mais, dans ce dernier cas, il est préférable de se servir des poulies de renvoi B.

Ce chariot étant en service à la gare des Batignolles depuis dix mois, nous empruntons à la Compagnie de l'Ouest quelques renseignements sur son utilisation.

Théoriquement, il pourrait manutentionner cinq cents wagons en vingt-quatre heures ; mais, comme sa vitesse de translation ne dépasse guère 1 mètre par seconde, qu'il faut une minute pour accrocher et faire monter un wagon sur le tablier, autant pour arrêter le chariot et lancer le wagon sur une autre voie, qu'il se produit fréquemment de fausses manœuvres, on évalue à 250 le nombre des wagons que cet appareil permet de trier en vingt-quatre heures.

Cela posé, le prix du chariot étant de 22,500 fr., et les frais d'installation de la voie pouvant être évalués à 7,500 fr. environ, la manœuvre exigeant d'autre part l'emploi de trois hommes, un chauffeur mécanicien, un chef d'équipe et un accrocheur travaillant huit heures par jour, soit neuf agents en vingt-quatre heures, le prix de revient pourrait être établi de la manière suivante :

DÉSIGNATION.	DÉPENSE en 24 HEURES.
	fr. c.
Houille, 500 kilos, à 25 francs la tonne.	12 50
3 mécaniciens, à 5 francs	15 »
6 hommes, à 3 francs.	18 »
Huile, entretien, etc.	1 17
Intérêt à 10 0/0 d'un capital de 30,000 francs. .	8 33
TOTAL.	55 »
Prix de revient par vagon . . .	0,22

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce chiffre est élevé si on le compare à ceux que nous avons cités plus haut. Mais il faut tenir compte de ce fait que le personnel n'est pas encore habitué à se servir de cet outil, et il y a tout lieu de croire que les résultats seront bien supérieurs au bout d'un certain temps d'usage. Jusqu'ici le chariot transbordeur a du moins permis de réaliser des économies sérieuses sur l'emploi des chevaux.

Les chariots que l'on a installés, à Berlin, dans la gare de tête du chemin de Berlin-Potsdam-Magdebourg, sont mis en mouvement par des cabestans hydrauliques, bien qu'ils ne servent qu'à dégager les machines des trains arrivant en gare. Mais cela tient à ce que l'on disposait déjà d'une puissance motrice considérable, nécessaire pour manœuvrer des monte-charges hydrauliques qui servent, dans cette gare, à racheter la différence entre le niveau des quais et celui des rues avoisinantes.

En résumé, les chariots transbordeurs, sur l'effet utile desquels il est encore assez difficile de se prononcer, présentent un inconvénient incontestable : on ne peut les utiliser qu'en un point déterminé et, dans les gares où il y a plusieurs traversées rectangulaires, on serait conduit à installer autant de chariots qu'il y a de files de plaques; les frais d'établissement qui en résulteraient absorberaient peut-être les économies que l'on pourrait réaliser par la suppression des chevaux.

Machine de manutention. — C'est l'inconvénient dont il vient d'être question qui a décidé la Compagnie du Nord à faire construire, pour les manœuvres de gare, une véritable locomotive munie d'un cabestan. Ce dernier est mis en mouvement par une machine spéciale, et permet de traîner les wagons et de les faire tourner sur les plaques, la machine restant fixe. La machine elle-même peut tourner sur les plaques, à l'aide du même cabestan et de poulies folles fixées au sol dans le voisinage des plaques.

Le cabestan a un profil analogue à celui des cabestans en usage dans les installations hydrauliques des gares anglaises et d'Anvers : son diamètre moyen est de $0^m,40$; il est placé à l'avant de la machine et renversé de manière que l'on puisse facilement dégager le câble qui fait un tour et demi et dont les extrémités sont, l'une attachée au wagon à manœuvrer, l'autre entre les mains d'un homme d'équipe qui reste en place. Ce cabestan fait, à vide, 200 tours par minute et peut développer sur la corde, pour une vitesse de $0^m,83$ par seconde, un effort maximum de 450 kilos, suffisant pour manœuvrer une coupe de wagons sur une voie latérale ou perpendiculaire à celle qu'occupe la machine au repos. Il est actionné par une petite machine à vapeur à trois cylindres, du système Brotherood.

La machine exposée pèse, vide, 7,400 kilos et, en service, 9,950 kilos. Elle est supportée par deux paires de roues couplées. L'écartement des essieux est de $1^m,50$.

Le poids utile pour l'adhérence est, au minimum, 8,150 kilos; elle peut traîner sur palier 80 à 90 tonnes et remorquer un poids égal au sien, sur une rampe de 70 millimètres.

On voit donc que, dans les gares qui sont généralement situées en palier, cette machine, capable de franchir les aiguilles et de tourner sur les plaques, est appelée à rendre les plus grands services, soit qu'on l'attelle directement à une coupe de six à huit wagons, soit qu'elle se fixe pour remorquer cinq ou six wagons et pour en faire tourner un sur une plaque.

Son prix est d'environ 15,000 fr. : les poulies folles que l'on installe entre les voies, à proximité des plaques tournantes, reviennent, en moyenne, à 200 fr. l'une. Il est encore impossible de donner les renseignements sur les résultats économiques qu'elle permettra de réaliser.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cabestans hydrauliques. — Le développement du trafic à Anvers et surtout l'exécution de grands travaux dans le port de cette ville, tels sont les motifs qui ont décidé l'État Belge à remanier la gare des marchandises de la station principale, de manière à y faire l'installation d'engins hydrauliques du système Armstrong. Ces travaux sont évaluées à la somme de 1 million.

Nous avons donné plus haut quelques détails sur la partie de ces installations qui concerne les grues : il nous reste à parler des cabestans qui sont au nombre de vingt-quatre, avec quarante galets de renvoi, ou poupées folles, mobiles autour d'un axe vertical.

Les cabestans ont un diamètre moyen de $0^m,40$, une hauteur de $0^m,68$ et la forme d'une cloche reposant sur une plaque de fonte qui recouvre la cuve où se trouve horizontalement installée la machine hydraulique. En pressant du pied sur une pédale à contre-poids dont la tête est à fleur du sol, l'ouvrier qui tient l'extrémité du câble servant à remorquer les wagons, admet l'eau dans les cylindres et provoque, par conséquent, la rotation des cabestans autour duquel s'enroule le câble. La vitesse de rotation est de 150 tours par minute. Les poupées sont montées sur un axe vertical faisant corps avec une plaque de fonte que des boulons fixent à un dé de fondation en pierre, reposant lui-même sur de la terre battue; le diamètre de ces poupées est de $0^m,24$ et leur hauteur est de $0^m,36$.

La pression de l'eau est obtenue au moyen d'un accumulateur, d'une puissance dynamique de 370,000 kilogrammètres; de cet accumulateur se détachent des conduites de $0^m,10$ et de $0^m,06$ de diamètre, amenant l'eau motrice aux machines des cabestans et aux grues. L'accumulation est obtenue par un système de deux pompes mises en mouvement par une double machine à vapeur horizontale, de la force de 75 chevaux effectifs, travaillant à haute pression et avec la détente.

Ces installations, que justifie l'importance d'un mouvement de plus de 300,000 wagons, sont restées quelque temps inutilisées, à cause de la puissante organisation des corporations de chargeurs, qui exerçait une sorte de monopole de la manutention à bras. Il nous est donc impossible de faire encore ressortir l'économie que peut présenter l'emploi de ces cabestans hydrauliques.

Chasse-wagons. — Après l'étude de la manutention des wagons dans les grandes gares et des résultats économiques auxquels on peut arriver par l'emploi des divers moyens perfectionnés que nous avons rapidement passés en revue, il n'est pas sans intérêt de faire remarquer, à titre de contraste, que l'exploitation des petites gares, où le trafic est peu important, est également susceptible d'être améliorée, dans une certaine mesure.

C'est précisément, dans ce cas, que la solution a le plus d'importance, car le personnel y est peu nombreux et on n'a pas toujours des chevaux à sa disposition, pour faire avancer les wagons sur les voies et les faire tourner sur les plaques.

Aussi l'instrument, appelé *chasse-wagon*, et imaginé par M. Heshuysen, a-t-il une certaine valeur pratique. C'est un levier, de près de 1 mètre de longueur (Pl. XV fig. 9), qui porte à son extrémité un crochet A B, articulé en E et glissant en ce point dans une douille. On saisit, à l'aide de l'extrémité A, l'essieu du véhicule qu'il s'agit de manœuvrer. En appuyant le levier, qui est muni d'un coussinet C épousant à peu près la forme du bandage de la roue, contre la roue elle-même, on prend un point d'appui sur l'essieu pour saisir la roue en tenailles et la forcer à tourner d'une certaine quantité ; puis on recommence la manœuvre en baissant le levier, et ainsi de suite.

La manœuvre est, il faut le reconnaître, assez lente; ainsi, d'après les expé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

riences qui ont été faites à la gare de La Chapelle et qui ont été citées dans la *Revue générale des chemins de fer*, avec un wagon chargé de 5 tonnes, un seul homme, armé d'un pousse-wagon, a employé cinq minutes et dix secondes, pour faire parcourir cinquante mètres à ce wagon, en prenant deux repos de quinze secondes chacun : avec un wagon chargé de 15 tonnes, le même agent a employé douze minutes et vingt secondes, pour effectuer le même trajet, et il a dû prendre sept repos de quinze secondes chacun.

Quoi qu'il en soit, cet instrument a permis de faire, quoique avec lenteur, une manœuvre que jamais un homme n'aurait pu arriver à effectuer seul, et, à ce titre, il peut être d'un précieux usage dans un grand nombre de cas.

Plaque tournante à mouvement élévatoire. — Ici nous nous écarterons un peu du fond même du sujet que nous avons eu à traiter jusqu'à présent.

La plaque tournante à mouvement élévatoire de M. le commandeur Martorelli a, en effet, pour but, non pas tant de réaliser une économie sur la manutention des wagons, que de permettre l'exécution d'un embranchement raccordant avec les voies de service certaines usines situées entre deux gares, notamment sur les lignes à une seule voie, où l'on évite ordinairement, pour des raisons de sécurité, de multiplier les aiguilles en pointe.

Dans ce système, la voie principale ne subit aucune modification : la plaque est, en effet, formée de deux contre-rails creux A, ayant le profil indiqué à la figure 10 de la planche XXIV. Ils sont placés intérieurement aux rails de la voie principale, à une hauteur telle que les boudins des roues ne les touchent pas, pendant le passage des trains. Ils sont, d'ailleurs, supportés par une plaque de tôle B (fig. 9), armée d'entretoises en tôle rivée et tout le système repose, par l'intermédiaire de galets de roulement, sur un plateau de fondation que l'on peut élever de quelques centimètres, de manière à le faire tourner au-dessus des rails de la voie principale, comme l'indique le tracé pointillé de la figure 11.

Ce mouvement d'élévation peut être obtenu soit par la pression de l'eau, agissant sur un piston d'un fort diamètre qui supporte les plateaux de fondation, comme cela se pratique dans les monte-charges hydrauliques, soit à l'aide de la vapeur, soit enfin par un système de leviers ou de vis, selon les circonstances et suivant les forces motrices dont on peut disposer.

Dans ces conditions, si l'on suppose qu'un wagon stationne sur la voie principale au-dessus de la plaque, et que l'on donne à cette plaque le mouvement d'élévation dont il vient d'être question, les contre-rails enlèvent les boudins des roues du wagon qui se trouve soulevé et centré très-exactement, grâce au profil curviligne du rebord des contre-rails ; on laisse toutefois un certain jeu, pour tenir compte de l'usure des bandages.

Le wagon, que l'on doit avoir la précaution de caler au préalable, étant soulevé jusqu'à une hauteur de $0^m,16$ environ, on le tourne sur la plaque et, comme les rails de la voie transversale sont disposés à une hauteur égale, il suffit de le pousser pour le faire passer de la plaque sur cette voie.

Ce système, dont un modèle à petite échelle était exposé dans l'annexe de la Section Italienne, est évidemment très-ingénieux ; mais il est difficile de se prononcer sur sa valeur pratique, puisqu'il n'a pas encore reçu d'application. Il est, d'ailleurs, utile de remarquer que ses avantages se font surtout sentir, s'il s'agit de desservir une usine qui ne fournit pas plus de un ou deux wagons complets, au passage de chaque train. Autrement, on serait conduit à allonger indéfiniment le stationnement de ces trains, en pleine voie, pour laisser le temps nécessaire à la manœuvre successive de chaque wagon : ce qui pourrait provoquer de justes réclamations de la part du public, si, comme il arrive la plupart du temps sur les petites lignes à une seule voie, les trains de marchandises sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mixtes, c'est-à-dire s'ils renferment des voitures à voyageurs. En outre, on peut se demander s'il ne résulterait pas de cette manœuvre de fréquents déraillements qui auraient pour effet d'interrompre absolument la circulation sur la ligne. En résumé, l'emploi de cet appareil est une question d'espèce.

Wagon plaque tournante. — Dans l'annexe du quai de Billy, figurait, entre deux pavillons, un wagon plaque tournante, construit par MM. Maze et Voisine et destiné surtout aux transports militaires.

On sait, en effet, que les canons, par exemple, doivent être chargés dans le sens de la longueur des plates-formes. Comme il est extrêmement commode, quand on ne dispose pas d'un quai de chargement, de les faire rouler perpendiculairement à l'axe longitudinal du wagon sur des ponts en bois appliqués contre la paroi latérale de la plate-forme, on a eu l'idée de placer une sorte de plaque tournante sur le wagon lui-même, de manière qu'une fois le canon arrivé au niveau du plancher, on peut l'amener à une position parallèle aux voies.

Attelage des wagons par le côté. — On s'est plus d'une fois préoccupé des accidents trop fréquents qu'occasionne le système universellement employé pour l'attelage des wagons. La manœuvre ordinaire est la suivante : l'homme doit s'introduire entre les wagons, pour accrocher le crochet de traction et serrer, au besoin, la vis du tendeur, puis accrocher les chaînes de sûreté. Si les wagons ne sont pas immobiles, l'agent chargé de ce soin court risque d'être pris et broyé entre les tampons ou sous les roues : aussi est-il interdit, d'une manière générale et expresse, aux hommes d'équipe de s'introduire entre les véhicules d'un train en mouvement, de passer entre les wagons, avant qu'ils ne soient complètement arrêtés et de se tenir vis-à-vis des tampons, d'y poser les mains ou de s'y appuyer.

Malgré ces recommandations, et malgré la vigilance des surveillants, il se commet de continuelles imprudences, et les relevés statistiques qui évaluent à 100, pour la Belgique, et à 160 pour l'Angleterre, le nombre des agents tués ou blessés pour cette seule cause, dans une même année, prouvent qu'elles ont trop souvent une fatale issue.

C'est dans le but d'obvier à ces accidents que MM. Peny et Mabille ont exposé, dans la Section Belge, un modèle d'attelage de wagons, se manœuvrant par le côté.

L'appareil se compose d'un système de levage des brides d'attelage, destiné à les accrocher, et d'un système d'allongement et de raccourcissement de l'appareil destiné à remplacer le tendeur à vis. Le type ordinaire des crochets de traction est légèrement modifié : les tampons sont maintenus à la même place, par rapport aux traverses, et aucune des pièces du châssis n'est supprimée ni déplacée.

L'appareil de levage se compose de cames en bois qui permettent de saisir l'attelage en se tenant à l'extérieur des tampons; c'est, en quelque sorte, la reproduction des *garrots* dont se servent les hommes, pour décrocher les wagons débranchés d'un train, avec cette différence que les cames sont fixées à demeure sur les boîtes de tampons et oscillent autour d'eux.

L'appareil substitué au tendeur ordinaire est manœuvré par des manivelles situées à l'extérieur de la traverse de tête et latéralement au wagon. En tournant l'une de ces manivelles qui commande un arbre à deux filets de vis, disposés en sens inverse, on obtient l'éloignement ou le rapprochement de deux écrous auxquels sont attachées des bielles faisant partie de l'attelage, et, par conséquent, le raccourcissement ou l'allongement de cet attelage. La longueur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des bielles, augmentée de celles des maillons qui y sont attachés, ne doit pas dépasser la longueur des tampons, avec leurs plateaux enfoncés.

Cette disposition entraîne une augmentation de poids de 100 kilogrammes, et une majoration de 50 à 60 fr. par wagon : c'est peu de chose par rapport au poids total qui est de 3 ou 4,000 kilogrammes et au prix qui s'élève à 3 ou 4,000 fr. La manœuvre en est d'ailleurs assez rapide : il resterait à déterminer si l'on obtient, de cette façon, toute la solidité désirable, eu égard aux chocs qu'a souvent à subir le matériel des trains de marchandises, et si les ruptures d'attelage ne se produiraient pas plus fréquemment avec ce nouveau système qu'avec l'ancien.

SECTION B. — Appareils divers.

§ 1er. — *Contrôle de la vitesse et de la marche des trains.*

Contrôleur Brunot. — L'appareil de M. Brunot n'est pas, à proprement parler, un indicateur de vitesse : il est surtout destiné à contrôler la régularité de la marche des trains et à faire automatiquement une vérification contradictoire des chiffres trop souvent erronés que portent, sur les feuilles de trains, les conducteurs, en connivence avec les surveillants des gares.

Il se compose (Pl. XV, fig. 6 et 7) d'une boîte renfermant un mouvement d'horlogerie M, sur l'axe duquel est monté un disque en carton *p*, divisé en heures et minutes, et faisant un tour en douze heures. Un crayon C, formé d'une pointe d'argent, peut se déplacer sur ce carton horizontalement et vis-à-vis d'une rainure Z, placée de l'autre côté du disque, de manière à tracer, lorsqu'on appuie sur lui, une courbe héliçoïdale. Comme le trajet transversal de ce crayon s'effectue pendant une durée de quatre-vingt-seize heures, il en résulte qu'il peut tracer une courbe faisant huit fois le tour du disque, sans que l'on ait besoin de renouveler ce dernier.

Le déplacement transversal du crayon est obtenu au moyen d'une came K, qui a la forme d'une développante de cercle, et qui emprunte son mouvement, par l'intermédiaire d'engrenages disposés dans le rapport de 1 à 8, à l'axe du mouvement d'horlogerie ; sur cette came s'appuie la branche L d'un levier dont l'autre branche L′ conduit le porte-crayon guidé par deux tringles G G′.

Derrière le crayon C, se trouve un poids B, suspendu par une lame de ressort extrêmement flexible : sous l'influence des trépidations du train en marche, le poids B, sans cesse renvoyé par un ressort antagoniste *u*, frappe, en se balançant, des coups répétés sur le crayon qui trace la série de petits points dont se compose la courbe. Un œil exercé pourrait, à la rigueur, apprécier la vitesse de la marche du train par le rapprochement des points. Mais l'appareil a principalement pour but de constater l'époque et la durée des arrêts pendant lesquels, le poids restant immobile, le crayon cesse d'appuyer sur la feuille qui continue à tourner, et détermine, par conséquent, une interruption dans le tracé de la courbe.

Un troisième levier *l*, indépendant des deux autres, monté libre sur un même axe et sollicité par le même ressort à boudin X, appuie sur le côté droit de la douille du porte-crayon, pour lui donner de la rigidité et empêcher le jeu qui pourrait se produire par la trépidation. Tout le mécanisme repose, d'ailleurs, sur une base supportée, à l'intérieur d'une boîte portative, sur quatre ressorts à boudin, destinés surtout à garantir ce mécanisme assez délicat contre les secousses d'une violence imprévue.

Le contrôleur Brunot est en essai, depuis 1872, sur le chemin de fer du Nord et, en usage régulier, depuis 1876. Le service du mouvement en place quelques-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

uns dans les fourgons de certains trains dont il désire suivre et contrôler plus spécialement la marche.

L'appareil peut encore être appliqué aux rondes de nuit et il présente sur les autres contrôleurs du même genre cet avantage, qu'il n'y a besoin de changer les cartons qu'au bout de quatre jours pleins. La grandeur du disque sur lequel est tracée la courbe, et qui a $0^m,21$ de diamètre, permet, en outre, de distinguer facilement jusqu'aux demi-minutes, bien que la graduation du cadran ne soit faite que de deux en deux minutes. Enfin le déplacement transversal du porte-crayon est de $0^m,035$ environ, à partir de la circonférence extrême du disque : c'est le tiers du rayon; aussi la lecture des arrêts, sur les divisions rayonnantes au centre, est-elle très-distincte.

En résumé, il n'y a qu'à souhaiter que cet appareil, dont le prix est fort modique, se répande, d'une manière plus générale, dans l'exploitation des chemins de fer.

Indicateur de vitesse du système Napoli. — Cet appareil, imaginé par M. Napoli, chimiste à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, est mis en mouvement par l'essieu du véhicule dont on veut contrôler la vitesse. Son principe est le suivant :

Étant donné un cadre très-mobile *ee* (Pl. XV, fig. 8) suspendu sur un axe muni d'une aiguille *h* et, retenu par un ressort *g*, à l'intérieur de ce cadre un système d'ailettes *f*, montées sur un axe indépendant, mais concentrique avec le cadre; une double paire d'engrenages *a b c d*, destinés à transmettre à ces ailettes, en l'accélérant, le mouvement de rotation que la poulie *p* emprunte à l'essieu moteur; la résistance créée par le mouvement des ailettes se transmet au cadre et lui imprime un léger mouvement auquel vient faire équilibre l'action du ressort *g*; l'aiguille *h* s'arrête, par conséquent, devant la division correspondante d'un cadran gradué empiriquement. Comme le cadre est dévié de sa position primitive d'un angle d'autant plus grand que la vitesse de rotation de l'essieu est plus rapide, il en résulte que l'on peut mesurer exactement la vitesse de translation du véhicule.

Pour obtenir une inscription graphique de la vitesse, il suffirait de fixer, sur l'axe du cadran, une poulie sur laquelle s'enroulerait un fil de soie conducteur d'un chariot porte-wagon qui se déplacerait sur une bande de papier mue par un mouvement d'horlogerie. La tension permanente du fil de soie serait, d'ailleurs, obtenue par un ressort agissant sur le chariot.

A l'inverse de ce qui a lieu, avec les appareils fondés sur l'emploi de la force centrifuge, cet instrument donne des indications d'autant plus précises que la vitesse est plus grande. Il a été employé dans le wagon d'expériences dont nous parlerons plus loin.

Appareils de M. Le Boulengé. — Préoccupé, à juste titre, de l'importance qu'offre le ralentissement des trains, aux abords des bifurcations ou d'autres points de la voie réputés dangereux, M. Le Boulengé, major de l'artillerie belge, a imaginé une série d'appareils destinés à contrôler efficacement l'allure des trains, dont les mécaniciens étaient jusqu'ici les seuls juges.

Cette vérification avait déjà été tentée par la Compagnie du Nord; à toutes les bifurcations de son réseau, il existe, en effet, deux poteaux écartés de 100 mètres, dont l'intervalle ne doit pas être franchi en moins de dix-huit secondes par les trains de voyageurs, et de trente-six secondes par les trains de marchandises, ce qui correspond à des vitesses respectives de 20 et de 10 kilomètres à l'heure. Mais ces limites sont bien rarement observées par les mécaniciens, et, comme il est à peu près impossible de contrôler, au jager,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cette vitesse réglementaire, dans un laps de temps aussi restreint, l'installation de ces poteaux ne peut être considérée comme une mesure très-efficace.

Les appareils qui étaient exposés dans la Section Belge (galerie des machines) avaient pour but de substituer à cette incertitude une vérification optique ou acoustique de l'allure du train. Ils étaient au nombre de trois.

1° *Le dromoscope*, indiquant au mécanicien la vitesse avec laquelle il arrive au point dangereux, à une distance suffisante de ce point pour qu'il ait encore le temps de ralentir, si cela est nécessaire.

2° *Le dromo-pétard*, faisant éclater un pétard sur la voie, dans le cas où, malgré l'avertissement du dromoscope, la locomotive franchit le point dangereux avec une vitesse trop grande.

3° *Le dromomètre*, instrument de poche, permettant au mécanicien ou au conducteur de connaître, quand ils le veulent, la vitesse du train sur lequel ils se trouvent.

Dromoscope. — L'appareil est représenté par les figures 1, 2 et 3 de la planche XV. Les trains arrivant dans le sens de la flèche (fig. 2), le mécanicien aperçoit au loin un voyant en tôle noircie X, sur lequel sont peints en blanc les traits et les chiffres indiquant les vitesses, et dont le centre évidé permet d'apercevoir, à travers la glace Y, un index Z solidaire du disque mobile A. Lorsque la première roue de la machine atteint un déclic, placé contre le rail, à 150 mètres en avant de l'appareil, elle met en mouvement le fil N qui déclenche un levier D butant contre une came *b* fixée au disque A (fig. 1); ce disque se met en mouvement sous l'influence de la chute d'un poids moteur B, de 100 grammes, suspendu à un fil de soie. A 50 mètres plus loin, la roue touche un second déclic, communiquant par le fil N′ avec le poids M′ qui tend à soulever le levier V et le patin W formé d'un ressort souple et garni de cuir. Le patin, en venant s'appliquer contre la circonférence du disque A, arrête instantanément son mouvement. Pendant ce temps, l'index Z a décrit un arc et il s'arrête devant la division du cadran X, correspondant à la vitesse dont était animé le train, en parcourant l'espace compris entre les deux déclics; comme il y a une distance de 100 mètres entre le deuxième déclic et l'appareil indicateur, le mécanicien a encore le temps d'user de tous les moyens mis à sa disposition pour amortir, s'il y a lieu, l'excès de vitesse de son train. L'indication se lit, d'ailleurs, facilement à une distance de 100 mètres; pendant la nuit, ce cadran est éclairé par la lumière réfléchie d'une lanterne placée en avant.

L'axe du disque, la bride *d* qui le supporte, le cadran X, la boîte E, etc., sont fixés à un bâti en fonte *f* qui repose sur une colonne en fer creux *g* engagée dans un trépied en fonte *h*. Le fil de fer galvanisé, qui détermine le déclenchement et l'arrêt du disque A, a 2 millimètres de diamètre et on le règle à l'aide d'une vis et d'écrous qui servent de butoirs aux leviers D V.

Le déclic (fig. 3) se compose d'une pédale T, en acier fondu, dont la queue s'engage dans un cran situé à la circonférence du tambour Q sur lequel est fixé le fil N ou N′; lorsque le boudin de la première roue d'un train passe sur la pédale T, il déclenche le tambour Q et, comme le poids S est de 5 kilogrammes tandis que le poids M pèse 15 kilogrammes, le fil N se meut dans le sens de la flèche et le déclenchement a lieu. Il est intéressant de remarquer que, dès le commencement, la queue de la pédale étant montée sur la surface excentrée qui raccorde la came V au contour du tambour, l'extrémité antérieure de cette pédale reste abaissée et ne subit pas le contact des roues suivantes, ce qui aurait pu causer la détérioration du mécanisme, sous l'action de chocs répétés.

Pour armer l'appareil, qui conserve les indications tant que l'on n'est pas venu le remettre en état, il suffit de soulever le poids M; les deux déclics se réen-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

clenchent automatiquement sous l'influence des contre-poids S. Puis il faut ouvrir la porte *m* (fig. 2), remonter le poids B, à l'aide de la petite manivelle *a*, jusqu'à ce que le disque A ait repris sa position et soit arrêté par le levier D ; un petit système de butoir à ressort *k* précise l'instant où il convient de cesser ce mouvement rétrograde.

Le cadran est gradué par le calcul, d'après le principe de la machine d'Atwood, en considérant que la masse du poids B, dont la chute détermine la rotation du cadran, doit être diminuée de celle du cadran lui-même. Les données de cette graduation sont indiquées au tableau suivant :

VITESSE en kilomètres A L'HEURE.	NOMBRES de secondes employées A FRANCHIR 50m.	LONGUEUR de l'arc correspondant SUR LE CADRAN.
kilomèt.	secondes.	mèt. mil.
90	1″,80	0,112
80	2″ »	0,139
70	2″,25	0.176
60	2″,57	0,229
50	3″ »	0,312
45	3″,60	0,459
40	4″ »	0,555
35	4″,50	0,703
30	5″,14	0,916

L'expérience que l'on a déjà faite de cet appareil, aux bifurcations d'Angleur près de Liège, au pont tournant de Laeken, près Bruxelles, à Hasselt et à Lodelinsart, prouve que l'appareil n'est pas sujet à se détériorer par l'usage et qu'il fonctionne très-régulièrement. On l'a aussi expérimenté, pendant la durée de l'Exposition, sur le raccordement du Champ de Mars, au passage à niveau de la rue des Usines. Enfin la Compagnie de l'Ouest paraît décidée à l'appliquer, en pleine voie, pour le contrôle de la vitesse maxima des trains, en laissant entre les déclics un espace de 100 mètres.

Dromo-pétard. — Un déclic à pédale OP (Pl. XV, fig. 4), et un pétard sont installés sur la voie, à un intervalle qui dépend de la limite de vitesse que l'on veut permettre et qui, dans tous les cas, doit être parcouru par le train dans l'espace d'une seconde.

Lorsque la première roue du train atteint le déclic OP, le pendule M, rendu libre, oscille et, dans l'espace d'une seconde, va buter contre la glissière E qu'il dégage de la pièce fixe F : le pétard s'écarte du rail sous l'influence du ressort antagoniste H. Si le train marche trop rapidement, il trouve encore le pétard sur la voie et l'écrase.

Après le passage de chaque train, il faut remettre l'appareil en état de fonctionner, en accrochant de nouveau le pendule et la glissière : pour éviter que toutes les roues du train ne viennent successivement buter contre la pédale OP, ce qui pourrait détériorer l'appareil, le centre de gravité de ce levier est situé entre le rail et l'axe d'oscillation, de sorte que, dès que le déclenchement a eu lieu, cette pédale reste inclinée et n'est plus atteinte par les autres roues.

Dromomètre. — C'est un instrument de poche qui est destiné à donner, à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la première lecture, l'indication exacte de la vitesse employée à parcourir 50 mètres.

Il est formé d'un tube de cristal (fig. 10) renfermant de la benzine et un curseur en argent *a* qui descend d'un mouvement lent et uniforme, lorsqu'on tient l'appareil verticalement et qui s'arrête lorsqu'on le tient horizontalement. Si donc on dispose, sur la voie, des poteaux espacés de 50 mètres et si le curseur est, à l'origine, entre les mains d'un agent du train, en dressant l'instrument pendant l'intervalle compris entre deux poteaux et le ramenant immédiatement après à l'horizontale, le curseur s'arrêtera vis-à-vis d'une division indiquant, sur une bande de papier, collée à l'extérieur, la vitesse dont est animé le train.

Une bulle d'air nécessaire à la dilatation du liquide, et permettant à l'instrument de supporter sans éclater, une température de 50 degrés, est emprisonnée à l'une des extrémités du tube par une capsule de cuivre serrée dans le verre. Une mince enveloppe en filaments de ouate garnit cette capsule et assure la capillarité du joint. Grâce à ce système, le liquide mouille le joint et peut le traverser, mais l'air ne peut en faire autant.

Cet appareil est ingénieux, mais il exige, de la part de celui qui le manie, une certaine habitude, pour retourner à temps l'instrument.

Tachymètre électrique. — Cet appareil, tout récemment imaginé par M. Bandérali, ingénieur au service central du matériel de la Compagnie du Nord, a pour objet la détermination exacte et automatique de la vitesse moyenne d'un train en marche, entre deux points donnés. Il ne nécessite pas, comme la plupart des vélocimètres connus, que l'on connaisse le nombre de tours exécutés, dans un temps donné, par l'essieu d'un véhicule.

Le système consiste à placer sur la voie des contacts fixes, identiques à ceux qui ont été décrits, à propos du sifflet électro-automoteur, et à recueillir, au moyen d'une brosse placée sous les machines, un courant électrique de sens contraire à celui qui amènerait le déclenchement du sifflet. Ce courant arrive par un fil isolé, jusqu'à l'appareil enregistreur qui est enfermé dans une boîte suspendue à la machine ou reposant sur des ressorts à boudin verticaux.

La figure 11 de la planche XV représente un croquis sommaire de cet appareil: il se compose d'un mécanisme d'horlogerie qui entraîne, dans son mouvement de rotation, un cylindre A sur lequel sont tracées en creux deux hélices voisines. Un papier tendu recouvre ce cylindre : deux stylets (fig. 12), destinés à piquer des points représentant les indications de vitesse et de temps, ont un mouvement de translation suivant l'axe du cylindre et sont, par suite, constamment vis-à-vis des deux hélices, dont il vient d'être question et dont les gorges facilitent le percement du papier. Si l'un des deux stylets est animé de battements isochrones, et si l'autre ne pique le papier que lorsque la machine passe sur un contact fixe, il en résulte qu'en déroulant le papier, on verra immédiatement sur la première ligne, le nombre de points piqués dans l'intervalle de deux points piqués sur la deuxième ligne, et l'on en déduira le temps écoulé entre deux passages successifs sur un contact fixe, et, par conséquent, la vitesse dont était animé le train dans l'intervalle.

A cet effet, chacun des deux stylets est mis en mouvement par l'armature d'un électro-aimant; le stylet chronométrique, est en relation avec une minuterie disposée, dans le mécanisme d'horlogerie, de manière à envoyer, de minute en minute, un courant dans l'électro-aimant correspondant. Le stylet tachymétrique est, au contraire, actionné par un électro-aimant auquel aboutit le fil qui communique avec la brosse, et il donne un coup de pointe toutes les fois que l'on passe sur un contact fixe. Les électro-aimants E sont supportés par un chariot B auquel le cylindre A communique un mouvement de translation

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par les engrenages G G′, la vis sans fin F et le peigne H: deux guides D et un galet I assurent la régularité de la marche de ce chariot.

Avec des contacts suffisamment rapprochés, et en accélérant la vitesse de rotation du cylindre, on pourrait obtenir un graphique très-exact du ralentissement progressif d'un train, sous l'influence du serrage des freins : rien n'empêcherait, d'ailleurs, de substituer aux stylets des molettes, au cylindre à gorges, un cylindre uni, et au papier ordinaire du papier chimique décomposé par le passage des courants; on pourrait ainsi obtenir un tracé plus net.

§ 2. — *Appareils divers.*

Contrôleur des rondes de nuit. — L'appareil que M. Napoli a imaginé, et qui était exposé au Champ de Mars, se distingue de ses prédécesseurs parce qu'il se prête à l'enregistrement d'un nombre multiplié de pointages, émanant de 10, 12, 15 et même 20 postes, sans que la lecture de la feuille en soit rendue plus difficile. Il est installé, à demeure, dans un poste central où il s'agit d'enregistrer fidèlement l'heure exacte à laquelle un agent a manifesté sa présence dans les divers postes de la gare qu'il doit visiter, pendant la nuit. A cet effet, on dispose, dans chacun de ces postes, un bouton de sonnette relié par deux fils au récepteur unique qui n'exige que l'emploi d'un seul électro-aimant H et d'une seule pile P (Pl. XV, fig. 13).

Le récepteur se compose d'une bande de papier B, qui glisse librement et à une certaine distance de deux cylindres C E. Le cylindre C, qu'un mouvement d'horlogerie tend à faire tourner autour de son axe, porte un disque D sur lequel sont disposés autant de boutons a qu'il y a de postes à contrôler, par exemple quatre ; ces boutons, placés à des distances inégales du centre et distribués sur des rayons différents, viennent, dans la rotation du disque D, successivement frotter sur une série de quatre ressorts métalliques, mis respectivement en relation, par des fils, avec les quatre postes, et reposant, en temps normal, sur une barrette métallique N faisant partie du disque D. L'autre cylindre E est excentré et porte une tige enclenchée par des boutons disposés sur la roue à rochet r dont le cliquet g dépend de la palette p de l'électro-aimant: la queue de cette palette bute contre un arrêt f dépendant du disque D qui est, d'ailleurs, armé, à sa circonférence, de quatre dents b.

Cela posé, si l'on vient à presser le bouton du poste n° 2, par exemple, le circuit se trouve fermé et le courant passe par le ressort n° 2, la barrette N, le disque D et se rend à l'électro-aimant; la palette p est attirée et le disque D déclenché se met à tourner, ce qui interrompt le passage du courant jusqu'à ce que le bouton n° 2 soit en contact avec le ressort correspondant : aussitôt le circuit est rétabli, la palette p est attirée de nouveau et vient buter contre la dent b correspondant au bouton n° 2; en même temps, la roue à rochet r avance d'une dent, déclenche l'excentrique c qui vient appliquer la bande de papier contre le cylindre c. Comme ce dernier porte, sur son contour, les numéros des divers postes, fixés dans le même ordre que les boutons a, il en résulte que le n° 2 s'imprime sur la bande de papier qui est divisée en heures et minutes; cette inscription ayant lieu au moment où l'on presse sur le bouton n° 2, on a l'indication exacte de l'heure à laquelle la ronde a passé au poste n° 2.

Dès qu'on cesse de presser sur le bouton, le courant est interrompu, le disque D déclenché par la palette p, continue à tourner jusqu'à ce que l'arrêt f vienne de nouveau buter contre cette palette et l'appareil est, par conséquent, remis en état et prêt à recevoir un nouveau signal. Il est bon de remarquer que la lecture de la bande de papier indique non-seulement l'heure de chaque signal, mais encore l'ordre dans lequel chacune des rondes a été faite.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cet appareil, construit en 1874, dans les ateliers de la Compagnie de l'Est, a été établi, pour le contrôle des rondes de nuit, dans les bureaux du service du matériel et de le traction, à la gare de Paris. Depuis cette époque, il n'a pas cessé de fonctionner et de donner les résultats les plus satisfaisants.

Séismographe. — Cet appareil, construit et exposé par la Compagnie de l'Est, a pour but de mesurer l'amplitude des mouvements de lacet, de tangage et de galop qui affectent les véhicules en marche.

Il se compose essentiellement (Pl. XV, fig. 14 et 15), d'un système de trois pendules A B C dont les mouvements d'oscillations se transmettent, par l'intermédiaire des leviers *l l' l''*, à trois chariots *m m' m''* munis de galets roulant sur les rails *r r'*. Le premier de ces pendules A est vertical et se meut dans un sens parallèle à la voie, comme l'indique la flèche : ses oscillations sont provoquées par le mouvement de tangage ; le pendule B est également vertical, mais il se meut dans un sens perpendiculaire à la voie et ses oscillations sont déterminées par les mouvements de lacet ; enfin le pendule C est horizontal et soutenu par un ressort à boudin X : ses oscillations qui ont lieu suivant la verticale sont le résultat des mouvements de galop.

En examinant le croquis de l'appareil, on voit que toutes ces oscillations sont, grâce à la disposition des leviers, transmises aux chariots dont elles provoquent le déplacement longitudinal. Si donc on suppose que ces chariots soient armés de pointes de crayon, et qu'au-dessous d'eux l'on fasse dérouler horizontalement une bande de papier qui passe sur les tambours D actionnés par un mouvement d'horlogerie H, le tangage, le lacet et le galop seront représentés, sur cette bande de papier, par des courbes sinueuses dont les ordonnées seront en relation directe avec l'amplitude des oscillations des trois pendules, et, par conséquent, avec l'intensité des trois sortes de perturbations qu'il s'agit de mesurer.

Wagon d'expériences de la Compagnie de l'Est. — C'est avec intention que nous terminons la revue des appareils qui ont un véritable intérêt scientifique, par la description sommaire du célèbre wagon qui a servi et qui doit servir encore aux recherches théoriques, entreprises par le service du matériel de la Compagnie de l'Est, pour étudier simultanément les efforts développés sur la barre d'attelage et le travail de la vapeur dans les cylindres de la machine en marche. Il n'y a pas assez d'éloges à donner à l'ensemble des ingénieux appareils qui ont été construits dans ce but et à la louable idée que la Compagnie a eue de placer ces recherches sous son patronage.

Toutefois, nous serons obligés de nous contenter d'un aperçu extrêmement sommaire du principe sur lequel repose la solution mise en œuvre par M. Regray et par les savants et les ingénieurs dont il a fait ses collaborateurs : la place nous manquerait, en effet, pour entrer dans tous les détails.

1° *Mesure des efforts développés sur la barre d'attelage.* — La barre d'attelage T (fig. 23) est terminée par une série de sept lames de ressorts que réunit une chape R montée sur des galets et formant une sorte de chariot qui vient buter contre un bloc fixe O : pour régler le jeu de ce mouvement, la pièce O est formée de deux parties en forme de coins, dont le serrage est obtenu au moyen d'un écrou *d*. De l'autre côté de ce bloc fixe vient également buter un deuxième chariot R', formé de sept lames de ressorts soumises, par l'intermédiaire de la tige M, à l'action des tampons J. A chacun de ces chariots est fixée une bielle *sl sl'*, dont l'extrémité *l* se meut horizontalement, tandis que l'autre glisse sur une tige *ab* articulée en *a* et commandant, par l'intermédiaire de la tige *bm*, le porte-crayon K que guide une glissière T'.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Lorsqu'un effort de traction s'exerce sur la barre d'attelage T, le chariot R s'éloigne du bloc fixe, la tige *ab* sollicitée par la bielle *sl* s'incline vers la droite et le crayon enregistre un déplacement au moyen d'un trait dirigé dans le sens de la marche du train; il en est de même, en sens inverse, lorsque les tampons J subissent une poussée. Une disposition cinématique particulière, que ne peut évidemment reproduire le croquis théorique ci-dessus, assure la proportionnalité entre les déplacements du crayon et la tension des lames, en corrigeant d'ailleurs les irrégularités qui pourraient se produire.

Ces indications sont enregistrées sur une bande de papier qui se meut dans un sens perpendiculaire aux déplacements alternatifs du crayon, d'un mouvement

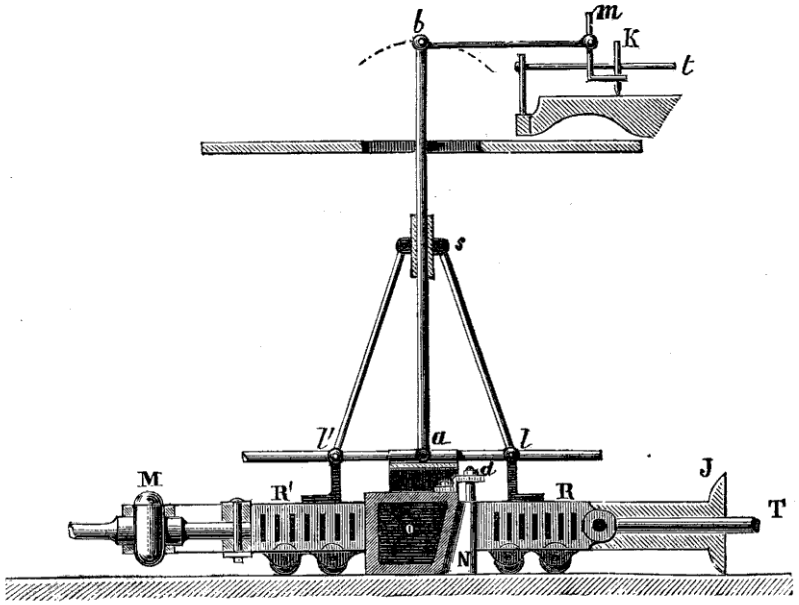


Fig. 23. — Mesure des efforts de traction.

uniforme et proportionnel à la marche du wagon. Le mouvement est emprunté à l'essieu, au moyen d'une vis sans fin et de roues d'engrenage dont les pignons sont munis d'encliquetages du système Dobo, destinés à faire tourner toujours dans le même sens le cylindre qui commande le déroulement du papier, quel que soit d'ailleurs le sens de la marche du train.

Il en résulte que le crayon trace sur la bande de papier une courbe sinueuse, représentant la variation des efforts exercés sur la barre d'attelage. La totalisation du travail ainsi enregistré exige, en outre, la connaissance du chemin parcouru et du temps employé : à cet effet, une came, reliée par des engrenages à l'essieu du wagon, donne un coup de pointeau sur la bande de papier, à chaque kilomètre parcouru : une horloge électrique y inscrit automatiquement, toutes les dix secondes, un signal qui permet d'apprécier le temps. Enfin le calcul des aires qui représentent graphiquement la valeur du travail se fait automatiquement, au moyen d'une roulette dont le nombre de tours est proportionnel au travail de traction, qui est reliée au crayon par un parallélogramme articulé et qui est entraînée par la friction d'un plateau animé d'un mouvement rapide de rotation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2° *Mesure des pressions s'exerçant*, à chaque instant, sur les deux faces de chaque piston.

La solution du problème consistant à mesurer, sur un wagon situé à une certaine distance de la machine, la pression de la vapeur s'exerçant sur les faces des pistons, et à obtenir ainsi un diagramme bien plus exact que celui que fournissent les indicateurs de Watt, est certainement une des plus élégantes que l'on puisse citer.

L'artifice est dû à M. Déprez, et il consiste à mettre en relation, avec la vapeur agissant dans les cylindres de la machine, l'une des faces d'une membrane qui

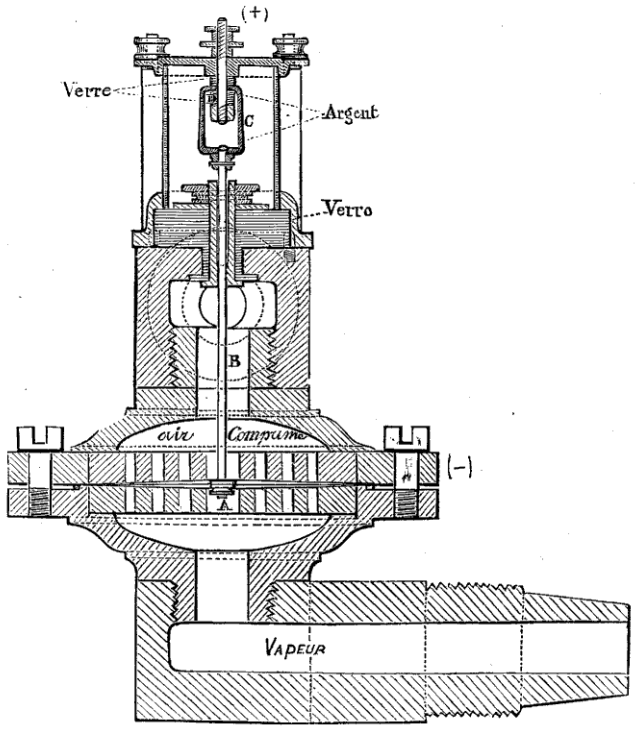


Fig. 24. — Explorateur des pressions.

supporte, sur l'autre face, une pression d'air connue à chaque instant. Chaque fois qu'il y a rupture d'équilibre, un signal électrique est automatiquement envoyé de la machine au wagon et est enregistré par un point sur des tableaux animés d'un mouvement alternatif et synchrone de celui des pistons. En opérant, par conséquent, sur une série de coups de pistons successifs et en faisant varier chaque fois la pression de l'air dont on est maître, on obtient un ensemble de points qui font partie du contour du diagramme représentant le travail de la vapeur dans les cylindres.

L'envoi du signal électrique, constatant la rupture d'équilibre entre la pression de la vapeur et celle de l'air comprimé s'obtient au moyen d'un instrument appelé *explorateur* et représenté sommairement par la fig. 24. La membrane métallique A, qui constitue l'explorateur et qui vibre entre ces deux milieux,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

porte une tige B terminée par une pince d'argent isolée *c*, frottant contre des rondelles d'argent et de verre superposées ; la moindre vibration de la membrane amène la pince en contact avec le verre et interrompt le courant. Le signal électrique est fourni par des électro-aimants de dimension fort réduite, dont l'armature porte une petite plume d'acier.

Sur le wagon est installé un réservoir dans lequel on peut comprimer l'air de 0 à 10 atmosphères. Entre ce réservoir et le tube qui se rend à *l'explorateur*, placé sur la machine, est intercalé un *régulateur de pression* représenté à la fig. 25, dans lequel une soupape *a* est solidaire d'un ressort à boudin B dont on peut, à volonté, régler la tension à chaque instant, au moyen d'une vis C. En manœuvrant la manivelle E et, par suite, l'écrou D, pour bander le ressort B d'une quantité déterminée, on détache, par l'effet de la pression, de ce ressort, la petite soupape *a* de son siège. Aussitôt l'air comprimé pénètre dans la chambre manométrique F, jusqu'à ce qu'il fasse équilibre au ressort, et presse la face interne d'un petit piston *d*, en produisant la fermeture de la soupape.

On a donc, dans la chambre manométrique, une pression constante dont le ressort mesure l'intensité et qui agit sur la face inférieure de la membrane de l'explorateur. Dès qu'une fuite vient à se produire, la pression de l'air baissant

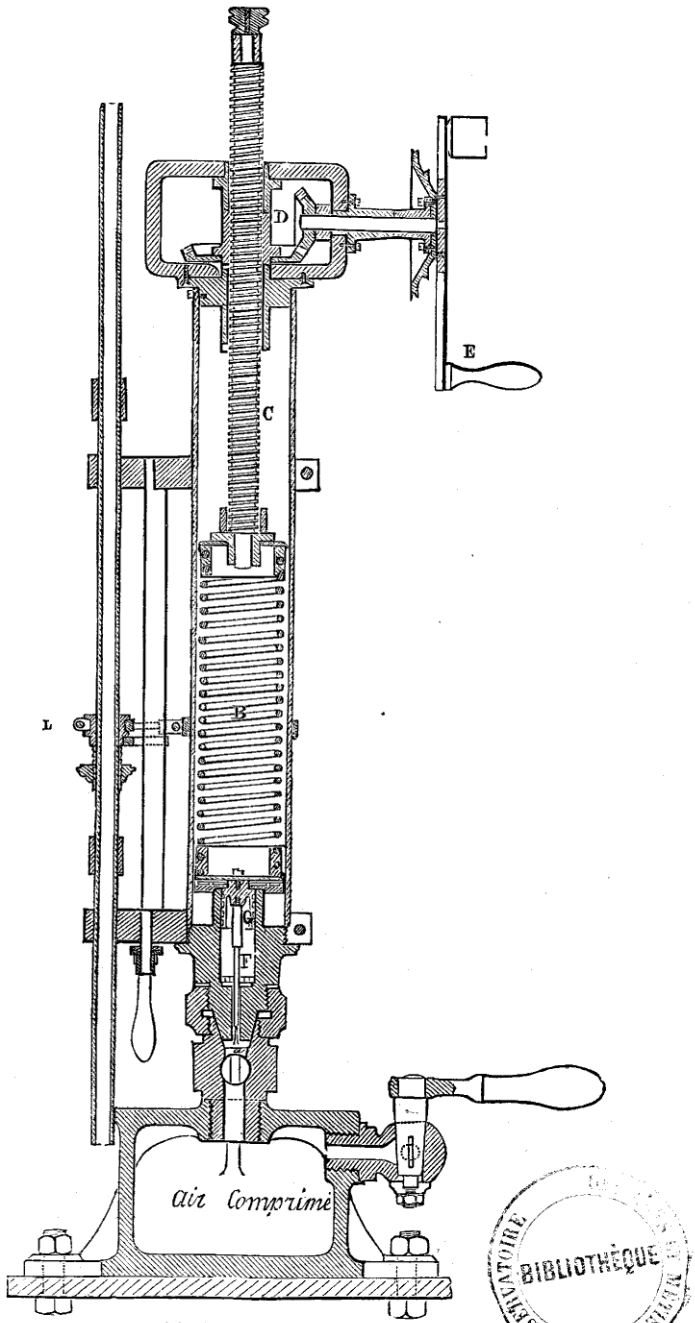


Fig. 25. — Régulateur de pression.

CONSERVATOIRE BIBLIOTHÈQUE ARTS ET MÉTIERS

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans la chambre F, le ressort tend à ouvrir la soupape et à laisser rentrer de l'air comprimé, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli.

D'ailleurs, la vis C est reliée à la tige *l* qui porte les enregistreurs électriques dont il vient d'être question, de manière que les ordonnées des points, obtenus chaque fois qu'un signal électrique est envoyé de l'explorateur, soient proportionnelles aux pressions de l'air et, par conséquent, de la vapeur.

Les tableaux, sur lesquels se fait automatiquement cette inscription, sont animés d'un mouvement alternatif emprunté à l'essieu du wagon, et les transmissions sont réglées de manière à mettre ce mouvement dans un rapport constant avec celui des organes correspondants de la machine : le synchronisme de ce mouvement et de celui des pistons est rigoureusement assuré par une disposition spéciale d'engrenages différentiels, qui garantissent l'égalité des vitesses angulaires des arbres moteurs; l'identité des périodes de mouvement du piston et des tableaux est obtenue par un deuxième train d'engrenages différentiels, qui permet de faire coïncider, pendant la marche, les origines du mouvement des pistons et des tableaux. Enfin, on vérifie le synchronisme en provoquant l'émission d'un signal électrique, visible à l'extrémité de l'une des manivelles des tableaux mobiles, chaque fois que la manivelle motrice correspondante de la machine passe, par exemple, au milieu de sa course : s'il y a synchronisme, ce signal est visible toujours à la même place dans l'espace; s'il y a seulement identité de vitesse angulaire, ce signal est encore visible, mais en un point quelconque de l'espace. On nous dispensera de décrire en détail cette dernière disposition, qui est un chef-d'œuvre de mécanique et d'optique, dû à M. Napoli.

En résumé, on peut dire que chacune des expériences que permet de faire le wagon de la Compagnie de l'Est, est réalisée dans des conditions scientifiques tout à fait nouvelles et d'une précision que l'on n'avait jamais obtenue jusqu'à ce jour. On n'a pu encore relever qu'un nombre très-restreint de diagrammes, parce que le temps a manqué avant l'ouverture de l'Exposition; mais, à présent, rien n'empêche les savants inventeurs de recueillir les fruits de leurs recherches et d'en publier les instructifs résultats.

SECTION C. — Résultats commerciaux de l'exploitation des chemins de fer.

Nous terminerons l'Étude qui précède, par l'exposé d'un certain nombre de renseignements statistiques, concernant l'exploitation des chemins de fer français et de quelques lignes étrangères.

Faute de renseignements qu'en général il est difficile d'obtenir des Compagnies, ces chiffres n'ont pas le caractère d'ensemble qu'il eût été intéresssant de leur donner et ils se rapportent soit à l'année 1875, soit à l'année 1876. Quoi qu'il en soit, ils peuvent avoir leur utilité, en plus d'une circonstance.

1°. — Chemins de fer français.

La longueur totale des lignes exploitées, au 15 février 1879, se décompose de la manière suivante :

Réseau de l'État.	1,579	kilomètres.
Six grandes Compagnies.	19,565	—
Compagnies diverses d'intérêt général. .	1,035	—
Chemins de fer d'intérêt local.	2,003	—
Chemins de fer à voie étroite.	15	—
TOTAL.	24,197	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les résultats de l'exploitation ont été, pour l'année 1876 et pour les lignes d'intérêt général exploitées par les six grandes Compagnies françaises, les suivants :

NOMS des COMPAGNIES.	LONGUEURS kilométriques.	RECETTES BRUTES. TOTALES.	RECETTES BRUTES. kilométriques.	DÉPENSES D'EXPLOITATION. TOTALES	DÉPENSES D'EXPLOITATION. kilométriques	Coefficient d'exploitation.	PRODUIT NET D'EXPLOITATION. TOTAL.	PRODUIT NET D'EXPLOITATION. kilométrique.
	kilomèt.	francs.	francs.	francs.	francs.		francs.	francs.
Nord.	1,618	124,850.000	77.163	59,000,000	36,465	43,7	65,850,000	40,698
Est.	2,255	98,155.000	43,528	60,606,000	26.876	61,7	37,550,080	16.652
Ouest	2,550	108,920,000	42,713	63,914,000	25,064	58,7	45,000,000	17,649
Orléans.. . .	4,264	147,461,000	34.583	70,088.000	16,437	47,5	77.000.000	18,146
P.-L.-M . . .	5,182	283,431.000	56,000	125,714,000	24,800	44,0	157,717,000	31,200
Midi.	1,956	69,101,000	35,328	33,235,000	16,991	48,1	35,866,000	18,337
Totaux et moyennes.	17,825	831,918,000	46 671	412,557,000	23,145	50,0/0	418,983,000	23,526

Les sommes dépensées pour l'établissement des 17,435 kilomètres exploités par les Compagnies, au 31 décembre 1875, se décomposent de la manière suivante :

Dépenses faites par les Cies.	7,135,342,830 fr.,	soit 408,796	par kilomètre.
— par l'État.	1,175,991,000 —	67,372	—
TOTAL. . .	8,311,333,830 —	476,168	—.

Pendant cette même année 1875, les recettes brutes de l'exploitation des Compagnies, autres que les six grandes, ont été les suivantes :

NOMS DES COMPAGNIES.	LONGUEUR moyenne EXPLOITÉE.	RECETTE brute TOTALE.	RECETTE brute KILOMÉTRIQUE.
	kilomètres.	francs.	francs.
Charentes.	460	5,803,000	12,616
Vendée	233	1,647,000	7,071
Nord-Est	120	825,000	6,867
Orléans-Châlons	238	1,194,000	5,020
Dombes	51	528,000	10,360
Anzin	37	2,526,000	68,295
Compagnies diverses	485	3,248,000	10,800
Totaux et moyennes.	1,624	17,771,000	10,943
Six grandes Compagnies	17,761	821,647,000	46,800
Totaux généraux et moyennes. . .	19,385	839,418,000	43,300

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Citons aussi les résultats de l'exploitation de quelques réseaux secondaires

NOMS DES COMPAGNIES.	RECETTE KILOMÉTRIQUE.	DÉPENSE KILOMÉTRIQUE.	COEFFICIENT D'EXPLOITATION.
	francs.	francs.	
Charentes	13,163	8,317	65 0/0
Vendée	7,189	5,421	70 0/0
Chemins Nantais	5,400	5,000	90 0/0
Médoc	10,148	6,132	60 0/0
Orléans à Rouen	5,800	6,300	108 0/0

Les chiffres suivants s'appliquent à la même année 1875, mais on peut les considérer comme des moyennes à peu près constantes :

Division des recettes par nature de produits (réseau entier) : fr.
- Voyageurs 36 0/0
- Grande vitesse . . 7
- Petite vitesse . . . 57

Produit moyen d'un voyageur (réseau P.-L.-M.) 3f,01

Proportion par classes (pour 1,000 voyageurs) :
- 1re classe — 71
- 2e — — 149
- 3e — — 780

Produit moyen d'une tonne (ancien réseau de l'Ouest) . . 11 fr.
Parcours moyen — — 193 kil.
Produit moyen du train kilomètre (ancien réseau d'Orléans) 6f,49
— (nouveau réseau d'Orléans 4f,41
— (réseau de l'Est 5f,04
Dépense moyenne du train kilomètre. (*Id.*) 2f,77
Tarif kilométrique moyen d'une tonne (Midi) 0f,07
— — (Nord) 0f,05

2°. — Chemins de fer belges.

La longueur kilométrique des chemins de fer exploités en Belgique, ainsi que les résultats de leur exploitation, pendant l'année 1876, sont donnés par le tableau suivant :

NOMS des COMPAGNIES.	LONGUEUR exploitée.	RECETTES BRUTES		DÉPENSES D'EXPLOITATION		Coefficient d'exploitation.	PRODUIT NET D'EXPLOITATION.	
		TOTALES.	kilométriques.	TOTALES.	kilométriques.		TOTAL.	kilométrique.
	kilomèt.	francs.	francs.	francs.	francs.		francs.	francs.
État	2,105	93,000,000	44,180	57,600,000	26,935	62 0/0	35,400,000	17,245
Grand Central	479	15,445,000	32,244	8,300,000	17,328	54 0/0	7,145,000	14,916
Bassins houil.	413	4,719,000	11,426	3,191,000	8,000	78 0/0	1,528,000	3,426
Nord Belge.	160	11,944,000	74,650	6,688,000	41,800	56 0/0	5,256,000	32,850
Cies diverses.	432	6,700,000	15,532	4,611,000	10,637	70 0/0	2,089,060	4,959
Totaux et moyennes.	3,589	131,808,000	37,000	80,390,000	22,400	60 0/0	51,418,000	14,600

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les renseignements statistiques suivants se rapportent uniquement aux chemins de fer exploités par l'État Belge :

Parcours kilométrique total des machines	31,000,000 kilomètres.
— moyen d'une machine	30,552 —
Dépense de combustible par locomotive kilomètre	12kg,470
Parcours kilométrique total des véhicules	383,802,718 kilomètres.
— moyen d'un véhicule	12,083 —
Recette nette d'exploitation par véhicule kilomètre	0f,12 c.
Parcours kilométrique total des trains	21,425,000 kilomètres.
Nombre moyen de véhicules par train de voyageurs	10 —
— marchandises	24 —
Recette brute par train kilomètre	4f,22 c.
— nette —	1f,55
Dépense d'exploitation par train kilomètre	2,f67
Nombre moyen de voyageurs par voiture kilomètre	9v,24
— train —	76v,78
Parcours kilométrique moyen d'un voyageur	20k,85
Rapport des places occupées aux places disponibles, 1re classe.	16, 85 0/0
— — 2e classe.	20, 03 0/0
— — 3e classe.	25, 81 0/0
Nombre moyen de tonnes par wagon kilomètre	5t,50
— train —	89t,41
Parcours kilométrique moyen d'une tonne	69k
Utilisation des wagons	41k,40 0/0
Répartition des voyageurs pour 100 voyageurs. 1re classe	5
2e classe	13
3e classe	82
Répartition des voyageurs pour 100 francs de recette 1re classe	19f,60
2e classe	22f,47
3e classe	57f,93

3°. — **Chemins de fer anglais.**

Décomposition de la longueur kilométrique, exploitée le 31 décembre 1877.

Great-Eastern	1,390	kilomètres.
Great-Northern	1,048	—
London and North Western	2,674	—
South Western	1,105	—
Brigton	561	—
Chatham	256	—
Midland	2,048	—
South Eastern	533	—
Great Western	3,426	—
North Eastern	2,328	—
Compagnies diverses en Angleterre	4,096	—
Caledonian	1,335	—
North British	1,422	—
Compagnies diverses en Écosse	1,709	—
— Irlande	3,545	—
Total pour le Royaume-Uni	27,476	—

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Résultats de l'exploitation pendant l'année 1877.

NOMS des COMPAGNIES.	LONGUEURS kilométriques.	RECETTES BRUTES totales.	RECETTES BRUTES kilométriques.	DÉPENSES D'EXPLOITATION totales.	DÉPENSES D'EXPLOITATION kilométriques.	Coefficient d'exploitation.	PRODUITS NETS D'EXPLOITATION totaux.	PRODUITS NETS D'EXPLOITATION kilométriques.
Angleterre et pays de Galles.	19,465	1,326,437,475	68,145	715,875,825	39,844	54	610,561,650	31,367
Écosse. . . .	4,466	117,755,700	39,802	93,014,075	20,827	52	84,741,625	18,975
Irlande . . .	3,545	70,140,025	19,786	37,559,550	10,595	54	32,580,475	9,191
Totaux et moyennes.	27,476	1,574,333,200	57,300	846,449,450	30,800	54	727,883,750	26,500

Malgré le chiffre élevé de cette recette nette kilométrique, le taux moyen des intérêts servis aux capitaux engagés sous forme d'actions ordinaires, garanties ou privilégiées et d'obligations simples ou consolidées, n'a pas dépassé 4, 5 % pendant cette même année. Cela tient à ce que ces capitaux atteignent le chiffre de 16,851,000,000 fr., soit 613,000 fr. par kilomètre.

Ajoutons quelques renseignements statistiques fournis par les états publiés par le *Board of Trade*, pour l'année 1877 :

Répartition de 100 francs de recette brute.	Voyageurs	37,01 0/0
	Grande vitesse.	5,13
	Marchandises en P. V.	34,17
	Recettes diverses	3,69

(Le service de la petite vitesse se fait avec une telle rapidité que la grande vitesse, telle qu'on l'entend en France, ne forme qu'une partie insignifiante des transports.)

Répartition des classes pour 100 voyageurs.	1re classe. . .	8	voitures.
	2e classe. . . .	12	—
	3e classe. . . .	80	—
— pour 100 francs de recette.	1re classe . . .	19	—
	2e classe . . .	15	—
	3e classe . . .	60	—
	Abonnements.	6	—
Parcours total des trains de marchandises. . . .		175,051,711	kilomètres.
Nombre total des tonnes transportées.		215,372,184	tonnes.
Recette moyenne par tonne transportée.		3f,82	
— d'un train kilomètre.		4f.90	
Dépense moyenne. —		2f,39	

4°. — Chemins de fer allemands.

Nous n'avons sous les yeux, pour l'année 1877, que les résultats donnés par les chemins saxons, de Nassau et de la ligne de Berlin à Hambourg; encore ces derniers sont-ils relatifs à l'année 1876.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOMS des COMPAGNIES.	LONGUEURS kilométriques.	RECETTES BRUTES totales.	RECETTES BRUTES kilométriques.	DÉPENSES D'EXPLOITATION totales.	DÉPENSES D'EXPLOITATION kilométriques.	Coefficient d'exploitation.	PRODUITS NETS D'EXPLOITATION totaux.	PRODUITS NETS D'EXPLOITATION kilométriques.
État de Saxe.	1874	73,600,000	39,200	107,250,000	25,400	64 0/0	26,350,000	13,800
Cies diverses de Saxe. .	150	2,730,000	18,200	2,365,000	15,700	80 0/0	365,000	2,500
Chemins Saxons (1877).	2,024	76,330,000	37,700	49,615,000	24,500	65 0/0	267,150,000	12,200
Nassau (1877).	260	7,984,000	30,980	5,425,000	21,050	67 0/0	2,559,000	9,930
Berlin-Hambourg (1876).	442	21,842,000	49,400	13,279,000	30,000	67 0/0	8,563,000	19,400

En Saxe, les lignes de l'État ont coûté, jusqu'au 31 décembre 1877, 687,471,000 fr. soit 367,000 fr. par kilomètre; celles qu'exploitent les autres Compagnies saxonnes ont coûté 38,667,000 fr., soit 257,000 fr. par kilomètre.

L'excédant des recettes sur les dépenses représente 3,83 °/₀ du capital engagé, dans les chemins exploités par l'État, et à peine 1 °/₀, en moyenne, pour les autres lignes, exploitées par des Compagnies particulières.

Les chemins de l'État de Nassau qui ont coûté 10 millions, soit 400,000 fr. par kilomètre, ne rapportent que 2,44 °/₀.

Les renseignements statistiques qui suivent concernent uniquement les chemins saxons et se rapportent à l'année 1877 :

Utilisation du matériel à voyageurs.	État.	20 0/0
	Compagnies diverses. . .	21 0/0
— marchandises.	État	41 0/0
	Compagnies diverses. . .	37 0/0
Répartition de 100 voyageurs entre les quatre classes.	1re classe.	1
	2e classe.	20
	3e classe.	64
	4e classe.	15
Répartition des recettes brutes. Grande vitesse.	État.	29 0/0
	Compagnies diverses. . .	21 0/0
Petite vitesse.	État	71 0/0
	Compagnies diverses. . .	76 0/0

Enfin nous donnons un tableau d'ensemble, relatif aux résultats d'exploitation d'un certain nombre de réseaux allemands en 1873 et dressé d'après des chiffres fournis par M. Baum, dans l'Étude économique et comparative qu'il a publiée sur l'exploitation des chemins de fer par l'État et par les Compagnies privées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOMS des CHEMINS.	LONGUEUR exploitée en 1873.	DÉPENSE kilométrique de la CONSTRUCTION.	DÉPENSE kilométrique D'EXPLOITATION.	Coefficient d'exploitation.	TAUX d'intérêt du CAPITAL.	TARIF moyen perçu par voyageur kilométrique.	TARIF moyen perçu par tonne kilométrique.
	kilomèt.	francs.	francs.			francs.	francs.
État de Bavière.	2,058	292,336	19,564	61 0/0	5,05 0/0	0,057	0,070
Est Bavarois.	708	220,327	15,041	52 »	5,77 »	0,044	0,062
État de Bade.	1,012	352,099	19,661	59 »	4,01 »	0,047	0,079
Société Autrichienne. .	1,597	»	21,378	42 »	8,71 »	0,059	0,078
Breslau Schweidnitz. . .	299	237,701	12,525	42 »	7,38 »	0,038	0,066
Louis de Hesse.	461	306,619	19,175	52 »	5,87 »	0,043	0,074
État de Westphalie. . .		274,144	34,076	98 »	0,25 »	0,042	0,053
État de Prusse (Est). . .	1,333	229,958	19,699	58 »	5,81 »	0,045	0,068
Magdebourg-Halberstadt.	809	254,771	17,970	56 »	» »	0,044	0,080

5°. — Chemins de fer russes (1872). Résultats de l'Exploitation.

DÉSIGNATION DES CHEMINS.	LONGUEUR EXPLOITÉE.	RECETTE KILOMÉTRIQUE.	DÉPENSE KILOMÉTRIQUE.	COEFFICIENT D'EXPLOITATION.
(Voie étroite.)	Kilom.	Fr.	Fr.	
Novgorod	74	7000	5500	78 0/0
Yaroslaf-Vologda	102	4600	3800	83 »
(Voie large.)				
Varsovie St-Pétersbourg. .	1288	25000	23500	90 0/0
Moscou-Brest.	1090	13600	10800	79 »
Odessa.	1022	26300	20000	76 »
Azof	815	25000	16800	67 »
St-Pétersbourg-Moscou . .	644	102000	44800	44 »
Moscou-Koursk.	536	55000	29200	53 »
Finlande	416	6200	4300	69 »
Koursk-Kiew	468	27400	10000	36 »
Moscou-Novgorod	428	56600	30900	54 »
Varsovie à Vienne	344	38000	21000	55 »
Libau	311	3500	4000	114 »
Riga-Dunabourg	226	25000	15800	61 »
Varsovie Térespol	212	17500	10500	60 »
Riazan.	210	66500	26000	40 »
Varsovie Bromberg	146	22000	21700	98 »

On remarquera principalement la ligne de Saint-Pétersbourg à Moscou qui, réunissant les deux capitales de l'empire, absorbant, sur toute sa longueur, la plus grande partie du trafic, sans qu'aucun embranchement vienne en diminuer la valeur kilométrique, atteint une recette kilométrique égale à celle de nos meilleures lignes françaises.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Conclusions.

Il serait inexact de tirer des tableaux qui précèdent des conclusions trop absolues et d'avancer, en se fondant sur la valeur du coefficient d'exploitation, que tel pays exploite à meilleur marché que tel autre.

Pour faire une comparaison équitable, il serait nécessaire de prendre deux chemins placés dans des conditions identiques, c'est-à-dire dont la voie présente la même pente moyenne, ayant un trafic similaire, et à peu près le même âge, enfin sur lesquels les transports soient répartis suivant la même proportion, dans les deux sens.

Encore doit-on tenir compte, lorsqu'on passe d'un pays à un autre, des différences d'habitudes du public, du prix plus ou moins grand qu'il attache au bon marché et à la vitesse, et, par conséquent, de la valeur relative des tarifs qu'il est possible de fixer.

En d'autres termes, le coefficient d'exploitation n'a guère d'intérêt que lorsqu'on compare les valeurs successives qu'il prend, d'une année à l'autre, sur un même réseau.

Toutefois, en tenant compte du parcours moyen de la tonne kilométrique sur un réseau, — ce qui revient à tenir compte de l'intensité du trafic et de la longueur de ce réseau, — on arrive à des résultats suffisamment exacts, comme l'a fait ressortir M. Ch. Baum dans une étude économique qu'il a publiée, en 1877, sur les résultats de l'exploitation des chemins de fer français, pendant la période comprise entre 1872 et 1874.

Nous empruntons à ce travail ses principales conclusions :

1° A égalité de poids, le transport des wagons coûte dix fois plus que celui des marchandises à petite vitesse.

2° Le poids moyen d'un voyageur étant supposé égal à $0^t,1$, le transport d'un voyageur à 1 kilomètre coûte autant que celui de 1 tonne de marchandises à la même distance.

3° Le prix de revient total du transport de 1 tonne nette à 1 kilomètre est, en moyenne, de $0^t,0568$, et il tend à augmenter constamment. Dans ce chiffre, les dépenses d'intérêt et d'amortissement du capital de construction entrent pour la moitié environ.

4° Le prix de revient de ce transport est de 93 0/0 plus élevé, sur le nouveau réseau que sur l'ancien.

5° Le tarif kilométrique moyen, perçu par les grandes Compagnies, est de 0 fr. 0532 pour les voyageurs, et de 0 fr. 058 pour les marchandise ; il s'est abaissé de 15 à 16 0/0 dans l'espace d'une dizaine d'années.

6° Le parcours rémunérateur de 1 tonne est, en moyenne, de $118^k,6$, c'est-à-dire que si la tonne est transportée à une distance moindre, elle ne couvre pas ses dépenses avec la recette à laquelle elle a donné lieu; le parcours moyen effectif de la tonne est de $132^k,4$; enfin, sur l'ancien réseau, le parcours rémunérateur est inférieur au parcours moyen réel d'une tonne nette : le contraire a lieu sur le nouveau réseau. Dans le chiffre des dépenses sont comprises celles d'intérêt et d'amortissement du capital de construction.

7° Le taux de l'intérêt du capital de construction, c'est-à-dire le rapport du produit net à ce capital, est en moyenne de 8,39 0/0 sur l'ancien réseau, de 1,71 0/0 sur le nouveau et de 5,62 0/0 sur les réseaux réunis. Il va constamment en diminuant.

8° Le chiffre de la recette brute d'exploitation représente le dixième environ du capital de construction.

9° Le rapport des parcours moyens des voyageurs et des marchandises à la longueur du réseau va généralement en décroissant, d'une année à l'autre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

10° Sur un même réseau, le rapport du parcours moyen des voyageurs au parcours moyen des marchandises est à peu près constant.

11° L'intensité diurne du mouvement des trains, c'est-à-dire le nombre des trains, parcourant chaque jour l'ancien réseau, est de 27,27 et, sur le nouveau réseau, il est de 13,57. La moyenne est, pour les deux réseaux, de 21,14.

Les chiffres que nous venons de citer ont un grand intérêt; il y aurait lieu toutefois de vérifier s'ils se sont maintenus pendant la période comprise entre les années 1874 et 1879. Une pareille recherche n'est pas du ressort de cette modeste Étude; notre but était seulement de passer rapidement en revue les progrès accomplis, depuis l'année 1867, dans l'exploitation des chemins de fer. Que l'on nous pardonne donc si, en esquissant à grands traits un sujet aussi vaste, nous avons passé sous silence plus d'un détail intéressant.

M. Cosmann.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

HYDRAULIQUE

PAR M. GEORGES DUMONT

Ingénieur des Arts et manufactures, Inspecteur aux chemins de fer de l'Est

DEUXIÈME PARTIE (1)

SOMMAIRE.

Examen des différents appareils de distribution d'eaux figurant à l'Exposition universelle de 1878 : Compteurs à turbines et à ailettes. — Compteur à colonne d'eau. — Filtres David et Manceau. — Filtre Carré, système Chanoit. — Filtres Bourgeoise. — Appareils accessoires des distributions d'eaux. — Différents types de robinets de puisage. — Robinets-Vannes. — Bornes-fontaines : à l'abri de la gelée; à débit variable; évitant le coup de bélier. — Bornes-fontaines filtrantes. — Borne-fontaine jaugée. — Tuyaux et conduites d'eau. — Tuyaux en fonte; en tôle; en poterie et en ciment. — Fabrication et pose des conduites en ciment. — Formule pratique servant à déterminer leur diamètre en fonction de la pression qu'elles doivent supporter.

1° Compteurs d'eau.

Dans la première partie de notre étude, nous avons dit qu'on pouvait distinguer trois systèmes de distribution, pour les eaux :

1° La distribution continue à robinet libre; 2° la distribution jaugée; 3° la distribution par compteur.

Avec le premier système, ou la Compagnie pour se prémunir contre des abus fera payer à l'abonné un prix trop élevé, ou ce sera le contraire et l'exploitation deviendra onéreuse pour l'entreprise.

On employait en Angleterre un mode de distribution connu sous le nom de ystème *discontinu* : à certaines heures, les fontainiers ouvraient le robinet d'arrêt, qu'ils venaient refermer quelque temps après, quand le réservoir de l'abonné était rempli. Il y avait, bien entendu, des robinets à flotteurs ou des tuyaux de trop-plein pour éviter le débordement des réservoirs. Ce système avait de nombreux inconvénients : en cas d'incendie, il fallait aller trouver le fontainier qui détenait la clef du robinet, et souvent la maison avait brûlé avant qu'on ait pu être mis en possession de l'eau nécessaire pour l'éteindre. Aussi, a-t-on renoncé à ce mode de distribution.

Dans la distribution jaugée, le jaugeage s'effectue à l'aide d'un diaphragme qu'on interpose dans le branchement de l'abonné de façon à n'y laisser passer dans les vingt-quatre heures que le volume d'eau concédé. Le jaugeage entraîne tous les inconvénients du système discontinu. Il faut nécessairement un réservoir pour recueillir le mince filet d'eau que débite le robinet. Ainsi, pour une concession de 15 hectolitres par jour, il est facile de calculer que le robinet

(1) Pour la 1re partie, voir pages 45 et suivantes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ne doit laisser passer qu'un litre environ par minute et qu'il faudrait par suite un quart d'heure pour remplir un seau ordinaire. Si la maison dans laquelle on distribue l'eau admet plusieurs ménages, on voit de suite qu'il s'établit entre eux une solidarité gênante. Pour éviter cet inconvénient, on serait amené à faire aboutir toutes les conduites de distribution dans un réservoir public muni d'un robinet. En ouvrant ce robinet, à une heure quelconque de la journée, les habitants recevraient l'eau qui s'en échapperait avec une vitesse due à la charge du réservoir. Mais cette solution est évidemment toute théorique et on est forcé de convenir que la seule véritablement pratique consiste dans l'adoption d'un compteur, c'est-à-dire d'un appareil enregistrant *aussi exactement que possible* le volume d'eau débité par le robinet de l'abonné.

En 1865, un ingénieur anglais, M. Siemens, inventa un compteur qui donne des résultats très-satisfaisants.

Avec cet appareil ou ceux du même genre, les abonnés n'ont plus à établir de réservoirs volumineux et encombrants et reçoivent l'eau sous pression. Ces avantages sont si frappants qu'à la Compagnie des Eaux de la *Banlieue de Paris*, la majeure partie des abonnés ont réclamé l'adoption du compteur, et qu'aujourd'hui il n'existe plus que de rares distributions à la jauge, ainsi que le prouvent les chiffres suivants : en 1872, les 23,100 des abonnés avaient un compteur; en 1876, cette proportion s'était élevée à 54,100.

Dans un grand nombre de villes, on a adopté ce mode rationnel de distribution. Ainsi : à Bruxelles, sur 17,976 abonnés, 9,571 sont desservis par compteur; à Liège, sur 2,400 abonnés, 2,200 ont un compteur; enfin, à Lille, un règlement rend *obligatoire* la distribution par compteur pour tous les usages autres que ceux exclusivement domestiques.

On remarquait à l'Exposition de 1878 plusieurs systèmes de compteurs, parmi lesquels il convient de citer le compteur Siemens et le compteur Faller, tous deux employés par un certain nombre de Compagnies et basés sur le principe de la rotation d'une turbine ou d'une roue mises en mouvement par le passage de l'eau dans l'appareil. D'autres types de compteurs fonctionnent à la manière d'une colonne d'eau, tel est l'appareil Hirt. Bien qu'il ne figurât pas au Champ de Mars, nous avons cru intéressant d'indiquer son mode de fonctionnement (p. 275).

Compteur Siemens. — Le compteur Siemens et Adamson, construit en Angleterre par MM. Guest et Chrimes, est basé sur le principe de la force centrifuge. Il se compose d'une turbine H tournant sur un pivot vertical placé à la partie inférieure, et dans un collier placé à la partie supérieure (Pl. V, fig. 1 et 2). L'eau est introduite au centre de l'appareil par un conduit A et elle en sort par des ouvertures courbes ménagées sur la turbine, en imprimant à celle-ci un mouvement de rotation. Un certain volume d'eau se trouve débité à chaque révolution de la turbine et on n'a qu'à enregistrer le nombre de tours pour connaître la quantité d'eau délivrée. Cet enregistrement est effectué au moyen de vis sans fin, pignons et engrenages différentiels montés sur le cadran et sur l'arbre des aiguilles, ainsi que le montre la coupe verticale de l'appareil (Pl. V, fig. 1).

Nous avons résumé dans le tableau page 273 les dimensions, prix et débits des divers numéros de compteurs.

Le compteur d'eau Siemens n'a pas la prétention d'être d'une exactitude mathématique, mais il enregistre les volumes consommés à moins de 3 0/0 près.

A la vérité, pour de l'eau vendue entre 25 et 50 centimes le mètre cube, on n'a pas besoin d'une plus grande approximation. On lui reproche de livrer l'eau, même quand il cesse de fonctionner régulièrement, et de causer ainsi des per-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tes aux Compagnies qui en font usage. Ce fait est exact, mais à cet égard, il soutient victorieusement la comparaison avec le robinet à la jauge qui livre toujours plus d'eau que l'abonné n'en paye. (Voir le tableau ci-dessous.)

NUMÉROS.	DIMENSION DE L'ORIFICE en millimètres.	PRIX.	DÉBIT APPROXIMATIF EN LITRES PAR HEURE sous une charge de 15 à 45m.
1	10	63	700 à 1100
2	12	80	1300 à 2300
3	20	103	2500 à 4500
4	25	120	7000 à 11000
5	30	152	10000 à 17000
6	40	180	14000 à 23000
7	50	225	18000 à 32000

Compteur d'eau Faller. — Le compteur d'eau Faller, qui était exposé par la maison Spanner de Vienne dans la Section Autrichienne, est essayé depuis trois ans par la ville de Vienne. Il en a été mis environ 2,000 en service et les rapports des ingénieurs chargés de suivre les essais constatent leur parfait fonctionnement. Le cahier des charges pour la fourniture de ces appareils admettait une tolérance de 2 0/0 sur les indications des quantités d'eau passant par le compteur. Le tableau ci-dessus donne le résultat des essais officiels faits en 1877 à Vienne avec un compteur Faller de 13 millimètres de section d'écoulement :

PRESSION en ATMOSPHÈRES.	DIAMÈTRE du CANAL D'ÉCOULEMENT.	QUANTITÉ D'EAU EFFECTIVE en litres.	INDICATION DU COMPTEUR en litres.
	illimètres,		
5	13.17	100	100
»	6.58	99.5	»
»	3.29	99.5	»
»	2.20	100	»
»	1.10	20.25	20
1/2	13.17	99	100
»	6.58	98	»
»	3.29	100	»
»	2.20	50	50

Des expériences faites sur des compteurs de différents systèmes par l'ingénieur de la ville de Dresde ont été concluantes en faveur du type Faller, qui accusait le passage d'une quantité de 0m,06 d'eau par heure. Cette sensibilité est due à l'exécution soignée des différentes pièces et à ce que tous les axes de transmission sont verticaux et reposent sur une pointe. Cette disposition est évidemment très-favorable à la diminution des frottements.

En principe, l'appareil Faller est un indicateur de vitesse. Il consiste en une roue à ailettes mise en mouvement par le passage de l'eau et actionnant un compteur. La section du passage de l'eau dans l'appareil étant invariable, la vitesse de cette eau est proportionnelle à la quantité qui passe, ainsi que le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nombre des tours effectués par la roue à ailettes et par le compteur. En d'autres termes, si la roue à ailettes fait un certain nombre de tours dans une unité de temps pour le passage de 100 litres d'eau, elle fera un nombre de tours double quand il passera 200 litres d'eau. C'est ce qui est justement indiqué par le compteur. Mais comme il s'agit de connaitre, non pas le nombre de révolutions effectuées par la roue à ailettes pour laisser passer une certaine quantité d'eau, mais cette quantité elle-même, on dispose entre l'axe de la roue à ailettes et l'axe d'un cadran un certain nombre d'engrenages tels que ce dernier axe et par suite l'aiguille qui y est fixée fasse un tour pour un passage de 10 unités de l'eau à mesurer.

A l'aide d'un second système d'engrenages, on donne le mouvement à un autre axe qui fait un dixième de tour pour une révolution opérée par 10 unités d'eau, et qui indique sur un second cadran le chiffre des dizaines et ainsi de suite.

C'est ainsi qu'à l'aide d'une série d'engrenages variant dans la proportion de 1 à 10 et desservant des cadrans respectifs, on peut mesurer les quantités d'eau passant par l'appareil.

La description détaillée du compteur d'eau est représentée Pl. VI (fig. 1, 2, 3, 4, 5). L'appareil se compose de trois parties : la boîte, le mécanisme et la fermeture étanche. La boîte, en fonte ou en laiton, a la forme d'un vase cylindrique pourvu de deux côtés de tuyaux également cylindriques, l'un *d* servant à l'entrée de l'eau, l'autre *c*, à son écoulement. Les extrémités des tuyaux sont munies de collets ou de taraudages de joint (fig. 1 et 2). Le mécanisme proprement dit se place dans un cylindre creux, alésé avec soin. Il se compose d'une roue à ailettes *a*, en laiton, mise en mouvement par le passage de l'eau et fixée au moyen de deux écrous à l'axe vertical de transmission *b*. Ce dernier est fileté de manière à transmettre le mouvement de la roue à ailettes au mécanisme du compteur. Ce mécanisme est à son tour enfermé dans une boîte en laiton *k* au fond de laquelle sont vissés les deux supports *x* qui relient la boîte *k* avec le coussinet *t* sur lequel repose l'axe de transmission *b* (fig. 2). L'extrémité inférieure de l'axe *b* qui se termine par une pointe, repose sur une vis pourvue d'un trou conique et fixée au coussinet *t*. Pour rendre invariable la position de cette vis, on l'a munie d'un écrou du côté inférieur du coussinet *t*. A l'intérieur et au fond de la boîte *k*, sont vissés les trois supports *l* qui maintiennent à la distance nécessaire les plaques *c*, *h* et *i* reliant les coussinets des axes de transmission du compteur (fig. 2).

Dans la plaque *c* (plaque du cadran) se trouvent les coussinets supérieurs des axes de transmission du compteur ; à l'extrémité supérieure de ces axes sont fixés les cadrans ; enfin la plaque *c* contient les six découpures I, II, III, IV, V et VI, munies d'aiguilles sous lesquelles paraissent les cadrans, indiquant la quantité d'eau passée par l'appareil (fig. 4). Il y a encore, au centre de la plaque *c*, une vis *u* pourvue d'un trou conique servant de coussinet supérieur à l'axe de la roue à ailettes. Dans la plaque *h* se trouvent les coussinets inférieurs des axes de transmission du compteur, lesquels, aboutissant en pointe conique et traversant la plaque *h*, reposent sur la plaque I. La fermeture de l'appareil s'obtient par la plaque en verre de glace *o* qui est fixée à l'aide du manchon *p*, vissé à la boîte ; elle est rendue étanche par l'interposition d'une rondelle en caoutchouc.

De plus, pour perfectionner le fonctionnement de l'appareil, on a adopté les dispositions spéciales suivantes : on a d'abord réservé au-dessus du canal d'introduction un second canal *g*, dit *régulateur*, qui peut être ouvert ou fermé à volonté au moyen de la soupape de régime T. Cette soupape est suspendue par une vis dans la boîte S, qui est fermée à son tour par un autoclave *u* et rendue étanche par une rondelle en caoutchouc. En faisant varier la position de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soupape T, on peut, suivant les besoins, régler la section de passage de l'eau, sa vitesse, et par suite celle de la roue à ailettes. Ainsi si un appareil indiquait une quantité d'eau plus grande que celle qui a réellement passé, en levant la soupape T on agrandirait un peu la section de passage *g*, on réduirait la vitesse de l'eau et on réglerait l'appareil sans avoir pour cela besoin de l'ouvrir.

La seconde disposition a pour but d'empêcher l'eau de circuler dans l'espace réservé au mécanisme, ce qui aurait pour effet de le détériorer. On emploie pour cela une fermeture spéciale composée de deux cylindres *m* et *n*, formés de feuilles minces en laiton. Le plus grand de ces cylindres, *m*, fixé au fond de la boîte du mécanisme et fermé en haut par un collet en laiton qui y est soudé, a un faible jeu et sert de guide à l'axe de transmission de la roue à ailettes. Le second cylindre *n* est vissé sur ce même axe au moyen d'un écrou; il est disposé de façon à entourer, à faible distance, l'allongement de la partie supérieure du cylindre *m* et à venir s'emboîter également à faible distance dans son intérieur. On obtient ainsi une espèce de labyrinthe de canaux étroits qui rend l'accès de l'eau assez difficile dans l'espace réservé au mécanisme du compteur. Pour plus de prévoyance, on remplit cet espace, avant la pose, d'eau distillée. Comme les parties du mécanisme sont en laiton ainsi que la boîte qui les renferme, et que la plaque portant les cadrans en porcelaine est argentée, il n'y a à craindre aucune oxydation de ces différentes pièces.

Voici comment se fait la lecture du compteur : l'unité indiquée sur la marque de fabrique sert comme base de mesure. Sur cette base doivent être notées les indications données par l'appareil, ainsi qu'il suit : Les chiffres désignés par le cadran I représentent les unités.

Ceux indiqués par les cadrans II, III, IV, V, VI et VII donnent respectivement les dizaines, centaines, mille, dix mille, cent mille et millions. Parmi les chiffres de chaque cadran, il n'y a que celui qui se trouve sous l'aiguille ou immédiatement à gauche de cette dernière qui ait de la valeur; cependant un chiffre se trouvant au-dessous de l'aiguille n'a de valeur que si le zéro a déjà passé l'aiguille sur le cadran précédent. Dans le cas contraire, il ne faut tenir compte que du chiffre situé à gauche de l'aiguille.

Compteur Hirt. — Voici deux genres de *compteurs* à eau, qui, d'après les rapports des ingénieurs chargés d'en faire l'essai, donnent toute satisfaction en pratique. Ils sont tous deux basés sur la rotation imprimée par l'eau à une turbine ou à une roue à ailettes.

D'autres systèmes de compteurs fonctionnent à la manière d'une colonne d'eau; un ancien appareil de ce genre, inventé par M. *Hirt* et essayé il y a quelques années au Conservatoire des arts et métiers, ne donna que des écarts moyens de 1 centième environ du volume réellement débité.

Ce compteur, représenté fig. 36, consiste essentiellement en deux capacités entièrement distinctes et constituant par leur ensemble un appareil intermédiaire entre le tuyau d'arrivée et le tuyau de sortie. Le liquide en s'écoulant fait varier la position de tiroirs qui ferment et qui ouvrent des orifices situés respectivement à l'entrée de ces deux capacités.

Ces dernières se remplissent tour à tour et mesurent le débit. Elles ont la forme d'un demi-cylindre vertical dans lequel l'eau pousse une cloison mobile. Les cloisons mobiles faisant fonctionner des taquets déplacent les tiroirs, de sorte que lorsqu'une capacité est remplie, et que la cloison est au bout de sa course, l'arrivée de l'eau sur l'autre face chasse celle qui était entrée précédemment.

Pour cela, chaque tiroir agit sur deux orifices, qu'il peut fermer tous deux à la fois, ou dont l'un seulement est, à certains points de la course, ouvert à l'entrée ou à la sortie de l'eau. Les deux taquets sont indépendants; l'un d'eux

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seulement met en mouvement les rouages d'un compteur, qui enregistre le nombre des alternances et par suite le volume d'eau qui s'est écoulé.

La figure 36 représente l'appareil dont on a enlevé le couvercle portant le cadran. L'eau arrive par la tubulure A située au-dessus, elle s'écoule par le tuyau B qui communique seulement avec la boîte inférieure. Le tiroir en coquille C recouvre dans toutes ses positions l'une des ouverture c, c' et c''. Le tiroir D agit sur les trois ouvertures d, d' et d''. L'axe vertical E est solidaire avec l'un des pistons verticaux. Ce piston P se meut dans une capacité hémicylindrique, communiquant respectivement de chaque côté du piston avec les orifices c et c'. Un autre axe vertical F est calé sur le deuxième piston Q, qui se meut également dans une boîte communiquant avec les orifices d et d'. Enfin, les orifices c'' et d'' sont en communication constante avec la tubulure de sortie B.

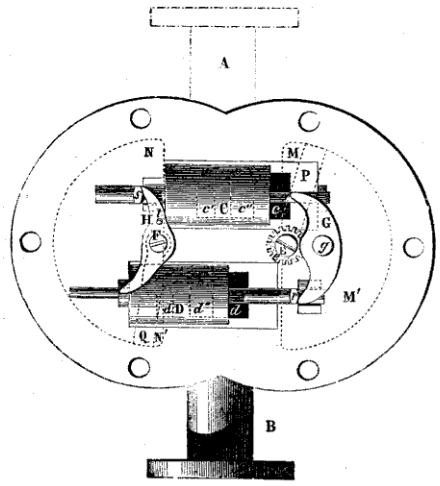


Fig. 36. — Compteur Hirt.

Dans la situation indiquée par la figure, l'eau entre par l'orifice c dans la chambre M du premier cylindre ; elle pousse le piston P ; l'eau contenue dans la deuxième chambre M', passant par un conduit intérieur de M' en c', arrive sous la coquille du tiroir, passe par l'orifice c'' et s'écoule au dehors par le tuyau B.

Pendant cette phase de la marche, d est resté ouvert, mais il n'est point entré d'eau dans la capacité correspondante N du second cylindre qui était antérieurement remplie. Un pignon denté e porté par l'arbre vertical E engrène avec le pignon g calé sur un arbre intermédiaire portant une came G. Quand le piston P arrive au bout de sa course, l'extrémité de la came G agit sur un mentonnet r faisant partie de la tige du tiroir D ; ce tiroir est ainsi entraîné de manière à découvrir l'orifice d' et à recouvrir l'orifice d.

Le compartiment N' du deuxième cylindre se remplit, le piston Q chasse l'eau du compartiment N de ce même cylindre, par l'orifice d correspondant, et par l'orifice d'écoulement d', sous la coquille du tiroir. Le piston Q en se déplaçant entraîne l'arbre F et la came H, qui joue, par rapport au mentonnet s du tiroir C, le rôle que venait de remplir la came G sur le mentonnet r.

Le tiroir C en se déplacant découvre la lumière c' et recouvre c, de sorte que l'eau peut entrer dans la chambre M' du premier cylindre et sortir de la chambre M de ce même cylindre par les orifices c et c'' et le tuyau d'écoulement B. Le piston arrive ainsi dans sa position primitive. La came G, agissant par son autre extrémité sur le mentonnet r comme précédemment, ramène le deuxième tiroir à sa position initiale. L'eau entrant en d pousse le piston Q, et la chambre N' du deuxième cylindre se vide par les lumières d' et d''.

Dès lors les différents organes de l'appareil se retrouvent dans la situation indiquée par le dessin et sont prêts à se mouvoir, ainsi que nous venons de l'expliquer. Le nombre des alternances s'enregistre à l'aide du petit bouton t de la came H sur un système de rouage d'horlogerie à l'aide d'un rochet.

Ce système de compteur est ingénieux et, à ce titre, il méritait d'être signalé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2° Filtrage des eaux.

Nous avons traité précédemment (p. 67) en détail la question du filtrage naturel et artificiel des eaux sur une grande échelle, et nous avons indiqué sommairement (p. 77) le principe des appareils filtrants qui servent à la clarification des eaux vendues dans les fontaines marchandes, ou consommées dans les habitations particulières.

Les appareils de ce genre qui figuraient à l'exposition de 1878 peuvent se réduire aux types suivants : le filtre David et Manceau (ancienne maison Vedel-Bernard et C^ie^) et le filtre du système Chanoit exposé par la maison Carré et C^ie^.

1° Filtres David et Manceau. — Les filtres David et Manceau se composent d'une cuve conique en fonte surmontée d'un couvercle de même métal. Ces deux pièces à cornières, assemblées par des boulons glissant dans des encoches, constituent le corps du filtre.

Au-dessus de la tubulure correspondant au robinet de départ qui se trouve à la partie inférieure de l'appareil, est disposée une grille surmontée d'un tamis métallique sur lequel reposent les couches filtrantes dans l'ordre suivant (Pl. VI, fig. 6) : B, éponges préparées. — C, grès pulvérisé. — D, laines imputrescibles. — E, grès pulvérisé. — F, noir animal ou charbon. — G, sable ou gravier.

Ces matières, fortement comprimées, sont maintenues par une grille placée au-dessous de la tubulure correspondant au robinet d'arrivée. En A se trouve l'eau à clarifier, en H s'accumule l'eau filtrée. Pour installer l'appareil, il suffit de placer un robinet d'arrêt sur la conduite d'adduction, de raccorder le robinet d'arrivée en deçà, et le robinet de départ au-delà du robinet d'arrêt. Quand celui-ci est fermé, l'eau est obligée de traverser le filtre.

Pour faire fonctionner ce dernier, on commence par fermer le robinet de départ, et on ouvre progressivement le robinet d'arrivée, puis le robinet de décharge placé à la partie inférieure de l'appareil, ainsi que le robinet d'air qui se trouve sur le couvercle. L'appareil ayant été purgé d'air, on ferme le robinet précédent, on laisse pendant quelques minutes couler la décharge, puis on la ferme. L'appareil se trouve alors en pression et on peut ouvrir le robinet de départ. Le nettoyage des filtres nécessite le retrait successif des couches filtrantes et leur lavage. Il faut ensuite les replacer dans l'ordre indiqué sur la figure, en ayant soin de les comprimer séparément.

M. David a perfectionné les filtres Vedel-Bernard que nous venons de décrire en décomposant l'opération du filtrage en deux parties :

On commence par faire monter l'eau à travers une épaisseur d'éponges qui occupe la hauteur totale du filtre; on obtient ainsi un dégrossissage préalable qui est complété par un finissage épurateur de haut en bas par les couches filtrantes de l'appareil décrit ci-dessus. La double opération s'effectue instantanément dans un seul appareil à deux compartiments (Pl. VI, fig. 8).

Pendant que le contre-courant se produit au travers du dégrossisseur par la manœuvre des robinets placés sur une tubulure latérale, les couches du filtre proprement dit se trouvent isolées au moyen d'une soupape qui ferme hermétiquement le vase qui les contient.

Le principal avantage de cette modification à l'ancien système est de retenir dans la couche d'éponges du dégrossisseur la majeure partie des impuretés de l'eau. On évite ainsi les nettoyages fréquents du filtre proprement dit.

Ces appareils peuvent fournir des débits de 6,000 litres à l'heure.

La maison David et Manceau construit aussi des filtres pouvant débiter de

BIBLIOTHÈQUE

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

200 à 100 litres à l'heure et dont les dimensions réduites permettent l'application dans les cuisines. Ces appareils représentés (Pl. VI, fig. 7) donnent à volonté de l'eau filtrée par le robinet inférieur, ou de l'eau brute par le robinet supérieur. Il faut, bien entendu, que l'eau arrivant dans l'appareil soit à une pression suffisante pour que le filtrage puisse s'effectuer. Tel n'est pas le cas des eaux emmagasinées dans un réservoir ou une citerne. Il faut alors avoir recours aux filtres fonctionnant par aspiration sous l'action d'une pompe ou comme siphon par la différence des niveaux.

Les filtres David et Manceau, employés depuis plus de quarante ans dans les établissements de la ville de Paris, ont donné des résultats très-satisfaisants. Mais il faut avoir soin de prendre les précautions suivantes : on a vu que les matières filtrantes employées dans ces appareils étaient le charbon, la laine sous diverses formes, le sable, le grès et les éponges. Le charbon et la laine rendue imputrescible par un tannage à base ferrique ont des propriétés désinfectantes, mais l'action absorbante de ces matières étant très-limitée ne peut exercer une influence utile que pendant peu de temps et en raison inverse de la quantité d'eau à purifier.

Le sable et le grès servent à une simple clarification, qui devient nulle si on néglige d'enlever par des nettoyages fréquents les impuretés qui s'y déposent.

Les éponges remplissant à peu près le même but que le sable et le grès ont le grave inconvénient de se putréfier et de communiquer à l'eau une odeur d'autant plus désagréable que cette dernière séjourne plus longtemps au contact des matières organiques en décomposition.

Il est donc *de toute nécessité d'opérer des nettoyages fréquents*, et les appareils que nous venons de décrire sont construits de façon à les permettre.

Nous donnons, comme exemple d'installation en grand du système de filtrage de MM. David et Manceau, l'application qui en est faite dans la raffinerie de MM. Lebaudy à Paris, et dans l'usine de MM. Bourgin et Schuler à Courbevoie (Seine). (Pl. VII, fig. 1 et 2.)

2° Filtres à air comprimé système Chanoit. — Le réservoir-filtre à air comprimé du système Chanoit se distingue des autres appareils du même genre, en ce que la matière filtrante est incorruptible et que l'eau au sortir du filtre est parfaitement aérée. Cette aération est tellement énergique qu'en sortant de l'appareil, l'eau a une teinte laiteuse due aux bulles d'air contenues dans sa masse; mais il suffit de l'abandonner quelques instants à elle-même pour la voir reprendre toute sa limpidité.

Le nettoyage du filtre s'opère avec la plus grande facilité, il suffit d'une simple manœuvre de robinet pour changer le sens du courant de l'eau dans l'appareil et entraîner ainsi les matières étrangères qui se trouvent dans la couche filtrante. Le fonctionnement de l'appareil représenté fig. 5, Pl. V, est de la plus grande simplicité.

L'eau de la conduite de distribution arrive sous pression par le petit tube T dans la cuvette C, se clarifie en passant à travers une couche de laitiers pulvérisés F et s'élève peu à peu dans le réservoir R, en comprimant l'air qui s'y trouve jusqu'à ce que la force élastique de cet air fasse équilibre à la pression hydrostatique de la conduite.

On crée donc dans le réservoir R une réserve d'eau filtrée et aérée.

Pour renouveler l'air dissous, il suffit d'ouvrir le robinet purgeur P par lequel l'eau s'écoule, puis le robinet de puisage E par lequel l'air extérieur entre dans le réservoir-filtre au fur et à mesure que le vide se produit.

Le matelas d'air comprimé M, déjà utilisé pour aérer l'eau, constitue encore la force, servant à nettoyer le filtre tous les jours et sans démontage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour effectuer cette opération, on ouvre et on ferme vivement à plusieurs reprises, pendant quelques secondes, le robinet purgeur P; l'eau filtrée sort aussitôt, violemment chassée par l'air comprimé qui pèse sur elle. En repassant vivement de haut en bas à travers le filtre, cette eau filtrée entraîne toutes les impuretés enlevées par lui à l'eau qu'il a clarifiée la veille. Il suffit de quelques litres d'eau pour produire ce résultat.

L'appareil que nous venons de décrire est solidement établi de manière à supporter la pression de l'air comprimé dans le réservoir **M**; il fonctionne sous la pression des conduites d'eaux des villes, et sur les citernes et les puits, comme nous le verrons tout à l'heure. Le tube **T**, qui amène dans l'appareil l'eau de la conduite de distribution

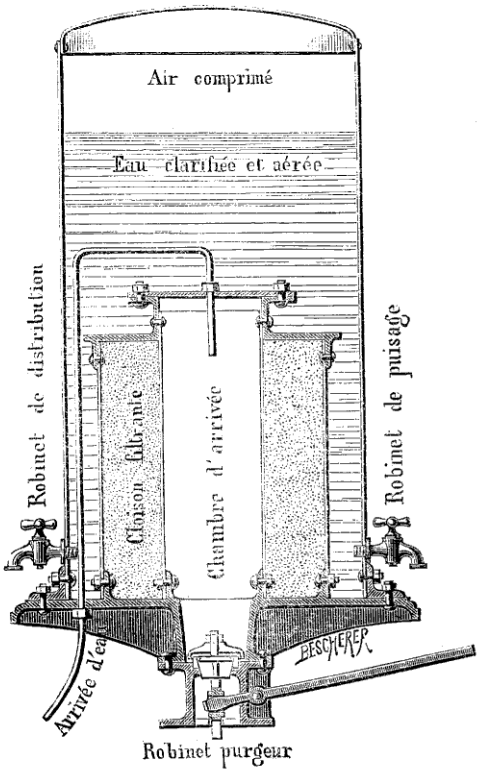


Fig. 38. — Réservoir-filtre Chanoit.

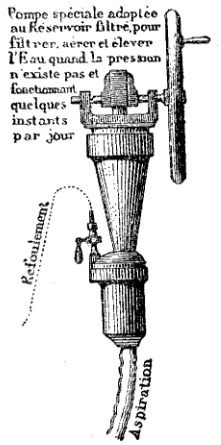


Fig. 37. — Pompe à main.

D, sert à régler le débit. Son diamètre varie de 2 à 10 millimètres suivant la pression des eaux de la ville et selon la surface filtrante du réservoir-filtre.

Il ne laisse donc passer dans l'unité de temps à travers la couche filtrante que la quantité d'eau voulue pour que le filtrage de cette eau soit complet.

Quand on veut filtrer l'eau d'une citerne, il faut refouler cette eau au moyen d'une petite pompe à main représentée ci-dessus, fig. 37. Cette pompe comprime en même temps, depuis 2 jusqu'à 8 atmosphères de pression, tout l'air qui se trouve dans le réservoir-filtre.

Celui-ci est alors en mesure de distribuer l'eau filtrée et aérée à toute hauteur jusqu'à 40 et 50 mètres. Un manomètre *m* placé sur le réservoir indique la pression (Pl. V, fig. 4).

Ceci est précieux dans les châteaux et maisons de campagne où on peut ainsi jouir d'une distribution d'eau sous pression dans les différentes pièces.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil étant parfaitement connu, il nous reste à indiquer ses principaux avantages : le réservoir-filtre Chanoit sauvegarde les intérêts des compagnies de distribution d'eaux sans gêner l'abonné.

En effet, le réservoir d'air comprimé renferme un volume d'eau disponible en rapport avec les besoins immédiats de l'abonné. Si, après un puisage plus ou moins important, cette provision a été diminuée ou même entièrement absorbée, elle est bien vite renouvelée par le fonctionnement du tube alimentaire dont le diamètre en rapport avec les dimensions de l'appareil peut, dans certains cas, descendre jusqu'à 1 millimètre. Ce tube ne laisse passer dans l'unité de temps qu'un volume d'eau relativement très-faible, de telle sorte qu'en cas de négligence ou de malveillance, les pertes d'eau et par suite les inondations sont réduites à des proportions insignifiantes. On peut donc installer sans crainte le réservoir-filtre dans les cuisines, les cabinets de toilette et même les salles à manger (Pl. V, fig. 3).

Avec ce petit tube alimentaire, les coups de béliers seraient presque totalement annulés, s'ils n'étaient déjà empêchés en raison du matelas d'air qui constitue le grand ressort du réservoir. Enfin, avec un réservoir-filtre de $0^m,20$ de diamètre offrant une capacité disponible de 9 à 10 litres et pouvant clarifier 2 à 3 litres d'eau par minute, on peut satisfaire à tous les besoins d'un ménage.

Le système Chanoit s'applique à la clarification de l'eau des réservoirs de chemins de fer, de compagnies d'eau, d'usines, etc., grâce à la disposition indiquée Pl. V, fig. 6, et par la fig. 38, page 279.

L'eau arrive dans le filtre F (Pl. V, fig. 6), par le tube alimentaire A, et le traverse de l'intérieur à l'extérieur, en s'élevant dans le réservoir jusqu'au niveau du trop-plein. Le nettoyage de ce filtre à cloison cylindrique exige que l'eau clarifiée puisse exercer une pression de 1 atmosphère qui résulte de la hauteur de la colonne d'eau contenue dans le réservoir et de celle contenue dans le tuyau de vidange dont l'action est identique à celle des siphons.

En manœuvrant le levier L (Pl. V, fig. 7), on ouvre le robinet spécial de purge, et l'appel exercé par l'écoulement de l'eau s'additionnant avec l'action de l'eau contenue dans le réservoir, constitue une force en vertu de laquelle l'eau clarifiée traversera la cloison filtrante de l'extérieur à l'intérieur en opérant le nettoyage du filtre.

N° 1	Diam.	$0^m,17$	filtr. par	min.	1	litr.	Réserve	4	litr.	Prix	65 fr.
— 2	—	$0^m,23$	—	3	—		d'eau	8	—	avec robinetterie	110 —
— 3	—	$0^m,30$	—	7	—		filtrée	40	—	nickelée	250 —
— 4	—	$0^m,40$	—	12	—		et	70	—	et	350 —
— 5	—	$0^m,50$	—	19	—		aérée	100	—	support	450 —

Pour compléter les renseignements que nous venons de donner sur un système qui nous semble réunir toutes les conditions voulues d'hygiène, de sécurité, de commodité, nous indiquons ci-dessus les prix et grandeurs des différents types d'appareils applicables aux usages domestiques.

3° **Filtres Bourgeoise.** — Signalons enfin comme appareils filtrants applicables dans les fontaines de cuisine les filtres *Bourgeoise* dont le principe est le feutre fortement comprimé rendu imputrescible par une préparation de cachou, et maintenu entre deux grilles métalliques galvanisées.

Lorsque les eaux sont chargées de gaz délétères ou de couleurs anormales, et qu'il est nécessaire de les purifier, le constructeur de ces appareils ajoute une caisse mobile contenant du charbon de bois.

Les filtres Bourgeoise affectent diverses formes suivant les usages auxquels

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

on les destine : filtre de poche, filtre à siphon, filtre de ménage; ils ont un débit plus considérable que les filtres de pierre et se nettoient facilement par le renversement du courant (voir Pl. IX, fig. 1, 2 et 3).

La maison *Bourgeoise* fabrique un grand appareil à pression qui se rapproche du filtre Vedel-Bernard, dont il ne diffère que par la nature des couches filtrantes. L'eau y marche de haut en bas, et le nettoyage s'opère par renversement du courant; mais ce système de nettoyage ne doit pas donner des résultats bien satisfaisants. D'ailleurs, quelque bien préparée qu'elle soit, une matière animale ne peut être employée sans inconvénient pour la clarification des eaux potables. Dans le filtre Vedel-Bernard, on emploie bien des éponges et de la laine, mais on corrige l'effet de ces matières par l'adjonction de couches de gravier, de grès et de charbon.

3° Appareils accessoires des distributions d'eau.

Nous avons indiqué page 93 quels étaient les principaux appareils accessoires employés dans les distributions d'eaux; il nous reste à décrire les quelques types nouveaux ou dignes d'être recommandés, qui figuraient à l'Exposition.

Robinets. — Nous avons décrit avec détail le type du robinet de puisage, construit par la maison Chameroy pour supprimer les coups de bélier.

Parmi les appareils du même genre, nous devons signaler celui exposé par M. Sinson Saint-Albin et qui semble répondre d'une manière tout aussi satisfaisante que le robinet Chameroy aux prescriptions de l'arrêté de M. le Préfet de la Seine en date du 3 mai 1875.

Ce robinet, exploité depuis peu, fonctionne de la manière suivante :

Par la rotation du bouton A (fig. 4, Pl. IX) et l'intermédiaire de la vis à quatre filets B, on fait pression sur la pièce armée C en caoutchouc *para-vulcanisé*. Cette pièce est reliée à la soupape E par une tige D qui transmet le mouvement.

La soupape s'ouvre et l'eau s'introduisant alors par tous les trous F placés sur la circonférence du siège, vient sortir par le bec. Mais en même temps que l'eau passe par-dessus la soupape E, elle s'introduit aussi en dessous par une petite soupape libre H et fait équilibre de pression. Quand on lâche le bouton A, la pièce en caoutchouc armé C reprend sa forme primitive, et le robinet se ferme tout seul. C'est à ce moment que la soupape H produit son deuxième effet, qui est le plus important : la soupape E se soulevant pour la fermeture, l'eau contenue dans la capacité I cesse immédiatement d'être en communication avec celle de la conduite, puisqu'au premier instant de la manœuvre la soupape H se ferme. Le soulèvement de la soupape E continuant, il se produit dans la capacité I une action pneumatique très-bien définie, qui a pour résultat immédiat de régler la fermeture du robinet.

Il est bon de remarquer que, par la disposition employée, le mécanisme complet de fonctionnement est mis à l'abri du contact de l'eau et par suite des sables qui peuvent être entraînés. On a donné à cet appareil le nom de robinet pneumatique à repoussoir tournant, se fermant seul, annulant les coups de bélier. Cette désignation nous semble parfaitement justifiée :

Le robinet est, en effet, *pneumatique* par l'action de la soupape H. Il se ferme seul et sans mouvement brusque par suite de l'équilibre de pression sur les deux faces du clapet, équilibre de pression combiné avec le jeu de la soupape H et de l'obturateur en caoutchouc para-vulcanisé C. Il annule le coup de bélier par la division de l'eau et les causes énoncées ci-dessus. Enfin, par une simple modification du bouton de manœuvre A, on obtient le robinet restant ouvert ou se fermant seul à volonté.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous avons encore remarqué l'appareil du même genre exposé par M. Louis Heuzé, architecte (Pl. VII, fig. 3). Ce robinet alternatif avec réservoir filtrant a pour but d'éviter les inondations et la déperdition des eaux de la ville. Il fournit toujours de l'eau pure, et évite le coup de bélier en prenant comme intermédiaire entre l'arrivée et la sortie de l'eau un récipient filtrant hermétiquement clos et à matelas d'air, comme le réservoir Chanoit par exemple.

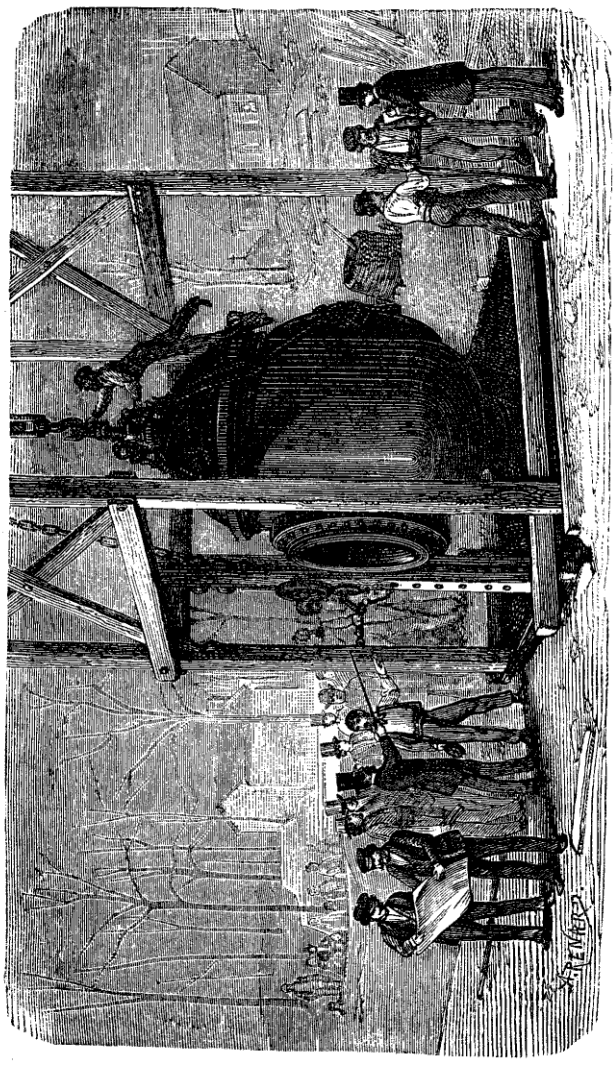


Fig. 39. — Vue d'un Robinet-Vanne de 1m10 de diamètre.

L'introduction de l'eau dans le réservoir et sa sortie sont commandées par une même clef du robinet qui ferme la sortie lorsqu'elle ouvre l'introduction et *vice versâ*. Il ne peut jamais s'écouler que l'eau introduite dans le réservoir.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans ce but, la clef est creuse, percée de deux trous situés au-dessus l'un de l'autre et qui se placent alternativement devant les trous du boisseau.

Cette clef a ainsi trois fonctions :

Dans la première position NN', elle introduit l'eau dans le réservoir-filtre et ferme les autres orifices. Dans la deuxième FF', elle ferme l'arrivée et laisse sortir l'eau filtrée. Dans la troisième II', elle ferme l'arrivée, la sortie de l'eau filtrée et ne laisse écouler que l'eau non filtrée en purgeant le filtre. Ce robinet peut se poser sur toute espèce de filtres.

Pour terminer cette revue des divers types de robinets exposés, nous signalerons la série des robinets-vannes employés par la ville de Paris, depuis le diamètre de 55 millimètres jusqu'au diamètre de 1,10, en passant par trente modèles intermédiaires.

Le grand modèle de 1m,10 de diamètre, construit par M. A. Sinson Saint-Albin, est placé au centre du pavillon de la ville de Paris. Cette pièce énorme, qui n'a pas moins de 3m,50 de hauteur, 2 mètres de largeur, et qui pèse 7,500 kilogrammes, se compose d'un corps en fonte de forme sphérique et d'une vanne formant obturateur. Le coin-vanne, garni de bronze, ferme à frottement sur du bronze et est commandé par une vis de même métal pesant 150 kilogrammes.

Quand le robinet-vanne est fermé, la pression de l'eau, d'un seul côté, équivaut en certains points des conduites à près de 100,000 kilogrammes. Cependant à l'aide de la vis intérieure dont la vanne forme écrou, et grâce à l'adjonction d'une conduite nourrice établissant égalité de pression, il suffit de deux hommes pour effectuer la manœuvre du robinet. Les appareils sont essayés à 15 atmosphères. A cette pression, l'étanchéité de la fermeture est absolue.

La pièce qui figurait au Champ de Mars était, en 1878, établie avec le plus grand soin et faisait honneur à son constructeur.

Bornes-fontaines. — La nature des bornes-fontaines à employer dans une distribution d'eau de ville varie avec la situation climatérique du pays où ces appareils doivent fonctionner. Dans les climats froids, l'appareil, pour être complet, doit comme première condition d'existence et de durée, être à l'abri de la gelée. Dans les climats chauds où l'eau est en général plus rare, cette condition primordiale est remplacée par une autre : possibilité de régler la dépense. Enfin, dans les climats tempérés, l'eau étant le plus souvent abondante, on n'a plus à satisfaire aux conditions sus-énoncées et les appareils deviennent des plus simples.

Il résulte de là une classification naturelle des appareils de distribution d'eau aux habitants, en : — bornes-fontaines à l'abri de la gelée; — bornes-fontaines à débit variable; — bornes-fontaines ordinaires.

1° *Bornes-fontaines à l'abri de la gelée.* — M. A. Sinson Saint-Albin exposait un type de borne-fontaine à l'abri de la gelée qui a été établi après des études suivies et est consacré par une longue pratique. Ce modèle, adopté par un grand nombre de municipalités, fait le service des habitants, ainsi que ceux d'incendie et d'arrosage. L'appareil proprement dit (fig. 1, Pl. VIII) se compose d'un conduit ascensionnel donnant accès à l'eau qui sort ensuite par le nez I; d'une soupape d'introduction B se mouvant dans la lanterne K; d'un piston C contenu dans la cage H; d'une tige de manœuvre D actionnée dans le sens de l'ouverture par la vis F et dans le sens de la fermeture par le contrepoids E; d'un levier de manœuvre G.

Par la rotation de ce levier, on fait descendre en même temps le piston C et la soupape B; l'eau venant sous pression, de la conduite de distribution, s'introduit simultanément dans la colonne ascensionnelle A, et, par les trous *a*, *a*,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans la cage H sous le piston C. Il y a alors déversement à gueule bée, par le bec I. Quand on lâche le levier G, le contre-poids E agit, le piston C remonte dans la cage H, la soupape B poussée par le ressort *b* s'applique sur son siège et l'eau de la conduite ne parvient plus dans la colonne A.

C'est alors que le liquide contenu dans cette colonne, n'étant plus sous pression, redescend et vient se loger dans la capacité H calculée pour le recevoir. Un trou *d*, percé dans la partie supérieure de la cage H, permet à l'air de s'échapper et de ne pas faire contre-pression. Toute la partie de l'appareil comprise au-dessous de la ligne *m n* étant enfouie dans le sol, l'eau qui reste dans la borne se trouve absolument incongélable et l'appareil remplit ainsi le but qu'on s'était proposé. Lorsque l'on fait à nouveau la manœuvre de la borne, l'eau contenue dans la capacité H est la première évacuée. Par le dévissement du nez I, on met à jour le raccord fileté *i* sur lequel peut venir se visser le tuyau d'incendie. Par une disposition spéciale du levier G, l'eau s'écoule d'une manière continue dans le souillard S et permet le lavage des ruisseaux.

2° *Bornes-fontaines à débit variable.* — Ces appareils, adoptés par un grand nombre de villes, peuvent affecter des formes différentes, mais ils reposent tous sur le même principe. Ils remplissent les conditions principales qui sont imposées aux appareils de distribution placés sur la voie publique, c'est-à-dire qu'ils permettent le service d'incendie et celui de lavage; de plus, ils offrent cette particularité de pouvoir distribuer l'eau aux habitants avec autant d'abondance ou de parcimonie que l'état des sources et réservoirs l'exige. L'une de ces bornes-fontaines se trouve représentée fig. 2 (Pl. VIII). Par le mouvement de rotation d'une roue à manette A dont l'accès est possible seulement aux employés du service municipal, on augmente ou on restreint à volonté le débit réel de la borne. On peut donner un filet d'eau ou laisser couler à gueule bée.

3° *Bornes-fontaines ordinaires.* — En dehors du cadre extérieur, ces bornes se composent d'un simple robinet, réuni dans l'intérieur de l'enveloppe à une conduite ascensionnelle en fonte ou en plomb. Pour que l'appareil se ferme seul, on met un robinet à repoussoir; pour qu'il reste ouvert à volonté, on dispose un robinet de puisage d'un système quelconque.

Outre ces trois types généraux, il existe encore des bornes-fontaines disposées de façon à remplir des conditions particulières, et que nous examinerons rapidement : ainsi on peut demander à l'appareil de fonctionner sans coup de bélier et, dans certains cas, de filtrer son eau. Le coup de bélier a, en effet, l'inconvénient d'endommager d'une manière très-grave les joints des tuyaux en fonte, situés aux environs de la borne, ou de briser ces mêmes tuyaux s'ils sont en poterie.

Bornes-fontaines évitant le coup de bélier. — La maison *A. Sinson Saint-Albin* exposait un type de borne-fontaine pneumatique évitant le coup de bélier et à l'abri de la gelée. Cet appareil, mis en exploitation depuis peu, est représenté fig. 5 (Pl. IX). Il repose sur le même principe que le robinet de puisage décrit précédemment et se compose essentiellement d'une colonne en fonte A, traversée dans toute sa longueur par une tige B qui actionne, par la rotation du bouton C, le clapet en caoutchouc armé D. Une soupape E produit l'effet pneumatique que nous avons expliqué avec détail à propos du robinet de puisage.

La veine liquide se trouve divisée deux fois avant de s'élever dans la colonne de la borne : une première fois par les trous *c*, une deuxième fois par les trous H.

Le petit conduit I I′ fait la vidange. Au moment où, par la rotation du bouton C, on ouvre la borne, la pièce K vient obstruer l'entrée I de ce petit conduit et empêche l'eau de sortir. Le volume complet du liquide s'élève donc. Quand la borne se referme au contraire, l'orifice I s'ouvrant, l'eau qui se trouvait dans la colonne s'écoule et retourne au puisard. Cette disposition, jointe à l'enfouisse-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment du mécanisme dans le sol, met la borne à l'abri de la gelée. En I', on peut disposer un robinet de purge qui resterait fermé pendant l'été et que l'on ouvrirait seulement à la saison des froids; de cette façon, on éviterait de perdre pendant l'été l'eau contenue dans la borne.

L'intérieur de la colonne est muni d'un manchon en liège V, qui a pour double but d'empêcher le croupissement de l'eau, si l'appareil reste un certain temps sans servir, ou son échauffement sous l'action du soleil. Le bec L peut être à volonté muni ou non d'un raccord d'incendie. Le bouton de manœuvre peut être remplacé, si on le préfère, par un levier, comme l'indique la fig. 6; enfin il peut être disposé de façon que la borne reste à volonté ouverte ou fermée.

Nous ferons observer que dans cet appareil, comme dans le robinet de puisage, le mécanisme de fonctionnement est entièrement séparé de l'eau, par l'obturateur en caoutchouc para-vulcanisé D, lequel fait à la fois presse-étoupes et ressort. En ajoutant la pièce de la fig. 7 à la borne que nous venons de décrire, on obtient un filtrage à peu près complet.

Dans un climat chaud ou tempéré, ainsi que pour le service des petites villes, on peut, par raison d'économie, disposer une borne-fontaine de la dernière simplicité, tout en étant dans les conditions voulues pour éviter le coup de bélier, en adaptant le robinet pneumatique soit à l'intérieur, soit à l'extérieur d'un coffre en fonte.

Un autre type de *borne-fontaine supprimant le coup de bélier* système de M. *Chameroy,* est représenté Pl. VII, fig. 4, 5 et 6, avec le détail de son appareil à repoussoir ou à poignée.

Bornes-fontaines filtrantes. — La maison David et Manceau avait envoyé au Champ de Mars en 1878 une borne-fontaine filtrante brevetée, adoptée pour le service public de l'Exposition en 1878, elle pouvait fournir un important débit pour l'arrosage des rues et satisfaire en même temps aux besoins du puisage de la population.

Cette nouvelle borne-fontaine filtrante représentée Pl. VII, fig. 7, se compose de deux parties distinctes : 1° Une carcasse en fonte ayant à peu près la forme des bornes-fontaines les plus usitées, à laquelle vient s'adjoindre un souillard avec grille où se place le récipient de puisage. — Dans sa partie antérieure formant porte mobile, sont ménagées des ouvertures correspondant aux tubulures et robinets du filtre. 2° Un filtre en fonte très-résistant, ayant une forme ellipso-conique, dispositions assurant l'étanchéité des matières filtrantes comprimées contre les parois de l'appareil.

Le filtre que l'eau traverse par ascension comprend une première partie où arrive l'eau à filtrer. Cette chambre est munie d'une tubulure à base hexagonale, dans laquelle est matée une pièce en cuivre taraudée, de façon à permettre son raccord à une lance d'arrosage ou à une conduite d'incendie. La seconde partie du filtre est remplie par les diverses couches filtrantes employés par la maison David et Manceau (voir précédemment) et maintenues entre deux grilles recouvertes de toiles métalliques. Enfin, la troisième partie sert de chambre d'eau clarifiée, dont l'écoulement se fait au fur et à mesure qu'on manœuvre le robinet de service à repoussoir correspondant à la tubulure supérieure du filtre.

A la partie inférieure du filtre se trouve une tubulure à bride sur laquelle s'adapte un robinet d'arrêt raccordé à la conduite d'arrivée de l'eau. On accède à ce robinet par une ouverture ménagée dans la carcasse de la borne-fontaine, ce qui permet de supprimer la *bouche à clef.*

On voit par ce qui précède que toutes les bornes-fontaines peuvent facilement être transformées en bornes filtrantes. Quant aux matières en suspension qui sont retenues dans la chambre inférieure du filtre, elles peuvent être expulsées par l'usage fréquent de la bouche d'arrosage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Borne-fontaine jaugée. — L'appareil représenté Pl. VII (fig. 8) est une borne-fontaine jaugée permettant de ne livrer par jour qu'une quantité d'eau limitée au public, tout en permettant à ce dernier d'y puiser comme à la façon ordinaire. Cette borne-fontaine est divisée en deux compartiments étanches. L'eau est amenée dans le compartiment supérieur par un plomb à l'extrémité duquel est un robinet à flotteur. Au repos, les deux compartiments sont en communication; pour peu qu'on n'ait pas puisé depuis quelques minutes, ils sont pleins et le robinet à flotteur est fermé.

Quand on tourne la poignée de l'axe X, la soupape P est soulevée de son siège pendant que la soupape N s'appuie sur le sien; toute l'eau, contenue dans le compartiment inférieur, s'écoule en quelques secondes. La poignée étant abandonnée, le contre-poids M entraîne l'axe dans sa première position, ferme la soupape P et ouvre la soupape N, qui livre passage au volume d'eau accumulé dans le compartiment supérieur. Le flotteur Q retombe, et l'eau recommence à s'emmagasiner alors qu'on a puisé en peu d'instants les deux seaux d'eau, quantité habituelle qu'on va chercher aux fontaines publiques.

La simplicité élémentaire du mécanisme, qui peut être monté sommairement, presque sans ajustage, en tous cas sans précision avec du jeu dans tous les organes, par un ouvrier même peu habile, rend très-facile le fonctionnement de cette borne, qui depuis six ans qu'elle est établie sur plusieurs points de la *Banlieue de Paris*, n'a donné lieu ni à une réparation ni à une plainte, ni même au plus léger inconvénient. C'est à ce titre qu'il a paru intéressant d'en donner un dessin et quelques lignes de description.

Tuyaux et conduites d'eau. — Un grand nombre d'industriels et de maisons de construction importantes avaient envoyé à l'Exposition des spécimens de tuyaux, qui tous peuvent se renfermer dans les types déjà cités et décrits en détail (page 88), savoir :

1° Les *tuyaux en fonte* à brides, à emboîtement, à joints en caoutchouc, etc.

Nous n'avons donc pas à revenir sur ces descriptions, mais nous ne pouvons omettre de signaler la très-importante fabrication de *tuyaux en fonte* de l'usine de *Torteron* appartenant à la Société de Commentry-Fourchambault. Cette usine est la première où les tuyaux aient *été coulés debout*, ce qui a permis d'assurer complètement la parfaite régularité de l'épaisseur, comme le prouvaient quelques tuyaux coupés longitudinalement, exposés au Champ de Mars. Cette régularité a eu pour conséquence immédiate la possibilité de réduire l'épaisseur au minimum. De là, une économie dans le poids des tuyaux, d'autant plus considérable que les fontes du Berry sont elles-mêmes plus résistantes. Depuis quelques années, les efforts de la Société ont porté sur l'augmentation de longueur qui permet de diminuer le nombre des joints et, par là même, le coût d'établissement et les chances de fuite. C'est ainsi qu'on est arrivé aujourd'hui à fabriquer les tuyaux de 300 millimètres de diamètre intérieur à 4 mètres de longueur utile, soit $4^{m},10$ avec l'emboîtement, et les tuyaux de 60 millimètres de diamètre, à 3 mètres de longueur, ce qui n'était obtenu dans aucune autre usine à l'ouverture de l'Exposition Universelle.

2° Les *tuyaux en tôle plombée et bitumée* du système *Chameroy* et du système *Clausel*. — Les joints des tuyaux Clausel présentent deux systèmes différents : Le joint à emboîtement est formé d'un alliage de plomb, d'étain et de régule assez tendre pour permettre de donner un serrage qui rend le joint parfaitement étanche par le forcement et l'écrasement des deux parties; toutefois celles-ci peuvent glisser l'une sur l'autre d'une manière suffisante pour obéir à la dilatation. Le joint à vis est fondu avec le même alliage que le précédent, mais dont les proportions sont établies de façon à obtenir un métal plus dur afin

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'éviter l'arrachement des filets. Ce joint est employé pour les conduites d'eaux sous fortes pressions.

3° Les *tuyaux en poterie ou en ciment.* — Nous avons déjà dit que les tuyaux en béton de ciment pouvaient être avantageusement employés pour les conduites d'adduction des eaux (1) ; nous donnerons ici quelques détails sur le mode de fabrication de ces tuyaux qui avaient été exposés classe 66 par l'usine de la Porte de France à Grenoble (Société Delune et Cie) :

Les tuyaux se moulent sur place, dans la tranchée, sans solution de continuité au moyen d'un mandrin et de deux enveloppes en fer ou en bois placées parallèlement de manière à laisser, entre le mandrin et chacune des joues du moule, l'épaisseur que l'on veut donner au tuyau. Dans l'axe de la tranchée, au-dessus du moule, on établit une *gamate* dans laquelle doit se préparer le béton.

On mélange d'abord à sec dans la gamate le sable et le ciment, puis on verse l'eau et on gâche vivement jusqu'à ce que l'on ait obtenu une pâte molle de la consistance du mortier pour maçonnerie ; on ajoute ensuite le gravier auquel on fait faire deux tours de l'avant à l'arrière pour assurer le mélange. La portière de la gamate est alors ouverte, on soulève la caisse en arrière et l'on vide le béton dans le moule. Cinq ou dix minutes après, le tuyau peut être démoulé. On avance le mandrin et les coquilles du moule, et la même opération recommence.

Dans la pose des tuyaux, les joints sont toujours la partie faible d'une canalisation ; par le procédé décrit ci-dessus, ils font partie intégrante du tuyau et en outre le moule porte à l'emplacement du joint un renflement qui permet de consolider par une surépaisseur de béton la jonction de deux tuyaux consécutifs.

Pour les petits diamètres, on ne moule pas les tuyaux directement dans la tranchée. On fait en dehors de celle-ci, autant que possible à proximité du lieu d'emploi, des tuyaux portatifs que l'on pose au bout de quelques jours, quand ils ont acquis une dureté suffisante pour être transportés ou manipulés sans danger.

On les descend dans la tranchée où on les pose bout à bout. Les extrémités sont faites en biseau. On introduit à l'intérieur un mandrin M, on place extérieurement les planches de coffrage PP et dans le vide VV du joint on coule du mortier à 1 de sable pour 1 de ciment (voir fig. 8, Pl. IX).

Quand ce mortier a fait prise, on retire le mandrin M, ce dernier avancé de la longueur du tuyau sert à faire le joint suivant, et ainsi de suite.

Pour les tuyaux qui se moulent directement dans les tranchées, il faut tenir compte de la contraction qu'amène la dessiccation du ciment et qui produit des retraits. Pour les éviter, il suffit de ménager tous les 4 ou 5 mètres, dans le moulage, une solution de continuité qui permet aux dilatations et aux contractions de se produire. Au bout de huit à quinze jours, suivant le volume des tuyaux, quand le travail de durcissement du béton est opéré, on ferme les solutions au moyen de joints semblables à ceux dont nous avons parlé pour les tuyaux portatifs.

$$E = \frac{DH}{30}$$

E représente l'épaisseur.
D — le diamètre.
H — la pression.
(Le tout évalué en mètres.)

Les nombreuses expériences faites et surtout les travaux considérables de canalisation exécutés avec les ciments de la Porte de France ont permis d'établir la formule pratique ci-dessus qui détermine l'épaisseur à donner aux tuyaux, suivant leur diamètre et la pression qu'ils doivent supporter.

(1) Voir page 92.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Exemples de minimum.

Diamètre de	0,60	Épaisseur minimum	0,10
—	0,50	—	0,10
—	0,40	—	0,09
—	0,30	—	0,09
—	0,25	—	0,08
—	0,20	—	0,07
—	0,13	—	0,06
—	0,15 à 0,06	—	0,05

Toutefois il est bon de faire remarquer qu'il y a des minimum d'épaisseur au-dessous desquels il ne faut pas descendre, quelque chiffre que donne la formule, comme le montre le tableau ci-dessus.

Exposition spéciale faite par la ville de Paris du système suivi pour la distribution des eaux et l'assainissement de la capitale.

Pour terminer ce qui est relatif à l'adduction et à la distribution des eaux dans les villes, il nous reste à examiner la belle exposition du service des eaux et des égouts dans la capitale.

Paris est la seule ville du monde qui ait adopté pour sa distribution d'eau une double canalisation séparant le service public du service privé.

Le réseau de cette double canalisation n'est pas encore entièrement terminé; mais quand il sera complet, toute rue de moins de 20 mètres de largeur aura une conduite destinée à la distribution de l'eau dans les maisons, et des tronçons de conduite mettront les orifices d'écoulement des services publics en relation avec les conduites maîtresses les plus proches. Quand la voie aura plus de 20 mètres de largeur, ce double système de conduites sera établi en égout.

Tel est le programme général qui a été adopté en 1854 par le Conseil municipal. A cette époque les bas quartiers de la capitale étaient exclusivement alimentés par l'eau du canal de l'Ourcq qui a pour point de départ le bassin de la Villette, dont le plan d'eau est à la cote 52 mètres.

La cote moyenne du sol des rues desservies par l'eau de ce bassin étant de 35 mètres, il en résultait une charge de 17 mètres, insuffisante pour permettre à l'eau d'atteindre les étages élevés des maisons.

En outre de ce grave inconvénient, on reprochait avec raison à la distribution de ne fournir qu'une eau très-chargée de sels de chaux, notamment de sulfates et souillée dans le bassin de la Villette par les déjections des mariniers. L'eau de l'Ourcq, impropre à la boisson, convenait au contraire à l'alimentation des services publics: le bassin de la Villette est, en effet, à une hauteur suffisante pour permettre la répartition de l'eau sur les 2/3 de la surface de l'ancien Paris.

A la suite des études entreprises par M. Belgrand, le Préfet de la Seine admit le principe de l'adduction de sources devant fournir toute la quantité d'eau nécessaire aux services privés, évaluée au maximum à 90,000 mètres cubes par jour. En ajoutant à ce volume les 110,000 mètres cubes par jour jugés nécessaires pour les besoins présents et à venir des services publics, on arrivait au chiffre total de 200,000 mètres cubes pour l'ensemble de la distribution normale de Paris.

L'approvisionnement de Londres, qui occupait en 1854 une surface six fois aussi grande que Paris et qui contenait une population deux fois et demie aussi nombreuse, n'était pas évalué à un chiffre supérieur.

Telle est la base du service actuel des eaux de Paris. Depuis 1854, la canalisation a été disposée de manière à séparer autant que possible le service public

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du service privé, et les habitants peuvent choisir l'eau qui leur convient partout où la double canalisation existe.

Actuellement les eaux affectées au service public sont (1) :

1° Les eaux du canal de l'Ourcq; — 2° les eaux de Seine, élevées par les douze machines à vapeur de Port-à-l'Anglais, Maisons-Alfort, Austerlitz, Chaillot, Auteuil et Saint-Ouen; — 3° les eaux de Marne montées par les machines de Saint-Maur; — 4° les eaux d'Arcueil (alimentant les fontaines du Luxembourg). — 5° l'eau du puits de Passy (déversée dans le lac du bois de Boulogne); — 6° l'eau du puits de Grenelle.

Les eaux réservées au service privé sont:

1° Les eaux amenées par l'aqueduc de la Dhuis et accessoirement l'eau de la source de Saint-Maur; — 2° les eaux dérivées par l'aqueduc de la Vanne.

Ces diverses sources d'alimentation peuvent fournir un volume total bien supérieur à celui qui avait été prévu en 1854, ainsi qu'on peut s'en convaincre par le tableau suivant :

Eaux de rivière destinées aux services publics et aux grandes industries.

Eaux du canal de l'Ourcq et eaux de la Marne relevées dans le canal, par les usines de Trilbardou et d'Isles les Meldeuses.	185,000	m. c.
Eaux de Seine relevées par les 12 machines à vapeur citées ci-dessus.	88,000	—
Eaux de la Marne montées par les machines de Saint-Maur.	43,000	—
Total des eaux de rivière.	316,000	—
Eaux des puits artésiens	6 000	—
Eaux de source.		
Eau d'Arcueil amenée par un aqueduc.	1,000	—
Eau de la Dhuis —	20,000	—
Eau de la source de Saint-Maur, relevée par les machines de Saint-Maur.	5,000	—
Eau de la Vanne, amenée par un aqueduc	100,000	—
Total des eaux de source	126,000	—
Total général.	448,000	—

On possède ainsi un volume total maximum disponible de 448,000 mètres cubes, tant en eaux de rivière qu'en eaux de puits et de source.

Si l'on examine maintenant les chiffres de la consommation pendant les différents mois de l'année 1877, on arrive à cette conclusion que la moyenne par jour a été de 290,528 mètres cubes; que cette moyenne s'est élevée pendant les mois les plus chauds (juillet et août) à 314,608 et 314,003 mètres cubes; soit, par tête et par jour, pour 1,988,806 habitants : 146 litres.

Ceci posé, il nous reste à étudier et à décrire successivement les canaux machines et aqueducs qui servent à dériver ou à élever cet immense volume d'eau.

Canaux. — Les canaux de l'Ourcq, de Saint-Denis et Saint-Martin sont exploités en régie par la ville de Paris. Cette dernière est, en effet, rentrée en possession des deux premiers en 1876, époque à laquelle a pris fin la jouissance concédée en 1823 à la Compagnie Vassal et Saint-Didier, et a racheté en 1861 la

(1) Notices sur les objets et documents exposés par les divers services de la ville de Paris et du département de la Seine.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jouissance du troisième. La ville peut donc disposer actuellement de toute l'eau qui reste dans le bassin de la Villette quand il en a été tiré le volume nécessaire à la navigation.

Les travaux de dérivation de la rivière d'Ourcq furent successivement l'objet de projets de la part des ingénieurs Riquet et de Mance, de MM. Brullée, de Solages et Bossu.

Sous le Consulat ces projets reçurent un commencement d'exécution. En 1802 l'ingénieur Girard fut chargé de la direction des travaux en qualité d'ingénieur en chef. Après de longues discussions sur le choix d'un tracé, et l'importance qu'il convenait de donner au canal de dérivation, on décida que le canal de l'Ourcq serait navigable pour des bateaux de moyenne grandeur. Dès lors les travaux furent poussés avec la plus grande activité. A la chute de l'Empire, en 1816, une commission d'ingénieurs fut chargée de rendre compte au gouvernement de la situation des travaux déjà exécutés et des dépenses à faire pour terminer les trois canaux de l'Ourcq, Saint-Martin et Saint-Denis.

Cette situation était la suivante : Le canal de l'Ourcq était entièrement achevé et en eau depuis Souilly jusqu'à Paris sur une longueur de 27 kilomètres. Il était terminé à sec à partir de Souilly jusqu'au-delà de Lizy sur 42 kilomètres, et ébauché sur 7 kilomètres. Enfin il restait à exécuter encore un parcours de 17,982 mètres, soit une longueur totale de 93,982 mètres. Le bassin de la Villette était terminé, ainsi que les terrassements du canal Saint-Denis. Quant au canal Saint-Martin, il était à peine commencé du côté de la Villette.

Les travaux de distribution d'eau comprenaient un aqueduc de ceinture de 3,300 mètres, une longueur de tuyaux de 3,600 mètres ayant 25 centimètres de diamètre. Enfin on alimentait les trois fontaines des Innocents, du Ponceau, de la place Royale, le château d'eau de Bondy, et de nombreuses bornes-fontaines placées dans les rues.

La ville, ne pouvant à cette époque entreprendre l'exécution des travaux complémentaires, traita avec MM. Vassal et Saint-Didier pour l'achèvement des canaux de l'Ourcq et de Saint-Denis dans un délai de cinq années aux conditions suivantes : La ville se réservait 76,780 mètres cubes d'eau par 24 heures et abandonnait aux concessionnaires la jouissance des deux canaux pendant 99 ans à partir du 1er janvier 1823. Elle leur accordait en outre une subvention importante et prenait à sa charge toutes les indemnités de terrain.

Les deux canaux de Saint-Martin et de Saint-Denis qui ont respectivement des longueurs totales de 4,353 mètres et 6,647 mètres sont exclusivement alimentés par les eaux du canal de l'Ourcq. Pendant les étés des années 1858, 1861, 1862, 1864 et 1865, leur navigation ayant été paralysée par le manque d'eau, la ville de Paris fut autorisée à rejeter dans le canal de l'Ourcq une partie des eaux de la Marne.

En conséquence : 1° Elle installa sur cette dernière rivière à la retenue d'Isles les Meldeuses, des roues turbines et des pompes du système Girard pouvant élever de 300 à 500 litres d'eau par seconde ; 2° elle acquit l'ancienne roue du moulin de Trilbardou et installa au même endroit une roue du système Sagebien. Ces deux machines relèvent et jettent dans le canal de l'Ourcq 500 litres d'eau par seconde.

En résumé, ces diverses usines hydrauliques peuvent, pendant les basses eaux, monter dans le canal de l'Ourcq 80,000 mètres cubes d'eau en 24 heures.

Ce dernier canal considéré comme porteur d'eau alimentait toutes les parties de Paris situées à une altitude inférieure à 46 mètres, c'est-à-dire les 1er, 2e, 3e, 4e, 6e et 7e arrondissements ainsi que les parties basses des 5e, 8e, 9e, 10e, 11e, 12e, 13e, 15e, 16e et 17e arrondissements. Depuis l'arrivée des eaux de la Vanne le nombre des abonnés aux eaux de l'Ourcq est descendu de 16,282 à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

11,403 et le volume d'eau distribué de 38,217 mètres à 27,678 mètres cubes.

Aujourd'hui l'eau de l'Ourcq est employée de la manière suivante :

On compte 2,624 bouches d'eau sous trottoir ; — 322 bornes-fontaines ; — 128 appareils à remplir les tonneaux ; — 1,674 bouches d'arrosage à la lance. — Soit au total 4,748 appareils qui à raison de 14 mètres cubes par jour et par appareil représentent un volume de 66,472 mètres cubes. Si on ajoute à ce dernier chiffre les 24,931 mètres cubes absorbés par les fontaines monumentales, les 27,678 mètres cubes distribués à 11,403 abonnés et 6,919 mètres cubes représentant les pertes, par gaspillage, de l'eau distribuée aux particuliers, on arrive à un total général de 126,000 mètres cubes.

Pompes à feu. — On a vu plus haut que la ville possédait six établissements de pompes à feu comprenant chacun deux machines.

Les pompes de Port-à-l'Anglais et de Maisons-Alfort puisent l'eau de la Seine en amont de Paris et la refoulent, les premières au réservoir de Gentilly à la côte $82^{m},10$, les secondes au réservoir de Charonne à l'altitude de $80^{m},73$.

L'usine d'Austerlitz, établie comme celles de Chaillot et d'Auteuil dans l'intérieur de Paris, refoule les eaux de Seine dans les deux réservoirs précédents. Les pompes de Chaillot alimentent les réservoirs de Passy à la cote $75^{m},33$; enfin l'usine d'Auteuil envoie l'eau aux petits réservoirs de Passy à l'altitude de $74^{m},10$. La dernière usine, celle de Saint-Ouen, placée en aval de Paris et du débouché du grand égout collecteur d'Asnières, élève les eaux de Seine au réservoir du passage Cottin à la cote $89^{m},98$.

Toutes ces machines, à l'exception de celles de l'usine d'Austerlitz, brûlent de $2^{k},22$ à $3^{k},84$ de charbon par heure et par force de cheval.

Les pompes d'Austerlitz qui brûlent seulement $1^{k},45$ de combustible sont donc les seules qui soient dans des conditions acceptables. Aussi le service de ces différentes usines a-t-il été considérablement réduit depuis que les travaux d'adduction de la Vanne et de la Dhuis ont permis d'effectuer le service privé presque entièrement avec les eaux de source. Ainsi, en 1876, on n'a utilisé que les 42 centièmes de la force dont on disposait tandis qu'en 1873 on en employait les 65 centièmes.

Dans la prévision que d'ici à peu d'années les eaux de source seront exclusivement employées à l'alimentation des services privés et qu'il faudra par suite demander à la Seine un supplément d'eau pour assurer le service public, la ville a commandé à la maison Farcot deux machines d'une force totale de 700 chevaux qui seront établies à Port-à-l'Anglais.

Ces moteurs qui figuraient à l'Exposition universelle de 1878 marcheront pendant l'hiver. Pendant l'été un établissement hydraulique créé à côté du barrage de Port-à-l'Anglais assurera le service d'élévation d'eau. Ce double service de moteurs hydrauliques et de pompes à feu permettra de supprimer les usines de Chaillot et d'Auteuil. Dès lors la ville possédera seulement les quatre établissements de Port-à-l'Anglais, de Maisons-Alfort, d'Austerlitz et de Saint-Ouen qui représenteront une force totale de 1,200 chevaux en eau montée. Il faut encore faire rentrer dans cette nomenclature des établissements de pompes à feu, les machines de relais qui existent actuellement pour relever dans les quartiers hauts une certaine quantité des eaux amenées à Paris par les canaux, les machines et les aqueducs.

Ces pompes, au nombre de cinq, sont :

1° La pompe de la place de l'Ourcq qui puise l'eau de l'Ourcq dans le bassin de la Villette à la cote 32 mètres et la refoule dans le réservoir des Buttes-Chaumont à la cote 97 mètres pour l'alimentation du parc des Buttes-Chaumont et du marché aux bestiaux. Le mètre cube d'eau élevé revient à 0 fr. 024 ; la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

consommation de charbon n'est que de 1k,76 par heure et par force de cheval. Il entre dans les projets de l'administration d'adjoindre à la machine existante 2 machines de 100 chevaux chacune.

2° Les deux pompes de Ménilmontant qui puisent les eaux de la Dhuis et de la Marne emmagasinées dans le réservoir de ce nom pour les élever des cotes 100 et 108 mètres aux cotes 131 et 134 dans le réservoir de Belleville qui alimente les quartiers les plus hauts de la ville. Ici le prix du mètre cube d'eau montée s'élève à 0 fr. 037 et les machines consomment 3k,49 de combustible.

3° Enfin les deux pompes du réservoir Cottin qui puisent les eaux de la Dhuis et de la Marne à la cote 89m, 24 et les refoulent à la cote 130 mètres dans le réservoir actuellement en construction au sommet de la colline de Montmartre.

Usines hydrauliques. — Les usines hydrauliques présentent sur les pompes à feu l'immense avantage de travailler avec une très-grande économie. La ville en possède six, savoir :

L'usine de Saint-Maur qui puise les eaux de la Marne pour l'alimentation du bois de Vincennes et des services publics des 18e, 19e et 20e arrondissements; les usines d'Isles les Meldeuses et de Trilbardou qui pendant les grandes chaleurs déversent les eaux de la Marne dans le canal de l'Ourcq, les usines de Chigy, de la Forge et de Marly-le-Roi qui envoient dans l'aqueduc de la Vanne les eaux des sources de Chigy, du Maroy, de Saint-Philbert, de Malhortie, de Caprais-Roy, de Theil et de Noé. L'usine de Saint-Maur comprend une machine à vapeur et sept moteurs hydrauliques, savoir : une turbine Fourneyron de 100 chevaux vapeur montant 12,000 m. c. d'eau dans le lac de Gravelle; deux turbines de 100 chevaux chacune et trois roues turbines Girard montant de 26,000 à 33,000 mètres cubes d'eau dans le réservoir de Ménilmontant, à une hauteur de 100 mètres; une roue turbine montant dans le même réservoir les 5,000 mètres cubes d'eau fournis par une source découverte par M. Belgrand sur le coteau de Saint-Maur.

Soit donc au total 780 chevaux de force pouvant élever en temps ordinaire 43,000 mètres cubes et au maximum 50,000 mètres cubes d'eau par 24 heures. Pour assurer le service de distribution dans les 17e, 18e, 19e et 20e arrondissements ainsi que dans le bois de Vincennes pendant les mois de sécheresse extraordinaire et les chômages de la Marne, il a été reconnu nécessaire d'installer deux machines à vapeur de renfort. Ces pompes à feu de 150 chevaux en eau montée ont été construites par la maison Farcot, elles sont du système Corliss modifié et peuvent monter chacune 13,000 mètres cubes d'eau par jour à une hauteur de 100 mètres avec une consommation moyenne de 1k,10 de houille.

Il ressort des calculs que le mètre cube d'eau élevé par l'usine de Saint-Maur à 1 mètre de hauteur revient à 0 fr. 000519.

Les usines de Trilbardou et d'Isles les Meldeuses, dont nous avons indiqué plus haut la destination, ont été mises en service la première en avril 1868, la seconde en juillet de la même année. L'usine de Trilbardou comprend une roue de côté, système Sagebien, de 11m,04 de diamètre pouvant élever 28,000 mètres cubes d'eau par jour à 15 mètres de hauteur, et une roue de côté à niveau variable mettant en action une pompe verticale à double effet du système Farcot.

L'usine d'Isles les Meldeuses comprend deux roues turbines Girard agissant sur des pompes horizontales à double effet.

Ces deux chutes de Trilbardou et d'Isles les Meldeuses s'effacent ou deviennent insuffisantes pendant l'hiver et les saisons humides, mais alors le canal de l'Ourcq est suffisamment alimenté. Au contraire plus la sécheresse est grande et par suite plus le manque d'eau se fait sentir dans le canal de l'Ourcq, plus la chute et la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

force des deux usines augmentent. Les autres usines hydrauliques ont pour but de relever les eaux de source dans l'aqueduc de la Vanne.

Adduction et distribution des eaux de source. — La distribution des eaux de source à Paris comprend trois sections :

1° Les eaux de la Vanne qui jaillissent dans la craie blanche de la Champagne arrivent à Paris par la pente naturelle et peuvent être distribuées aux étages les plus élevés des maisons construites sur des terrains dont la cote ne dépasse pas 50 mètres. La plus grande partie des quartiers de la rive gauche de la Seine se trouvent dans ces conditions, ainsi qu'une zone importante de la rive droite. Cette distribution constitue le *bas service*.

2° Pour alimenter les quartiers de Paris situés au-dessus de l'atitude de 50 mètres, on dut recourir à la dérivation d'autres sources. Les unes prises dans la Champagne et comprises entre l'Yonne et l'Aube devaient être amenées dans un aqueduc longeant les coteaux de la rive gauche de l'Yonne, traversant les plateaux d'Hurepoix entre la forêt de Fontainebleau et Paris, et pouvaient arriver à Paris dans un réservoir placé sur la rive gauche près de Montrouge à l'altitude de 80 mètres. Ce tracé est celui de l'aqueduc de la Vanne, qui permet d'alimenter les 18e, 19e et 20e arrondissements ainsi que les parties hautes des 8e, 9e, 10e, 11e, 16e et 17e arrondissements et constitue le *service moyen*.

Les autres sources prises également dans la Champagne et dans la Brie pouvaient être amenées par un aqueduc suivant les coteaux de la vallée de la Marne ou du grand et du petit Morin, dans un réservoir construit sur la rive droite entre Bagnolet et Ménilmontant à l'altitude de 108 mètres. Ce réservoir, destiné à recevoir les eaux de la Dhuis, ne permet de distribuer l'eau aux derniers étages des maisons que dans les parties de la ville dont la cote du sol ne dépasse pas 80 mètres.

3° Enfin, pour alimenter les sommets de la butte Montmartre et les plateaux de Belleville et de Ménilmontant, on dut installer un *haut service*, comprenant des machines de relais refoulant l'eau nécessaire à ces quartiers à l'altitude de 134 mètres dans deux réservoirs supérieurs.

Examinons maintenant en particulier les travaux auxquels ont donné lieu les dérivations de la Dhuis et de la Vanne :

Dérivation de la Dhuis.— Dans toute l'étendue de la Brie le bassin du Surmelin donne seul de l'eau de source de bonne qualité et en assez grande quantité pour alimenter un aqueduc débouchant à Paris à l'altitude de 108 mètres. La Dhuis est une petite rivière qui se jette dans le Surmelin et est alimentée par des sources qui furent acquises par la ville de Paris en 1859. Les eaux de chacune d'elles sont conduites par des tuyaux en fonte dans un regard de prise d'eau. Pour opérer la précipitation de l'excès de carbonate de chaux qu'elles contiennent, on les fait passer sur des plateaux en tôle perforée, d'où elles tombent en pluie fine sur des amas de meulière. A partir de ce regard de prise, les eaux pénètrent dans un aqueduc double sur une longueur de 3,883 mètres, puis dans le siphon de Montlevon, et enfin dans un aqueduc de petit type sur une longueur de 2,270 mètres.

Cet ensemble de conduites sert exclusivement à l'adduction de l'eau de la Dhuis qui ne débite guère plus de 300 litres par seconde. A l'extrémité du petit type de forme ovoïde avec un maximum de $1^m,20$ de largeur dans la partie basse et de $1^m,64$ de hauteur sous clef, l'aqueduc doit recevoir les eaux des sources du Verdon et du Surmelin et sa section est portée en conséquence à $1^m,40$ de largeur dans la partie basse et $1^m,76$ de hauteur sous clef. Ces dimensions sont conservées sur toute la longueur de l'aqueduc jusqu'à Paris, soit sur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

111,920m,59; elles permettent le débit d'un volume de 500 litres par seconde.

L'aqueduc, qui dans ses parties libres a une pente de 0m,10 par kilomètre, a une longueur totale avec les siphons de 131,162m,85. Ces derniers au nombre de 21 représentent donc une longueur totale de 13,099m,86; ils servent à franchir sept vallées dont les profondeurs varient de 39 à 73 mètres et ils sont composés d'une seule ligne de tuyaux en fonte de 0m,80 ou de 1 mètre de diamètre suivant leur débit. La charge est uniformément fixée à 0m,55 par kilomètre. Dans ces vallées, l'aqueduc franchit les ruisseaux sur des ponts qui présentent un grand débouché en raison des crues violentes qui se manifestent sur ces cours d'eau.

Enfin le tracé admet trente-deux souterrains d'une longueur totale de 12,208m,74. Le nombre total des regards est de 262.

L'aqueduc de la Dhuis a fourni depuis l'année 1866 un volume moyen de 19,980 mètres cubes par jour. La portée de cet aqueduc est augmentée de 5,000 mètres cubes par jour par celle de la source de Saint-Maur, ce qui donne une moyenne de 25,000 mètres cubes déversés chaque jour dans le réservoir de Ménilmontant. En comprenant dans les évaluations de la dépense d'entretien la somme de 900,000 fr., représentant l'intérêt à 5 0/0 du prix de revient de cet ouvrage qui est de 18,000,000 fr. en nombre rond, on arrive à faire ressortir à 13 centimes le prix du mètre cube d'eau.

Dérivation de la Vanne. — Les sources de la Vanne, situées aux environs d'Estissac dans l'Aube, fournissent un volume journalier minimum de 73,000 mètres cubes et qui peut atteindre une moyenne de 100,000 mètres cubes. On y adjoindra pendant la saison des basses eaux la source de Cochepie qui augmentera le débit de 20,000 mètres cubes.

Les sources de la Vanne sont réparties en deux groupes : 1° Les sources hautes de la Bouillarde, Armentières, le Bime de Cérilly et Flacy arrivent dans l'aqueduc par la pente naturelle; 2° les eaux des sources basses de Chigy, de Maroy, de Saint-Philibert, Malhortie, Caprais-Roy, l'Auge, le miroir de Theil et Noé sont relevées par les trois usines de Chigy, de la Forge et de Malay-le-Roy, alimentées par les eaux de la Vanne.

Les eaux de ces diverses sources sont reçues dans des aqueducs de captation en fonte ou en maçonnerie dont la longueur totale est de 16,223 mètres, et dans un aqueduc collecteur de 20,386 mètres qui conduit les eaux des sources d'Armentières à l'origine de l'aqueduc principal. Cette longueur de 20,386 mètres se décompose en 12,240 mètres de parties en tranchées ordinaires, en 5,746 mètres de souterrains, 1,000 mètres de parties sur arcades et 1,400 mètres de siphon.

L'aqueduc principal peut se diviser en plusieurs sections :

La première section prend son origine en face de l'usine de la Forge et se termine au siphon de l'Yonne. Cette partie de l'aqueduc passe de la vallée de la Vanne à celle de l'Yonne, et suit la rive droite de cette vallée jusqu'au siphon qui sert à la traverser. Sa longueur totale est de 18,960 mètres et elle comprend : 14,974 mètres de parties en tranchées; 1,375 mètres de souterrains; 1,575 mètres de parties sur arcades; 1,036 mètres de parties en siphons.

Le siphon de l'Yonne, qui est le plus important de tous, a une longueur totale de 3,737 mètres; il traverse l'Yonne sur un pont-aqueduc de 1,493 mètres de longueur, comprenant 162 arches dont les ouvertures varient de 6 mètres à 40 mètres, et exécuté entièrement en béton aggloméré.

La seconde section de l'aqueduc principal, qui va du siphon de l'Yonne jusqu'à la fin des arcades de Fresnes, a une longueur totale de 21,518 mètres dans laquelle figurent 8,814 mètres de parties en tranchées, 9,345 mètres de sou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

terrains, 1,488 mètres de parties sur arcades et 1,871 mètres de siphons.

La troisième section de 15,794 mètres de longueur s'étend depuis les arcades de Fresnes jusqu'à l'entrée de la forêt de Fontainebleau et comprend : 7,336 mètres de parties en tranchées, 5,658 mètres de souterrains, 443 mètres de parties sur arcades, et enfin le siphon de Moret dont la longueur développée est de 2,357 mètres. Ce dernier ouvrage franchit le Loing sur un pont de 584 mètres de longueur comprenant 52 arcades.

La quatrième section de l'aqueduc, qui s'étend depuis la fin du siphon de Moret jusqu'aux arcades de Chevannes, est entièrement tracée dans les sables de Fontainebleau. Elle comprend :

16,162 mètres de parties en tranchées; 13,095 mètres de souterrains; 6,183 mètres de parties sur arcades; 3,252 mètres de siphons.

Ce qui donne une longueur totale de 38,692 mètres.

La traversée des sables de Fontainebleau offrait de grandes difficultés. On parvint cependant à l'effectuer en suivant un des longs ravins d'origine diluvienne qui sillonnent la masse des sables de la forêt. Cette circonstance permit de raccourcir le trajet et d'arriver à Paris à la cote 80 mètres.

La cinquième section, comprise entre les arcades de Chevannes et le siphon de l'Orge, d'une longueur de 18,019 mètres, comprend 3,347 mètres de parties en tranchées, 427 mètres de souterrains, 12,530 mètres d'arcades et 1,715 mètres de siphons. Le siphon de l'Orge qui a 1,972 mètres de longueur développée établit la liaison de la cinquième section avec la dernière partie de l'aqueduc principal qui aboutit à Paris au réservoir de Montrouge. Cette dernière section de 17,196 mètres de longueur comprend 6,104 mètres de tranchées, 8,215 mètres de souterrains, 2,602 mètres d'arcades et 275 mètres de siphons.

La longueur totale de l'aqueduc de la Vanne dont la pente, depuis le point de départ de l'aqueduc collecteur à la source d'Armentières jusqu'à son point d'arrivée à Paris au réservoir de Montrouge, est de 31m,17 se décompose de la manière suivante :

Parties voûtées en tranchées ou supportées par des substructions.	93,000 mètres.
Parties supportées par des arcades	16,600 —
Parties voûtées en souterrains	41,900 —
Siphons	21,500 —
TOTAL	173,000 mètres.

L'exécution de cet ouvrage a coûté 39 millions.

En ajoutant à l'intérêt annuel à 5 0/0 de cette somme les dépenses d'entretien de l'aqueduc et des machines élévatoires, on trouve que le prix du mètre cube d'eau de la Vanne amenée à Paris à la cote 80 ressort à 0 fr. 0607.

Réservoirs de Montsouris. — L'exposition de la ville de Paris en 1878 comprenait : 1° les plans et les coupes des réservoirs de Montsouris destinés à recevoir et à emmagasiner avant leur distribution dans Paris les eaux de la Vanne; 2° un modèle au 1/5e de l'angle sud-ouest des réservoirs.

Ces réservoirs occupent une superficie de 3 hectares, ils sont à deux étages et peuvent emmagasiner ensemble un volume de 275,000 mètres cubes d'eau.

Cette importante construction offre en plan la forme d'un rectangle ayant une longueur de 265 mètres et une largeur de 136 mètres. Le premier étage peut contenir 165,000 mètres cubes d'eau à la cote maxima de 74m,50 et sur une épaisseur de 5m,50. Le deuxième étage, d'une capacité de 110,000 mètres cubes, a une épaisseur d'eau de 3m,55 à l'altitude maxima de 80 mètres. L'un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et l'autre de ces deux étages sont divisés en deux parties égales par un mur de séparation.

La construction des réservoirs de Montsouris a offert de grandes difficultés à cause de la nature du sol profondément excavé par d'anciennes exploitations de carrières. Les fondations nécessaires pour consolider ces carrières descendent jusqu'à des profondeurs de 20 mètres.

Les réservoirs eux-mêmes sont construits en maçonnerie de meulière et chaux hydraulique. Le mur de pourtour du réservoir inférieur a des épaisseurs variant de $1^m,70$ en couronne à $2^m,90$ à la base. Il a un fruit extérieur de 1/5e. Ce mur ainsi que le mur de séparation, de 2 mètres d'épaisseur, sont renforcés intérieurement par des contre-forts de $1^m,40$ de largeur espacés de 4 mètres d'axe en axe et raccordés au radier général par des quarts de cercle de 2 mètres de rayon. Le radier a 40 centimètres d'épaisseur. On a placé à $0^m,10$ au dessous un système de tuyaux en poterie formant un drainage qui recueille les eaux d'infiltration et révèle ainsi l'importance des déperditions d'eau à travers le radier. Chaque compartiment a reçu un enduit de mortier fin de ciment de $0^m,03$ d'épaisseur qui assure son étanchéité.

Les murs des réservoirs supérieurs sont supportés par les contre-forts des murs du réservoir inférieur par l'intermédiaire de voûtes en plein cintre. Le radier repose également sur des voûtes retombant sur 1,800 piliers de $0^m,85$ de côté à leur sommet et espacés de 4 mètres d'axe en axe. Les murs de pourtour ont $1^m,30$ d'épaisseur au sommet et $2^m,10$ au niveau du radier. Ces bassins sont recouverts par des voûtes en berceau et des voûtes d'arêtes en briques portant une couche de terre gazonnée de $0^m,40$ d'épaisseur et supportées par des piliers et des murs en briques reposant sur l'enduit du radier supérieur.

La chambre d'arrivée et de distribution des eaux est placée à l'angle sud-ouest des réservoirs. Comme ces derniers, elle est divisée en deux étages. Celui du haut sert à la réception et à la répartition des eaux dans les quatre compartiments des réservoirs. Les eaux de la dérivation de la Vanne arrivent par deux conduites en fonte de $1^m,10$ de diamètre et débouchent dans une vasque en maçonnerie tapissée de faïence blanche et placée à l'étage supérieur de la chambre de réception. Du fond de cette vasque partent trois conduites de 80 centimètres de diamètre et commandées par des bondes de fond.

L'une de ces conduites sert à la distribution directe dans Paris. Les deux autres traversent le mur de pourtour; elles alimentent : la première, les compartiments Ouest des réservoirs; la seconde, les compartiments Est après avoir traversé sur toute leur longueur les réservoirs supérieurs. Cette disposition a pour but de permettre un renouvellement convenable de l'eau emmagasinée dans ces divers compartiments. Les conduites de départ sortent de l'enceinte des réservoirs et se dirigent vers Paris à côté de la conduite de distribution directe. Les manœuvres des robinets et des bondes se font, pour l'étage supérieur de la plate-forme, à l'aide de tiges en fer qui traversent la couverture; et pour l'étage inférieur, à l'aide de planchers installés au-dessus du niveau de l'eau et auxquels on accède par des galeries de pourtour.

La construction de ces réservoirs a exigé un cube de maçonnerie de 78,100 mètres et a coûté 7 millions, soit 25 fr. 45 c. pour le mètre cube d'eau emmagasiné.

Système des conduites de distribution. — L'ensemble du réseau de distribution comprend aujourd'hui environ 1,500 kilomètres de conduites. La séparation des services public et privé, les différences d'origine et de pression des eaux compliquent beaucoup le système; aussi, pour en saisir l'économie, faut-il considérer à part les distributions superposées d'eau d'Ourcq, d'eau de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rivière et d'eau de source. On arrive ainsi à diviser le service général en trois catégories :

1° Le service public bas, fait au moyen de l'eau de l'Ourcq ; 2° les services publics supérieur et moyen, faits par les eaux de rivière ; 3° les services privés bas, moyen et supérieur, faits au moyen des eaux de source.

1° La distribution des eaux de l'Oucq s'opère de la manière suivante :

Du bassin de la Villette part une galerie horizontale à grande section qui aboutit après un parcours de 4 kilomètres dans un réservoir de 10,000 mètres cubes placé à l'ancienne barrière de Monceaux. Pendant la nuit, c'est-à-dire lorsque la consommation est nulle, cette galerie amène dans le réservoir de Monceaux les eaux du bassin de la Villette. Pendant le jour, cette galerie peut donc s'alimenter à la fois par les réservoirs qui se trouvent à ses deux bouts, et desservir ainsi les conduites qui sont branchées tout le long de son parcours. Grâce à cette combinaison, on se trouve à peu près dans les mêmes conditions de charge à l'extrémité de la galerie qu'à son origine, au bassin de la Villette.

De cette galerie partent dans une direction transversale trois conduites principales qui franchissent la Seine, remontent sur la rive gauche et arrivent finalement à trois réservoirs, dont le trop-plein est un peu inférieur au plan d'eau du bassin de la Villette. Pendant la nuit, ces conduites servent à remplir les réservoirs auxquels elles aboutissent. Pendant le jour, elles soutirent de ces réservoirs l'eau emmagasinée, pour la distribuer.

2° La distribution des eaux de rivière se fait par l'entremise de réservoirs placés dans les différents quartiers de Paris et dans lesquels on refoule les eaux. Ainsi les réservoirs d'eau de Seine sont placés à Gentilly, à Charonne et à Passy. Les eaux de Marne sont refoulées par l'usine de Saint-Maur dans le réservoir inférieur de Ménilmontant pour servir à l'alimentation des coteaux du nord de Paris. Les mêmes eaux de la Marne reprises à Ménilmontant et refoulées par des machines dans le réservoir inférieur de Belleville servent à l'alimentation du quartier de ce nom. De même les eaux de Seine puisées à Saint-Ouen et reprises au pied de Montmartre par des machines de relais sont refoulées sur la butte dans un réservoir spécial. Ces différents réservoirs qui assurent le service public en eaux de rivière sont reliés par des conduites qui leur permettent de se suppléer mutuellement en cas de réparations.

3° En ce qui concerne les eaux de source, le service se fait de la manière suivante : Les eaux de la Dhuis arrivent à l'étage supérieur des réservoirs de Ménilmontant à la cote 108 mètres et sont refoulées en partie aux étages supérieurs des réservoirs de Belleville et de Montmartre aux cotes 134m,40 et 130 mètres.

De cette manière tous les quartiers hauts de la capitale se trouvent alimentés en eaux de source. Au dessous fonctionne la distribution d'eau de Vanne qui a son point de départ au réservoir de Montrouge dont il a été déjà question ci-dessus. De ce réservoir part une conduite maitresse de 1m,30 de diamètre (1) qui se divise à la place d'Enfer en trois branches. Les deux premières, ayant respectivement des diamètres de 0m,80 et de 1m,00 à leur origine, contournent l'ancien Paris et se rejoignent au nord après un parcours de 20 kilomètres environ.

Ces deux conduites dont les diamètres vont en décroissant à partir de l'origine jusqu'à leur point de rencontre forment ainsi un circuit fermé.

(1) Cette conduite sera prochainement doublée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La troisième conduite traverse ce circuit du sud au nord; elle a un diamètre uniforme de 1m,10 et a pour but d'alimenter directement les points les plus éloignés des deux conduites précédentes. Sur ces conduites maîtresses viennent se brancher une foule de conduites secondaires de distribution qui établissent entre toutes les mailles du réseau une communication leur permettant de se suppléer mutuellemement dans leurs parties.

Construction des conduites. — Il convient maintenant d'examiner le mode de construction adopté à Paris pour les conduites. Ces conduites sont en fonte et en principe elles doivent toujours être placées dans les égouts, mais ce désideratum ne pourra être réalisé que d'ici à quelques années.

Les conduites qui sont actuellement placées en terre sont construites avec des tuyaux à emboîtement scellés au plomb qui offrent les garanties les plus sérieuses contre les disjonctions en cas de tassements. Les conduites placées dans les égouts, n'étant pas soumises à des tassements, sont composées de tuyaux unis s'engageant bout à bout dans des manchons ou bagues en fonte; dans l'intervalle laissé libre entre la surface intérieure de la bague et la surface extérieure des tuyaux on coule du plomb, qui est ensuite maté des deux côtés. Cette bague a au maximum 5 centimètres de recouvrement sur chaque tuyau, le joint est très-facile à faire et le démontage en est très-rapide.

Tous les 4 à 500 mètres, on place sur les conduites des robinets de partage de façon à pouvoir isoler momentanément une de leurs parties sans interrompre le service sur le reste de leur longueur. Ces robinets se composent d'un disque en fonte formant obturateur et glissant entre deux glissières de bronze perpendiculairement à son axe. Ces robinets ont la forme des robinets-vannes déjà décrits. Ils sont manœuvrés par une vis traversant une boîte à étoupe placée au sommet du dôme qui reçoit le disque quand le robinet est ouvert, et qui en tournant fait monter ou descendre le disque à la façon d'un écrou. De part et d'autre de ces robinets de partage, on en place deux autres : celui qui est en amont est posé *sous* la conduite pour servir de décharge, celui qui est en aval est placé *sur* la conduite pour permettre à l'air de s'échapper.

Sur les grosses conduites on emploie des robinets-vannes de dimensions énormes et que nous avons décrits. Pour assurer leur fonctionnement, on est obligé d'équilibrer préalablement la charge de chaque côté de l'obturateur. A cet effet, on relie les deux biefs à l'aide d'un tuyau de petit diamètre, qui lui-même est muni d'un robinet. Ce dernier, grâce à ses dimensions restreintes, peut se manœuvrer sous pression.

La ville de Paris avait exposé sur les berges de la Seine un type de ces diverses installations. On pouvait ainsi se rendre un compte très-exact des opérations que nous venons de décrire. On y remarquait aussi le modèle grandeur naturelle du chariot à triple mouvement qui est en usage à Paris pour la pose des conduites.

Nous avons dit que les tuyaux en ciment pouvaient être employés très-avantageusement dans les distributions d'eau des villes. A Paris, on ne remarque qu'une seule conduite de ce genre, qui a 1m,30 de diamètre et constitue la tête de la distribution d'eau de Vanne. Son choix a été justifié par l'impossibilité de trouver dans la fabrication courante des usines des tuyaux en fonte de ce diamètre. Aujourd'hui le cas ne serait plus le même, mais en 1873 on n'avait pas dépassé le diamètre de 1m,10 et, de plus, les fontes étaient chères. On se décida pour une conduite en béton de ciment. Sa charge ne devait pas dépasser 22 mètres. On pouvait voir, dans le pavillon de la ville de Paris, le modèle réduit au 1/10e et, sur les berges de la Seine, l'appareil lui-même qui a servi au moulage sur place de cette énorme conduite. Il consiste en un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cylindre de tôle placé dans une position inclinée sur un axe de rotation horizontal.

Ce cylindre reçoit les matières qui servent à fabriquer le béton, savoir : le ciment, le sable, la pierre et l'eau. On lui communique un mouvement de rotation qui opère le mélange des matières auxquelles, après chaque demi-tour, on fait subir une translation d'un fond à l'autre. Après trente tours, on obtient un mélange intime. En employant concurremment deux cylindres, on peut se livrer à une fabrication continue. Cette bétonnière est actionnée par une locomobile portée sur un deuxième chariot attelé au premier.

On coule ainsi le tuyau en anneaux successifs. Après le coulage du premier anneau, la locomobile se transforme en remorqueur à l'aide d'un engrenage calé sur l'essieu du chariot qui la porte et commandé par une chaîne de Gall, et fait avancer l'appareil. On peut faire ainsi 10 mètres cubes de béton à l'heure. On a employé le ciment de Portland à prise lente, de sorte que chaque tronçon de conduite doit être laissé sur cintre pendant quarante-huit heures. Cet appareil ingénieux qui a été imaginé par M. l'ingénieur Couche est susceptible d'application dans tous les travaux qui exigent l'emploi du ciment.

Canalisations secondaires. — Le réseau des conduites maîtresses qui a été décrit ci-dessus alimente de 12,000 à 14,000 appareils destinés au service public (bouches d'arrosage, d'incendie, de lavage, bornes-fontaines, fontaines Wallace, etc.) ; 74 fontaines monumentales débitant de 40,000 à 45,000 mètres cubes d'eau par jour ; 45,000 immeubles. Soit donc au total 60,000 branchements représentant une longueur de conduites secondaires de plusieurs centaines de kilomètres.

Nous avons déjà décrit les principaux types d'appareils de service public et de petite robinetterie qui fonctionnent sur ces conduites secondaires. Il reste à signaler le procédé ingénieux inventé par M. l'ingénieur Couche pour fermer les fissures qui se produisent inévitablement dans les maçonneries des réservoirs. Il consiste à pratiquer au-dessus de cette fissure une rainure dans le fond de laquelle on applique une couche de colle de benzine et au dessus une plaque de caoutchouc. On remplit ensuite le vide avec du mortier de ciment. Cette méthode, très-simple, permet d'arriver à une étanchéité absolue.

Système des égouts. — Le complément indispensable d'une grande distribution d'eaux est l'établissement d'un système rationnel d'égouts. Nous avons vu que la ville de Paris était fort bien dotée au point de vue de l'alimentation des services public et privé : nous allons montrer qu'elle est parfaitement assainie. Aujourd'hui la longueur des égouts dépasse 600 kilomètres et forme un réseau qui recueille les eaux de 6,450 hectares, c'est-à-dire de la presque totalité de la surface renfermée dans l'enceinte de Paris. C'est en 1856 que l'ingénieur M. Belgrand fit adopter ce système d'égouts qui n'est pas encore terminé, et qui comprend deux divisions : les égouts principaux et les égouts secondaires.

Égouts principaux. — Les grandes artères sont au nombre de deux :

1° Le collecteur général de la rive droite qui, partant du bassin de l'Arsenal suit les quais jusqu'au pont de la Concorde et se dirige de là en ligne droite jusqu'à Asnières. Ce collecteur recueille les eaux d'un bassin de 2,550 hectares. Celles qui proviennent des collines de la partie nord de la ville lui sont amenées par un égout partant des fortifications près de la porte de Vincennes, longeant le pied des parties hautes et aboutissant près de Saint-Augustin. Les eaux fournies par les parties plates de la ville sont recueillies par les égouts secondaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la rue Neuve-des-Petits-Champs, de la rue de Rivoli, ou par des collecteurs transversaux qui se jettent directement dans le collecteur général de la rive droite.

2° Le collecteur général de la rive gauche commence au point où la Bièvre traverse les fortifications; il suit la rue Geoffroy-Sainte-Marie, les quais depuis la place Saint-Michel jusqu'au pont de l'Alma, traverse la Seine dans un siphon et passe en tunnel sous la partie de la ville située sur la rive droite pour rejoindre le collecteur d'Asnières en dehors des fortifications. Quand cet égout sera achevé, il recevra la totalité des eaux de la Bièvre qui sont actuellement infectes, et servira en même temps de collecteur pour tous les quartiers de la rive gauche, grâce à un système bien entendu de collecteurs secondaires.

Il ne reste donc plus qu'une surface de 180 hectares environ qui déversent leurs eaux sales directement dans la Seine, ainsi que les quartiers d'Auteuil et de Bercy parce que les quais de la rive droite qui leur correspondent manquent encore d'égouts.

Égouts secondaires. — Les égouts secondaires s'étendent sous les rues et sont au nombre de deux toutes les fois que la voie a plus de 20 mètres de largeur. On compte à Paris une longueur de rues de 870 kilomètres qui exigeraient 1,040 kilomètres d'égouts. Sur ce nombre, il en reste seulement 430 kilomètres à construire. Les sections transversales de ces collecteurs secondaires varient, bien entendu, suivant l'importance du volume d'eau qui doit y être débité, la pente et la nature des conduites d'eau pure qui doivent y être posées.

Cette dernière circonstance force souvent à adopter des dimensions plus grandes qu'il ne serait nécessaire, si on ne considérait que le débit des eaux d'égout. La ville de Paris avait exposé dans son pavillon la série complète des types d'égout en usage. Ils se font tous remarquer par leur légèreté et se divisent en deux catégories bien distinctes :

1° Ceux à cuvette et à banquettes, qui sont destinés à être curés par des moyens mécaniques, ont des pentes de $0^m,40$ par kilomètre;

2° Ceux à cuvette sans banquettes, qui doivent être curés à bras d'homme, ont des pentes d'au moins 2 mètres à $2^m,50$ par kilomètre.

Les moyens employés pour le curage des égouts de grand modèle consistent dans l'emploi de wagons à bascule, wagons-vannes et bateaux-vannes. Les modèles de ces appareils figuraient dans le pavillon d'exposition et permettaient de se rendre un compte exact de leur mode de fonctionnement. On peut dire que la méthode de curage consiste essentiellement à barrer presque entièrement la cuvette à l'aide d'une vanne. L'eau s'élève en arrière, passe avec rapidité sous la vanne et chasse par les deux ouvertures qui y sont ménagées les matières qui se trouvent sur le radier. Comme l'eau accumulée derrière la vanne exerce une pression sur sa face amont, elle produit l'avancement de l'appareil porteur de cette vanne (wagon ou bateau) sur un espace égal à celui qui a été rendu libre.

On pousse ainsi successivement les matières solides qui finissent par former un banc voyageant tout seul. En effet, les matières affouillées en amont passent par dessus et se déversent en formant un plan incliné; ainsi de suite. Ces bancs voyagent à raison de 1 kilomètre par vingt-quatre heures, et arrivent au bout de leur course dans un grand collecteur qui les entraîne sans difficulté. Pour terminer ce qui est relatif au mode de curage des collecteurs, il nous reste à parler de la méthode employée pour le nettoiement du siphon de l'Alma.

Ce siphon est formé de deux tubes en tôle noyés dans un massif de béton sous le lit de la Seine, et présentant à l'intérieur une surface absolument lisse; la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

longueur des tubes d'une rive à l'autre est de 176 mètres et la différence de niveau entre leur orifice d'entrée et leur orifice de sortie n'est que de 0m,50. On a d'abord pratiqué près de ce premier orifice des fosses de décantation où les matières solides sont retenues et extraites ensuite à bras d'homme. En outre, les eaux, avant de s'engager dans le siphon, passent à travers des grilles épuratoires curées jour et nuit. Mais ces moyens ne suffisent pas pour opérer un nettoiement complet.

On fait donc passer dans chaque tube une boule en bois, d'un diamètre un peu inférieur au diamètre intérieur du tube, de sorte que cette boule roule en s'appuyant sur la génératrice supérieure du tube en laissant au-dessous d'elle un espace étranglé dans lequel l'eau passe avec violence. On reproduit ainsi en petit ce qui se passe en grand devant les wagons-vannes ou les bateaux-vannes.

Les eaux sales s'écoulent dans les égouts par plus de 7,000 bouches. On compte environ 10,000 regards débouchant sur les voies publiques. Enfin 22,000 maisons sont reliées par des branchements particuliers aux égouts publics, et peuvent ainsi écouler directement leurs eaux ménagères.

Dernièrement enfin, M. Belgrand a combiné et étudié complètement un système destiné à préserver les caves des quartiers bas de Paris des inondations qui s'y manifestent en temps de crue. Ce système consiste essentiellement à abaisser par épuisement la nappe d'eau souterraine en y faisant descendre une série de puits reliés par des drains, et en installant dans ces puits des pompes mues par une turbine.

Comme en temps de crue la ville dispose pour les services publics d'un volume d'eau plus que suffisant, il n'y a aucun inconvénient à employer l'excès de charge des conduites à faire marcher des pompes d'épuisement. Les eaux ainsi élevées sont ensuite déversées dans les égouts soustraits aux crues.

Utilisation des eaux d'égout. — Outre que le déversement des eaux d'égout dans la Seine a pour effet de salir ce fleuve sur une partie importante de son cours, on perd inutilement une source d'engrais qui ne doit pas être dédaignée.

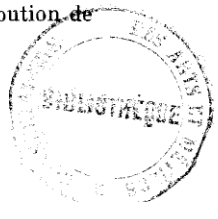
Chaque mètre cube d'eau d'égout contient en effet 2k,79 de matières dissoutes et suspendues, partagées en 0k,723 d'éléments organiques (azote et produits combustibles) et 2k,071 d'éléments minéraux inoffensifs. Après avoir répété les irrigations telles qu'elles sont pratiquées dans le Milanais et dans les environs de Valence en Espagne, et après avoir essayé de précipiter par des réactifs chimiques, tels que le sulfate d'alumine, les matières fertilisantes contenues dans les eaux d'égout, la ville de Paris a reconnu que le meilleur moyen d'utilisation de ces eaux consistait à s'en servir pour l'irrigation.

En conséquence, elle a transformé la presqu'île de Gennevilliers en un vaste champ d'expériences.

Le terrain de cette presqu'île a une composition très-favorable à ce genre d'essai : il est composé, en effet, de cailloux, de sable et de limon.

Les travaux d'utilisation des eaux d'égout ont consisté à recevoir les eaux du collecteur de Saint-Denis à la porte de la Chapelle dans une conduite qui les amène jusque dans la plaine de Gennevilliers en empruntant les ponts de Saint-Ouen. Les eaux descendent ainsi jusqu'aux lieux d'emploi par leur pente naturelle. Quant aux eaux du collecteur d'Asnières, elles sont relevées de 12 mètres environ par des machines offrant une force totale de 400 chevaux vapeur, et elles sont versées dans des conduites métalliques de 1m,10 de diamètre, qui, après avoir passé sous les trottoirs des ponts de Clichy, les conduisent dans la plaine de Gennevilliers.

On a construit dans cette plaine un réseau de conduites de distribution de



Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

28 kilomètres qui sont placées sous les chemins et ont des diamètres variant de $1^m,25$ à $0^m,30$. Ces conduites souterraines ont été exécutées entièrement en maçonnerie et béton de ciment.

Des bouches à clapet, branchées par des tuyaux en poterie Doulton sur les conduites des chemins, abordent les parcelles à irriguer; des cheminées-ventouses placées aux points hauts et à l'origine des conduites maitresses assurent la résistance des tuyaux contre les coups de bélier résultant de la manœuvre brusque des bouches à clapet. La distribution agricole se fait en eaux libres par des rigoles construites par les cultivateurs.

Les eaux d'égout sont donc traitées comme des eaux d'arrosage ordinaires. Leur distribution est actuellement gratuite, mais plus tard elle sera soumise à un tarif et à un règlement. On utilise actuellement 12 millions de mètres cubes d'eaux d'égout pour arroser 400 hectares de terrain.

Après avoir déposé sur le sol les matières infectes qu'elles contenaient, ces eaux sortent en source limpide à la bouche des drains qui sillonnent le sous-sol.

En 1877, la surface arrosée comprenait : 80 hectares de grande culture; — 310 hectares de culture maraîchère et industrielle; — 10 hectares réservés à l'horticulture. — On pouvait d'ailleurs remarquer à l'Exposition de nombreux spécimens de chacun de ces genres de culture.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TROISIÈME PARTIE.

LES CANAUX D'IRRIGATION

Considérations générales sur l'aménagement et l'utilisation des eaux. — On a beaucoup écrit sur l'utilité des irrigations et sur l'immense influence économique que leur pratique générale et bien entendue pourrait avoir sur le pays. En effet, tout le monde sait que le bon aménagement des eaux a été de tout temps une des causes de la richesse des plus grandes nations.

Dans l'antiquité, l'Égypte, la Mésopotamie et une partie de l'Inde et de la la Chine ont dû leur fertilité aux irrigations; dans des temps plus modernes, les Arabes ont doté une partie de l'Espagne et du midi de la France de zones arrosées d'une admirable fertilité; dans le moyen âge, les républiques italiennes ou les pouvoirs féodaux ont creusé sur le sol de la Lombardie et du Piémont ce grand réseau de canaux d'irrigations depuis lors successivement perfectionné et arrivé aujourd'hui à un état complet de développement et de prospérité. Dans le Pérou, les Incas avaient de même utilisé les eaux et créé au pied des Andes de magnifiques irrigations, quand arrivèrent les Européens qui ne cherchaient que les mines d'or et d'argent. On voit encore dans l'Équateur, au Pérou, en Bolivie, des ruines d'aqueducs dont on peut suivre le tracé sur des étendues considérables.

En un mot, tous les peuples ont cherché dans la pratique des irrigations un accroissement de leur richesse agricole.

En effet, à l'aide des irrigations, on augmente à profusion les richesses agricoles.

On a souvent estimé à plus de 200 francs la plus-value annuelle produite par l'irrigation d'un hectare de terre, ce qui répond par hectare à un accroissement de capital de 4,000 francs. Sans doute cette plus-value est très-variable suivant les lieux et les circonstances, mais elle est toujours très-considérable, ainsi que nous le verrons plus loin par des exemples. On peut se faire une idée des grands résultats auxquels pourrait conduire la pratique des irrigations en rappelant qu'il existe en France 7,900 kilomètres de grandes rivières et environ 180,000 kilomètres de petits cours d'eau non navigables sur lesquels les eaux sont bien souvent gaspillées en pure perte.

« Pourquoi malgré la supériorité du sol et du climat sommes-nous en agri-
« culture si inférieurs à l'Angleterre où le blé rapporte en moyenne un tiers de
« plus que dans nos campagnes? C'est qu'en Angleterre les prairies occupent
« plus de la moitié de la superficie cultivée. En France, à peine 1/6e. Nous avons
« 25 millions d'hectares de terres arables et nous n'en possédons que 5 millions
« en prairies. L'irrigation couvrira de pâturages des champs aujourd'hui sté-
« riles, développera la production des bestiaux, augmentera la masse des
« engrais, le rendement des céréales et nous affranchira au moins en partie
« d'un tribut annuel de 80 millions que nous payons ainsi à l'étranger pour
« nous approvisionner en viande. »

Telles étaient les conclusions du rapport fait en 1857par la commission chargée d'examiner une proposition relative à la rédaction d'un code rural.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En considérant l'importance des faits généraux qui dominent la question des irrigations, il est permis de s'étonner de l'oubli dans lequel on a cru devoir la laisser jusqu'ici et surtout de la priorité que l'on a donnée au drainage sur l'irrigation par une anglomanie mal entendue. On conçoit que sous le climat humide de l'Angleterre le drainage soit le premier besoin et l'irrigation le second, mais il en est tout autrement en France où nous avons la brûlante Provence, la zone altérée des Pyrénées, les plateaux de la Brie, de la Beauce et de la Champagne où l'eau fait souvent défaut.

Sans méconnaître dans certains cas l'utilité du drainage, on doit donc en France, du moins, le faire passer après l'irrigation. C'est surtout sur les deux versants des Alpes et des Pyrénées qu'on rencontre en France des zones arrosées de quelque étendue, tant en raison du climat que des ressources que présentent les cours d'eau qui descendent des crêtes de ces montagnes. Ces cours d'eau alimentés par les neiges et les glaciers ont toujours de l'eau en été; on doit donc placer en première ligne le Rhône, l'Isère, la Durance, la Garonne, la Neste, l'Ariège, etc. Malgré les immenses ressources que ces cours d'eau présentent, ils ne sont utilisés jusqu'ici que sur une échelle restreinte; c'est ainsi que la zone arrosée des Pyrénées n'est évaluée qu'à 32,000 hectares, et celle des Alpes à 63,000 hectares, soit en totalité 95,000 hectares. Par une meilleure utilisation des cours d'eau dans ces deux seules régions, la zone d'irrigation pourrait certainement atteindre dans un temps donné 500,000 hectares et par conséquent être augmentée de 400,000 hectares.

En admettant une plus-value annuelle sur l'ensemble de 150 francs seulement, il en résulterait un accroissement annuel de produits de 60 millions répondant à la création à 3 0/0 d'un capital agricole de 2 milliards; mais, indépendamment de cette création capitale de richesse, l'irrigation réalisée sur une telle surface donnerait naissance à des engrais et à une production de bétail réagissant de la manière la plus favorable sur l'alimentation publique.

Sans doute, une zone irrigable de 400,000 hectares ne s'improvise point; elle demande la création sur le sol de nombreux capitaux; cependant nous ne pensons pas que pour arriver à de tels résultats il faille attendre des siècles. En raisonnant ainsi, on compte sans l'impulsion énergique que notre époque sait donner à toutes les grandes œuvres d'utilité publique, sans les besoins impérieux de l'alimentation à bon marché des masses populaires, sans la cherté croissante de toutes choses depuis quelques années, sans la puissance actuelle des capitaux qui ont appris à s'associer sur une grande échelle pour réaliser en quelques années des œuvres qui eussent autrefois demandé plus d'un demi-siècle.

Au siècle de la vapeur et de l'électricité, il faut une agriculture savante et perfectionnée, dotée de voies de communication partout faciles et de cours d'eau réguliers, aménagés avec intelligence; il faut sortir du désordre actuel qui engendre tantôt l'inondation désastreuse et tantôt la sécheresse. Ce n'est que par de grandes mesures qu'on arrivera à un tel résultat, il faut sortir des voies timides qu'on a suivis jusqu'ici. On a cru qu'il suffisait de l'initiative personnelle des propriétaires pour développer l'irrigation sur notre sol et l'on s'est trompé parce que le propriétaire est impuissant à créer la *grande irrigation*, s'il n'est point aidé par le gouvernement ou par de puissantes associations, seuls capables de créer les principales artères.

Ces associations auront besoin à leur début de l'énergique secours de l'État, soit par des subventions, soit par des garanties d'intérêt. Il n'est pas douteux que le propriétaire s'empressera de profiter de l'irrigation quand il n'aura à payer qu'un droit annuel d'arrosage et si par une combinaison financière analogue à celle du drainage on lui avance les capitaux nécessaires pour lui faciliter les travaux complémentaires de l'irrigation tels que fumures, ensemencements,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mouvements de terres, etc. L'irrigation est d'ailleurs par elle-même tellement féconde qu'elle pourra rembourser rapidement toutes ces avances.

A certaines époques, diverses mesures législatives ont été prises en faveur des irrigations : nous citerons entre autres la loi du 27 avril 1845 relative au droit d'aqueduc et celle du 27 juillet 1847 qui réglemente le droit d'appui des barrages ayant l'irrigation pour objet. Ces deux lois ont été votées dans la pensée de faciliter l'action individuelle des propriétaires, mais elles n'ont été que d'une bien rare et bien restreinte application. Avant la révolution de Février, l'entreprise d'irrigation la plus brillante a été celle du canal de Marseille, capable de dériver de la Durance un volume de 6 mètres cubes. Cette entreprise a été poursuivie par les Marseillais avec un rare esprit d'énergie et de persévérance; elle a eu un succès complet.

En 1848, le gouvernement se montra disposé à entrer largement dans la voie des irrigations et une commission fut instituée pour émettre un avis motivé sur les trois questions suivantes :

1° Rechercher quels sont les travaux agricoles qui par leur importance mériteraient d'entrer dans le cadre des travaux d'utilité publique. — 2° Poser le programme de la création d'un certain nombre de services spéciaux hydrauliques; 3° enfin étudier comment le principe d'association déjà posé par la loi de 1807 pourrait être développé et étendu à ce nouvel ordre de travaux.

Le rapport de cette commission détermina en France la création des services d'ingénieurs hydrauliques. Voici d'ailleurs quelles furent les conclusions de la commission : Sur la première question posée, la commission proposa de comprendre parmi les entreprises d'utilité publique toutes celles ayant pour but le développement de l'industrie agricole, savoir :

1° L'endiguement et la régularisation des cours d'eau navigables ou non navigables; 2° le dessèchement des marais et l'asssainissement des terrains rendus insalubres ou improductifs par la stagnation des eaux; 3° la conquête des lais et relais de la mer; 4° la consolidation des terrains en pente par les reboisements, plantations, ensemencementts ou tous autres moyens; 5° la fixation des dunes; 6° les irrigations, colmatages, réservoirs, réglementation des usines, en un mot l'utilisation générale des eaux en conciliant les intérêts de l'agriculture et ceux de l'industrie; 7° la recherche et l'exploitation des amendements lorsqu'ils dépasseront les forces de l'industrie privée; 8° enfin toutes les voies de communication qui n'appartenant pas à la grande voirie peuvent servir aux transports des produits de l'agriculture.

Pour répondre à la dernière question, la commission demanda la création de services spéciaux d'ingénieurs chargés de la rédaction des projets, de l'exécution des travaux qui se rattachent à l'amélioration de l'agriculture, ces services pouvant d'ailleurs être confiés aux ingénieurs ordinaires des départements par mesure de sage économie; voici de quelle manière la commission formulait la mission de ces ingénieurs :

1° Étudier le régime des cours d'eau navigables ou non navigables dans leurs divers états, les conditions hygrométriques des bassins, l'étendue, la perméabilité des versants et en général toutes les circonstances qui peuvent influer sur ce régime directement ou indirectement.

2° Projeter tous les travaux concernant les endiguements, curages et régularisation des cours d'eau, les exécuter; projeter tous les travaux concernant les desséchements des marais et les exécuter, surveiller et guider les associations ou les concessionnaires qui auraient obtenu l'autorisation d'exécuter des desséchements ou des endiguements; veiller spécialement à l'entretien de ces travaux, poursuivre l'accomplissement des obligations imposées aux concession-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

naires et associations. Déterminer le volume disponible et la quantité des eaux de chaque cours d'eau, aider de leurs conseils les communes, associations ou propriétaires qui se proposeraient d'entreprendre de grands travaux agricoles; proposer le partage de ces eaux entre l'agriculture, la navigation et l'industrie; provoquer, exécuter et surveiller suivant les circonstances les travaux concernant ce partage. Faire la reconnaissance des terrains susceptibles d'être améliorés par les irrigations, les limonages, les colmatages; rédiger à cet effet des projets de canaux, exécuter ces derniers; signaler les abus qui auraient lieu au préjudice de l'agriculture dans la dépense des eaux employées aux usines, soit par l'imperfection des moteurs, soit pour toute autre cause.

Proposer qu'à l'avenir la jouissance des eaux quel qu'en doive être l'emploi soit concédée en se basant sur la division du temps et du volume suivant les circonstances, et que dans ce dernier cas le volume des eaux concédées soit toujours une partie aliquote du débit des cours d'eau. Étudier et exécuter des retenues, réservoirs ou tous autres travaux destinés à régler autant que possible le marche des crues ou à créer des ressources dont on puisse disposer à l'époque des sécheresses. Donner enfin leur avis au point du vue agricole sur tous les projets de travaux d'utilité publique.

Enfin, comme complément et pour assurer l'exécution du programme précédent, la commission proposait de créer près de l'administration supérieure une commission mixte et permanente composée d'ingénieurs et d'agriculteurs ayant pour but d'examiner au point de vue agricole les divers projets, de proposer les bases des instructions à adresser aux préfets et aux ingénieurs et de provoquer la recherche de tous les documents relatifs aux irrigations, desséchements, endiguements, reboisements, ainsi que l'utilisation des eaux au profit de l'agriculture et de l'industrie.

Cette commission en un mot aurait donné l'impulsion et l'uniformité à tout ce vaste ensemble de grands travaux agricoles. C'est à la suite du rapport de cette commission que furent créés les services hydrauliques par un arrêté ministériel du 16 novembre 1848. Depuis cette époque ces services ont fonctionné avec plus ou moins d'activité ou de succès suivant les crédits alloués et les besoins des divers départements, mais l'ensemble des études faites présente, au seul point de vue des irrigations, des résultats importants.

Nous examinerons plus loin les entreprises particulières tentées en faveur des irrigations, au nombre desquelles nous citerons les travaux de dérivation de la Neste, le canal de Carpentras, le canal de Cadenet, le canal de Pierrelatte, le canal de Saint-Martory, etc., etc. L'exposition faite de ces divers travaux par le ministère des travaux publics nous permettra de donner à leur égard des renseignements techniques et économiques. Mais si, avant d'entrer dans l'examen des travaux d'irrigation exécutés dans ces dernières années, nous avons insisté sur l'organisation de la commission de 1848, c'est dans le but de montrer quel vaste programme incombe à la commission instituée le 5 septembre dernier par M. le ministre des travaux publics pour étudier en France l'aménagement et l'utilisation des eaux.

Cette commission paraît s'être vivement préoccupée de l'importance de sa tâche; immédiatement elle s'est subdivisée en trois sous-commissions.

La première est chargée des questions relatives à l'irrigation et au colmatage des terres, à la submersion des vignes, aux desséchements et aux assainissements, enfin à l'utilisation des forces hydrauliques.

La seconde étudiera l'alimentation des villes en eaux potables, l'emploi des eaux d'égout et des liquides industriels.

La troisième enfin s'inquiétera de la création de grands réservoirs en vue de contenir les eaux, d'aider à leur distribution régulière et de les empêcher de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nuire. L'étude des moyens de prévenir et de restreindre les inondations est naturellement du ressort de cette sous-commission.

Nous donnerons maintenant une description des divers travaux d'assainissement et d'irrigation exposés par le Ministère des travaux publics ; nous indiquerons les principes qui doivent servir de base à ces divers genres de travaux ; enfin nous décrirons rapidement le grand projet actuellement soumis aux Chambres, dans le but de distribuer des eaux d'irrigation à une partie du midi de la France.

I. Travaux d'assainissement.

1° *Travaux d'assainissement des landes de Gascogne.* — Dans les départements de la Gironde et des Landes, il existe une étendue de terrain de près de 8,000 kilomètres carrés, compris entre la mer et les vallées de la Gironde et de l'Adour, qui il y a vingt-cinq ans étaient incultes et inhabités. De loin en loin on trouvait des chaumières isolées et quelques bouquets de buis. En hiver, le terrain environnant était submergé. Il existait donc là un vaste désert insalubre. En effet, le plateau des Landes presque horizontal est formé d'un sous-sol imperméable recouvert d'une couche de $0^m,60$ de terre maigre et sablonneuse. En été, il n'y a aucune source ; en hiver, les pluies durent six mois et les eaux ne trouvant pas d'écoulement restent stagnantes jusqu'à ce que la chaleur les ait évaporées.

En 1857, une loi prescrivit l'assainissement et la mise en valeur des landes communales des départements de la Gironde et des Landes formant la majeure partie du territoire inculte et insalubre. Les travaux se sont étendus depuis à 52 communes et comprennent une surperficie de 107,811 hectares pour la Gironde. Dans les Landes ils se sont étendus à 110 communes sur une surface de 183,714 hectares ; soit au total 162 communes et une superficie de 291,525 hectares. Ces travaux consistent dans l'établissement de 2,197 kilomètres de voies d'écoulement ayant une largeur moyenne de 5 à 6 mètres au plafond et une pente de $0^m,002$ à 0,001 par mètre.

Du côté de l'Océan, comme les eaux sont arrêtées par une chaîne de dunes bordant le littoral sur 120 kilomètres, on a ouvert un collecteur de 12 mètres de largeur au plafond qui relie entre eux les étangs formés au pied des dunes. Ce collecteur donne ainsi issue aux eaux du versant.

Les travaux d'assainissement, exécutés dans les départements de la Gironde et des Landes, seront entièrement terminés en 1878. Ils auront coûté 893,470 fr. La valeur des landes ensemencées était, au commencement de 1877, de 80,264,600 fr. Dans ce chiffre ne figurent que les landes communales. Les 350,000 hectares ensemencés par les habitants représentent une valeur de 125 millions. Ces opérations ont eu pour effet d'enrichir les communes et de leur permettre de réaliser des améliorations importantes, telles que la création d'écoles, la construction de mairies, etc., et l'établissement de chemins vicinaux.

Au point de vue sanitaire, le pays a été complètement transformé, les fièvres qui le ravageaient ont entièrement disparu.

2° *Travaux d'amélioration de la Dombes.* — Le plateau de la Dombes (arrondissements de Bourg et de Trévoux, Ain) est à une altitude de 300 à 260 mètres au-dessus du niveau de la mer ; son sol est silico-argileux et imperméable. Il existe dans cette région de nombreux étangs représentant une surface de 19,215 hectares pour une étendue totale de pays de 112,725 hectares (non compris les cours d'eau et les chemins). Les chemins établis en contre-bas du sol, sans fossés d'écoulement et sans empierrement, étaient couverts d'eau pendant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une partie de l'année. Il en résultait un état sanitaire des plus mauvais. En été, les rives des étangs, alimentés par les eaux de pluie, venant à se découvrir, il se manifestait des miasmes paludéens et des fièvres nombreuses. Pour remédier à cette triste situation, on entreprit depuis 1853 des travaux ayant pour but le curage et l'amélioration des cours d'eau de la région de la Dombes.

On créa un réseau de 242 kilomètres de routes agricoles. On chaula les terres au fur et à mesure de la construction de ces routes et on transforma ainsi rapidement la culture de la contrée. Actuellement l'ensemble des chemins exécutés et projetés comprend :

289,250	mètres	de lignes terminées.
40,017	—	— en cours d'exécution.
25,848	—	— non encore commencées.
TOTAL . . 363,715	mètres.	

On creusa des puits publics pour se procurer de l'eau en abondance et de bonne qualité. Jusqu'en 1862, les habitants ne se servaient que de l'eau fournie par des puits peu profonds alimentés par les infiltrations des étangs; c'était là une cause d'insalubrité. Enfin, en 1866, on ouvrit le chemin de fer de Lyon à Bourg. Cette ligne qui traverse la Dombes était fort utile au point de vue de l'agriculture et de l'assainissement de la contrée.

On mit en culture 6,000 hectares d'étangs; actuellement on a supprimé 10,462 hectares d'étangs. Toutes ces opérations ont transformé l'agriculture : à la place du seigle et de l'avoine, on cultive le froment, on a créé des prairies artificielles; on cultive des plantes sarclées et des vignes. Les résultats obtenus se traduisent par une *plus-value considérable* pour les terres. Là où en 1850 on obtenait un revenu de 8 à 10 fr. par hectare, on trouve à affermer aujourd'hui à raison de 50 à 100 fr. par hectare. Quant à la mortalité, elle a diminué dans une grande proportion. Les cas de fièvre sont aujourd'hui peu nombreux et sans gravité.

3° *Travaux d'assainissement et d'irrigation de la plaine du Forez.* — La plaine du Forez, bordée par les montagnes du Beaujolais, la chaîne du Forez, les plateaux de Neulize et de Saint-Étienne, a une longueur de 40 kilomètres, une largeur de 20 kilomètres et une superficie de 62,000 hectares. Elle est traversée par la Loire qui la divise en deux parties inégales. La pente générale de la plaine, du sud au nord, est d'environ $1^{m},25$ par kilomètre; des bords du fleuve, le terrain s'élève jusqu'au pied des massifs montagneux à raison de 4 à 6 mètres par kilomètre. Cette plaine a été de tout temps insalubre et peu fertile, cela tient à la faible pente du sol, au mauvais état des cours d'eau qui sont encombrés par les terres et les graviers descendus des montagnes, enfin à la nature du sous-sol argilo-siliceux qui est imperméable.

L'état fâcheux de cette contrée était encore aggravé par le genre de culture qu'y pratiquaient les habitants et par l'existence de nombreux étangs remplis d'eau pendant deux années pour l'élevage du poisson, puis mis à sec pendant les deux années suivantes pour la culture des céréales. Ces marais naturels ou artificiels causaient des fièvres intermittentes ou pernicieuses. Depuis l'année 1825, l'administration locale avait fait commencer des études d'assainissement, mais ce fut en 1857 seulement que l'avant-projet fut adopté par l'administration supérieure. Ce projet comprenait le desséchement des étangs insalubres, le curage des cours d'eau, puis l'exécution d'un grand canal d'irrigation qui devait permettre la transformation d'une partie du sol assaini en prairies.

Si on jette les yeux sur une carte, on remarquera que la partie de la plaine du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Forez située sur la rive gauche de la Loire est traversée par deux cours d'eau, la Mare et le Vizézy, auxquels correspondent deux bassins que l'on est en train d'assainir. Le premier, le bassin de la Mare, comprend une superficie de 13,312 hectares. Les quinze communes intéressées de ce bassin se sont formées en syndicat pour l'exécution des travaux et appellent à leur aide les propriétaires qui retirent un avantage immédiat des travaux d'assainissement. La dépense évaluée à 540,000 francs ne sera pas dépassée. Les propriétaires y contribuent pour 3/6, l'État pour 2/6 et le département pour 1/6. Les travaux sont à peu près terminés; on a curé les cours d'eau, ouvert des fossés d'assainissement et supprimé presque tous les étangs insalubres.

On peut déjà s'apercevoir des heureux résultats de ces travaux :

Les fièvres paludéennes sont devenues plus rares et moins dangereuses, et la production agricole s'est accrue dans une grande proportion. On estime à 25 0/0 ou à 4,500,000 francs la plus-value qui en résulte pour la propriété foncière dans le syndicat. Cette somme représente sept à huit fois la dépense occasionnée par les travaux d'assainissement.

Dans le second bassin (celui du Vizézy), le syndicat est formé de 10 communes : les dépenses sont évaluées à 275,000 francs pour l'assainissement de 8,212 hectares. En ce moment, la moitié des travaux est exécutée. Les résultats obtenus sont appréciables. Comme dans la plaine de la Mare, on constate une amélioration hygiénique qui ne sera complète qu'après la disparition de tous les étangs. Ces travaux d'assainissement sont complétés par la construction d'un canal d'irrigation qui distribue les eaux de la Loire jusque sur les points les plus élevés de la plaine, et dont nous donnerons la description plus loin.

On compte mettre ainsi en prairies 10,000 hectares. La plus-value moyenne des terres est de 3,000 francs par hectare. Avant l'irrigation, la valeur moyenne de l'hectare était de 1,200 francs.

II. — Travaux d'irrigation.

Plus-values créées par les irrigations. — Les travaux d'assainissement d'une contrée doivent être complétés par l'irrigation des terres. Nous venons de voir que par le fait de cette opération dans la plaine du Forez la plus-value moyenne de l'hectare était estimée à 3,000 francs. On remarquera des plus-values analogues dans toutes les contrées qui jouissent d'une irrigation bien entendue. Dans le cours de notre travail, nous aurons soin d'indiquer le chiffre de ces plus-values et de constater que les canaux d'irrigation sont très-avantageux au point de vue des spéculations privées, des intérêts généraux du commerce, de l'agriculture et, par suite, de la richesse publique.

Nous rappellerons ici quelques faits empruntés à des irrigations existantes.

Dans les arrondissements de Semur et d'Avallon, les terrains granitiques non arrosés se louent 12 à 13 francs; quand ils sont irrigués, ce prix s'élève à 45 et 100 francs. Les frais relatifs aux travaux d'irrigation sont de 300 francs par hectare en moyenne : Dans l'Ain où les travaux d'irrigation se sont élevés à la somme énorme de 800 francs par hectare, on place encore son argent à plus de 10 0/0.

En Auvergne, les terres arrosées par un canal dérivé de la Severaisse se vendaient, avant l'établissement de cette irrigation, 40 francs la sétérée; elles valaient ensuite 800 francs. En Touraine, l'augmentation moyenne de revenu par le fait de l'irrigation a été de 66 fr. 25. On a placé ainsi son argent à 42 0/0. Enfin, dans la Campine belge, les travaux d'irrigation exécutés par le Gouvernement ont coûté comme dépenses préparatoires à l'irrigation une moyenne de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

130 francs par hectare, et les capitaux placés dans les opérations agricoles de cette contrée rapportent de 10 à 15 0/0 par an.

But des irrigations. — Les eaux d'irrigation remplissent un triple but :

1° Elles fournissent aux plantes l'humidité qui leur est indispensable. — 2° Elles contiennent en dissolution des gaz et des sels qui agissent sur le sol et les végétaux. — 3° Enfin elles déposent à la surface du sol un limon qui modifie la nature du terrain.

En effet, la végétation souffre quand le sol contient moins de 10 0/0 d'eau à une profondeur de 30 centimètres. On sait que l'eau entre pour plus 50 0/0 de leur poids dans les forts végétaux et pour 75 à 90 0/0 dans les végétaux herbacés. Les deux éléments de l'eau (oxygène et hydrogène) existent aussi pour la moitié de leur poids dans les parties desséchées des végétaux. Ces deux gaz combinés avec le carbone forment la cellulose, les concrétions ligneuses et les principes renfermés dans les tissus. Il faut donc de l'eau pour le développement des végétaux, il faut aussi de la chaleur; mais plus il y a de chaleur, plus l'eau est nécessaire.

Dans les terrains privés d'irrigation, les pluies et l'énergie que met le sol à conserver l'humidité sont les seules ressources dont on puisse disposer.

Quand les pluies sont peu abondantes et quand le sol retient mal l'humidité, les récoltes se trouvent compromises; et elles sont tout à fait impossibles quand ces deux éléments font défaut en même temps. C'est le cas des terres brûlées par un soleil ardent. Si au contraire l'agriculteur peut disposer d'eaux d'irrigation, les conditions se trouvent subitement changées; et là où régnait une disette complète, on verra se développer en abondance des produits agricoles qui apporteront aux habitants une richesse inespérée. Avec l'eau, on pourra créer des prairies, accroître par suite la masse des engrais, élever un nombre considérable de bestiaux et se rapprocher de cette agriculture savante et industrielle qui a fait la fortune de l'Angleterre, de la Hollande, de la Lombardie, etc.

Nécessité des irrigations dans le midi de la France. — Dans une remarquable conférence faite au Trocadéro sur les « canaux d'irrigation », M. de Passy, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées en retraite, disait que l'emploi des eaux en agriculture est une question de développement et de prospérité pour nos départements du Nord, et il ajoutait que, pour *ceux du Midi, c'était une question de vie ou de mort.*

Le commerce et l'industrie du sud de la France seraient à jamais ruinés, surtout en présence des ravages du phylloxera et de la concurrence que fait la fabrication de la garance artificielle à la fabrication du pays, si les canaux d'irrigation n'apportaient pas dans les campagnes désolées une compensation en fertilisant une terre aride et sans produits. Ce n'est pas seulement la richesse et la prospérité que roulent les eaux employées en agriculture, c'est encore la moralisation et la civilisation. En effet, le niveau moral de l'homme s'élève en même temps que celui de la richesse locale et les besoins nouveaux en face desquels il se trouve.

En s'enrichissant, l'habitant s'instruit et sort de l'abaissement où le place une lutte incessante et ingrate contre une terre improductive. M. de Passy, après une série de considérations de ce genre et après avoir montré comment en quelques années la fortune d'un pays peut doubler, tripler et même décupler ainsi que cela a lieu en ce moment dans la Haute-Vienne, par le seul fait d'une irrigation rationnelle, concluait en appelant l'attention des hommes spéciaux sur ces graves questions et disait qu'il était temps de se préoccuper activement de donner au Midi les eaux sans lesquelles on ne peut espérer ni fertilité, ni richesse.

En France, les fleuves jettent à la mer 180 milliards de mètres cubes d'eau par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

an. On a calculé qu'une tête de gros bétail équivalait à 100,000 mètres cubes d'eau employée en agriculture. La France jette donc tous les ans à la mer la valeur de 180,000 têtes de gros bétail! Sans vouloir faire servir à l'irrigation toute l'eau des fleuves et des rivières, ce qui serait exagéré, il n'en est pas moins vrai qu'il est temps que la situation actuelle cesse.

L'initiative privée, avec l'aide de l'État qni ne le refuse pas, doit donc détourner de toutes les rivières capables de les fournir, les quantités d'eau indispensables à la fertilisation des campagnes, aux besoins des villes et des usines. Néanmoins, pour arriver à de tels résultats, il ne faut pas moins de toute l'influence d'hommes éminents : M. de Montalivet et MM. Bérenger père et fils ont dû lutter pendant soixante-sept ans pour obtenir la concession qui apporte la richesse dans 22,000 hectares du département de la Drôme.

Le canal de la *Bourne*, dont il est ici question et dont nous reparlerons plus loin, va chercher les eaux dans les premiers contre-forts des Alpes à 50 kilomètres de Valence; il les retient par des barrages et les amène, grâce à une série de travaux d'art considérables, dans les plaines où elles sont distribuées dans chaque propriété moyennant une faible rétribution.

Action des eaux d'irrigation. — L'eau, qui contient en dissolution du carbone, de l'azote et des sels minéraux, peut fournir aux plantes ces diverses substances qui forment leurs parties constituantes. On peut dire que l'eau agit sur la végétation en raison de l'oxygène dissous et de la quantité d'azote unie à une certaine quantité de carbone. Ainsi on a remarqué que sous l'action des pluies le sol accumule environ 30 kilogrammes d'azote par hectare et par an, c'est-à-dire la moitié de ce qui est nécessaire pour une bonne récolte.

Quant aux limons tenus en suspension dans l'eau, ils sont extrêmement fertiles. Avec eux, on peut modifier entièrement la nature d'un terrain; c'est le but du *colmatage,* qui consiste à faire arriver des eaux troubles sur une certaine épaisseur au-dessus d'un champ et à laisser les eaux se clarifier par un repos prolongé. On les fait ensuite s'écouler, ou on les recueille à travers le sol préalablement drainé. Après plusieurs opérations analogues, on arrive à transformer complètement le terrain colmaté.

Les irrigations produisent une sorte de colmatage quand on emploie des eaux troubles. Mais leur action fertilisante dépend de la manière d'être des eaux elles-mêmes. Enfin l'irrigation permet de prédisposer le sol aux diverses opérations de la culture. On peut labourer en temps utile et ensemencer aux époques convenables; dans d'autres circonstances, on peut récolter à meilleur compte certains végétaux : tel est le cas de la garance qu'on arrose fortement au moment où on veut l'arracher.

Qualités des eaux d'irrigation. — On a vu que les eaux d'irrigation agissaient en entretenant l'humidité nécessaire au développement des plantes et en leur fournissant les aliments qui leur sont indispensables. Mais certaines eaux contiennent des principes funestes aux plantes; il est donc nécessaire de connaître la composition des eaux employées afin d'apprécier leurs qualités et corriger leurs défauts. On possède peu d'analyses bien faites sur les eaux de source ou de rivière servant à l'irrigation; cependant un travail complet a été fait sur les eaux du bassin de Paris et sur celle de la Meuse employées, comme on sait, à l'irrigation de la Campine belge. Nous n'entreprendrons pas ici cette étude, qui est du domaine de la chimie agricole; nous ferons seulement remarquer que la composition des sels contenus dans l'eau dépend des terrains qu'elle traverse et que, pour un terrain donné, les meilleures eaux sont celles qui renferment les principes manquant à ce terrain. On peut se guider sur les indices suivants pour apprécier la qualité des eaux courantes.

Les eaux de très-bonne qualité sont celles où on rencontre le cresson de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fontaine, les épis d'eau, les véroniques et la renoncule aquatique. Les eaux moins bonnes produisent des roseaux, des patiences, des ciguës, des salicaires, des menthes, des joncs, etc. Enfin celles qui sont de mauvaise qualité contiennent seulement des mousses et des carets. Les eaux qui contiennent des principes acides et astringents sont nuisibles à la végétation, mais on peut les améliorer en les faisant passer sur de la chaux ou en les mélangeant avec des eaux alcalines de fumier. Les eaux très-froides ne sont pas bonnes pour l'irrigation; mais, après avoir circulé dans de longs canaux, elles se réchauffent. Les eaux tuffeuses doivent être dépouillées des sels calcaires qu'elles contiennent par un passage préalable à travers des fagots ou autres matières qui retiennent les tufs. Les eaux de mauvaise qualité s'améliorent généralement en s'éloignant de leur point de départ; en tous cas, elles sont de la plus grande utilité pour répandre les engrais liquides.

Provenance des eaux d'irrigation. — Les eaux employées à l'irrigation proviennent :

1° Des puits artésiens. Il existe des exemples d'irrigations à l'aide d'eaux artésiennes; mais ce moyen d'arrosage n'est pas très-général, à cause de l'incertitude du succès des sondages. — 2° Des drainages. Les eaux de cette nature sont recueillies dans des réservoirs, comme les eaux de pluie, afin d'être utilisées en temps opportun. — 3° Des sources. Les eaux provenant des sources sont généralement froides et leur débit à l'origine est rarement assez considérable pour servir à l'arrosage; mais on peut réunir les diverses sources par une tranchée qui recueille leurs eaux. — 4° Des pluies, des étangs et des réservoirs. Les réservoirs servant à l'emmagasinement des eaux constituent les moyens les plus puissants de propager la pratique de l'irrigation. La détermination de la capacité d'un réservoir constitue un problème très-complexe. — 5° Des ruisseaux et des rivières.

Les dérivations et les barrages des fleuves et rivières navigables ou flottables sont du ressort de l'État. Quand il s'agit de petits cours d'eau à détourner entièrement ou quand on veut élever le niveau de l'eau pour atteindre des terrains plus élevés que ceux qu'on pourrait naturellement arroser, on établit un barrage en aval de l'origine de la rigole de prise d'eau. Si on veut se contenter d'une simple prise d'eau sans élever le niveau de l'eau de la rivière ou sans la détourner complètement, on construit simplement un épi sans barrage.

Division des irrigations. — Sans entrer dans le détail des constructions auxquelles donne lieu l'établissement des réservoirs, des barrages et prises d'eau, nous étudierons les dispositions générales de ces ouvrages et des rigoles servant à conduire les eaux des points où elles sont prises jusqu'aux terrains qu'il s'agit d'arroser.

Les irrigations peuvent se diviser en deux groupes :

1° Les petites irrigations, ou irrigations privées qui sont faites par les propriétaires au moyen de réservoirs ou de dérivations particulières. Ces irrigations sont de beaucoup les plus considérables, si on les prend dans leur ensemble, et la méthode qui consiste à créer des réserves d'eau au moyen de réservoirs est excellente.

2° Les grandes irrigations qui sont réalisées par la construction de canaux entrepris par des associations de propriétaires, ou par des concessionnaires avec ou sans subventions de l'État, des départements ou des communes. Ces canaux dérivent les eaux des fleuves ou des rivières ou encore vont puiser les eaux emmagasinées dans des réservoirs créés en barrant des vallées.

Nous aurons donc à étudier : — 1° la construction des réservoirs d'approvisionnement; — 2° les dérivations de rivières et de fleuves.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A. — Réservoirs d'approvisionnement.

L'idée si simple qui consiste à maîtriser les eaux sauvages et à les mettre en réserve émane d'une race éminemment civilisatrice. Ce sont les Arabes qui ont initié l'Europe à ce genre de travaux; et les barrages du midi de l'Espagne sont leur œuvre incontestée. C'est donc dans ce pays que se rencontrent les premiers types de ces ouvrages. Leur forme est incorrecte, leur masse est exagérée, mais nous devons néanmoins admirer sans réserve la prudence des ingénieurs qui ont réalisé des œuvres dont les services comptent aujourd'hui des siècles.

Servant d'abord exclusivement à l'irrigation, les barrages ont été employés ensuite à créer des réserves d'eaux industrielles et alimentaires. Saint-Étienne en France, puis Verviers en Belgique ont recherché dans ces travaux grandioses des ressources hydrauliques indispensables au développement de leur industrie. Enfin Madrid a adopté sans réserve l'usage des eaux alimentaires retenues par des barrages.

Capacité des réservoirs d'approvisionnement. — Les réservoirs d'approvisionnement sont alimentés par des sources, ou des ruisseaux et par les eaux de pluie. Le jaugeage des cours d'eau permanents qui environnent le réservoir permet, après une longue série d'observations, de déterminer le volume d'eau qu'ils peuvent fournir. Pour évaluer le produit des eaux de pluie, il faut d'abord évaluer l'étendue du terrain sur lequel on peut les recueillir, puis la hauteur d'eau qui tombe annuellement sur les différents points de ce terrain et prendre la moyenne des observations faites pendant plusieurs années. On réduit ensuite cette moyenne dans un rapport qui est généralement des 3/4 ou des 5/6 dans les pays très-secs.

On obtient ainsi un coefficient qui, multiplié par la surface recueillant les eaux de pluie, donne la quantité d'eau totale qui pourrait arriver dans le réservoir, s'il n'y avait aucune perte par *évaporation* et *infiltration*.

Il faut donc modifier, en conséquence, la quantité d'eau trouvée. Les nombreuses observations faites à ce sujet ont montré que dans le centre de la France on ne doit compter que sur le 1/3 ou la moitié du volume tombé (après avoir préalablement modifié ce dernier volume, comme nous l'avons dit plus haut).

Étant donné ainsi le volume d'eau qu'on peut emmagasiner dans le réservoir, il faut encore tenir compte de l'évaporation qui s'y produit et qui varie suivant les pays où l'on se trouve. On l'évalue en multipliant la surface moyenne de l'eau amassée dans le réservoir par le coefficient d'évaporation spécial à la contrée.

On calculera donc en suivant la marche précédente, la quantité d'eau annuellement disponible dans le réservoir projeté, puis on déterminera le nombre de fois qu'on pourra remplir le réservoir chaque année et la succession des arrosages.

Les divers calculs dont nous venons d'indiquer la marche générale sont longs et doivent être basés sur un grand nombre d'observations. Aussi, lorsqu'il s'agit de construire seulement un réservoir de petite dimension pour des irrigations de peu d'étendue, on peut admettre qu'en moyenne, et dans les circonstances ordinaires, ce réservoir fournit annuellement 1,000 à 1,200 mètres cubes d'eau par hectare versant. Le nombre d'hectares arrosables s'évalue en divisant la capacité du réservoir par le volume d'eau exigé pour l'irrigation d'un hectare, c'est-à-dire par le produit du nombre des arrosages annuels par le volume d'eau exigé par chacun d'eux. Il y a là une étude à faire, le volume d'eau nécessaire à l'irrigation d'un hectare dépendant de la nature des terrains et des conditions climatériques de la contrée dans laquelle on se trouve.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Construction des réservoirs d'approvisionnement. — Quand le réservoir est de petites dimensions et se trouve dans un terrain dominant la surface à irriguer, on se contente de creuser le sol et de former autour de l'excavation, à l'aide des terres provenant de déblai, une digue d'enceinte, profilée de la même manière que les digues de défense des rives.

Lorsque le terrain est imperméable, il n'y a aucune difficulté ; dans le cas contraire, il faut recouvrir les parois de la fouillle et celles des digues d'un corroi imperméable formé d'un mélange d'argile et de sable arrosé par un lait de chaux. Ce corroi est pilonné, par couches successives de 8 à 10 centimètres d'épaisseur, sur les parois à rendre étanches qu'on a eu le soin de tailler préalablement en redans. Les réservoirs ainsi établis ont des profondeurs minima de 3 à 6 mètres.

Les *grands réservoirs*, établis en vue de retenir des masses d'eau considérables, sont placés dans des vallées ou des plis de terrain fermés à leur partie inférieure par un *barrage*. Le choix de l'emplacement est une opération très-importante ; on doit naturellement rechercher le point où la vallée est la plus resserrée et la plus profonde.

Les digues de retenue s'établissent suivant les cas : en terre, en terre avec revêtement de pierres sèches, ou en maçonnerie. Les dimensions des digues en maçonnerie donnent lieu à des calculs de résistance, dans le détail desquels nous ne pouvons entrer ici. L'épaisseur du barrage augmente du sommet à la base ; le parement extérieur présente un fruit plus ou moins considérable, le parement intérieur a une inclinaison régulière, ou une courbure, ou enfin une série de redans. La maçonnerie s'exécute avec le plus grand soin et à la chaux hydraulique.

Exemples de réservoirs établis récemment pour l'alimentation des villes et l'irrigation des terres. — Comme exemples de barrages établis dans ces dernières années et destinés à créer des réserves d'eau importantes, soit pour l'alimentation des villes, soit pour l'irrigation des terres, nous citerons les ouvrages qui figuraient dans l'exposition du Ministère des travaux publics. Savoir :

1° Le barrage du Pas du Riot sur le Furens (département de la Loire) pour l'alimentation en eau de la ville de Saint-Étienne ;

2° Le barrage établi sur le déversoir naturel du lac d'Orédon (département des Hautes-Pyrénées) pour transformer ce lac en un immense réservoir de 7,500,000 mètres cubes emmagasinant les eaux d'irrigation distribuées par un canal dans le département du Gers et une partie des départements des Hautes-Pyrénées, de la Haute-Garonne, de Tarn-et-Garonne et de Lot-et-Garonne.

Barrage du Pas du Riot. — Cet ouvrage a été exécuté de 1873 à 1878 par MM. Lagrange et Jollois, ingénieurs en chef des ponts et chaussées.

Autrefois la ville de Saint-Étienne était alimentée par les eaux des sources qui coulent dans la partie supérieure de la vallée du Furens, et, en cas d'insuffisance, par les eaux du Furens que recueille le réservoir du gouffre d'Enfer. Seulement, quand la rivière débitait moins de 300 litres par seconde, la ville de Saint-Étienne ne pouvait rien prélever, tout le volume étant absorbé par les usines.

Dans ces conditions le volume d'eau qui pouvait être distribué dans la ville, comprenant plus de 125,000 habitants, était tout à fait insuffisant. On a donc acquis les eaux de la rivière du Furens, sauf un débit de 25 litres par seconde réservé pour les besoins des riverains, et on a construit un nouveau réservoir

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au Pas du Riot à 2,200 mètres en amont du réservoir du gouffre d'Enfer, en barrant le cours du Furens.

Le barrage a une capacité utile de 1,350,000 mètres cubes. Sa hauteur entre le dessus de la chaussée et le fond naturel de la vallée à son pied est de 34m,50. Son épaisseur est de 4m,90 au sommet et de 21m,86 au niveau du sol et de la vallée.

La chaussée du barrage a un développement de 155 mètres. En plan, elle a la forme d'un arc de cercle d'un rayon moyen de 350 mètres.

On peut accéder à toutes les parties du réservoir par un chemin de ceinture.

Le barrage a été construit en moellons de granit et avec de la chaux hydraulique du Theil (provenant de l'usine de M. Pavin de Lafarge).

Le couronnement de l'ouvrage est en pierre de taille de Villebois.

Voici les cubes de la maçonnerie et le prix de revient des différentes parties :

Acquisition des eaux de la rivière du Furens par la ville de Saint-Étienne	2,200,000 francs.
Acquisition de terrains, indemnités et travaux	1,280,000 —
Cube total des maçonneries	42,100 m. c.
Cube de maçonnerie afférent un barrage proprement dit.	37,600 —

Réservoir d'approvisionnement du lac d'Orédon. — Les nombreuses vallées qui prennent leur origine au plateau de Lannemezan et s'étendent au pied des Pyrénées manquent d'eau pendant tout l'été. Les rivières sont à sec, de sorte que dans toute la région comprenant le département du Gers et une partie des départements des Hautes-Pyrénées, de la Haute-Garonne, de Tarn-et-Garonne et de Lot-et-Garonne, les habitants n'ont pas l'eau nécessaire aux usages les plus ordinaires de la vie.

Pour améliorer cette région on a dérivé une partie des eaux de la Neste, au moyen d'un canal de 28 kilomètres dont la prise est à Sarrancolin, dont le débit peut s'élever à 7 mètres cubes d'eau par seconde et qui débouche sur le plateau de Lannemezan.

On arrose ainsi une partie des landes de ce plateau, et les vallées et les rivières de la Longe, de la Save, de la Gesse, de la Gimone, de l'Arrats, du Gers, de la Baysolle, des trois branches de la Baïse et du Bouès. Mais comme on ne pouvait puiser dans la Neste les 7 mètres cubes par seconde, sans nuire aux usagers de cette rivière, on a créé un réservoir au lac d'Orédon.

Ce lac, qui a une superficie de 24 hectares, est établi dans une région granitique sur l'axe du soulèvement des Pyrénées près de la ligne de partage des bassins de la Neste et du gave de Pau. Il reçoit les eaux des quatre lacs de Cap de Long, des Laquettes, d'Aubert et d'Aumar et des deux glaciers de Néouvieil et du Pic-Long. Son bassin d'alimentation est de 2,770 hectares, son étiage est à 1,852 mètres au-dessus du niveau de la mer, et les cimes qui l'entourent ont plus de 3,000 mètres d'altitude, elles sont couvertes de neige pendant les 3/4 de l'année.

Pour transformer ce lac en un immense réservoir d'approvisionnement, on a ouvert dans son déversoir naturel une tranchée qui se prolonge dans le lac à 7 mètres en contre-bas de son plan d'eau, puis on a construit en travers du déversoir un barrage permettant de surélever la retenue à 16m,80. On obtient ainsi un réservoir capable d'emmagasiner 7,500,000 mètres cubes d'eau. Les travaux de transformation du lac d'Orédon en réservoir d'approvisionnement coûteront 908,000 fr. La tranchée de 7 mètres de profondeur maxima a une longueur de 480 mètres (167 mètres dans le lac et 313 mètres dans le déversoir) et elle est creusée dans le granit.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le mode de construction de cette tranchée est digne d'être signalée:

On établit, pour faciliter les déblais, une chaussée en terre de $3^m,50$ de hauteur au-dessus du niveau du lac et à l'origine du déversoir.

Un pertuis de 3 mètres de largeur fermé avec des poutrelles et placé à l'extrémité rive droite au point où la chaussée touchait le rocher, permettait de retenir et de lâcher à volonté les eaux du lac. On faisait éclater les mines pour désagréger le rocher, puis on ouvrait le pertuis: il en résultait un courant d'eau de 5 mètres par seconde de vitesse et par suite on produisait une chasse qui balayait la plus grande partie des blocs détachés par les mines.

Exécution des remblais formant barrage pour les grands réservoirs d'approvisionnement. — Quand on exécute des remblais pour barrer une vallée et constituer ainsi une retenue d'eau, il faut prendre les plus grandes précautions afin d'éviter les infiltrations. On y arrive en conduisant le travail de manière à ne laisser aucun vide entre les matériaux qui forment le remblai.

Nous avons trouvé à cet égard de curieux renseignements dans l'exposition du Ministère des travaux publics au Champ de Mars en 1878.

Voici la méthode qui a été employée avec succès pour établir l'assiette des remblais formant le barrage du lac d'Orédon, dont nous venons de parler :

On construisit un fossé pouvant débiter environ 15 litres d'eau par seconde et débouchant à l'endroit du barrage. Une vanne permettait de faire passer l'eau à volonté dans une conduite en bois de $0^m,16$ sur $0^m,22$ établie à $0^m,80$ au-dessous des rails sur lesquels arrivaient les wagons chargés de la terre nécessaire à l'établissement du remblai. La conduite qu'on allongerait au fur et à mesure de l'avancement des travaux débouchait au point où chaque wagon, en basculant, laissait tomber son chargement.

Quand, par suite du déchargement de 2 à 3 wagons, la buse de la conduite était recouverte de $3^m,50$ à 5 mètres de terre, on lâchait l'eau dans la conduite; celle-ci établie avec une pente de 5 $^m/_m$ et ayant son extrémité bouchée se chargeait rapidement, il se formait une lave plus ou moins pâteuse, puis l'eau finissant par se faire jour précipitait les terres et les blocs vers la base du remblai.

En dirigeant convenablement le courant et en écartant au besoin les grosses pierres, on arrivait à mener de front le talus amont et aval; l'eau s'écoulait à droite et à gauche en entraînant seulement l'humus et le sable fin.

Cette exécution du remblai au moyen de l'eau a l'avantage de remplir de sable les moindres interstices laissés entre les matériaux de grosse dimension.

Revêtement des talus des barrages construits en remblai. — Les digues ou barrages des réservoirs, exécutés en remblai, doivent être revêtus avec du béton afin d'éviter les infiltrations de l'eau.

Cela ne suffit pas encore : toute maçonnerie, quel que soit le soin avec lequel on l'ait exécutée, étant elle-même perméable, il est encore nécessaire de la recouvrir d'une chape de bitume et d'interposer un drainage entre le remblai et le revêtement, afin d'empêcher les gerçures qui pourraient se manifester dans la chape sous l'influence de l'énorme pression exercée par l'eau.

C'est ce qui a été fait dans l'exécution du barrage du lac d'Orédon.

On a opéré de la manière suivante : Le perré qui forme le talus amont a été recouvert d'une première couche de béton de $0^m,20$ d'épaisseur, puis d'une seconde couche de 0,30 d'épaisseur en pierres sèches, constituant le drain. Enfin sur ce dernier perré on a appliqué le revêtement en béton et au-dessus sa chape en bitume. A la partie inférieure du talus, à droite et à gauche du massif contenant les conduites de prise d'eau, on a disposé un drain collecteur communiquant avec le drain général par des barbacanes espacées de 2 mètres en 2 mètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les drains collecteurs versent leurs eaux dans la galerie donnant accès aux robinets et de là dans l'aqueduc inférieur.

Déversoirs. — Les digues des réservoirs doivent être munies de déversoirs pour l'écoulement du trop-plein en temps d'orages ou de crues. Ils sont construits en briques, en pierres ou en bois et établis de manière que l'eau en s'écoulant ne puisse acquérir une vitesse suffisante pour dégrader l'ouvrage.

Voici les dispositions prises dans les deux grands barrages dont nous avons parlé plus haut. Le barrage du lac d'Orédon est muni d'un déversoir de 40 mètres de longueur creusé dans le granit à droite du barrage. Dans les plus grandes crues, l'épaisseur de la lame d'eau qui s'écoule par ce déversoir sera de $0^{m},50$ correspondant à un débit de 25 mètres cubes par seconde.

Au barrage du Pas du Riot (sur la rivière du Furens), on a disposé un déversoir de superficie de 30 mètres de longueur établi à 1 mètre en contre-bas de la chaussée du barrage afin de permettre aux eaux de s'écouler quand le réservoir est plein. Ces eaux tombent dans un canal de décharge qui les conduit au Furens par sept chutes successives de $3^{m},50$ de largeur.

Prises d'eau. — Les prises d'eau des réservoirs d'approvisionnement s'établissent de diverses manières suivant l'importance de l'ouvrage.

La figure 40 donne la coupe d'une prise d'eau pour très-petits réservoirs. Elle consiste en une buse en bois logée dans le corps de la digue et fermée par une vanne qu'on manœuvre à l'aide d'une tige. Ces buses doivent non-seulement être goudronnées avant leur pose, mais pour éviter toute infiltration il est nécessaire de les garnir extérieurement de diaphragmes rectangulaires en bois autour desquels on pilonne des corrois en terre grasse.

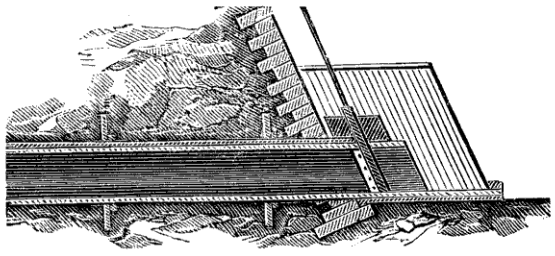


Fig. 40.

Dans les réservoirs importants, on peut faire la prise d'eau au moyen d'un

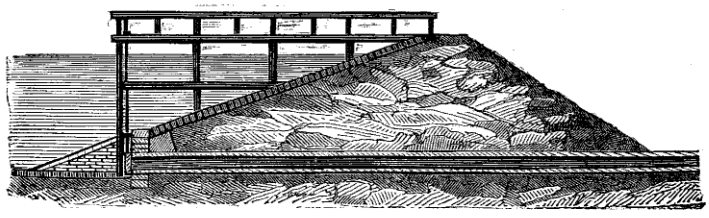


Fig. 41.

aqueduc construit sous la digue et dont la tête d'amont est garnie d'une vanne. Cette dernière se manœuvre de l'extrémité d'une estacade (fig. 41). Enfin on peut encore employer des tuyaux de fonte noyés dans la digue, engagés du côté de l'eau dans une tête en maçonnerie et fermés par des vannes métalliques glissant dans des rainures. Les deux dispositions que nous venons d'indiquer se retrouvent dans les ouvrages exposés par le Ministère des travaux publics.

En outre des prises d'eau, les réservoirs doivent être munis de bondes de vidange. Au réservoir du Furens (voir page 314), l'évacuation des eaux se fait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par un tunnel de vidange de 21m,10 de longueur entre les têtes, creusé dans le rocher contre lequel s'appuie le barrage sur la rive droite de la rivière. Le tunnel a été fermé à son extrémité, du côté du barrage par un massif de 20 mètres d'épaisseur, dans lequel on a logé deux tuyaux de 0m,40 de diamètre munis chacun d'un robinet ordinaire et d'un robinet de sûreté.

Les tuyaux peuvent se suppléer mutuellement; ils se déversent par l'intermédiaire d'un puisard destiné à amortir le choc des eaux, dans des rigoles maçonnées qui aboutissent à un répartiteur. On peut envoyer ainsi les eaux dans les biefs de deux usines placées en aval du barrage, ou dans le lit du Furens.

Au barrage du lac d'Orédon (voir page 315), la prise d'eau se fait par onze conduites en fonte de 0m,30 de diamètre terminées en aval par des robinets-vannes de même dimension, et du type de ceux employés dans la distribution des eaux de la ville de Paris. A l'amont, chaque tuyau se termine par une partie évasée de 0m,60 de diamètre. Ces onze conduites sont enchâssées dans un massif en béton de ciment de Portland d'une hauteur de 7 mètres et d'une épaisseur de 8 mètres. Elles sont disposées sur deux rangées; la rangée inférieure en contient 5. Pour arriver aux robinets par l'aval, on suit une galerie d'accès superposée à l'aqueduc et portant sur toute sa longueur le poids du barrage.

Barrage de la Gileppe. — Nous venons de passer en revue les deux ouvrages dont les plans avaient été exposés par le Ministère des travaux publics, en essayant de faire ressortir les méthodes de construction suivies dans leur exécution. Il nous reste maintenant à parler d'une œuvre remarquable à tous égards, exécutée tout récemment en Belgique par un ingénieur de grand talent, *M. Bidaut.* Nous voulons parler du *barrage de la Gileppe,* destiné à créer une réserve d'eau pure indispensable pour une ville aussi industrielle que Verviers.

Après une série de jaugeages faits pendant deux années consécutives avec le plus grand soin, on trouva qu'en barrant la vallée de la rivière la Gileppe on pouvait constituer un bassin capable d'emmagasiner un volume de 12,000,000 de mètres cubes d'eau, et créer ainsi, une réserve qui, renouvelée deux fois dans les années moyennement pluvieuses, devait suffire à l'alimentation de la ville. Pour l'exécution du barrage, M. Bidaut avait devant lui deux exemples, celui du *Furens* et celui d'*Alicante* (1), dont la valeur est consacrée par trois siècles d'existence.

Le premier mesure 50 mètres de hauteur, le second 45 mètres.

M. Bidaut choisit, pour établir le barrage, un point, situé à 1,500 mètres de l'embouchure de la rivière, où la vallée présente sur 600 mètres de longueur un retrécissement continu.

Le barrage a 47 mètres de hauteur, revanche comprise. Deux déversoirs, inférieurs de 2 mètres à la chaussée, empêchent les eaux de s'élever jusqu'à la crête et les maintiennent au niveau normal de 45 mètres. Le lac artificiel ainsi créé à l'amont de l'ouvrage a une surface de 80 hectares 5 ares et contient 12,238,916 mètres cubes. La prise des eaux se fait par deux galeries souterraines accompagnées chacune d'un puits qui, après avoir servi au percement, permet aujourd'hui de manœuvrer les vannes.

Galeries. — Les galeries de prises d'eau ont servi pendant la construction du mur à l'écoulement des eaux du ruisseau. On évitait ainsi de pratiquer dans la maçonnerie une brèche qui pouvait compromettre la stabilité et l'imper-

(1) Voir la description de ce remarquable travail dans l'ouvrage de M. Aymard, *Irrigation du midi de l'Espagne.* 1 vol. in-8° et atlas in-4°. Prix : 30 fr. E. Lacroix. éditeur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

méabilité du barrage. C'est, du reste, le même système qui a prévalu dans les grands travaux analogues du Furens (Saint-Étienne) et du Tibi (Alicante).

Les profils de ces deux derniers barrages peuvent donner lieu à une comparaison intéressante en ce qu'ils représentent nettement les écoles française et espagnole.

M. Bidaut a classé entre eux le barrage de la Gileppe, il a diminué la largeur de la chaussée du barrage espagnol et a augmenté l'empâtement déjà très-grand dans le type du Furens. Les considérations qui ont guidé cet éminent ingénieur dans le choix de dimensions qui paraissent, peut-être, exagérées, sont utiles à rappeler. Tandis que le Furens ne doit renfermer que 2,000,000 de mètres cubes, le bassin d'Alicante en contient 3,700,000 et celui de la Gileppe peut en emmagasiner 12,000,000 en temps normal et 14,000,000 si les déversoirs deviennent insuffisants. Il était donc excessivement important de se mettre entièrement à l'abri des chances d'une rupture dont les conséquences eussent été si funestes.

De plus, ces trois barrages ont des longueurs très-différentes.

Au lieu de 9 mètres à la base, le barrage de la Gileppe en a 82; au lieu de 60 et de 100 mètres au sommet, il en a 235. Or, il est admis généralement que les murs destinés à supporter la pression de l'eau doivent être d'autant plus épais qu'ils sont plus longs.

Cet ouvrage, par l'ensemble de ses dimensions, dépasse tout ce qui a été fait jusqu'à ce jour. Chacun des déversoirs, consistant en deux tranchées faites dans les roches sur les deux flancs de montagnes, a 25 mètres de large au plafond et une pente de 10 à 40 0/0. Ils peuvent ainsi écouler 125 mètres cubes par seconde sous une charge de 2 mètres. Le plus fort débit de la Gileppe ne pouvant dépasser 50 mètres cubes par seconde, on voit que ces installations sont largement suffisantes pour empêcher tout débordement.

Ce beau travail a coûté à l'État 4,549,000 francs.

C'est dans le réservoir de la Gileppe que la ville de Verviers s'approvisionne des eaux pures indispensables aux usines qui fabriquent les draps. L'ensemble des travaux de prise d'eau se présente sous forme d'un fer à cheval contournant le barrage à l'aval.

Au point de jonction des conduites de prise des deux rives sont branchées les tuyaux en fonte amenant l'eau dans la ville de Verviers. L'étude détaillée des différentes parties de ces ouvrages présenterait un grand intérêt, mais dépasserait certainement le cadre de notre travail.

B. — Dérivations de ruisseaux, de rivières et de fleuves.

Prises d'eau et barrages en rivière pour petites irrigations (Pl. X). — Quand les eaux sont prises dans des rivières non navigables ou dans des ruisseaux, et qu'il s'agit par conséquent de petites irrigations, on établit une rigole de dérivation avec un barrage en aval de son embouchure, ou simplement une rigole avec épi sans barrage. Dans le premier cas, on élève le niveau de la prise et on peut ainsi arroser des terrains supérieurs à ceux qu'on pourrait arroser naturellement. Dans le second cas, on se contente d'irriguer des terrains inférieurs au plan d'eau du ruisseau à l'endroit de cette prise.

Prises d'eau sans barrage. — Quand on établit une prise d'eau sans barrage, on peut introduire l'eau dans la rigole de dérivation sans ouvrage spécial par un déversoir, par un aqueduc couvert traversant les digues du cours d'eau, ou enfin par des vannes.

Quand la prise d'eau se fait sans aucun ouvrage spécial et directement, il faut avoir soin de régulariser la section des rigoles sur une certaine étendue et de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

disposer de loin en loin des profils types en maçonnerie permettant de se repérer quand on fait des curages. Si on ne prenait cette précaution, la rigole pourrait enlever à la rivière un volume d'eau plus considérable qu'il n'était prévu. Quand la prise se fait par un déversoir, on limite bien la quantité d'eau dérivée au maximum en temps d'étiage; mais quand il arrive une crue, il arrive dans la rigole un volume d'eau considérable et on peut être inondé. Il en est de même si la prise d'eau se fait par un aqueduc couvert non muni de vannes.

Dans les deux cas examinés ci-dessus, il convient donc de ménager en un

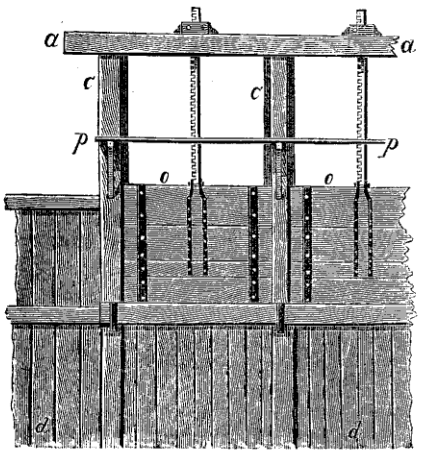


Fig. 42.

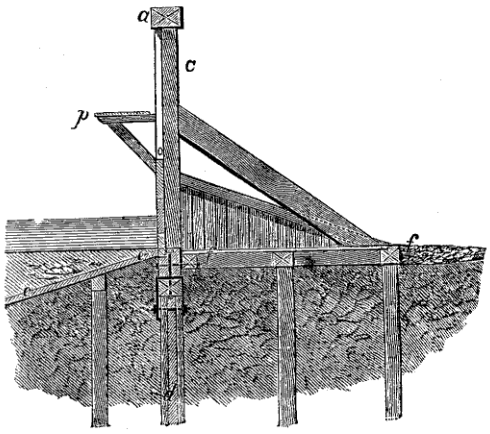


Fig. 43.

certain point de la rigole deux enclaves en maçonnerie avec rainures permettant d'y disposer des poutrelles pour arrêter l'eau. Généralement pour régler l'entrée de l'eau dans le canal et la supprimer en cas de besoin, on dispose des *martelières,* ainsi que le montrent les deux figures 42 et 43.

Les vannes O, O se meuvent dans des cadres en charpente à l'aide de crics.

Cette construction est établie sur le terrain solide, ou sur un massif de béton contenu par des pieux et des enrochements.

On établit un avant et un arrière-radier pour s'opposer aux affouillements.

Il importe qu'au point de raccordement avec le cours d'eau le canal fasse avec ce dernier un angle aussi aigu que possible. L'embouchure du canal est évasée et on la raccorde avec les rives du cours d'eau au moyen de courbes. On défend les raccordements par des revêtements en gazon, en clayonnages en pierres ou en maçonnerie. Les figures 1, 2 et 3 (Pl. X), indiquent la disposition d'un ouvrage de ce genre.

Prises d'eau avec barrages. — Les barrages établis sur un cours d'eau pour élever son niveau sont *fixes* ou *mobiles.*

Barrages fixes. — Pour établir un barrage fixe, on peut suivre un grand nombre de méthodes différentes. Ainsi on peut battre deux fils de pieux et palplanches, puis les réunir par des moises dans le sens longitudinal et transversal, et enfin remplir les vides avec des moellons bruts. On termine par des glacis exécutés avec des moellons posés jointivement.

Quand on veut établir un barrage plus élevé, on bat deux lignes de pieux et palplanches reliés par des moises. On constitue ainsi un coffrage que l'on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

remplit de moellons et qu'on recouvre ensuite de madriers jointifs. A l'aval on établit un radier en charpente. On peut encore exécuter des barrages en accumulant des pierres dans le lit du ruisseau, il se dépose entre elles du sable qui finit par obstruer le passage de l'eau; enfin on peut disposer dans le lit du ruisseau des couches de fascines alternées avec du gravier et fixées au sol et entre elles à l'aide de piquets.

Quand il s'agit de ruisseaux peu importants, on construit le barrage perpendiculairement aux deux rives, mais sur les rivières on adopte une ligne brisée ou un arc de cercle ayant sa convexité tournée à l'amont. Cette disposition a pour but de rejeter l'eau dans l'axe de la rivière et de diminuer les remous et les affouillements.

Barrages mobiles. (Pl. XI.) — Les barrages mobiles sont du même genre que ceux en usage sur les cours d'eau navigables, on en trouve la description dans les ouvrages spéciaux aux canaux de navigation.

Nous allons cependant décrire un système de barrage mobile dû à M. Charles Girardon, ingénieur des ponts et chaussées, et dont il existait un modèle à l'échelle de $0^{m},10$ par mètre dans l'exposition du Ministère des travaux publics.

Ce barrage a été combiné de manière à réunir les avantages suivants :

Mobilité, facilité et sécurité des manœuvres, solidité, simplicité et économie.

Il a été construit en vue de s'appliquer aux rivières à régime torrentiel et à fond mobile. On sait que sur ce genre de cours d'eau les barrages fixes ont l'inconvénient capital d'exhausser le lit en amont.

Les détritus de toute sorte viennent s'amonceler en ce point et causent pendant l'été des émanations pestilentielles. D'autres fois, et le cas se présente si le barrage est établi en rase campagne, l'exhaussement du lit en amont cause des inondations fréquentes et des ensablements chez les riverains.

Les barrages portent, il est vrai, des appareils de décharge; mais ils sont le plus souvent inefficaces parce qu'ils ne sont pas établis dans l'axe de la rivière à cause de la difficulté de les aborder pendant les crues, ou de la dépense qu'occasionnerait l'établissement d'une passerelle de manœuvre.

Les inconvénients signalés ci-dessus se faisaient surtout sentir dans les plaines du Forez. Nous avons vu que des associations syndicales s'étaient formées dans cette région pour exécuter de grands travaux d'assainissement consistant dans l'assèchement du sol et son irrigation ultérieure.

La plaine du Forez est très-insalubre à cause de sa faible déclivité vers la Loire et de l'imperméabilité du sous-sol de nature argilo-siliceuse. Elle est couverte de nombreux étangs mal entretenus. Enfin cette plaine est sillonnée par des affluents de la Loire qui y charrient un volume considérable de graviers et de sables. Pendant les orages et lors de la fonte des neiges, ces cours d'eau se transforment en torrents dévastateurs. Dans ces conditions, on impose aux agriculteurs et aux industriels qui prennent de l'eau, d'établir des barrages entièrement mobiles se prêtant à une manœuvre facile, quel que soit l'état des eaux.

Ce qui est aisé à faire à l'aide de vannes pour de petits canaux ou rigoles de distribution, l'est beaucoup moins quand il s'agit de rivières d'une certaine largeur. Il faut alors s'adresser aux systèmes connus : martelleries de vannes, barrages automobiles, barrages à aiguille, etc., qui présentent tous des inconvénients.

Le barrage dont le modèle était exposé a une longueur totale de 6 à 10 mètres et présente deux pertuis d'égale ouverture (voir Pl. XI).

Nous empruntons la description suivante à la notice qui accompagnait ce modèle :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Des poutrelles horizontales sont appuyées d'une part contre la maçonnerie des culées, et d'autre part contre une pile métallique dite à double feuillure et à bascule.

Ce dernier ouvrage, établi au milieu de la rivière, comprend trois parties essentielles, savoir : une double feuillure verticale dont la section est celle d'un T et qui peut tourner à sa base autour d'un axe horizontal et parallèle à la direction du barrage; une semelle d'encastrement qui est scellée dans le radier et porte les deux axes de rotation. La double feuillure présente, à sa partie supérieure et du côté d'aval, un arrêt avec glissière courbe; les joues qui reçoivent les poutrelles ont chacune au moins $0^m,10$.

Le bracon d'appui se termine à son extrémité supérieure par un galet de friction; un peu plus bas se trouve un anneau avec chaîne de traction. Les dimensions sont calculées de telle sorte qu'on n'ait à craindre aucune déformation permanente sous la pression de l'eau ou par le choc des corps flottants; le coude du point d'attache avec l'axe de rotation doit être renforcé spécialement. Deux nervures placées en dessus et en dessous du bracon, dans le sens de sa longueur, ajoutent à sa rigidité. Les pièces ne sont jamais trop robustes pour résister à toutes les causes de détérioration.

Les poutrelles destinées à la fermeture des pertuis ont des équarrissages calculés d'après le niveau qu'elles occupent. Mais ici encore il faut considérer les dimensions théoriques comme des minima dont il est prudent de se tenir assez loin. Le bois est même exposé à une détérioration plus rapide que celle du fer. Cependant on ne doit rien exagérer, parce qu'on augmenterait la dépense et qu'on rendrait les manœuvres plus difficiles.

Les poutrelles ont une longueur telle que, dans leur position normale, elles ne s'appuient à chaque bout que sur $0^m,10$. L'extrémité de rive de chaque poutrelle est munie d'un boulon à œillet auquel une chaîne d'amarre est attachée.

Toutes les chaînes d'amarre des poutrelles d'un même pertuis sont fixées à un gros anneau qui est scellé sur la plate-forme de la culée correspondante.

Les culées n'ont point de rainures, mais de simples feuillures, ménagées à leur angle d'amont. Les joues de ces feuillures ont $0^m,30$ de largeur, c'est-à-dire $0^m,10$ de plus que la somme des deux appuis extrêmes des poutrelles.

Indépendamment de l'anneau d'amarre dont on a parlé plus haut, la plate-forme de chaque culée est pourvue d'un levier articulé qui porte un bout de chaîne armé d'un crochet d'attache. Un bras de manœuvre, que l'usinier garde chez lui, s'adapte à ces leviers toutes les fois qu'il en est besoin. Tous les bois reçoivent plusieurs couches de peinture à l'huile, les fers sont en outre passés au minium.

Telle est la composition de la partie mobile du barrage. La partie fixe présente un seuil faisant saillie de $0^m,20$ au-dessus du radier d'aval et de la semelle d'encastrement de la pile à bascule. Ce seuil sert d'appui à la double feuillure de la pile quand elle occupe la position verticale et forme en outre la base de pose des poutrelles.

Les dimensions de la culée sont déterminées par une double considération : elles doivent résister à la poussée de l'eau et au choc des corps flottants, et aussi présenter une plate-forme supérieure assez étendue pour que les ouvriers puissent y travailler à l'aise. Les angles de la maçonnerie sont arrondis : de cette façon ils sont moins cassants et détériorent moins les poutrelles.

Le système de fondation dépend de la nature du fond de la rivière. Le modèle qui était exposé au Champ de Mars suppose une enceinte en pieux et palplanches avec enrochements à l'extérieur. Le radier de chute est maçonné avec des moellons de choix, de forte dimension. Les talus des berges et le fond de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la rivière à l'amont et à l'aval sont perreyés avec soin et défendus par des enrochements sur une longueur suffisante pour empêcher les affouillements et les érosions.

La manœuvre du barrage doit pouvoir se faire pour ramener la retenue au niveau réglementaire et empêcher un débordement à l'amont, ou pour produire une chasse dont le but est de nettoyer le lit encombré par des dépôts, enfin pour éviter l'amoncellement des glaces en hiver ou pour exécuter les travaux de réparations, de curage, etc.

Ces diverses manœuvres imposent la condition de pratiquer l'abatage soit instantanément, soit d'une manière progressive.

Pour ouvrir progressivement un pertuis, on emploie le levier articulé de la culée voisine. Après avoir accroché ce levier à la chaine d'amarre de la première poutrelle, on tire à soi cette pièce à laquelle on imprime un mouvement de rotation autour de son arête inférieure d'aval. Un homme suffit le plus souvent. La poutrelle glisse sur la joue de la feuillure de la pile métallique en s'enfonçant dans la feuillure de la culée, elle quitte ensuite la pile et tombe à l'eau à l'aval du barrage.

On enlève de la même façon autant de poutrelles qu'il est nécessaire.

Le rétablissement du barrage ne présente aucune difficulté.

Pour ouvrir instantanément les deux pertuis à la fois, on accroche un des leviers articulés à la chaîne tendue du bracon d'appui de la pile métallique ; on abat sur le côté cette pièce en tirant sur la chaîne avec force et vivacité, la double feuillure cède alors à la pression de l'eau qui lui est transmise par les poutrelles, et bascule vers l'aval en se couchant sur la semelle d'encastrement. Toutes les poutrelles, repoussées par le courant, mais retenues par les chaînes d'amarre, viennent flotter le long des culées et des talus perreyés d'où on les hisse sur les berges. Les pertuis étant ainsi complètement ouverts, la section d'écoulement du cours d'eau reste libre pendant toute la durée de la crue. L'obliquité de l'axe de rotation du bracon d'appui a pour effet d'éloigner rapidement l'extrémité libre de cette pièce des poutrelles et par conséquent d'empêcher ces dernières de le heurter dans leur chute.

Pour rétablir le barrage, il est nécessaire qu'un ou deux hommes descendent à l'eau pour redresser la pile à bascule.

Les avantages de ce système, imaginé comme nous l'avons déjà dit par M. l'ingénieur des ponts et chaussées Girardon, chargé du service de l'arrondissement de Montbrison (Loire), sont les suivants : La manœuvre partielle ou totale est facile en tout temps. On n'obtient une étanchéité aussi complète qu'avec des vannes. Le mécanisme n'exige l'emploi d'aucunes pièces qu'un forgeron ordinaire ne sache faire, réparer ou poser.

Les dépenses d'exécution varient suivant les lieux, la largeur des rivières, la hauteur des retenues, la nature des bois, etc.

Quatre barrages établis sur les rivières du Vizery et du Moingt à proximité de Montbrison ont coûté, en moyenne, chacun 2,500 francs. Dans ce prix, la partie mobile entre pour 1,400 francs. La vanne de prise d'eau et les autres ouvrages sont comptés à part.

La longueur entre les culées varie entre 6m,50 et 10 mètres; la hauteur, entre 6m,50 et 10 mètres.

Prises d'eau et barrages de prises d'eau des canaux d'irrigation exécutés récemment. — Parmi les plans exposés par le Ministère des travaux publics figuraient plusieurs ouvrages de prise d'eau et de barrages établis pour des canaux d'irrigation en cours d'exécution ou exécutés dans ces dernières années et sur lesquels nous donnerons quelques renseignements :

1° *Barrage de prise d'eau du canal d'amenée de la Gravona* (Corse). — La lon-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gueur du barrage de la Gravona, y compris le masque de garantie contre les crues, est de 42 mètres.

Il a une hauteur moyenne de 4 mètres, et une hauteur maxima de 5m,60. Il est en maçonnerie hydraulique avec couronnement de pierre de taille. Le parement aval affecte en couronne la forme d'un arc de cercle de 50 mètres de rayon avec un fruit de 1/10e. L'épaisseur à la clef de la maçonnerie est de 2 mètres. La dépense d'exécution a été de 38,760 fr. 47 c.

2° *Barrage de prise d'eau et ouvrages accessoires du canal d'irrigation de la Bourne* (Drôme). — La prise d'eau se fait au moyen d'un barrage placé à 1,800 mètres en aval du bourg de *Pont en Royans*. En cet endroit, la rivière de la Bourne est encaissée entre deux murs de rochers, de grès durs à gauche et de molasse compacte à droite.

Le barrage d'une longueur en couronne de 71 mètres et élevé de 9m,43 au-dessus des basses eaux sera enraciné dans le roc, au fond et sur les deux rives. Ses fondations doivent être descendues à 7 mètres en contre-bas du lit de la rivière. Ce barrage est tracé suivant un arc de cercle convexe vers l'amont. Sur 1m,50 à 2 mètres, on doit faire les parements en maçonnerie ordinaire, et ils seront reliés de distance en distance par des murs de refend de même nature. On remplira l'intervalle compris entre les parements et les murs de refend avec du béton. De chaque côté du barrage, on a établi dans le roc une galerie de décharge de 5 mètres de largeur et de 3m,50 de hauteur sous clef, calculée de manière à donner passage aux crues périodiques de la rivière.

Ces galeries sont fermées à l'amont par trois vannes rectangulaires en fonte de 1m,85 de large et de 2m,90 de haut.

Elles seront manœuvrées par un ou deux hommes au plus, grâce à une disposition qui a pour but de réduire autant que possible les résistances en substituant un frottement de roulement à un frottement de glissement.

La vanne, formée d'un écran en fonte garni de nervures, repose sur deux paires de galets par l'entremise de deux essieux. Elle descend par une cheminée percée dans le mur de garde en roulant sur deux rails verticaux posés du côté d'aval. Elle s'applique contre le cadre d'obturation à l'amont, dans une position rigoureusement verticale.

Le plan du cadre et celui de roulement sur les rails ne sont pas parallèles, ils se rapprochent vers le bas; et l'étanchéité du contact s'obtient par le coincement que favorisent le poids de l'appareil et sa rigidité.

Une vanne de sûreté plus légère et facilement transportable peut descendre le long du mur de garde afin de fermer les galeries en cas de réparation de la vanne principale. La prise d'eau proprement dite s'ouvre dans la falaise à 140 mètres en amont du barrage; elle est fermée par deux vannes de 2m,50 de largeur chacune, sur 2 mètres de hauteur.

3° *Barrage de prise d'eau du canal d'irrigation du Verdon* (commune d'Aix). Ce barrage est établie sur la rivière à régime torrentiel qui porte le même nom, et qui prend sa source à Castellane dans les Basses-Alpes. Cette rivière se jette dans la Durance à 10 kilomètres en amont du défilé de Mirabeau.

Le barrage est établi dans une gorge de 36 mètres de largeur : seulement il est construit en maçonnerie et a la forme d'un trapèze curviligne.

En plan, le barrage affecte la forme d'un arc de cercle de 36 mètres de corde et de 5m,80 de flèche, encastré à ses extrémités sur 1m,50 à 2 mètres de profondeur dans le rocher. La hauteur des maçonneries au-dessus du plan des fondations est de 11m,33, la largeur à la base de 9m,91 et au sommet de 4m,32.

L'ouvrage qui est assis sur le rocher a une hauteur totale de plus de 18 mètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La prise d'eau est pratiquée dans le massif de rocher qui occupe la gauche du barrage; elle est formée de quatre ouvertures en plein cintre, fermées par des vannes et débouchant dans un souterrain de 70 mètres de longueur.

Au milieu de la façade de la prise se trouve un avant-corps dont le vide intérieur se prolonge à travers la roche jusqu'au plafond de la rivière à l'entrée d'une galerie souterraine latérale au Verdon. Cette galerie sert à l'évacuation d'une partie des eaux de la rivière, sa largeur a été divisée à l'aplomb du canal en trois ouvertures munies chacune d'une paire de vannes. L'établissement de ce barrage a exigé trois campagnes et a présenté des difficultés.

Tracé des canaux, pentes et profils en travers.

Les canaux d'irrigation sont plus ou moins importants. On peut distinguer :

1° Les canaux d'amenée ou rigoles alimentaires dont le débit est à peu près constant sur toute leur étendue et qui sont établis entre la prise d'eau et le point de départ du canal d'irrigation proprement dit. — 2° Les canaux d'irrigation sur lesquels s'embranchent les rigoles de distribution ou artères qui amènent l'eau jusqu'aux limites des propriétés à irriguer. Le débit d'un canal d'irrigation va donc en diminuant depuis son point de départ jusqu'à son extrémité. — 3° Les rigoles secondaires, ou rigoles de distribution, qui amènent les eaux puisées dans le canal aux terrains à irriguer. — 4° Les artérioles, ou rigoles tertiaires, qui s'embranchent sur les rigoles secondaires et distribuent l'eau dans l'intérieur des propriétés.

Les dimensions de ces divers canaux et des rigoles se déterminent par les considérations suivantes : Q étant le volume d'eau à débiter par seconde, I étant la pente par mètre, S la section de l'eau dans le canal, P le périmètre mouillé et V la vitesse moyenne, on a entre ces diverses quantités les relations suivantes :

$$\frac{S}{P} = R \text{ rayon moyen et } Q = S \times V.$$

La formule de Prony donne ensuite :

$$I = \frac{P}{S}(aV + bV^2),$$

d'où l'on tire en remplaçant a et b par leurs valeurs déduites d'expériences :

$$V = 56{,}86\sqrt{RI} - 0{,}072.$$

Cette formule permet de connaître l'une des deux quantités V ou I, quand on se donne l'autre quantité et la forme de la section du canal. Cette section se détermine par des considérations locales.

Quand le canal est creusé dans la terre, la largeur du fond est prise égale à environ 4 à 6 fois la profondeur de l'eau. Les talus sont inclinés dans le rapport de 1 de base pour 2 de hauteur, dans le cas où ils sont perreyés; de 1 sur 1 pour les terres fortes et enfin de 2 de base pour 1 de hauteur quand il s'agit de terres ordinaires.

On remarquera que la formule précédente donnant la vitesse de l'eau dans un canal dont on se donne la pente I, fait abstraction de la nature des parois. Or, il résulte des recherches de M. Bazin que si, dans la pratique, la pente longitudinale et la figure du profil transversal du canal n'ont pas grande influence sur le débit, il n'en est pas de même de la nature de la paroi.

En conséquence, cet ingénieur a considéré quatre cas généraux correspon-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dant autant que possible aux données les plus ordinaires de la pratique et a indiqué pour chacun d'eux les formules reproduites ci-dessous :

Parois très-unies. $\frac{RI}{V^2} = 0{,}00015 \left(1 + \frac{0{,}03}{R}\right)$.

Parois unies. $\frac{RI}{V^2} = 0{,}00019 \left(1 + \frac{0{,}07}{R}\right)$.

Parois peu unies. $\frac{RI}{V^2} = 0{,}00024 \left(1 + \frac{0{,}25}{R}\right)$.

Parois en terre. $\frac{RI}{V^2} = 0{,}00028 \left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right)$.

Si on représente par A les seconds membres des formules ci-dessus, on a la formule générale $\frac{RI}{V^2} = A$, d'où $V = \sqrt{\frac{RI}{A}}$.

On trouve dans les aides-mémoire des tables toutes calculées donnant les valeurs de A qui correspondent à des valeurs de R pour chacune des quatre catégories dans lesquelles on a rangé les parois; de sorte que lorsqu'on connaît R et I, on en déduit facilement la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau par la formule $V = \sqrt{\frac{RI}{A}}$

Si on appelle v la vitesse de l'eau à la surface, V la vitesse moyenne et U la vitesse du fond du canal, on a, d'après Dubuat :

$U = 2\,V - v$, d'où $U = 0{,}75\,V$ (en admettant que $v = 1{,}25\,V$)
et enfin $V = 1{,}33\,U$.

On se donne généralement U de telle sorte que les parois du canal ne soient pas dégradées et on en déduit la vitesse moyenne V qu'il ne faut pas dépasser. Ces valeurs maxima de U, à partir desquelles les parois du canal commencent à se dégrader, sont les suivantes :

	mèt.		mèt.
Terres détrempées brunes	0,076	Pierres cassées, silex	1,220
Argiles tendres.	0,152	Cailloux agglomérés ou poudings,	
Sables.	0,305	schistes tendres	1,520
Graviers.	0,609	Roches en couches.	1,830
Cailloux.	0,614	Roches dures.	3,050

La pente par mètre I qu'il convient de donner aux canaux se trouve comprise entre certaines limites; elle dépend de la nature des terrains et doit être suffisamment réduite afin de ne pas exagérer la vitesse de l'eau. Si on adopte une forte pente, on diminue la section du canal ainsi que les pertes par évaporation et infiltration, mais on diminue aussi la surface de terrain irrigable puisqu'on abaisse le plan d'eau.

Les pentes des grands canaux d'irrigation peuvent varier de $0^m,10$ à $0^m,30$ par kilomètre. Elles se trouvent généralement comprises entre $0^m,20$ à $0^m,30$ par kilomètre; celles des rigoles secondaires peuvent s'élever de 1 mètre à $1^m,20$ par kilomètre. Cette dernière limite est rarement dépassée.

Voici les pentes adoptées sur plusieurs canaux d'exécution récente et dont les plans étaient exposés dans le pavillon du Ministère des travaux publics :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1° Canal d'amenée de la Gravona pour l'alimentation de la ville d'Ajaccio et l'irrigation de son territoire.

	Pentes par mètre.
Parties en terre	0,0005
Ouvrages d'art	0,0016
Souterrains	0,0010
Levée de Ponte-Bonello (pente exceptionnelle pour raison d'économie)	0.0032
Pont de Ponte-Bonello	0,0050

2° Canal d'irrigation de la Bourne (Drôme).

En section courante	0,00025
— (exceptionnellement)	0,00020
En tunnels et déblais de rochers	0,00050
Ouvrages d'art	0,00100

3° Canal du Verdon (branche mère) pour l'irrigation de la commune d'Aix et des communes environnantes.

Pente des parties à ciel ouvert	de 0,00019 à 0,00030
Souterrains (section réduite)	0,0011

Les considérations qui précèdent et les études faites sur le terrain permettent d'établir le profil en long du canal. Connaissant d'ailleurs le volume d'eau que ce canal doit débiter, on peut arrêter après quelques tâtonnements la forme et les dimensions à donner à son profil en travers.

La forme de la section est généralement trapézoïdale. Quand on se trouve dans le rocher, on peut adopter une forme à peu près rectangulaire.

Dans le premier cas, la pente à donner aux parois dépend évidemment de la nature plus ou moins consistante du terrain, et on s'arrange toujours de manière à avoir sur la berge une crête d'au moins 30 à 40 centimètres au-dessus de l'eau. Quand on se trouve dans des terrains très-perméables, il faut avoir recours à des cuvettes étanches en béton ou en maçonnerie.

Pour les parties en remblai, on est conduit également à adopter des cuvettes en maçonnerie ou à étancher le canal après que les tassements se sont produits. C'est ce qui est arrivé pour le canal de la Gravona qui comprend une longueur de 3,336 mètres en remblai ou creusée dans un sol granitique très-perméable. Après le tassement des terres, on dut revêtir le canal d'une couche de béton hydraulique à laquelle on donna une épaisseur au plafond de $0^m,15$ et sur les parois de $0^m,15$ à $0^m,10$. Le béton fut ensuite recouvert d'un enduit de $0^m,015$ en mortier hydraulique.

Si le canal a peu d'importance, on arrive plus économiquement à empêcher les infiltrations en garnissant les parois intérieures d'une couche de terre grasse pilonnée. Pour des infiltrations peu considérables, on se contente souvent de délayer dans l'eau du canal des terres argileuses et du sable. Ces matières finissent par se déposer dans le lit et par combler les fissures du sol.

Nous avons réuni, fig. 44 à 55 (page 328), différents types de profils en travers parmi lesquels figurent quelques-uns de ceux adoptés par M. Perrier, inspecteur général des ponts et chaussées, dans la construction du canal de Carpentras. Ce sont d'excellents modèles pour l'exécution des canaux d'irrigation importants.

Ouvrages d'art des grands canaux d'irrigation (Pl. XII.) — Les grands canaux d'irrigation donnent lieu à des travaux d'art importants et qui présentent la plus grande analogie avec ceux des canaux de navigation.

Ainsi, pour la traversée des vallées, on aura recours soit à des aqueducs sur arcades, soit à des siphons formés d'un certain nombre de tuyaux posés les uns

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Principaux types de profils en travers du canal de Carpentras.

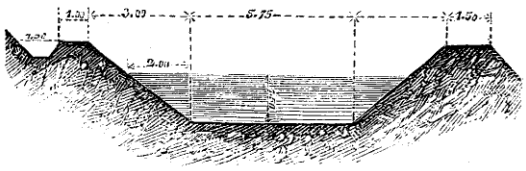


Fig. 44. — Profil du canal en terrain ordinaire.

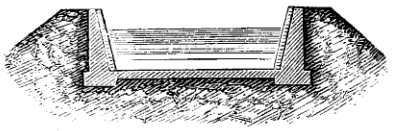


Fig. 49. — Profil en remblai avec revêtement en maçonnerie.

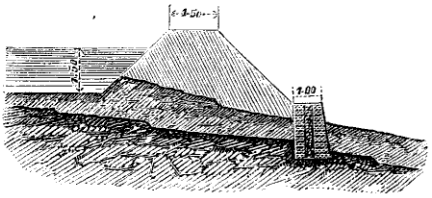


Fig. 45. — Profil avec banquettes en pierre sèche pour arrêter le glissement des terres.

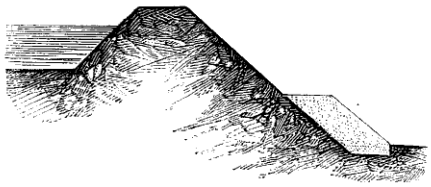


Fig. 50. — Profil avec banquette en gravier pour arrêter le glissement des terres.

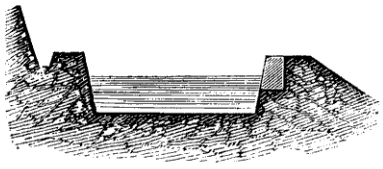


Fig. 46. — Profil dans le rocher.

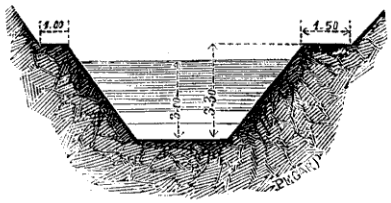
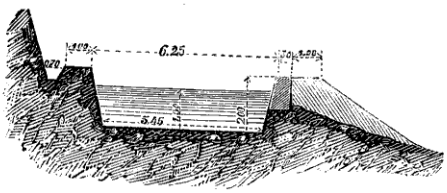


Fig. 51. — Profil en déblai dans le terrain imperméable.



Fg. 47. — Profil dans le safre argileux.

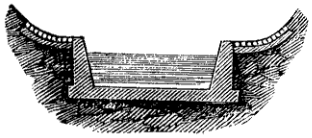


Fig. 52. — Profil dans la traversée des villages.

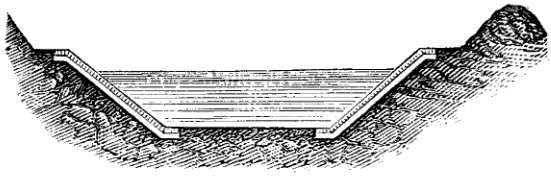
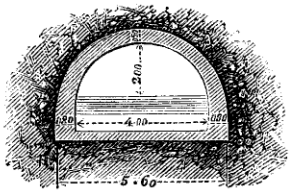


Fig. 48. — Profil dans des déblais de menu gravier.



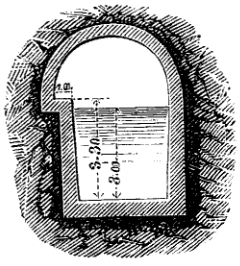


Fig. 53 et 54. — Types de tunnels.

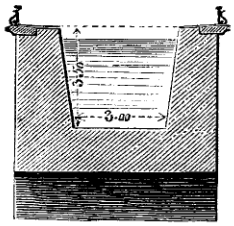


Fig. 55. Type d'arcature.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à côté des autres sur le sol ou enterrés à une petite profondeur. Les grands progrès faits depuis quelques années dans la fabrication des tuyaux en tôle de fer de grand diamètre permettent d'exécuter ces travaux assez économiquement.

Il faut aussi signaler l'emploi des tuyaux en béton de ciment, cette fabrication est appelée à rendre de très-grands services dans les travaux d'irrigation. L'emploi des siphons, souvent plus économique que celui des aqueducs sur arcatures pour le franchissement des vallées, est indispensable dans le cas où le canal projeté doit couper un cours d'eau ou une route située à peu près à la même hauteur que lui.

Le passage s'effectue à l'aide d'un aqueduc-siphon en maçonnerie, ou en fonte et maçonnerie, ou enfin en tôle; nous avons réuni quelques exemples de ces travaux dans la planche XII, nous y renvoyons le lecteur.

Nous passerons rapidement en revue les ouvrages d'art principaux exécutés récemment pour les canaux d'irrigation dont les plans, coupes et élévations étaient exposés dans le pavillon du Ministère des travaux publics en 1878.

1° *Ponts-aqueducs.* — Dans le canal d'irrigation du Forez, on remarque de nombreux ouvrages d'art, notamment un pont-canal sur la rivière de Bonson, un aqueduc pour le franchissement de la Mare; cet aqueduc a trois arches de 8 mètres d'ouverture en plein cintre. Au canal de la Gravona (Corse) établi pour amener les eaux de cette rivière dans la ville d'Ajaccio pour son alimentation en eau potable et pour l'irrigation de son territoire, on a dû établir 7 aqueducs pour franchir autant de ravins. Ces ouvrages comprenant ensemble 120 arches de 4 mètres à 8 mètres d'ouverture ont coûté 244,150 francs.

Le canal de la Bourne, exécuté par une société locale dans le but d'irriguer la vaste plaine qui s'étend au sud de l'Isère entre le Rhône et les derniers contre-forts des Alpes, est fécond en ouvrages d'art. Depuis sa prise d'eau jusqu'à son arrivée dans la plaine à irriguer, ce canal suit une vallée extrêmement resserrée et doit franchir de nombreux ravins.

Il passe sur le ravin de Tarze à l'aide d'un pont de 65 mètres de longueur, traverse la vallée de l'Isère sur un pont-canal de 235 mètres de longueur, établi à 35 mètres au-dessus du niveau d'étiage de la vallée. Ce pont désigné sous le nom de pont de Saint-Nazaire est construit dans une partie où la vallée est très-resserrée et où le lit de la Bourne a un étranglement brusque connu sous la dénomination de Goulet de Saint-Nazaire.

Il se compose de 4 petites arches de 10 mètres, d'une arche de 15 mètres (dont l'extrados est à 35 mètres au-dessus de l'étiage de la Bourne), de 8 arches de 12 mètres, d'une arche de 15 mètres au-dessous de laquelle passe la route départementale de Saint-Nazaire, enfin de 2 arches de 10 mètres. Les voûtes sont en plein cintre, elles ont leurs clefs à la même hauteur, et reposent sur des piles d'une épaisseur de $1^m,60$ à 3 mètres aux naissances, et d'un fruit de 1/20e. Les piles sont fondées sur le rocher dérasé; elles sont exécutées en maçonnerie de moellons calcaires de petit échantillon de Cruas (Ardèche) et en mortier de chaux hydraulique avec rejointoiement en ciment de Grenoble.

Les angles des piles et les têtes des voûtes sont en moellons tétués de même nature, et ils sont disposés de telle sorte que deux assises de parement correspondent à une assise d'angle. La pierre de taille est entièrement exclue.

Le canal franchit la Serne sur un pont de 90 mètres de longueur et de 27 mètres de hauteur.

Sur le canal du *Verdon* qui a pour objet l'irrigation de la commune d'Aix et des communes environnantes, on remarque les ponts-aqueducs suivants :

Pont-aqueduc de Beaurivet. — Il présente une longueur de $88^m,67$ et une hauteur de 14 mètres entre le couronnement des murs bajoyers et le fond de la vallée. Il est formé de 10 arches en plein cintre de 6 mètres d'ouverture. La

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

largeur de la cuvette sur le pont-aqueduc est de $2^m,61$ et la largeur de l'ouvrage entre les têtes est de $4^m,21$.

Pont-aqueduc de Malourie. — Ce pont a une longueur de $31^m,90$, une hauteur de 16 mètres au-dessus du fond du ravin qu'il traverse. Il se compose de 3 arches en plein cintre de 8 mètres d'ouverture. La largeur de la cuvette est de $2^m,60$; la largeur de l'ouvrage entre les têtes, de $4^m,16$.

Pont-aqueduc de Parouvier. — Longueur totale : $121^m,30$; hauteur du couronnement des murs bajoyers au-dessus du fond de la vallée : $20^m,75$. Il comprend 12 arches en plein cintre de 8 mètres d'ouverture.

Largeur de l'ouvrage entre les têtes.	$4^m,04$
Largeur de la cuvette.	$2^m,50$

Pont-aqueduc de Calèche. — Ce pont établi sur la branche secondaire du canal du Verdon (voir page 324) comprend 146 arches en plein cintre de 6 mètres d'ouverture, et une bâche en tôle de 20 mètres de portée pour la traversée de la route nationale n° 96. L'ouvrage est divisé en 12 sections, de 14 arches pour la partie du pont-aqueduc située en amont de la route nationale, et de 13 arches pour la partie située en aval, par des piles-culées munies de contre-forts.

Les culées ont une grande longueur et sont évidées. La culée d'amont présente 5 arceaux d'évidement, celle d'aval 8. Le tracé en plan est dirigé suivant la ligne de crête du faîte à franchir, on diminue ainsi la hauteur des plus hautes piles et on traverse la route nationale sous un angle de 50 degrés.

Dans la construction de ce pont, on a employé exclusivement la maçonnerie ordinaire; les parements des piles et des voûtes sont en moellons disposés par assises; ceux des tympans sont à joints incertains.

Voici les principales dimensions de l'ouvrage et la dépense d'exécution :

Longueur développée du pont-aqueduc.	$1,115^m,65$
Hauteur maxima —	$9^m,16$
Dépense totale (y compris l'établissement de la bâche métallique).	138,500 fr.
Prix du mètre courant.	142 fr.

Canal d'irrigation du Rhône. — Dans le canal d'irrigation du Rhône (projeté), il existera de nombreux aqueducs; les plans exposés dans l'annexe du Génie civil (classe 66) montraient les types qui seront adoptés.

2° *Siphons.* — Passons en revue les principaux siphons construits pour les différents canaux d'irrigation dont les plans étaient exposés par le Ministère des travaux publics.

Canal d'amenée de la Gravona (Corse).

Siphon des Padule. — Ce siphon est construit en tuyaux de fonte de $0^m,80$ de diamètre, avec joints en plomb dans des emboîtements :

Longueur horizontale du siphon.	$451^m,50$
Charge maxima.	$39^m,28$
Charge par mètre courant.	$0^m,0087$

La décharge se fait par un robinet-vanne (système Herdevin) de $0^m,80$ de diamètre, ayant coûté 2,650 francs. Dépense totale du siphon. $46,445^f,50$. Dépense par mètre courant (non compris la vanne de décharge). . . . . 97^f.

Canal du Verdon (irrigation de la commune d'Aix).

Siphon de Trempasse. — Il franchit une vallée de 132 mètres de largeur au niveau du plafond du canal, et de 27 mètres de profondeur au-dessous de ce niveau. Le siphon est constitué par une galerie souterraine creusée dans le rocher à 12 mètres sous le thalweg.

Le rocher est revêtu d'une chemise en maçonnerie de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épais-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seur qui assure l'étanchéité. Sa plus faible épaisseur au-dessus du souterrain est de 7 mètres.

La galerie a une section circulaire de 2m,30 de diamètre. A ses deux extrémités se trouvent deux puits verticaux en maçonnerie. Pour la construire, on avait percé dans le fond de la vallée un puits vertical de 14 mètres de profondeur qu'on avait relié au siphon par une galerie perpendiculaire.

On a placé dans cette dernière galerie un barrage en pierre de taille traversé par un tuyau en fonte aboutissant à une pompe disposée au fond du puits et manœuvrée au moyen d'un treuil. Cette disposition a pour but de permettre la vidange du siphon.

Les dépenses d'exécution s'élèvent à 60,000 francs (soit 454 fr. par mètre courant) et se décomposent de la manière suivante :

Percement de la galerie et des puits.	29,000	francs.
Maçonnerie de revêtement, têtes du siphon et barrage.	26,000	—
Travaux accessoires et appareils de vidange.	5,000	—
Total.	60,000	—

Siphon de la Lauvière. — Cet ouvrage traverse une vallée formée sur les flancs de poudingue très-compacte alternant avec des grès durs et, dans le fond, d'une épaisse couche d'argile. Étant donnée la nature du sol, on a dû adopter un système mixte. Dans le rocher dur, on a pratiqué des galeries souterraines analogues à celle qui constitue le siphon précédent. On a formé la partie centrale de l'ouvrage avec un tuyau en tôle reposant sur des dés en pierre. Voici les dimensions principales de ce siphon :

Longueur du siphon (d'axe en axe des puits auxquels aboutissent les galeries souterraines).	272,70
Flèche maxima de l'ouvrage.	23,50
Diamètre des galeries maçonnées.	2,30
Pente —	0m06 à 0,19
Longueur de la galerie amont.	105,30
— — aval	47,50
Longueur développée du tuyau en tôle.	120 »
Diamètre du tuyau.	2,30
Épaisseur —	0,01

Le tuyau en tôle est formé de feuilles réunies dans le sens de la longueur et dans celui de la largeur par des rivures à clain à un seul rang de rivets. Il repose sur de la pierre de taille à l'aide de 23 supports en fonte, qui peuvent se mouvoir sur des rouleaux creux de même métal. A chacune des extrémités du tuyau se trouve un appareil de dilatation en tôle emboutie, muni d'un demi-tore relié avec le tuyau par des faces planes, susceptible d'un mouvement de soufflet.

Le grand diamètre du tore est de 3m,86; le diamètre du cercle générateur est de 0m,54. La vidange du tuyau se fait à l'aide d'un robinet-vanne de 0m,50 de diamètre. Il se raccorde avec les galeries souterraines au moyen d'anneaux en fonte encastrés dans la maçonnerie.

Les dépenses d'exécution de cet ouvrage important se sont élevées à 180,000 francs (660 francs par mètre courant). Elles se décomposent ainsi : Percement des puits et galeries, 27,150 fr., maçonnerie de revêtement et des têtes, 65,500 fr. Partie métallique, 87,350 fr.

Siphon de Saint-Paul. — Le siphon de Saint-Paul sert à franchir une vallée de 293 mèt. de long. et de 36m,15 de profondeur au-dessous du plafond du canal.

Il se compose de deux tuyaux en tôle de 1m,75 de diamètre, formés de feuilles de tôle de 8 m/m d'épaisseur minima assemblées à clain dans le sens longitudinal et à l'aide de couvre-joints dans le sens transversal. Les assemblages longi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tudinaux sont à double rivure; les assemblages transversaux à simple rivure. Les deux tuyaux sont placés parallèlement à 4 mètres d'axe en axe et perpendiculairement à la vallée. Chacun d'eux est composé d'une partie horizontale de 98m,06 de longueur comprise entre deux parties inclinées de 76m,49 et de 84m,04 de longueur et dont les pentes sont à l'aval de 0m,39 par mètre et à l'amont de 0m,41 par mètre.

Au point de rencontre des parties horizontales et des parties inclinées se trouve un support fixe constitué par une chaise en fonte établie sur un massif en pierre de taille. Les autres supports reposent sur des dés en pierre de taille par l'entremise de rouleaux en fonte. La longueur des travées est à l'amont de 10m,80, à l'aval de 10m,40. Pour la partie centrale : de 12m,50 au voisinage des angles et de 10m,45 dans les parties intermédiaires. Les parties droites du siphon sont munies d'appareils de dilatation en forme de soufflet, analogue à ceux du siphon précédent. La vidange se fait au point le plus bas à l'aide de robinets-vannes de 0m,30 de diamètre. A chacune des extrémités des tuyaux sont des puisards rectangulaires indépendants; leur profondeur à l'amont est de 6m,72, à l'aval de 6m,61.

On peut mettre à sec chaque moitié du siphon en manœuvrant des coulisseaux pratiqués dans les murs bajoyers en tête des puisards. On peut ainsi réparer l'une des branches sans empêcher l'autre de fonctionner.

Le siphon passe au-dessus de deux chemins à l'aide de ponts en maçonnerie. Les tuyaux inclinés, qui tendraient à descendre sous l'action de la pesanteur, sont fixés contre les culées et les piles par des oreilles établies au bas des tuyaux.

Les dépenses de construction qui s'élèvent à 937 francs par mètre courant se répartissent de la manière suivante :

Terrassement et maçonnerie.	63,206f,88
Partie métallique.	181,712,25
Dépenses diverses.	2,835,10
TOTAL.	247,754,23

Souterrains. — Parmi les souterrains, on remarquait dans l'exposition du Ministère des travaux publics :

1° Le souterrain de Stileto sur le canal d'amenée de la Gravona (Corse).

Ce souterrain, ouvert dans une roche dure, mais décomposable à l'air, a dû être revêtu en maçonnerie. Il a une longueur de 360 mètres; il est précédé et suivi de tranchées sur une longueur totale de 410 mètres.

La section moyenne du déblai en souterrain a été de 3mq,89. L'extraction se faisait par les deux têtes et par trois puits de 17 à 20 mètres de hauteur.

La dépense totale de 177,607 fr. 49 c. se décompose ainsi :

	fr. c.	Prix par mèt. courant.
Tranchées aux abords.	44,461,40	»
Terrassements du souterrain.	68,359'09	122f,06
Maçonneries —	64,787,00	115f,69
TOTAL.	177,607,49	

2° Plusieurs souterrains sur le canal de la Bourne (Drôme).

Le travail de percement de la plupart de ces ouvrages a été facile, le canal traversant fréquemment les bancs de l'étage de la molasse. Quand cette dernière est pure et de stratification horizontale, la solidité est satisfaisante; mais quand on rencontre des bancs inclinés séparés par de minces couches d'argile, il se produit rapidement des effets de désagrégation au contact de l'air.

La plus grande partie des tunnels ouverts dans une marne argileuse très-dure ont été revêtus de maçonnerie. Un seul des tunnels, celui qui se présente immédia-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tement en aval de Saint-Nazaire, a été percé dans le calcaire compacte.

3° Sur le canal du Verdon, on rencontre les souterrains des Maurras, de Ginasservis, de Pierrefiche, de Rians et de Saint-Hippolyte. Le premier de ces ouvrages a une longueur de 4,136 mètres; il a fallu, pour l'exécuter, creuser sept puits dont quatre ont plus de 100 mètres et un plus de 200 mètres de profondeur. Le second a une longueur de 5,080 mètres; on a dû creuser 12 puits présentant ensemble une longueur totale de 717 mètres. Le troisième a un développement de 3,029 mètres.

Enfin les deux derniers ont respectivement 891 mètres et 950 mètres de longueur.

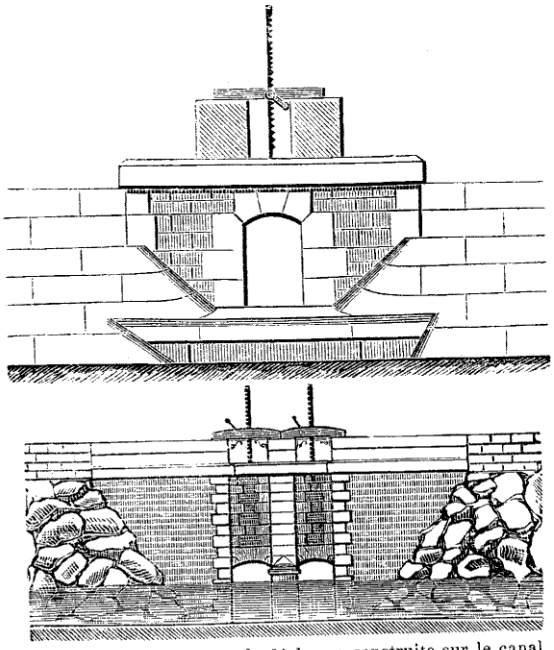


Fig. 56 et 57. — Vanne de décharge construite sur le canal de Marseille.

Rigoles de distribution. — Des ouvrages du même genre que ceux que nous venons de décrire pour les grands canaux d'irrigation se trouvent sur les rigoles qui amènent l'eau de ces canaux dans les propriétés à irriguer.

Ainsi, au point d'embranchement de deux rigoles, il faut établir des prises d'eau et des vannes de décharge.

Les figures 56 et 57 représentent la disposition adoptée pour les vannes de décharge sur le canal de Marseille.

Les figures 58 et 59 sont relatives à une prise d'eau à deux vannes du canal de Peyrolles (Bouches-du-Rhône).

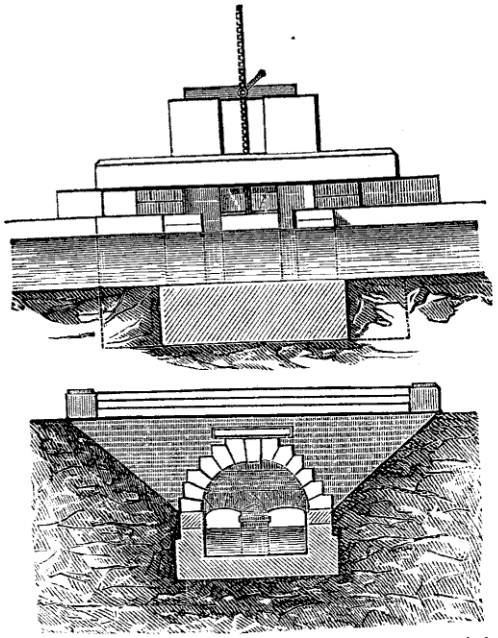


Fig. 58 et 59. — Prise d'eau à deux vannes du canal de Peyrolles (Bouches-du-Rhône).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il est inutile d'insister sur la construction de ces deux types d'ouvrages.

Quand les canaux de distribution traversent des terrains dont la pente est supérieure à celle qu'il est convenable de donner, on est obligé de partager la longueur de la rigole en un certain nombre de biefs ayant une pente convenable et qui se trouvent séparés par des différences brusques de niveau. En ces points, il faut nécessairement établir un ouvrage spécial.

Le cas que nous venons de signaler se présente dans les grands canaux d'Italie qui servent à la fois à la navigation et à l'irrigation. Les différents biefs se trouvent séparés par des écluses avec pertuis accolés et barrages ou déversoirs. On peut ainsi passer l'eau nécessaire aux arrosages quand le service seul de l'écluse ne permet pas d'atteindre ce but.

Mais quand il s'agit de rigoles de distribution, on sépare les biefs par des chutes formées d'une ou de plusieurs vannes placées dans un ouvrage en maçonnerie garni à sa partie d'aval par un radier qui s'oppose aux affouillements.

Grands travaux d'irrigation entrepris en France.

On voit d'après ce qui précède que depuis quelques années, on a entrepris en France de grands travaux d'irrigation : ainsi, on trouve de nombreux exemples d'irrigations locales dans les Vosges, les Ardennes, la Loire, le Puy-de-Dôme, le Doubs, le département de Saône-et-Loire, etc. Mais là où les irrigations sont le plus nécessaires, c'est dans le midi de la France, où l'on peut utiliser les cours d'eau descendant des Pyrénées et des Alpes, au lieu de les laisser s'épandre à l'état sauvage et improductif.

Nous nous proposons de passer rapidement en revue les principaux travaux d'irrigation entrepris dans les deux régions citées ci-dessus et de décrire rapidement les ouvrages de cette nature exposés par le Ministère des travaux publics.

1° Canaux d'irrigation dépendant des Pyrénées. — Les canaux d'irrigation dépendant des Pyrénées ont été établis pour la plupart dans le moyen âge sous la domination des Visigoths et des Arabes. Quelques-uns peut-être ont été construits par les Romains. Dans le département des Pyrénées-Orientales, une quantité de petits canaux sont dérivés des rivières du Tech, de la Tet et de l'Agly. Dans les Hautes et Basses-Pyrénées, on remarque des canaux de dérivation assez importants.

Ainsi, dans les Hautes-Pyrénées, le canal d'Alaric est une dérivation de l'Adour à 4 kilomètres en aval de Bagnères-de-Bigorre; sa portée est de 3 mètres cubes en temps ordinaire. Le canal de la Gepse situé entre Bagnères et Tarbes prend naissance sur la rive gauche de l'Adour. Les deux canaux de Tarbes font mouvoir des usines et irriguent un espace de terrain assez important.

Nous avons déjà décrit avec détail (page 345) les travaux exécutés pour transformer le lac d'Orédon en un vaste réservoir capable d'alimenter le canal de la Neste.

Les premières études de ce projet furent faites par feu M. l'ingénieur en chef Montet dès 1840. Les projets définitifs et les travaux furent exécutés successivement par MM. Michelier, ingénieur en chef, d'Ussel et Lix, ingénieurs, et enfin par M. Alvin, qui succéda à M. Lix en 1876.

Le département de la Haute-Garonne comprend un certain nombre de petites dérivations pour l'arrosage des prairies; du côté des montagnes, l'irrigation y est généralement pratiquée. Ainsi, dans la plaine de Saint-Gaudens jusqu'à Saint-Martory, on rencontre un assez grand nombre de petits canaux parmi lesquels ceux de Saint-Arromans, de M. Martin Lacoste, des usines de Valen-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tine, des Princes de Bergues etc.; mais en général ils ont peu de portée et ne peuvent arroser qu'un petit nombre d'hectares de prairies.

Il était cependant facile d'arroser la plaine entre Valentine et Labroquère à l'aide d'un canal dérivé de la Garonne.

C'est ce que M. Marc de Montréjeau eut l'idée de faire : une ordonnance de 1843 l'autorisa à ouvrir à ses frais un canal de 2 mètres cubes à $2^{mc},50$ de portée en dehors des temps de bas étiage où il devait être réduit à 1 mètre cube. Le canal devait avoir 22 kilomètres de longueur et ses deux embranchements 18 kilomètres. Bien que l'entreprise eût été parfaitement accueillie dans le pays, l'affaire mal dirigée ne put aboutir et après un commencement d'exécution les travaux furent abandonnés.

Aujourd'hui l'irrigation de la vallée de la Garonne en amont de Toulouse est un fait accompli grâce à la construction du canal de Saint-Martory dont les plans, dessins et détails d'exécution étaient exposés par le Ministère des travaux publics.

Canal d'irrigation de Saint-Martory. — La prise d'eau de ce canal est à Saint-Martory au pied des Pyrénées. La surface irrigable, sur la rive gauche de la Garonne, est de 42,000 hectares, sur lesquels 10,000 sont presque entièrement cultivés en vignes. La superficie de terrain effectivement arrosée se réduit à 14,000 hectares, ce qui, en admettant un volume continu de 0 litr. 75 par seconde et par hectare, conduit à une prise d'eau de 10 mètres cubes par seconde. La prise d'eau et la section du canal ont été disposées cependant de manière à pouvoir dériver 15 mètres cubes d'eau par seconde, en faisant le remplissage à $0^{m},30$ en contre-bas du couronnement des digues.

Le canal principal se termine à Toulouse. Il a une longueur de 70 kilomètres et les dépenses ont été estimées à 3 millions. Il est aujourd'hui complètement achevé, et creusé dans un sol calcaire; le sous-sol est mélangé de gravier et par suite très-perméable. Il a été exécuté, ainsi que le réseau de distribution, par une Compagnie concessionnaire avec une subvention de 3 millions et la jouissance de cinquante années.

Du tarif d'arrosage, le maximum est de 50 francs par hectare, l'eau livrée à l'entrée des propriétés. Le réseau de distribution secondaire a une étendue de 450,000 mètres.

On avait recueilli avant la concession du canal des souscriptions conditionnelles s'élevant à 3,470 hectares, soit le 1/4 de la surface irrigable. Les travaux exécutés jusqu'à ce jour permettent l'irrigation de 1,200 hectares.

Voici les résultats obtenus : Les terres labourables de la vallée de la Garonne employées uniquement à la culture du blé et du maïs valaient 2,000 à 2,500 fr. l'hectare et rapportaient net 50 à 60 francs. Aujourd'hui on a créé des prairies qui donnent un revenu net de 300 francs au moins par hectare, le capital employé par hectare pour nivellement du sol et tracé des rigoles est de 350 francs, les frais de fumure et d'ensemencement en prairies sont de 150 francs, soit donc au total un capital de première mise de 500 francs par hectare qui rapporte par an 250 francs environ, soit le 50 0/0.

Canal de l'Estelle. — Dans la même région nous trouvons le canal de l'Estelle (canton de Saint-Martory) construit par une association de propriétaires, pour irriguer une surface de 90 hectares. Il a 3,760 mètres de longueur.

Il dérive les eaux de la Garonne par une saignée. On ne remarque là aucun ouvrage d'art important. Les rigoles de distribution ont une longueur totale de 13,020 mètres. L'opération a coûté 45,000 francs, soit 500 francs par hectare. Chaque propriétaire se charge de préparer le sol pour recevoir l'arrosage, les travaux nécessaires coûtent environ 500 francs par hectare, de sorte que le total des dépenses par hectare est de 1,000 francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les frais d'exploitation du canal se montent à 900 francs par an.

Quant aux résultats de l'opération, ils se résument ainsi qu'il suit :

Valeur ancienne de l'hectare, 2,500 francs; rapport annuel, 80 francs. Valeur actuelle après la mise en prairie, 7,500 francs; rapport annuel, 350 francs.

Les eaux de la Garonne sont éminemment propres aux irrigations; leur caractère, ainsi que celui des sources en amont de Toulouse, est de contenir beaucoup de silice, des sulfates, peu de chlorures et une quantité relativement considérable de sels alcalins. Cela s'explique par la nature des roches pyrénéennes et surtout par celle du sol qui renferme beaucoup de feldspath en décomposition.

2° — Canaux d'irrigation dépendant des Alpes.

Les rivières qui descendent des Alpes et fournissent une portion de leurs eaux à une irrigation assez étendue sont principalement : le Rhône, l'Isère, le Drac, et la Durance, qui alimente à elle seule un grand nombre de canaux d'irrigation. La Sorgue, ou fontaine de Vaucluse, arrose aussi une partie des mêmes plaines. Nous nous arrêterons avec quelques détails sur les irrigations du bassin du Rhône en raison de l'importance des travaux qui restent encore à faire dans cette région.

Irrigations du bassin du Rhône. — Le bassin du Rhône comprenant la totalité ou une partie des départements de la Haute-Saône, du Doubs, de la Côte-d'Or, de Saône-et-Loire, du Jura, de l'Ain, du Rhône, de l'Isère, de l'Ardèche, de la Drôme, des Hautes-Alpes, des Basses-Alpes, de la Savoie, de la Haute-Savoie, de Vaucluse, du Gard et des Bouches-du-Rhône, a une superficie de 9,521,400 hectares.

La statistique de 1860 et l'enquête agricole de 1866 fournissent des chiffres permettant de se rendre compte des surfaces cultivées en prés, arrosés ou non, et d'évaluer les plus-values annuelles créées par l'irrigation dans quinze des départements cités ci-dessus. (Les deux départements exceptés sont la Savoie et la Haute-Savoie.)

Dans les six départements de la Haute-Saône, de Saône-et-Loire, de l'Ain, de la Côte-d'Or, du Jura et du Doubs, dont la superficie est de 3,867,334 hectares, le domaine agricole s'élève à 1,952,149 hectares et comprend 127,014 hectares de prairies arrosées et 344,324 hectares de prairies non irriguées; soit au total 471,338 hectares de prés représentant les 24 0/0 du domaine agricole.

Il resterait donc, dans ce groupe de six départements, à créer 241,321 hectares de prés irrigués et à arroser les 344,324 hectares de prés non irrigués pour arriver à la proportion de 30 0/0 du domaine agricole en prairies arrosées, chiffre admis généralement dans une agriculture perfectionnée.

On créerait ainsi une plus-value très-considérable.

Le deuxième groupe formé par les neuf départements restants représente une surface de 4,815,985 hectares et un domaine agricole de 2,120,897 hectares dont les 30 0/0 représentent une surface de 636,265 hectares. Or, dans ces neuf départements, il n'existe que 102,654 hectares de prairies arrosées et 179,624 hectares non arrosés; soit au total 282,228 hectares, c'est-à-dire les 13 0/0 de la superficie du domaine agricole.

Il faudrait donc créer une surface nouvelle de prés arrosés de 453,987 hectares et irriguer les 179,624 hectares qui ne le sont pas encore; soit au total 533,611 hectares. Il en résulterait une plus-value annuelle de 59,396,588 francs.

Pour l'ensemble du bassin du Rhône, il faudrait donc, en admettant le coefficient de 30 0/0 de la surface du domaine agricole pour les parties arrosées,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pourvoir à l'irrigation des 523,926 hectares de prairies qui ne le sont pas encore et d'une surface complémentaire de 468,336 hectares.

Les éléments fondamentaux de l'irrigation ne manquent cependant point dans le bassin du Rhône sillonné en tous sens par des cours d'eau et présentant de vastes plaines disposées merveilleusement pour de grandes irrigations.

Dans une étude sur les irrigations du Midi, M. A. Dumont admet que dans le bassin du Rhône l'irrigation d'un hectare de pré exige pendant la saison des arrosages, soit pendant six mois, 20 irrigations de 5 centimètres de hauteur moyenne chacune, c'est-à-dire 10,000 mètres cubes d'eau par hectare et par an correspondant à un débit continu pendant six mois de 0 lit. 70 par seconde et par hectare.

Dans les quinze départements dont nous avons parlé ci-dessus, il faudrait, pour créer les 992,262 hectares de prairies nouvelles, 9,922 millions de mètres cubes représentant un débit de 694 mètres cubes par seconde pendant six mois. En utilisant les sources et en aménageant convenablement les cours d'eau du bassin, on pourrait sans doute se procurer ce volume. Il est un fait remarquable à noter, c'est que la plupart des cours d'eau du bassin du Rhône étant alimentés par les neiges et les glaciers des Alpes, l'étiage ne correspond pas avec la saison des arrosages; on se trouve donc dans de bonnes conditions.

Le débit de 347 mètres cubes par seconde représente à peine le 1/5 du débit du Rhône en eau moyenne à Beaucaire. En ce point, pendant la crue de 1856, le fleuve a débité 13,900 mètres cubes par seconde.

Mais pour arriver aux résultats indiqués plus haut, il faut admettre un laps de temps considérable; et si nous avons évalué l'étendue de la carrière à parcourir, c'est qu'il était utile de montrer que la pratique des irrigations bien entendues doit ouvrir dans le bassin du Rhône un champ immense à l'avenir de l'agriculture.

G. Dumont.

La carte intitulée carte d'irrigation du Midi est relative surtout au canal du Rhône.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CONTROLEURS ÉLECTRIQUES

DES CUVES A EAU

PAR M. EUGÈNE SARTIAUX

Lorsqu'un réservoir d'eau se trouve à une certaine distance de la source d'alimentation, il est important que l'agent chargé d'entretenir cette alimentation, soit averti rapidement qu'il doit ou la cesser ou la reprendre. Nous donnons ci-après une description de quatre appareils qui, avec l'électricité, fournissent des signaux optiques ou acoustiques, ou l'un et l'autre à la fois et remplissent le programme ci-dessus.

I. — Système Lartigne. — Cet appareil qui figurait à l'Exposttion universelle repose sur l'emploi du commutateur à mercure, dont nous avons déjà parlé pour la pédale et le contrôleur d'aiguille; il a pour but d'indiquer seulement, que le niveau de l'eau a atteint dans le réservoir une hauteur maxima et que l'alimentation doit être arrêtée.

L'appareil se compose d'une longue bascule A (fig. 1, pl. XXVII), portant à l'une de ses extrémités, disposée en forme de fourche, un entonnoir B à orifice étroit et placé au-dessous du réservoir du trop plein de la cuve; à l'autre extrémité se trouve un contre-poids C, qui maintient la bascule dans la position horizontale, en temps que l'entonnoir n'est pas rempli d'eau : *d*, *d'* sont deux buttoirs qui limitent le jeu de la bascule. Enfin, le commutateur E est placé au milieu de la bascule et les contacts sont disposés de façon à n'être immergés par le mercure que lorsque celle-ci est inclinée d'une manière convenable.

Lorsque l'eau a dépassé dans la cuve la hauteur maxima, elle tombe dans l'entonnoir qu'elle remplit et le fait basculer ; le commutateur à mercure en s'inclinant, forme le circuit d'une pile M, qui fait fonctionner une sonnerie N située près de la machine d'alimentation, ou mieux encore un sifflet électrique à vapeur O, placé sur la machine elle-même. Dès que l'entonnoir est vide, l'appareil entraîné par le contre-poids reprend sa position première, prêt à donner un nouveau signal.

Cet appareil se recommande par sa simplicité : mais remarquons qu'il ne peut indiquer, ainsi que nous le disions plus haut, que la hauteur maxima du niveau de l'eau; l'inventeur s'est du reste renfermé dans le programme qui lui a été donné au chemin de fer du Nord, où l'appareil a été principalement appliqué aux réservoirs d'alimentation des machines.

II. Système autrichien. — Le chemin de fer Impérial-Royal-Charles-Louis en Galicie, a exposé un indicateur électrique de niveau d'eau, fondé sur le principe suivant : au moyen du flotteur, on fait tourner une roue qui règle l'intensité du courant selon la quantité d'eau présente dans la cuve; la hauteur maxima et minima du niveau de l'eau est signalée par une sonnerie tremblеuse; en d'autres termes le niveau de l'eau dans la cuve est indiqué par un appareil électrique, dont le fonctionnement est basé sur la résistance plus ou moins grande qui peut être successivement intercalée dans le circuit.

L'appareil se compose d'une roue A (fig. 2), ayant une périphérie égale à la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

hauteur maxima du niveau d'eau à mesurer. Dans la périphérie de la roue se trouvent deux gorges : dans l'une se déroule la corde communiquant avec le flotteur B, dans l'autre la corde du contre-poids C. Perpendiculairement à la surface de la roue, et en un point quelconque, se trouve un doigt d'arrêt qui vient se heurter contre un tenon, aussitôt que l'on veut faire tourner la roue plus d'un tour dans l'un ou l'autre sens.

A l'extrémité de l'essieu de la roue, placée sur un châssis de forme rectangulaire, se trouve une plaque en caoutchouc durci, sur laquelle est fixée une large bague en cuivre, qui est sciée en dix parties égales et qui forme ainsi dix lamelles, *l*, *l*, *l* , séparées par un intervalle d'environ 0,003 $^{m}/_{m}$ et réunies entre elles par un fil de platine ; deux de ces lamelles sont en relation directe avec deux sonneries, dont l'une indique le trop plein de la cuve, et l'autre le moment où il est nécessaire de la remplir ; les autres lamelles communiquent avec une boussole dont les divisions correspondent avec celles de la cuve, et indiquent les niveaux successifs de l'eau.

La communication entre la boussole et les sonneries s'établit au moyen d'un bras mobile D, fixé sur l'axe de la roue ; ce bras porte à son extrémité une petite roue en fer entourée d'une rondelle en platine, qui fait pression sur les différentes lamelles, selon les impulsions données par le flotteur à la roue principale, par un ressort E en communication avec la pile. Au fur et à mesure que la cuve se remplit le flotteur remonte, la roue tourne, et le bras mobile passe d'une lamelle à l'autre en accumulant des résistances successives, qut sont accusées par les déviations de l'aiguille de la boussole ; dès que l'eau a atteint la hauteur maxima, le bras mobile arrive sur la lamelle M, en relation avec une sonnerie trembleuse, qui se met à fonctionner et prévient le mécanicien qu'il faut cesser l'alimentation ; si au contraire l'eau est arrivée au niveau le plus bas, le bras mobile en passant sur la lamelle N, en relation avec une autre sonnerie, indique à l'agent qu'il doit recommencer à alimenter la cuve : dans ce dernier cas également, la boussole accuse toujours des résistances, mais qui vont en décroissant.

Un certain nombre de ces appareils sont en service sur les divers chemins de fer autrichiens, et les ingénieurs en sont très-satisfaits ; mais on doit se demander cependant si les déviations de la boussole correspondent toujours bien aux différents niveaux de l'eau dans la cuve, étant données les modifications qui peuvent s'introduire dans les appareils ou dans la ligne, et par conséquent changer les résistances que représente chacune des lamelles.

III. Système Vérité. — Cet appareil est extrêmement simple, mais ne peut accuser que la hauteur maxima de l'eau dans le réservoir : Il est basé sur les courants d'induction. Il se compose d'un flotteur A (fig. 3), muni d'une clavette B, dont la disposition est calculée de façon à n'avoir d'action que quand le flotteur a atteint une hauteur déterminée. C est une première pièce en fer assez lourde, désignée sous le nom de coup de poing ; D est un levier en fer, également d'un certain poids, muni à son extrémité d'une palette E en contact permanent avec un fort aimant F. Au fur et à mesure que la cuve se remplit d'eau, le flotteur monte, et soulève avec l'aide de la clavette la pièce en fer C. Dès que l'eau est arrivée au niveau maximum, le coup de poing qui a été soulevé par la clavette, n'étant plus retenu par celle-ci, retombe brusquement sur le levier D, arrache la palette de l'aimant et détermine un courant d'induction qui fait déclancher près de la machine d'alimentation un disque O (fig. 4), portant le mot « Plein ». L'apparition de ce disque, placé dans un cadre et près du mécanicien, indique que l'alimentation doit être cessée.

Plusieurs de ces appareils sont depuis très-longtemps en service à la Compa-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gnie du chemin de fer du Nord et n'ont demandé aucune réparation. Ils peuvent être établis, du reste, dans des conditions exceptionnelles de bon marché.

IV. Système Hardy. — M. E. Hardy, ingénieur électricien, a exposé un appareil électrique de contrôle pour réservoir d'alimentation, qu'il a spécialement étudié et établi pour la ville de Saint-Étienne. Nous devons à l'obligeance de l'inventeur lui-même une note détaillée sur la construction de son appareil, et nous ne pouvons mieux faire que d'en donner ici quelques extraits.

Dans la chambre des robinets, sur le tuyau de décharge de ce réservoir, un manomètre à mercure et à air libre est établi en communication avec l'eau du réservoir, de sorte que les variations de niveau sont répétées par les variations proportionnelles de la colonne de mercure. Une horloge est disposée au-dessus de ce manomètre et porte sur la roue des minutes faisant un tour en une heure, un disque métallique, ayant une entaille A (fig. 5). Un cadre B mobile autour de pivots, s'appuie toujours sur ce disque par l'effet d'un contre-poids. C'est un appendice en acier porté par le cadre B qui frotte sur le disque et entre dans l'entaille A lorsqu'elle vient à se présenter devant lui ; il y entre par conséquent une fois par heure. L'appendice d'acier est plus court que l'entaille A, de telle sorte qu'il s'écoule 183 secondes à partir du moment où le cadre remonte dans l'entaille jusqu'à celui où il est de nouveau abaissé par l'effet d'un deuxième cadre avec contre-poids tombant à ce moment précis dans l'entaille d'un autre disque à côté du premier.

Le cadre mobile B porte un axe avec pignon qui engrène avec l'une des roues de l'horloge, lorsque le cadre est remonté dans l'entaille A, mais qui est débrayé dans tout autre moment : Embrayé, il fait un tour en 200 secondes. Cet axe porte aussi une roue métallique C avec couronne d'ébonite. Une gorge est pratiquée dans cette couronne et l'on y enroule une chaîne d'argent, dont l'une des extrémités est attachée à la couronne, comme nous le verrons tout à l'heure, tandis que l'autre libre et pendante porte un fil de platine P de $0^m,40$ environ de longueur et de $0^m,001$ de diamètre auquel est vissé un autre cylindre de platine d'environ $0^m,06$ de longueur sur $0^m,006$ de diamètre. Cet ensemble constitue la sonde ou plongeur, et est placé directement au-dessus du manomètre, de telle sorte que pendant la marche de la roue C, ce plongeur descend dans le manomètre.

D'après ces dispositions, on voit que le cadre B venant à entrer dans l'une des entailles A, le pignon de la roue C est embrayé, et cette roue fait un peu moins d'un tour, puisque le pignon ne reste embrayé que pendant 183 secondes. Pendant ce temps, la sonde-plongeur descend dans le manomètre toujours de la même quantité, mais rencontre le mercure plus ou moins tôt, suivant la hauteur de l'eau dans le réservoir.

La chaîne d'argent est attachée à la couronne d'ébonite et communique électriquement avec un disque isolé D porté par la roue C. Une pièce H isolée porte un ressort venant faire contact au centre de ce disque D. La pièce H vient buter, lors du soulèvement du cadre B, sur une vis isolée, et limite ainsi la course de ce cadre, tout en donnant une communication électrique. A cet effet, la vis isolée est en relation directe avec le pôle négatif de la pile. Il s'en suit que si le cadre B est soulevé, et que la sonde touche le mercure, le pôle négatif est à la terre. Le mercure étant en contact avec la fonte de la conduite d'eau constitue une excellente terre.

Un ressort isolé de contact G en relation avec le pôle positif de la pile, est installé de telle façon qu'il donne contact sur l'une des dents de l'échappement toutes les deux secondes. L'horloge bat la seconde ; son bâti est relié à la ligne ; il y aura donc un courant positif envoyé sur la ligne chaque deux secondes,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mais seulement lorsque le cadre B sera élevé, et que la sonde touchera le mercure. L'axe à pignon du cadre B porte, outre la roue à chaîne, une roue à rochet M sur laquelle agit un cliquet d'avancement et un cliquet de retenue, lorsque le cadre étant abaissé, le rochet se trouve en prise avec ces cliquets. Les cliquets impriment à cet axe un mouvement en sens inverse de celui que nous avons déjà vu et par conséquent, ont pour effet de remonter la sonde. Ce mouvement peut se produire, car le cadre B est abaissé brusquement au bout de 183 secondes et par suite, le pignon est débrayé lorsque l'effet de remonte de la sonde se produit. Le rochet M a une dent enlevée à la position convenable, de sorte que les cliquets font tourner ce rochet jusqu'à cette dent qu'ils ne peuvent franchir, la sonde est donc toujours relevée exactement à la même hauteur.

Nous devons remarquer que les cliquets ne gênent pas la descente de la sonde, car elle n'a lieu que lorsque le cadre B étant relevé, le rochet M n'est plus en prise avec ses cliquets. Le cliquet de marche est mis en mouvement par l'horloge elle-même et il fonctionne à chaque demi-minute, de sorte que la sonde descend par son pignon en 183 secondes et est plus de 50 minutes à être remontée.

Appareil récepteur. — Cet appareil est analogue à un cadran électrique. Un axe porte d'un côté une aiguille marquant la hauteur de l'eau sur un cadran divisé, et de l'autre une roue à rochet taillée en 100 dents. Il y a une goupille d'arrêt au zéro du cadran, sur laquelle l'aiguille vient se reposer dans un mouvement rétrograde.

Un électro-aimant polarisé (électro aimant-Hughes), fait marcher un levier avec cliquet à chaque courant positif qui le traverse, et au contraire reste inerte lors du passage d'un courant négatif. Le cliquet poussant à chaque fois une dent du rochet, l'aiguille partant de zéro avance sur le cadre proportionnellement au nombre de courants positifs circulant sur la ligne, nombre que nous avons vu être proportionnel à la hauteur de l'eau. L'aiguille marquera donc exactement cette hauteur à cinq centimètres près, puis s'arrêtera dans cette position pendant 55 minutes environ. Pendant sa marche, l'aiguille enroule autour de son axe la corde d'un petit contre-poids qui sollicite l'aiguille à revenir en arrière; mais elle est arrêtée par le cliquet de retenue et par le cliquet de marche.

Un deuxième électro-aimant polarisé est traversé de même par tous les courants venant de la ligne; il est disposé de façon que son armature ne fonctionne que sous l'action des courants négatifs. Lorsque cette armature fonctionne, elle soulève, par l'intermédiaire de leviers, les cliquets de retenue et d'avancement, et par cela même, rend la roue à rochet libre d'obéir à l'action du petit contre-poids, qui ramène ainsi l'aiguille à zéro. Cet effet a lieu de la manière suivante : une minute avant que la sonde ne descende, un ressort isolé, en relation avec le pôle négatif d'une deuxième pile, est touché par une goupille portée par l'une des roues de l'horloge. L'aiguille du contrôleur reste donc quelques secondes à zéro, puis arrivent les courants positifs qui donnent la cote du réservoir; l'aiguille s'arrête sur cette cote jusqu'à l'observation suivante, c'est-à-dire pendant environ vingt-sept minutes.

L'appareil qui vient d'être décrit peut avoir des applications multiples; il fonctionne avec une régularité parfaite, et ne demande aucun entretien : il suffit seulement de remonter l'horloge et de vérifier les piles.

V. Système Jousselin et Gaussin. — M. Jousselin, ingénieur à la Compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, a créé en 1862,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en collaboration avec MM. Gaussin et Mouilleron-Vinay, un appareil hydrostatimètre, très-ingénieux comme mécanisme.Cet appareil indique non-seulement la hauteur maxima et minima de l'eau, mais il donne en outre, d'une manière permanente, les différents niveaux dans la cuve. Si l'on tient compte que les pompes d'alimentation sont en général à une distance assez grande des cuves elles-mêmes, l'utilité d'un appareil tel que les inventeurs l'ont imaginé est sans aucun doute incontestable.

Nous devons à l'obligeance de M. Jousselin, une notice descriptive des deux appareils : nous la donnons ci-dessous ; elle est, à peu de chose près du reste, la reproduction de celle publiée par M. le comte du Moncel, dans son 4e volume des *Applications de l'électricité* (1).

Le système se compose d'un flotteur très-pesant qui réagit au moyen d'une chaîne de Vaucanson sur une roue de 8 centimètres de diamètre, fixée sur un axe qui commande le jeu d'un commutateur placé contre la cuve à eau. Ce commutateur pouvant réagir à chaque demi-tour de la roue, chaque changement de niveau équivalant à 10 centimètres, peut donner lieu à une action électrique capable de faire fonctionner l'appareil récepteur.

L'appareil récepteur placé auprès de la pompe de refoulement a la forme ci-contre ; le mouvement de l'aiguille qui reproduit exactement les indications de l'échelle du réservoir est commandé par des courants positifs à la montée, et par des courants négatifs à la descente : une double roue à rochet dont les dents sont tournées en sens inverse, et sur laquelle réagissent deux systèmes d'encliquetages, à buttoirs de sûreté, qui sont eux-mêmes commandés par deux électro-aimants disposés magnétiquement en sens contraire, c'est-à-dire que l'un n'agit que sous l'influence de courants positifs, et l'autre sous l'influence de courants négatifs. A cet effet, les armatures sont polarisées par des aimants fixes, et se terminent par deux cliquets d'impulsion, réagissant sur les deux roues à rochet, aux deux extrémités d'un même diamètre. Un sautoir maintient cette double roue dans une position fixe après l'action des cliquets, et ceux-ci terminés par des plans inclinés qui glissent entre deux vis buttoirs réglées en conséquence, constituent en même temps leur buttoir de sûreté. Naturellement l'aiguille indicatrice est fixée sur l'axe de ces roues à rochet, et elle marche dans un sens ou dans l'autre suivant qu'elle est actionnée par un courant positif ou par un courant négatif, les divisions du cadran ne comprennent qu'un arc de cercle qui correspond à la hauteur totale de l'eau, depuis le fond de la cuve jusqu'au déversoir du trop plein. A ces deux points extrêmes, deux ressorts en rapport avec une sonnerie d'appel, rencontrent une came adaptée à l'axe des roues à rochet, et qui occupe toute l'étendue de l'arc complémentaire de celui qui correspond aux deux positions extrêmes de l'aiguille. On se trouve donc ainsi prévenu automatiquement quand la cuve n'a plus assez d'eau ou quand elle est trop remplie.

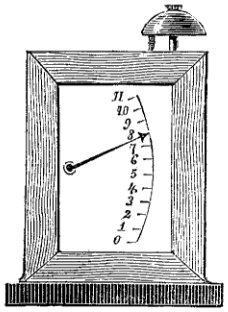


Fig. 1. — Récepteur de l'appareil Jousselin et Gaussin.

Le commutateur appelé à faire fonctionner cet appareil et que nous représentons (fig. 6, pl. XXVII) devait avoir pour effet : 1° de faire en sorte que tous les mouvements du flotteur effectués dans un même sens pussent fermer un courant dans un sens donné, au moment où le flotteur s'élevait suc-

(1) Du Moncel, *Exposé des applications de l'électricité*, 5 vol. grand in-8° et pl. Prix 70 fr. (E. Lacroix éditeur).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cessivement de 10 centimètres ; 2° de faire en sorte que les mouvements rétrogrades du flotteur pussent renverser le sens du courant et déterminer ensuite des fermetures et interruptions de ce courant, ainsi renversé, à chaque abaissement du flotteur de 10 centimètres. Ce double problème a été réalisé au moyen d'un inverseur et d'un interrupteur mis en action par deux tambours à rebords A et B fixés sur l'axe horizontal D D', mis en mouvement par le flotteur et la chaine de Vaucanson.

A cet effet, l'un de ces tambours A est muni de trois rebords saillants qui en font comme une poulie à deux gorges ; le rebord du milieu est coupé aux deux extrémités d'un même diamètre par une large entaille qui permet à un levier articulé E muni d'une cheville *c* et sollicité par un fort ressort R de passer d'une gorge dans l'autre. Ce tambour correspond à l'inverseur, et celui-ci est constitué par le levier E dont nous venons de parler. Ce levier porte, en effet, à son extrémité libre une lame de ressort G qui peut osciller entre deux vis de contact *v*, *v'* en rapport avec les deux pôles de la pile. C'est une sorte de godille analogue à celle des manipulateurs à cadran, mais qui au lieu d'être manœuvrée au moyen d'une gorge sinueuse, est mise en action par le ressort R et une bielle H sur laquelle réagit un disque I, muni de deux échancrures et porté par l'axe D D' des tambours. Quand cet axe tourne dans un sens, l'une des échancrures rencontre bientôt un galet *g* adapté à l'extrémité d'un levier vertical articulé, qui porte la bielle H, et ce galet en s'y enfonçant, se trouve engrené et repoussé dans le sens du mouvement de l'axe, d'où résulte un mouvement de la godille dans un sens et, par conséquent, le contact de celle-ci avec un pôle de la pile. Tant que le mouvement de l'axe continue dans le même sens, cet effet se maintient, car le galet *g* ne peut rétrograder, étant maintenu par la circonférence du disque *i* après que l'échancrure en est dégagée, et la seconde échancrure ne peut davantage modifier cette action, en raison de la position que la bielle occupe alors ; mais quand le mouvement de l'axe D D' s'effectue en sens contraire, l'échancrure en se présentant devant le galet *g* de la bielle, le saisit et l'entraîne pour le reporter avec la bielle du côté opposé, jusqu'à ce qu'elle l'abandonne de nouveau, en le laissant appuyé contre la circonférence du disque qui le maintient comme la première fois. Or, il résulte de ce mouvement une tension du ressort R en sens contraire de sa première action, et qui a pour résultat de mettre la godille en contact avec un autre pôle de la pile en *v'*.

Pour obtenir des effets symétriques à l'autre bout du circuit, effets qui complètent l'inversion du courant, la godille articulée E, dont il vient d'être question, est reliée par une bride en ivoire EJ à une seconde godille à bascule J K, pivotant sur une colonne métallique en rapport avec le fil de ligne L. Cette godille, comme la première, se termine par un ressort de contact qui oscille entre deux vis de contact V, V' en rapport avec les deux pôles de la pile, et son mouvement s'effectue de telle façon, que quand la godille E de l'inverseur qui en commande l'action touche le contact positif *v*, la seconde godille touche le contact négatif V'. D'un autre côté, la terre T est mise en communication avec un contact M qui la relie au massif de l'appareil, et par suite avec la godille E par l'intermédiaire de la bielle H, quand la seconde godille E' de l'interrupteur vient à le toucher ; de sorte que, dans ce cas, la terre est positive ou négative, suivant le sens d'inclinaison de la godille E, et comme, par ce seul fait, la petite godille J K met la ligne en rapport avec le pôle positif ou le pôle négatif, le courant est bien renversé suivant le sens du mouvement de l'axe D D', et par suite, suivant celui du flotteur. La première partie du problème se trouve donc ainsi résolue.

La seconde l'a été d'une manière analogue. Le tambour B qui commande le jeu de l'interrupteur a cette fois quatre rebords, et les deux du milieu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

présentent en face des entailles du premier tambour, de grandes entailles disposées d'une manière différente aux deux extrémités d'un même diamètre et placées d'une manière inverse l'une par rapport à l'autre sur les deux rebords contigus. L'une de ces entailles présente au milieu une partie pleine *i* d'une largeur égale à celle des fentes laissées sur les deux côtés; celle du côté opposé est simple. Une godille articulée E', semblable à celle dont il a déjà été question et terminée par un ressort de contact G', est dirigée par les rebords de ce dernier tambour au moyen d'une cheville *c'* qui est encastrée dans les rainures circulaires laissées par ces différents rebords ; mais elle tend à s'échapper de ces rainures sous l'influence d'un fort ressort R' sur lequel réagit un compas articulé N' conduit par une bielle à excentrique O P. L'excentrique O de cette bielle est fixé sur l'axe D D' des tambours; de sorte que, suivant le mouvement de cet axe dans un sens ou dans l'autre, le ressort réagit sur la godille dans un sens différent. Enfin, devant la rainure du milieu du tambour, se trouve la colonne de cuivre M dont nous avons déjà parlé, qui est mise en rapport avec le fil de terre et qui constitue le contact de l'interrupteur. Or, il résulte de cette disposition les effets suivants : quand le mouvement de l'axe des tambours s'effectue dans un sens, la godille E', qui était maintenue dans l'une des rainures extrêmes du tambour B, se trouve sollicitée par le ressort R' à en sortir, et elle s'en dégage aussitôt que l'une des fentes du rebord voisin vient se présenter devant elle; elle tombe alors sur la partie pleine *i* de l'entaille du second rebord qui la maintiendrait dans cette position si le niveau de l'eau ne changeait pas, mais qui la laisse tomber dans la troisième rainure par la seconde fente de l'entaille, quand le mouvement continue. Or, dans ce mouvement, le ressort G' de la godille rencontre le contact M, en rapport avec le fil de terre, et ferme le courant à travers le récepteur dans le sens établi par l'inverseur E ; car la communication de celui-ci avec la terre ne peut se produire que par la godille E' dont nous venons de parler; il en résulte donc l'avancement d'une division de l'aiguille indicatrice sur le récepteur. Si le mouvement du flotteur se continue dans le même sens, le même effet se produit, mais dans un sens différent, car l'excentrique O réagit alors sur le ressort de la godille dans un sens inverse. Une nouvelle fermeture du courant se trouve donc alors produite, et, pendant cette réaction, la godille de l'inverseur n'ayant pas changé de position l'aiguille du récepteur avance d'une nouvelle division sur l'indicateur. L'effet se renouvelle de la même manière tant que continue le mouvement du flotteur dans le même sens. Supposons maintenant que le sens du mouvement change, l'inverseur E changera de position, et à la suite de l'inversion, l'interrupteur E' fonctionnera comme nous l'avons indiqué précédemment, mais avec des courants renversés qui feront rétrograder l'aiguille. Comme la position des godilles E, E' est maintenue solidement tant que les permutations ne se produisent pas, les petites fluctuations de niveau, moindres que 10 centimètres, sont sans action sur le commutateur, dont la marche se trouve ainsi parfaitement et nettement déterminée.

Cet appareil a été mis en service à la gare de Brunoy en 1862 où il a très-bien fonctionné; il figurait en outre à l'Exposition de Londres en 1863, et la maison Vinay qui l'avait exposé, a obtenu une médaille avec mention spéciale au procès-verbal du Jury.

SARTIAUX.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LES CHEMINS DE FER

TRAMWAYS, ROUTES ET CHEMINS

DEUXIÈME PARTIE

VOIE ET MATÉRIEL ROULANT

PAR

MM. PAUL GUILLEMANT ET AUGUSTE MOREAU

Ingénieurs civils.

SOMMAIRE.

INTRODUCTION. — I. DE LA VOIE EN GÉNÉRAL : Rails, Traverses, Assainissement, Voies métalliques, etc. — II. MATÉRIEL ROULANT : Généralités sur les voitures, Caisse, Chassis, Ressort, etc. — III. GÉNÉRALITÉS SUR LES WAGONS, etc. — IV. VISITE A L'EXPOSITION : Matériel français, Matériel étranger.

INTRODUCTION

La richesse nationale d'un pays est en rapport direct avec le développement des moyens rapides de transport. Plus un pays réclame de chemins de fer, et plus on peut dire que sa puissance commerciale s'accroît. Cependant les besoins anciens ou nouveaux de lignes de chemins de fer ne doivent pas être tous satisfaits de la même manière, et une étude attentive permet d'appliquer avantageusement des solutions très-diverses offertes par l'industrie. Certains chemins de fer devront adopter, en raison du faible trafic qu'ils posséderont, de fortes pentes ou rampes et des courbes à faible rayon; peut-être même des voies plus étroites que la voie normale, malgré les inconvénients qui peuvent résulter des transbordements et du manque de raccordement. L'expérience de ces dernières années a même prouvé en ce qui concerne certaines lignes de chemins de fer, que malgré l'économie apportée à leur établissement, ces conditions de construction étaient encore trop onéreuses, et on a senti la nécessité d'établir sur les accotements des routes des voies ferrées d'un type nouveau et économique. Des problèmes nombreux se sont présentés à l'esprit des novateurs, et nous avons trouvé à l'Exposition les principaux résultats de leurs recherches. Nous extrayons du *Catalogue de l'Exposition* quelques renseignements statistiques concernant les chemins de fer français.

Pendant la période de onze années, écoulée depuis l'année 1867 et traversée par la guerre de 1870-1871, le réseau général des chemins de fer français, malgré la perte des lignes d'Alsace-Lorraine, s'est accru de 47 $^1/_2$ pour cent pour les lignes concédées, et de 65 $^4/_5$ pour cent pour les lignes exploitées. Le tableau suivant donne la répartition entre les diverses compagnies françaises.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Statistique des chemins de fer au 1er janvier 1866 et au 1er janvier 1877.

NOMS DES COMPAGNIES.	KILOMÈTRES CONCÉDÉS.		KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	
	1866.	1877.	1866.	1877.
Nord	1.613	2.161	1.197	1.884
Est	3.088	3.146	2.512	2.276 (1)
Ouest	2.520	3.233	1.857	2.255
Orléans	4.199	4.356	3.067	4.259
Paris-Lyon-Méditerranée	5.817	7.082	3.198	5.308
Midi	2.252	3.007	1.496	2.061
Charente	446	717	»	500
Vendée	120	498	»	247
Orléans-Châlons	247	293	»	293
Nord-Est, Nord	»	294	»	172
Compagnies diverses	698	1.570	243	790
Total pour les chemins de fer d'intérêt général	21.000	26.357	13.570	20.345
Total pour les chemins de fer d'intérêt local	»	4.620	»	2.153
TOTAL GÉNÉRAL	21.000	30.977	13.570	22.498

(1) Le réseau de la Cie de l'Est a été complétement modifié par la perte des lignes d'Alsace-Lorraine.

Le 1er juillet 1878, l'État a repris l'exploitation d'un certain nombre de lignes telles que celles des Charentes, Vendée, Orléans-Châlons, Orléans à Rouen, Maine-et-Loire, Nantais, etc., de sorte qu'en l'année 1879 les chemins de fer exploités se décomposent comme suit :

Nord	2.492	kilomètres.
Est	2.672	—
Ouest	2.826	—
Orléans	4.425	—
Paris-Lyon-Méditerranée	5.735	—
Midi	2.196	—
Etat	1.596	—
Compagnies secondaires d'intérêt général	766	—
Compagnies secondaires d'intérêt local	126	—
	22.834	kilomètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

I. — DE LA VOIE EN GÉNÉRAL.

L'établissement des chemins de fer a pour but, en diminuant les efforts de traction, d'abaisser le prix de transport des voyageurs et des marchandises, d'obtenir une plus grande rapidité dans la transmission des personnes et des choses, d'accroître les relations commerciales et de développer la richesse nationale.

Les premières conditions de l'établissement des chemins de fer résident donc : 1° dans l'adoption de faibles pentes ou rampes; 2° dans l'adoption des courbes à grand rayon. Il en résulte nécessairement que les chemins de fer sont coûteux d'établissement.

La pente maxima d'une route ordinaire correspond au coefficient de roulement $0^m,33$; ce n'est que lorsqu'on dépasse cette pente que le véhicule tend à redescendre par son propre poids. Or avec une pente de $0^m,33$, l'effort de traction sur palier est doublé sur les routes ordinaires; sur les chemins de fer, ce chiffre est abaissé à $0^m,004$, d'où résulte la condition de pentes très-faibles dans la construction de ces derniers; car dans la pratique on doit chercher à s'éloigner le plus possible de ce maximum de pente. Cependant si le trafic du chemin de fer doit être de faible importance, il peut y avoir lieu de chercher à diminuer le plus possible les dépenses de construction aux dépens des frais de traction; on est alors conduit à adopter des pentes de $0^m,0125$, $0^m,015$, etc.

La solidarité établie entre chacune des roues d'un même essieu d'une locomotive ou d'un véhicule impose la marche en ligne droite; la circulation dans les courbes s'obtient par le jeu laissé entre le rail et le boudin des roues. On comprend facilement que ces conditions de la construction du matériel ne peuvent se concilier qu'avec des courbes d'un grand rayon. On a essayé cependant de rendre les roues indépendantes des essieux afin de diminuer le rayon des courbes; les différents systèmes proposés ont été condamnés par l'expérience; ainsi le chemin de fer de Paris à Orsay et Limours a été établi dans ces conditions, mais cet exemple n'a pas été suivi. Sur les grandes lignes à trafic important, sur lesquelles circulent des trains à grande vitesse, on a adopté des rayons de 800 à 1000 mètres. On abaisse à 300 mètres le rayon des courbes dans les gares et dans les chemins de fer d'ordre secondaire sur lesquels la vitesse des trains est généralement faible, on a adopté des rayons de 5 à 600 mètres. Il est évident qu'en diminuant la largeur de la voie et rapprochant les essieux, on peut réduire également le rayon des courbes; nous étudierons dans un autre chapitre les conditions d'établissement des chemins de fer dits à voie étroite. Ces conditions de pente faible et de grand rayon exigent des travaux nombreux et importants. On est quelquefois obligé de traverser une montagne ou un amas de terre, et par suite on est amené à construire un tunnel ou à creuser une tranchée. Cette tranchée est faite avec une inclinaison de talus qui varie suivant la nature du terrain. Les tranchées faites dans les rochers peuvent avoir une pente très-forte, mais variable suivant la profondeur de la tranchée; dans les terres ébouleuses ou argileuses, les pentes sont nécessairement faibles. D'autres travaux d'art se présentent dans l'établissement d'un chemin de fer en vallée, le niveau de la plate-forme peut exiger l'établissement de remblais ou la construction de viaducs. Nous donnons (fig. 1 et 2, pl. XXVIII) les profils en travers d'un chemin de fer en remblai et en tranchée du type généralement employé. Les travaux de terrassement une fois exécutés, on procède à la pose de la voie. En général les rails sont fixés à des traverses en bois reposant elles-mêmes sur une couche de ballast. En France la largeur de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

voie, c'est-à-dire la distance des rails mesurée entre les champignons est de $1^m,445$. Cette dimension nous vient d'Angleterre; elle a été adoptée par Stephenson, concurremment avec la largeur de $2^m,10$ à $2^m,12$ proposée par Brunel,

Ces largeurs de voie ont été adoptées non-seulement dans des pays différents, mais encore dans le même pays. A mesure que les voies ferrées se construisaient, leur liaison devenait de plus en plus nécessaire; on reconnut la nécessité d'adopter une largeur unique. Les raccordements des deux voies pouvaient, il est vrai, se faire au moyen d'un troisième rail, mais alors la composition de chaque train ne devait comprendre qu'un seul type de matériel : celui de l'une des deux voies, et ne pouvait pas associer des véhicules des deux types. Des inconvénients de toutes sortes résultaient de cette situation, et l'adoption de la voie de $1^m,445$ est devenue de plus en plus générale. Quelques pays ont cependant adopté la voie large de $2^m,10$, proposée par Brunel, quoique cette largeur ne présentât pas d'avantage réel au point de vue de la vitesse des trains et de la puissance de traction des machines. En outre, cette grande largeur demande des courbes d'un grand rayon, et une emprise de terrain beaucoup plus considérable qu'avec la voie normale de $1^m,445$.

Dans un but politique, quelques pays ont cru devoir adopter une largeur de voie différente de celle des pays voisins; la défense du pays en temps de guerre n'est pas ainsi puissamment aidée, car l'utilisation de cette voie large par le matériel ordinaire est rendue possible après des travaux devant lesquels ne doit pas reculer une armée envahissante. Certains chemins de fer à faible trafic ont été établis avec une voie plus restreinte que celle de $1^m,445$; on a ainsi économisé un certain espace de terrain, et on a réduit les frais d'établissement de la voie. Cependant les inconvénients résultant des transbordements de marchandises font souvent reculer devant l'adoption d'une voie dont la largeur est différente de celle généralement adoptée dans le pays.

Les types de rails sont très-nombreux; il y a deux espèces de rails principalement employés : ce sont les rails à double champignon et les rails à patin. Dès l'origine on a préféré les rails en fer aux rails en fonte; ces derniers devaient être d'une qualité excellente, tandis que le fer employé à la fabrication des rails est toujours de qualité inférieure. Il en est résulté que la différence des prix militait en faveur des rails en fer; aujourd'hui, ainsi que nous le montrerons plus loin, les rails en acier tendent à remplacer presque complétement les rails en fer. Les rails à double champignon sont symétriques ou à champignons inégaux; mais la lutte est surtout établie entre le rail à champignons égaux et le rail vignole ou à patins. Des expériences nombreuses et répétées, faites par les ingénieurs allemands, a résulté l'adoption presque générale du rail à patin sur les chemins de fer de l'Allemagne.

En France, le rail à champignons égaux a eu ses défenseurs qui prétendaient le retourner quatre fois, et par suite obtenir une durée plus grande que celle du rail à patin. Lorsqu'on retourne le rail il se présente, au droit des coussinets, des encoches qui produisent une trépidation des trains, et qui, souvent, sont assez profondes pour s'opposer à l'emploi du rail retourné. La face supérieure du rail est également déformée, et le contact avec le coussinet n'est pas toujours satisfaisant. Enfin ajoutons que la deuxième période d'emploi du rail ainsi retourné est loin d'être égale à la première. Un autre inconvénient de la voie formée de rails à double champignon, c'est d'être beaucoup plus bruyante que la voie établie avec des rails à patin. Après avoir employé pendant de longues années le rail à double champignon, certaines compagnies ont fini par adopter définitivement le rail à patin. Ce rail à patin peut être retourné bout à bout ainsi que le rail à double champignon. Un calcul très-simple, basé sur le prix et la durée des rails à patin et des rails à champignons égaux, ainsi que sur le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prix et la durée des coussinets, montre que, par suite de la suppression des coussinets et de l'économie qui en découle dans l'établissement de la voie, le remplacement du rail à patin usé s'effectue sans qu'il en résulte une dépense supérieure à celle de l'emploi du rail à champignons égaux retourné quatre fois. Le rail à double champignon se place sur les traverses par l'intermédiaire de coussinets en fonte, tandis que le rail à patin se pose directement sur les traverses auxquelles il se fixe au moyen de tirefonds, de chevilles ou crampons. Par suite, la pose de la voie en rails vignole est beaucoup plus facile et plus rapide ; mais dans l'entretien de la voie. l'avantage est au rail à double champignon.

Les rails à double champignon se font en fer homogène à grains, tandis que dans le fer à patin la partie inférieure qui doit résister à la traction est faite en fer à nerf ; la partie supérieure, qui a besoin de dûreté, est faite en fer à grain ; l'âme ou la partie moyenne du rail est en fer métis. Nous n'entrerons pas dans le détail de la fabrication des rails, laquelle sera traitée avec les développements nécessaires dans une autre partie de ces études. La figure 3, pl. XXVIII, représente le profil du rail en fer de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerrannée. La partie supérieure du champignon est toujours bombée ; le rayon de ce bombement a été déterminé par la pratique ; il varie de 15 à 20 centimètres. Les causes de destruction des rails en fer tiennent essentiellement à leur mode de fabrication. Le métal n'est pas homogène ; les diverses fibres du fer tendent à se désouder, et la face supérieure s'use avec une certaine rapidité. On a songé à remplacer le fer par l'acier dont la fabrication est arrivée à un degré satisfaisant de perfection ainsi qu'à un prix peu élevé. L'acier présente les qualités requises pour une longue durée ; il est d'abord fondu avant d'être laminé, ce qui lui donne de l'homogénéité, et les différentes parties ne tendent pas à se désouder. Enfin le rail d'acier s'use d'une manière uniforme et avec beaucoup moins de rapidité que le rail de fer, et présente une résistance presque double de celle du fer.

Les expériences comparatives faites par la C^ie^ du Nord français sur les deux matières ont montré les qualités de résistance du rail en acier. Lorsque la compression ou la tension des fibres dépasse 17 à 18 kilogrammes par millimètre carré, les rails en fer conservent des déformations permanentes très-sensibles ; la compression ou la tension peut atteindre 38 kilogrammes pour les rails en acier avant qu'il en soit de même. La résistance à la rupture s'élève à 28 et 36 kilogrammes par millimètre carré pour les rails en fer, et à 65 et 75 kilogrammes pour les rails en acier. Au choc, les rails de fer ne résistent pas à une puissance vive dépassant en moyenne 400 kilogrammètres ; pour les rails d'acier, cette résistance dépasse 900 kilogrammètres.

La qualité de l'acier exigée par le chemin de fer du Nord français est définie par les essais suivants que nous extrayons du cahier des charges.

« *Première épreuve* (à la pression). — Chaque rail soumis à l'essai sera placé de champ sur deux points d'appui espacés de 1^m^,10, et devra supporter pendant 5 minutes au milieu de l'intervalle des points d'appui : 1° sans conserver de flèche permanente sensible après l'épreuve, une pression de 17,000 kilogrammes ; 2° sans dépasser une flèche de 25 millimètres une pression de 30,000 kilogrammes.

« *Deuxième épreuve.* — Chacune des deux moitiés de barre cassée placée de champ sur deux supports espacés de 1^m^,10, lesquels seront fixés sur une enclume de 10,000 kilogrammes devra supporter sans se rompre le choc d'un marteau de 300 kilogrammes tombant sur la barre au milieu de l'intervalle des points d'appui de 2^m^,25 de hauteur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sous des hauteurs successives de..	1m	1m,50	2m	2m,25
Les flèches prises ne devront pas s'écarter sensiblement de.	1m/m	3m/m 1/2	8m/m	18 à 20m/m

La substitution des rails en acier aux rails en fer a exigé une étude nouvelle du profil en raison des qualités indiquées plus haut. La Cie de Paris-Lyon-Méditerrannée, dont le trafic est très-important sur certaines de ses lignes et dont les trains sont très-chargés, avait primitivement adopté un rail en acier d'un poids supérieur au rail de fer, et elle motivait cette augmentation par l'accroissement de la vitesse des trains et par l'augmentation de la puissance de ses machines à marchandises. Les motifs invoqués par la Cie du Nord pour l'adoption du rail de 30 kilogrammes dont le profil est représenté figure 4, pl. XXVIII, sont les suivants : 1° L'usure lente et régulière des rails en acier par suite, leur plus grande durée; 2° La résistance de l'acier comparée à celle du fer. Les expériences faites par la Cie du Nord sur les rails en fer de toutes provenances ont démontré que les meilleurs d'entre eux ne résistent pas sur son réseau à une circulation de plus de vingt millions de tonnes; pour les rails de qualité ordinaire, ce chiffre n'atteint même pas quatorze millions de tonnes. Tous les essais faits sur les rails en acier montrent au contraire que leur champignon s'use uniformément d'un millimètre d'épaisseur pour une circulation de vingt millions de tonnes, et comme le profil de ces rails est étudié en vue d'une usure de 2 m/m, on peut estimer que la durée des rails en acier répondra à une circulation d'au moins deux cents millions de tonnes, c'est-à-dire que leur durée dépassera dix fois celle des rails en fer. La substitution des rails en acier aux rails en fer correspond donc à une notable économie d'entretien en même temps qu'elle accroît la sécurité de l'exploitation. En raison des qualités de résistance des rails en acier, il est rationel de substituer aux rails en fer des rails en acier dont le poids par mètre courant est inférieur au poids correspondant des rails en fer il faut prévoir quel sera l'accroissement du trafic, car pour les lignes importantes ayant des trains lourds et de grandes vitesses, le rail de 30 kilogr. exige un trop grand nombre de traverses, il vaut mieux lui substituer un rail d'un poids supérieur.

La Compagnie des chemins de fer de l'Ouest a adopté deux modèles de rails d'acier; l'un du type vignole (fig. 5, pl. XXVIII), du poids de 30 kilogr. le mètre courant; l'autre à deux champignons égaux (fig. 6, pl. XXVIII), est du poids de 38k,750. Nous extrayons du cahier des charges de cette compagnie les épreuves auxquelles doivent être soumis ces deux types de rails.

« Les rails seront classés avec soin, dans l'usine, en séries provenant de la » fabrication d'un ou de plusieurs jours. Les agents préposés à la réception » choisiront dans chaque série un certain nombre de rails qui devront être sou- » mis aux épreuves suivantes :

» *Première épreuve.* — Chacun de ces rails, placé de champ sur deux points » d'appui espacés de 1 mètre, devra supporter pendant cinq minutes, au milieu » de l'intervalle des points d'appui :

» 1° Sans conserver de flèche permanente sensible après l'épreuve :
» Une pression de 16,000 kilogr. pour les rails à double champignon;
— 14,000 kilogr. pour les rails vignoles.

» 2° Sans que la flèche sous charge soit supérieure à 0m,006 :
» Une pression de 25,000 kilogr. pour les rails à double champignon;
— 22,000 kilogr. pour les rails vignoles.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

» *Deuxième épreuve.* — La même barre placée dans les mêmes conditions » supportera sans se rompre au milieu de l'intervalle des points d'appui :

» Une pression de 40,000 kilogr. pour les rails à double champignon ;

— 35,000 kilogr. pour les rails vignoles.

» On augmentera ensuite la pression jusqu'à la rupture.

» *Troisième épreuve.* — Chacune des deux moitiés de la barre cassée placée » sur deux points d'appui espacés de un mètre dix centimètres devra supporter » sans se rompre le choc d'un marteau de trois cents kilogrammes tombant de » deux mètres de hauteur au milieu de l'intervalle des points d'appui.

Sous des hauteurs de chute successives de	1m	1m,50	2m	2m,25	2m,50	
Les flèches prises ne devront pas s'écarter sensiblement de	1m/m	3m/m	8m/m	»	15m/m	Rails à double champignon.
	2m/m	6m/m	15m/m	25m/m	»	Rails Vignoles.

» Pour cette épreuve, les deux supports seront en fonte assis sur une » enclume en fonte de 10,000 kilogrammes, reposant elle-même sur un massif » de maçonnerie de un mètre de hauteur et de trois mètres carré trois dixièmes » de surface à la base. »

La comparaison des épreuves exigées pour ces deux types de rails en acier fait bien ressortir les avantages présentés par le rail vignole.

Nous avons dit plus haut que l'abaissement du prix des rails en acier avait rendue générale la substitution de ces derniers aux rails en fer ; en effet, la première commande de rails en acier faite pour le chemin de fer de l'Ouest date de 1859 ; le prix était de 90 fr. les 100 kilogr., environ quatre fois plus élevé que le prix des rails en fer à cette époque. Actuellement, le prix des rails en acier est, dans certains pays, égal au prix des rails en fer en France; il est encore supérieur de 15 à 18 pour cent.

La durée de garantie des usines est plus considérable pour les rails en acier que pour les rails en fer : elle est généralement de 6 années pour les premiers et de 2 à 3 années pour les seconds. Les vérifications contradictoires après expiration de la garantie ont donné comme rebut à la Cie de l'Ouest une moyenne de 3,131 % pour les rails en fer, et de 0,352 % pour les rails en acier

Eclissage. — Les joints des rails sont placés généralement en porte à faux, ce qui donne les meilleures conditions théoriques et pratiques de résistance. On réunit les extrémités des rails au moyen de plaques en fer appelées éclisses, serrées au moyen de boulons. Dans le but d'obtenir un roulement plus doux qu'avec la pose à joints correspondant sur la même traverse, on a placé les deux joints des rails sur deux traverses voisines; les chocs dus aux passages des deux joints n'étant plus simultanés, leur action sur le mouvement de la voiture est atténuée par ce seul fait. La rudesse même de chacun de ces chocs est adoucie : 1° parce que la traverse du joint, au lieu d'être sollicitée au déversement à chacune de ses extrémités, est, au contraire, maintenue à l'une d'elles par la pression continue du rail qu'elle supporte; 2° parce que, recevant des secousses moins violentes, elle conserve mieux le bourrage; 3° parce que si le joint cède au passage d'une roue, la voiture, soutenue par les trois autres roues, n'est pas libre de suivre le mouvement. Les éclisses s'appliquent aussi bien aux rails à patin qu'aux rails à double champignon ; avec ces derniers rails, lorsque le joint est placé sur la traverse, on emploie des coussinets-éclisses la plupart du temps en fonte, mais aussi en fer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La fig. 7, pl. XXVIII, représente l'éclissage d'un joint en porte à faux employé par la Cie de l'Ouest pour ses nouveaux rails en acier. Ainsi qu'on peut le remarquer, cet éclissage exige deux éclisses de même section, mais de longueurs différentes. L'éclisse intérieure vient s'appuyer par ses extrémités sur le bec des coussinets du contre-joint, afin de s'opposer au mouvement longitudinal de la voie. L'éclisse intérieure est plus courte afin de laisser un jeu suffisant entre chacune de ses extrémités et le coussinet pour le serrage des coins.

La fig. 8, pl. XXVIII, représente l'éclissage d'un joint en porte à faux pour rails vignole en acier employé également à la Cie de l'Ouest. Ici les deux éclisses sont de longueurs égales; le mouvement longitudinal de la voie est combattu par une pièce de buttée fixée à la traverse par deux tirefonds. Le rail à double champignon repose sur des coussinets en fonte et y est assujetti au moyen d'un coin en bois. Les coussinets doivent avoir une longueur suffisante pour assurer une bonne assise sur les traverses; on les y fixe au moyen de deux tirefonds en fer.

Dans les courbes, on emploie pour le rail extérieur des coussinets plus larges, dits à 3 nervures, et on les fixe sur les traverses au moyen de 3 tirefonds. Le rail à patin se place sur les traverses sans intermédiaire; il y est fixé solidement au moyen de chevillettes, de crampons ou de tirefonds. On a quelquefois interposé entre le patin du rail et la traverse un matelas en feutre imprégné de goudron qui rend la voie plus douce et qui présente quelques avantages.

Traverses. — Afin de donner à la voie l'assiette suffisante pour maintenir l'écartement constant entre les rails, on pose ceux-ci, ainsi que nous l'avons déjà dit, sur des traverses en bois. Il est nécessaire que les traverses aient une liaison intime avec le sol et soient parfaitement assises. Les traverses sont en chêne, en hêtre, en sapin, etc.; suivant les climats, on préfère l'une ou l'autre de ces essences. En France, les traverses en bois de chêne sans aubier ont généralement $0^m,22$ de base sur $0^m,14$ de hauteur et $2^m,70$ de longueur; elles sont dressées à la scie sur quatre faces.

La C^{ie} de l'Ouest a adopté les dimensions suivantes (fig. 26, 27, 28 et 29) pour les traverses en bois de chêne avec aubier ou en bois de hêtre avec une tolérance de $0^m,01$ à $0^m,02$:

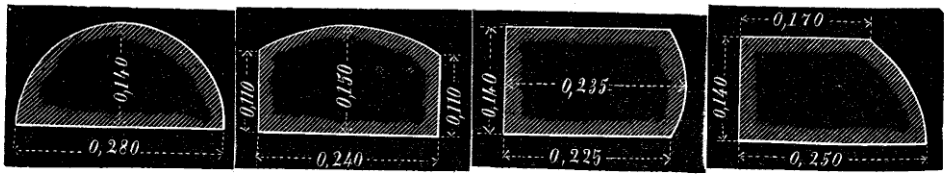


Fig. 26, 27, 28 et 29. — Traverses en bois de chêne avec aubier ou en bois de hêtre.

Cette compagnie française fait injecter les traverses à la créosote au moyen du vide et de la pression. La créosote provient de la distillation du goudron des usines à gaz; elle doit renfermer au moins cinq pour cent d'acide phénique. On remplit de traverses un cylindre dans lequel on fait le vide au moyen d'une machine pneumatique. Après avoir maintenu le vide pendant une heure environ, on fait pénétrer la créosote (préalablement élevée à la température de 50 degrés centigrades) par la pression atmosphérique d'abord, puis au moyen de pompes foulantes jusqu'à ce que le cylindre soit rempli, et on maintient la pression constante. Les traverses en chêne doivent avoir l'aubier entièrement imprégné de créosote; les traverses en hêtre ayant les dimensions indiquées ci-dessus doivent absorber environ 15 litres de créosote. Une modification à ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mode d'opérer porte le nom de procédé Blythe. Avant d'injecter la créosote au moyen du vide ou de la pression, on chauffe préalablement les traverses dans un cylindre *ad hoc* par un courant de vapeur d'eau mélangée de vapeurs carburées ; on n'exige alors qu'une absorption de 12 litres de créosote en outre de la quantité de créosote absorbée dans la première phase de l'opération. Les procédés de conservation des traverses sont très-nombreux. On emploie, en outre de la créosote, le sulfate de cuivre, le bichlorure de mercure, le chlorure de zinc, etc. On emploie surtout la créosote dans les pays houillers, et c'est le cas de l'Angleterre qui applique ce procédé aux sapins du Nord. En France, en Autriche, en Allemagne, on utilise principalement le sulfate de cuivre.

La société autrichienne I R P des chemins de fer de l'État utilise les mines de pyrites de fer et de minerais de cuivre qu'elle possède pour la fabrication de l'acide sulfurique et la préparation du sulfate de cuivre. Les injections par le procédé Boucherie ont été appliquées par cette compagnie à toutes sortes d'essences, principalement au hêtre dont elle possède des forêts importantes. La dissolution de sulfate de cuivre doit renfermer $1^{k},500$ grammes par hectolitre d'eau, et, après l'injection, les parties les moins bien préparées doivent contenir une proportion d'au moins $5^{k},500$ par stère. On vérifie la préparation des traverses au moyen d'un réactif composé de 90 grammes de cyano-ferrure de potassium dissout dans un litre d'eau. On applique ce réactif sur la surface des bois préparés, qui doit prendre une coloration rouge si le bois renferme une assez grande quantité de sulfate de cuivre. Comme avec la créosote, la préparation du bois peut avoir lieu en vase clos, on introduit les traverses dans un cylindre clos, et on injecte de la vapeur afin d'éliminer l'air; puis on fait un vide énergique d'à peu près $0^{m},06$ de mercure. On maintient ce vide de façon que le bois soit entièrement dépourvu d'humidité. On remplit alors le cylindre d'une dissolution de $1^{k},5$ à $2^{k},5$ de sulfate de cuivre par hectolitre d'eau dont la température n'est pas inférieure à 50 degrés; puis on refoule cette dissolution jusqu'à ce que la pression s'élève à environ 12 atmosphères. On maintient cette pression pendant plus d'une demi-heure.

La C^ie^ d'Orléans fait carboniser la surface de ses traverses, suivant le procédé de M. Lapparent. On emploie à cet effet un appareil spécial dans les *Annales du génie civil* auxquelles nous renvoyons nos lecteurs. La traverse est présentée sur toutes ses faces à la flamme d'un foyer dont l'intensité est excitée par une soufflerie à double vent à moyenne pression. Les compagnies de chemins de fer emploient de préférence le chêne préparé ou non, mais, en raison de leur situation géographique, et surtout en présence du prix élevé de ces traverses, elles ont été amenées à essayer diverses essences et divers procédés de préparation.

En Belgique, l'administration impose l'emploi des traverses en bois de chêne, tout en se réservant d'admettre quelques essences préparées suivant des procédés agréés par le Ministre.

Quelques chemins de fer allemands emploient presque exclusivement le chêne, qui se trouve d'ailleurs dans les contrées qu'ils traversent ; cependant, en général, les chemins allemands emploient des traverses de toutes sortes d'essences préparées. Nous éviterons de donner, même approximativement, la durée des traverses préparées; les résultats obtenus jusqu'à ce jour varient tellement qu'il est impossible, quant à présent du moins, d'en tirer des conséquences suffisamment rigoureuses. Le chêne non préparé dure à peu près deux fois autant que le sapin non préparé ; il en est de même lorsque ces deux sortes de bois sont préparées par le même procédé. Après le sapin, comme durée, vient le pin, puis le hêtre. Non préparés, ces bois suivent à peu près la même échelle de durée, les uns par rapport aux autres, que le chêne et le sapin. Préparés, le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

hêtre et le pin durent à peu près autant l'un que l'autre, mais moins longtemps que le sapin.

Elaboration des traverses. — Lorsque la voie est formée de rails à double champignon, le coussinet est disposé de manière à donner lui-même l'inclinaison au rail. Au contraire, lorsque le rail est à patin, la traverse reçoit des entailles inclinées vers l'intérieur de la voie. Ces entailles sont faites soit à la main, soit à la machine; ce dernier moyen assure une plus grande exactitude. La vérification des dimensions et de l'inclinaison des entailles se fait au moyen de gabarits qui portent des trous correspondant exactement aux crampons ou tirefonds. Dans le sabotage à la machine, on exécute en même temps le perçage des trous au moyen de traverses qui peuvent se mouvoir à la demande, et qui permettent ainsi de régler à volonté l'écartement des trous. Le contact du fer et du bois amène une destruction rapide des traverses; lorsque celles-ci sont préparées au sulfate de cuivre, les chevilles subissent une altération qu'il est important d'arrêter. La galvanisation des chevilles et des crampons est un moyen énergique de combattre ces altérations, et on l'a appliqué avec succès; on y joint un goudronnage des trous qui donne également de bons résultats.

Voies sur longrines. — D'après le type du rail adopté et en raison de certaines exigences, on a été amené à poser les rails sur des longrines en bois. Ces voies sont coûteuses, et on cherche le plus possible à éviter de les employer. Nous renvoyons nos lecteurs à la description des voies pour tramways.

Voies métalliques. — Le prix toujours croissant des traverses en bois préparées ou non, ainsi que l'insuffisance de la production des forêts dans la plupart des pays ont fait rechercher les moyens de supprimer l'emploi des traverses en bois dans l'établissement des voies ferrées. On a d'abord proposé l'emploi de traverses composées permettant d'utiliser les bois de faibles dimensions, puis différents types de traverses métalliques. Nous nous abstiendrons de passer en revue les différents types de voies métalliques qui ont été essayés jusqu'à ce jour; une étude très-complète et très-soignée en a été faite par M. Sambuc, ingénieur civil, dans les *Études sur l'Exposition de* 1867 publiées par M. Lacroix. Afin d'éviter les répétitions, nous renvoyons nos lecteurs à cet ouvrage, et nous nous contenterons de mentionner, avec les détails nécessaires, les innovations que nous avons relevées à l'Exposition.

Ballast. — Les traverses sont placées et maintenues sur le sol au moyen d'une couche de ballast. Le ballast doit être perméable, afin de ne pas garder l'humidité; il doit permettre un bourrage serré sous les traverses, et résister au vent et au passage des trains. Le ballast fortement bourré sous les traverses doit répartir la pression exercée par le passage du train au sol naturel; il doit donc avoir une épaisseur variable suivant la pression qui lui est transmise. Le gravier est le meilleur ballast, surtout s'il provient des rivières. Le gravier extrait des carrières est moins perméable, par suite de la quantité d'argile qu'il contient toujours en proportion variable. Le sable, qui paraît en premier examen satisfaire aux conditions indiquées plus haut, présente l'inconvénient de se soulever par le passage des trains, de s'introduire dans les joints des pièces de locomotives, et de détériorer rapidement leur mécanisme. Les galets ne se prêtent pas au bourrage des traverses, et se déplacent facilement; ils sont très-perméables. L'association du sable et de la pierre cassée donne de mauvais résultats. Diverses sortes de roches peuvent être empolyées avec succès, mais il faut en excepter les roches trop friables, comme la craie et les roches argileuses.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans certains pays, comme le nord de la France, où, en l'absence de pierres naturelles de construction, les produits céramiques sont exclusivement employés à la construction des maisons et des édifices, les débris de briques peuvent très bien servir de ballast. Le mâchefer donne d'assez bons résultats, ainsi que les laitiers des hauts fourneaux.

Assainissement des tranchées et remblais. — L'assèchement de la plate-forme, la consolidation et l'assainissement des talus, des remblais et tranchées présentent quelquefois de grandes difficultés. Lorsque le ballast se trouve étendu sur une couche imperméable, il est nécessaire d'assurer l'écoulement de l'eau dans les fossés établis le long de la voie. On pratique, à cet effet, des revers d'eau dirigés transversalement à la voie, et qui déversent l'eau dans les rigoles longitudinales. On a appliqué souvent le drainage, qui s'oppose au mélange du ballast et des terres argileuses, et qui donne de bons résultats.

Nous ne passerons pas en revue les divers moyens employés pour la consolidation des talus, car cela nous entraînerait hors du cadre qui nous est imposé. Disons seulement que les plantes à racines profondes et touffues sont les meilleures et peuvent être recommandées, tant que la nature du sol qui compose les talus ne s'oppose pas à leur emploi. Dans certains cas, les murs de soutènement sont rendus indispensables; ce moyen coûteux n'est pas toujours efficace. Au contraire, le procédé qui porte le nom de procédé de Sazilly est souvent d'un très grand effet.

Dispositions spéciales de certaines parties de la voie. — Les diverses manœuvres que l'on est obligé de faire subir au matériel roulant dans l'exploitation d'une voie ferrée, exigent l'établissement de voies auxiliaires, appellées voies de garage. Si la voie est unique, lorsque deux trains marchant en sens contraire viennent à se rencontrer dans une des gares du réseau, l'un d'eux est dirigé sur une voie d'évitement qui communique avec la première, au moyen d'un appareil spécial nommé aiguillage.

Dans les gares, il est nécessaire de classer les voitures et les wagons sur des voies différentes, afin de pouvoir à volonté prendre chacun des types de voitures ou wagons dans la proportion exigée par le trafic, en suivant les directions assignées à chacun d'eux; ici encore il est nécessaire de faire communiquer entre elles les diverses voies dont on dispose. En outre des aiguillages on est amené à employer les plaques tournantes et les chariots roulants.

Jonctions de voies.— On a essayé différents types d'aiguilles pour faire communiquer deux voies entre elles, et on s'est arrêté à une disposition unique. Toute jonction de deux voies se compose nécessairement d'un changement de voies ou de deux aiguilles et d'un croisement de voies. Soit une voie AC, A′C′ et une deuxième voie AB, A′B′ communiquant avec la première, on établit toujours la ligne extérieure des rails sans solution de continuité, les rails AB et A′C′ sont fixes; au contraire, les rails intérieurs EC et E″B′ sont mobiles dans leurs parties ED et E′D′ autour des points D et D′; ces rails s'appellent les *aiguilles*. Au point F de rencontre des rails intérieurs se place l'appareil spécial appelé croisement de voies.

Les aiguilles sont manœuvrées au moyen d'un levier à contre-poids, et quel que soit le type du rail, à double champignon ou vignole, elles glissent sur des coussinets spéciaux fixés solidement aux traverses. On fait exclusivement les aiguilles en acier. Les pointes des croisements appelées aussi pointes de cœur sont faites en général en acier fondu et forgé ; on en a fait également en acier fondu seulement, et aussi en fonte dure. On construit encore des changements

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

triples, mais en établissant toujours la file des rails extérieurs continue. Il est nécessaire de faire ralentir les trains au passage des aiguilles, car, quels que soient les soins que l'on apporte à leur établissement, une fausse manœuvre ou un

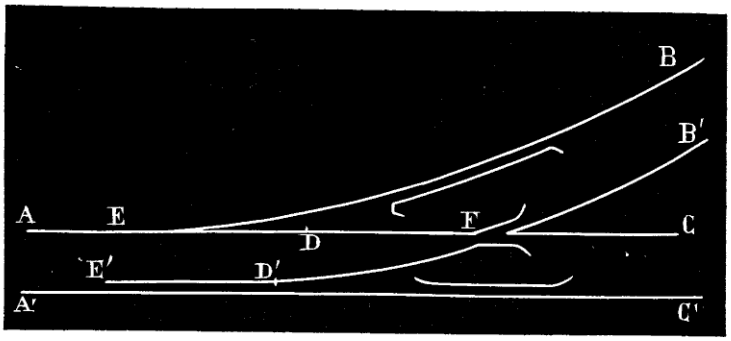


Fig. 30. — Jonctions de voies.

manque d'attention de l'aiguilleur, peut amener de très-graves accidents; malgré le contre-poids, il faut exiger de l'agent chargé de la manœuvre des aiguilles de tenir le levier pendant le passage des trains, afin d'assurer l'application complète de l'aiguille contre le rail fixe.

Traversée oblique. — Lorsque deux voies se traversent sans communiquer l'une avec l'autre, on a ce que l'on appelle une traversée oblique. Les rails en se rencontrant donnent lieu à l'établissement de deux croisements analogues à ceux des jonctions de voies et à deux dispositions spéciales en A. On observe

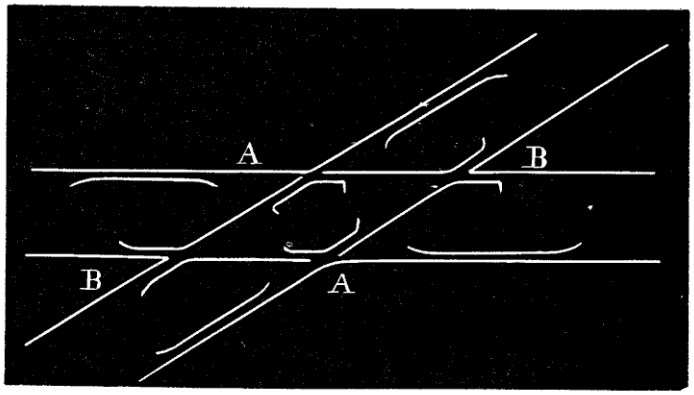


Fig. 31. — Traversée oblique.

toujours cette règle de la continuité des rails extérieurs et on assure le passage des roues au moyen de contre-rails avec pattes de lièvre. Il est quelquefois nécessaire de faire communiquer entre elles et dans toutes les directions deux voies qui se coupent sous un angle très-aigu (entre 5°30 et 7°30), on emploie alors un appareil usité en Angleterre et qui comprend quatre changements de voies, deux croisements et traversées doubles et deux croisements simples. Les quatre changements de voies sont manœuvrés par un seul levier, on est ainsi certain que les aiguilles prendront bien ensemble la position nécessaire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cet appareil a été adopté depuis par la Compagnie de l'Ouest français qui en expose un spécimen. Il est facile de se rendre compte de la complication à laquelle on est amené par suite de l'augmentation du nombre des voies et de leurs positions respectives ; on doit donc chercher à diminuer la distance entre les appareils, mais sans cependant sacrifier la largeur des rayons de courbes de raccordement. Dans la demi-traversée dont nous avons parlé plus haut, on peut être amené à descendre jusqu'à 130 mètres de rayon; ce doit être une exception.

Traversée rectangulaire. — Lorsque deux voies se coupent sous un angle droit, on a une traversée rectangulaire. On doit éviter de placer ces traversées sur les voies principales autrement que dans les gares. Dans tous les cas, on conserve leur continuité aux rails de la voie principale et on coupe les rails de la voie secondaire, qui sont placés à un niveau plus élevé que les précédents, de manière à permettre le passage des boudins des roues. Lorsque les voies ont une importance égale, on coupe les rails des deux voies qui sont placés au même niveau. Il est absolument indispensable d'exiger le ralentissement au passage de ces points faibles.

Plaques tournantes. — Lorsque l'on veut mettre en communication deux voies qui se coupent à angle droit, on emploie les plaques tournantes. Ces plaques sont formées d'un plateau tournant, d'un pivot, d'un plateau dormant et de galets de roulements. Les dimensions des plaques tournantes varient nécessairement suivant le type du matériel roulant. Dans les lignes secondaires sur lesquelles ne circulent pas de trains à grande vitesse, la distance des essieux peut être réduite au minimum, et par suite, les plaques dont le diamètre dépend principalement de la distance des essieux des véhicules peuvent être de faibles dimensions. Au contraire, si le matériel doit marcher à grande vitesse, il est nécessaire de lui donner la plus grande stabilité possible, et par conséquent d'augmenter la distance des essieux; il en résulte nécessairement un diamètre plus grand des plaques tournantes.

Indépendamment du matériel roulant, il y a lieu de considérer les plaques tournantes pour locomotives et tenders, qui sont de plus grandes dimensions que les premières. Lorsque la plaque ne permet pas de faire tourner la locomotive avec le tender, on a une perte de temps très-considérable, et souvent il est indispensable de pouvoir faire cette manœuvre très-rapidement; c'est le cas qui se présente lorsque par suite d'un rebroussement de la voie on est obligé de faire tourner la machine pendant le cours d'un voyage ; on emploie alors des ponts tournants qui permettent la manœuvre de la locomotive avec son tender. Les ponts tournants sont placés principalement à l'entrée des dépôts ou remises de locomotives.

Chariots roulants. — Pour mettre en communication plusieurs voies parallèles on emploie des chariots roulants. L'inconvénient des chariots roulants est d'exiger une voie spéciale de roulement en contre-bas des voies ordinaires. Cette fosse dans laquelle circule le chariot présente beaucoup d'inconvénients et on a cherché à la supprimer du moins en partie; la Compagnie de l'Ouest remplace la fosse générale par trois petites fosses de faible largeur. Une autre solution est présentée par le chariot Dunn. Les roues du wagon montent au moyen d'un plan incliné qui peut se replier sur le chariot, et elles reposent sur leurs boudins. Dans les ateliers où l'emploi du chariot est continu, on le fait mouvoir mécaniquement au moyen d'une locomobile montée sur ce chariot qui atteint alors de plus grandes dimensions.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1° **De la voie métallique des chemins de fer.** — Dans la voie métallique où l'on a cherché à substituer aux traverses en bois, des supports en fonte, fer ou acier, on a employé soit des traverses, soit des longrines métalliques pour y poser les rails. Nous parlerons de quelques-uns de ces systèmes.

2° **Traverses métalliques.** — *Système Massardier* (fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7, pl. XXIX). — La traverse est un fer à double T ordinaire dont la force peut être proportionnée à l'importance de la voie. Dans la voie ordinaire, ses dimensions sont : hauteur 180 millim., largeur des tables 75 millim., longueur 2 mètres. Le poids est de 80 kilogr. On peut le disposer soit pour le rail vignole, soit pour le rail à double champignon.

Application à la voie vignole (fig. 1, 2, 3 et 4). — Le fer à double T étant posé à plat, les parties supérieures des deux ailes sont entaillées de façon à présenter une portée pour le rail avec l'inclinaison ordinaire de $\frac{1}{20}$ vers le centre de la voie; à loger exactement le patin entre deux points diagonalement opposés; les deux autres points reçoivent une clavette en fer (fig. 4) pour le serrage. La forme de cette clavette donne une certaine élasticité à ses branches. On comprend alors qu'en chassant les quatre clavettes dans les entailles qui leur sont ménagées on obtienne la fixation des rails à la traverse. Le prix indiqué de cette traverse est de 8f90. Ce système est certainement très-simple, mais il ne paraît applicable que pour des voies peu fatiguées, où ne circuleraient que des trains à petite vitesse. En effet : la forme en U du dessous de la traverse peut favoriser jusqu'à un certain point le bourrage du ballast; mais les tables ont une surface insuffisante pour s'opposer à un déplacement longitudinal de la voie; rien aussi ne s'opposerait à son ripage. Le mode d'attache pourrait être insuffisant pour une certaine vitesse des trains.

Application à la voie à double champignon (fig. 5, 6, 7). — Le coussinet en fonte qui supporte le rail est de forme spéciale : les deux côtés opposés de son patin s'engagent dans deux encoches pratiquées dans les ailes du fer à double T, ce qui empêche son renversement. Deux clavettes analogues aux précédentes et logées de la même façon, maintiennent le serrage. Cette traverse avec ses accessoires est évaluée 11f90.

Système Legrand (fig. 32, 33, 34 et 35.) — Il s'applique aux rails à patin. La traverse est un fer à **U** à ailes évasées, dont la table a une rainure servant de buttée aux attaches. A l'extérieur de la voie, le patin du rail s'engage sous un mentonnet rivé ou boulonné à la traverse, et à l'intérieur l'autre patin est maintenu par un crapaud fixé par un boulon. La jonction des rails se fait à l'aplomb d'une traverse; ils sont éclissés comme à l'ordinaire; les patins présentent également des encoches dans lesquelles pénètrent une saillie du mentonnet et du crapaud spéciaux aux joints; les rails ne peuvent donc glisser sur les traverses. L'inclinaison de $\frac{1}{20}$ des rails est obtenue par un cintrage convenable de la traverse. Le fer de celle-ci pèse 15 kilog. le mètre courant. Elle a 2m40 de longueur; son poids y compris les attaches est 38kg250.

Son prix est évalué :

En Belgique, prise à l'usine.	6f 00
En France, — —	7 50

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La forme en U est convenable pour le bourrage du ballast. Le mode d'attache paraît offrir assez de sécurité.

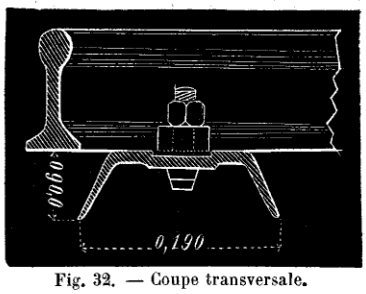


Fig. 32. — Coupe transversale.

Système Vautherin (fig. 12, 13, 14, 15, 16, 17 et 18, pl. XXIX). — La traverse de ce système se compose d'un fer laminé de forme trapézoïdale (fig. 15, pl. XXIX) du poids de 12k5 le mètre courant et des accessoires pour l'attache du rail. L'inclinaison de celui-ci est donnée par le cintrage de la traverse (fig. 12, pl. XXIX). Il y a deux modes d'attache du rail. Dans le premier (fig. 13, pl. XXIX) un des patins restant butté sous le crochet *a*, l'autre est retenu sous la tête d'un crampon à coulisse, chassé par une clavette élastique *c* à deux branches et en acier trempé. Une mortaise ovale (fig. 8, pl. XXIX), pratiquée dans la traverse, sert à loger la clavette ; celle-ci y est introduite facilement dans le sens *mm'*, l'échancrure *m* laissant passer l'ergot ; en la tournant ensuite d'un quart de tour à l'aide d'un levier, ses deux branches se trouvent comprimées dans l'espace plus étroit et exerçent un serrage continu sur le crampon du rail.

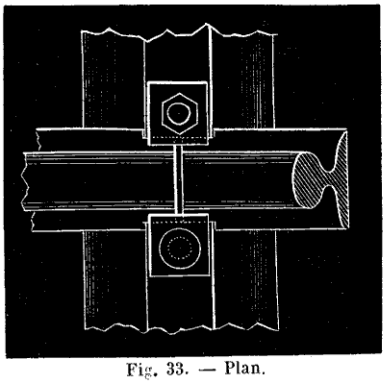


Fig. 33. — Plan.

Dans le deuxième mode d'attache (fig. 14, pl. XXIX), la clavette élastique *d* fait fonction à la fois de crampon et de clavette : d'un côté, sa boucle s'appuie fortement sur le patin du rail, de l'autre, elle est maintenue par un buttoir à coulisse *e* et ses ergots touchent le dessous de la traverse. Le serrage est complété par l'usage d'un chien *i* qui exerce une contre-pression régulatrice sur le patin opposé par l'action d'un boulon *j*. La résistance de la traverse est relativement grande sous un faible poids. Le bourrage du ballast est bien fait en raison de la forme de la traverse et de ses dimensions, et l'adhérence que l'on obtient, entre la traverse et le ballast, peut s'opposer au ripage de la voie. Tout déplacement longitudinal de celle-ci paraît devoir être arrêté par les dimensions des ailes du fer. Le poids de la traverse est 12kg5 le mètre, soit 30 kilogr. pour une longueur de 2m40. Les deux traverses qui avoisinent l'éclissage en porte à faux des rails sont plus larges et pèsent 17k4 le mètre. Le prix de la traverse de 30kg munie de ses accessoires est évaluée : pour la Belgique à 5f80, pour la France 6f90.

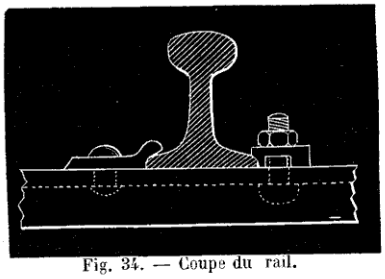


Fig. 34. — Coupe du rail.

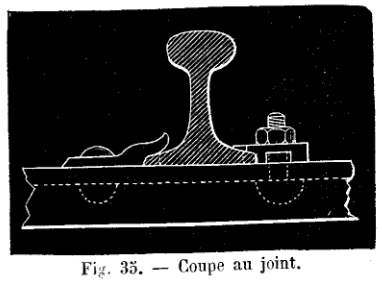


Fig. 35. — Coupe au joint.

Depuis dix années, plus de 350,000 traverses de ce système sont expérimen-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tées en Algérie, en Égypte, en Allemagne, en Belgique, et la Hollande en a fait une commande de 20,000 en juin 1878.

Système Brunon (fig. 19, 20, 21, 22 et 23, pl. XXIX). — La traverse est en tôle d'acier d'une épaisseur de 9 millim. sous les rails et réduite à 6 millim. vers le milieu. Cette tôle est emboutie en forme de fer à U resserré vers le milieu de la traverse et allant en s'évasant vers les extrémités. Un dôme obtenu à l'emboutissage forme un siége pour le patin du rail. Son attache se fait à l'aide d'un seul boulon coudé, passant en dessous du dôme, et qui serre deux taquets s'appliquant sur chacun des patins du rail. Il est à remarquer que par le fléchissement du siége du rail sous la charge, le serrage du boulon sur les taquets augmente. Pour empêcher le glissement des rails sur les traverses, on fait l'éclissage à l'aplomb d'une traverse plus large de 5 cent. que les autres. Les taquets se prolongent sous le champignon du rail en formant éclisses, et ils sont maintenus à la traverse par deux boulons d'attache. Tout déplacement de la voie est empêché par la forme même de la traverse.

Poids d'une traverse intermédiaire :

Corps de la traverse.	27 kil.
2 boulons en fer.	2 »
4 taquets	3 »
POIDS TOTAL	32 kil.

Prix de la traverse 10 francs. Cette traverse a été expérimentée au chemin de fer de Lyon.

3° **Voie sur longrines métalliques.** — *Système Hilf* (fig. 24, 25, 26 et 27, pl. XXIX). — La fig. 24 représente la section du fer laminé de la longrine et de la traverse qui entrent dans la composition de la voie du système Hilf. Pour une longueur de voie de 9 mètres qui est la longueur normale du rail, il y a deux longrines parallèles de $8^{m}96$. Sur chacune d'elles est fixé, à l'aide de crapauds serrés par des boulons, un rail en acier pesant $25^{kg},80$ le mètre courant. Les longrines sont posées sur le ballast et à leurs extrémités, sur deux traverses en fer de même section où elles sont retenues par des boulons et fer d'angle. Ces traverses sont cintrées pour donner l'inclinaison de $\frac{1}{20}$ au rail longrine. Au milieu de leur longueur les rails sont entretoisés par une tringle, munie à ses extrémités d'écrous, et de rondelles dont une face est inclinée au $^{1}/_{20}$; on maintient ainsi l'écartement et l'inclinaison des rails. Ceux-ci sont éclissés comme à l'ordinaire. Pour empêcher tout glissement du rail sur la longrine on emploie un crapaud double (fig. 25) fixé à la longrine par deux boulons et contre lequel l'éclisse vient butter.

Dans la voie en courbe, on emploie également des longrines droites. Les trous de boulons, au lieu d'être placés en ligne droite, le sont alors suivant la courbe. Les rails en acier de 25 kilog. qui sont flexibles, prennent facilement la même courbure lorsqu'on les fixe aux longrines. Les différences de longueur entre deux files de rails se rachètent en intercalant des rails-longrines ayant 10 centimètres de moins de longueur. Quoique le poids du rail-longrine soit considérable, environ 600 kilog., la pose de cette voie peut se faire facilement et rapidement. Le matériel est chargé sur des wagons poussés par une locomotive placée en queue, jusqu'au point où doit commencer la pose. A la tête du train se trouve une grue spéciale placée sur un wagon. Le ballast étant préparé d'avance, on pose d'abord deux traverses à la distance de 9 mètres; la grue saisit deux rails-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

longrines sur les wagons et les dépose à leur place sur la voie; le tout étant assujetti, on fait avancer le train d'une longueur de rail pour recommencer la même opération.

On indique comme avantages de ce système : une durée de l'assise de la voie plus grande que celle des bons rails d'acier, des frais d'entretien de la voie moindres, une élasticité et un roulement doux; des frais de premier établissement un peu inférieurs à ceux de la voie ordinaire avec rails d'acier de 37 kilog. et traverses en chêne : dans le premier cas, le prix de revient par mètre de voie serait 22f22 et dans le second, 22f44; mais cet avantage minime augmente considérablement si l'on tient compte de la valeur des vieux matériaux à retirer de la voie. On peut signaler entre autres, comme inconvénients, le glissement longitudinal des longrines, surtout en pente; il faut employer un ballast spécial de pierrailles et gravier qui coûte cher. La voie Hilf est essayée en Allemagne sur plus de 1000 kilomètres.

II. — MATÉRIEL ROULANT.

Préliminaires. — Nous commencerons par présenter à nos lecteurs un aperçu très-rapide sur l'historique des chemins de fer, au point de vue spécial du matériel roulant. La première idée d'un chemin de fer date de 1646 : on commença dans des mines des environs de Newcastle, à faire rouler les chariots servant à transporter le charbon, sur des planches posées à terre afin d'atténuer le frottement des roues sur le sol irrégulier de la mine. La première voiture à vapeur date de 1769; elle fut inventée par un français, Joseph Cugnot, qui vint à Paris expérimenter sa machine à l'Arsenal. Son œuvre fut depuis reprise et perfectionnée à l'étranger, comme cela est arrivé fréquemment pour bien d'autres inventions françaises, et l'anglais Stephenson présenta en 1814 la première *locomotive*.

L'emploi de la chaudière tubulaire, qui amena une révolution dans l'industrie des générateurs, est encore une invention française; elle est due à Séguin en 1828. On comprend que ce progrès qui permit, sous le même volume, d'augmenter considérablement la surface de chauffe, devait trouver surtout son application dans les chemins de fer où le problème fondamental est d'avoir une grande force avec le moins de poids mort possible. Aussi, dès l'année suivante 1829, on commença en France et en Angleterre, à voir circuler les locomotives à grande vitesse; elles étaient cependant encore fort imparfaites, et n'ont cessé de se perfectionner jusqu'à nos jours. Quant aux voitures, construites d'abord sur les mêmes types que les diligences en usage à cette époque sur les routes, elles sont établies aujourd'hui sur des données analogues mais un peu plus vastes.

Ainsi, on a amélioré certains détails, perfectionné le mode de construction surtout depuis que l'emploi du fer et de l'acier s'est généralisé; on a encore donné un peu plus de confortable aux voyageurs; les principes fondamentaux néanmoins sont restés les mêmes qu'au début. Il y a bien eu à un certain moment une tendance marquée à la réforme; on s'était subitement engoué du système à couloir central dit wagon *américain*. Aujourd'hui, l'engouement a disparu, et notre matériel comparé et jugé a prévalu.

Ces quelques considérations générales étant posées, nous allons passer à l'étude détaillée du matériel roulant. Nous avons divisé notre travail en deux parties : 1° Généralités sur le matériel roulant; 2° Examen des principaux types exposés en 1878.

1° Généralités sur le matériel roulant. — On nomme matériel roulant dans les chemins de fer, tout l'ensemble des véhicules destinés au transport.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il se divise en deux grandes catégories : 1° Les *voitures* servant au transport des voyageurs ; 2° Les *wagons* destinés exclusivement au service des marchandises.

Les voitures. — Comme nous le disions précédemment, on n'a guère apporté aux formes primitives des voitures, que des modifications de détails et des perfectionnements de construction destinés autant que possible à résoudre ce problème de donner aux voyageurs le plus de confortable possible, tout en réduisant au minimum les nouveaux frais qui incombent à la Compagnie. Les voitures actuelles, comme celles des premiers chemins de fer, se composent donc de deux parties essentielles sur lesquelles viennent se grouper tous les accessoires : ce sont la *caisse* et le *châssis ;* nous allons les étudier séparément.

1° *Étude de la caisse.* — Le système le plus généralement adopté se compose d'une caisse en bois divisée en plusieurs compartiments par des cloisons transversales. Chaque compartiment est muni de deux portières, une à chaque extrémité, communiquant avec l'extérieur; de cette façon, les voyageurs peuvent facilement avoir accès sur les quais et monter très-rapidement en voiture, ce qui présente de grands avantages au point de vue du service (pl. XXX).

Notons en passant à ce sujet que les quais hauts, c'est-à-dire au niveau du plancher de la voiture, sont préférables aux quais bas, lorsqu'il y a un grand mouvement de voyageurs, et des trains nombreux à grande vitesse. Dans certains cas, il serait même impossible d'avoir d'autres quais; ainsi au Métropolitain de Londres, où l'on a besoin d'une grande vitesse et de stations très-rapprochées, la première condition du trafic est un faible temps d'arrêt à chaque station ; on ne s'arrête en effet pas plus de trente secondes environ. On comprend alors qu'il est indispensable d'éviter aux voyageurs, cette gymnastique désagréable, assez dangereuse et toujours longue, qui consiste à escalader plusieurs marchepieds.

Dans les voitures actuelles, à l'exception peut-être de quelques troisièmes classes, on peut facilement se tenir debout : c'est certainement là un grand progrès. Auparavant, cela était rarement possible et il fallait se rendre à sa place en se baissant, ce qui était fort incommode. Les Allemands ont encore exagéré la hauteur des voitures et il existe sous le pavillon au-dessus des têtes des voyageurs, un assez grand espace médiocrement utile. Nous autres Français, nous y trouvons un certain avantage : c'est que ces caisses plus grandes emmagasinent un plus grand volume d'air, ce qui est d'une utilité de premier ordre pour combattre la fumée des cigares et des pipes dont, comme chacun sait, on abuse au-delà du Rhin d'une façon extraordinaire.

La largeur du compartiment et le nombre de places varient suivant les classes de voitures. Ainsi une voiture française de première classe est partagée en trois compartiments de huit places chacun, en tout vingt-quatre places. Chacun de ces compartiments contient deux banquettes transversales de quatre places chacune. Enfin, comme nous le verrons plus loin, chaque banquette est divisée en deux parties par un appui intermédiaire; la plus petite subdivision du compartiment est donc de deux places, ce qui permet à chaque voyageur, sauf la vue, de jouir de l'avantage d'un coin. La voiture de seconde classe française est divisée en quatre compartiments de dix places, en tout quarante places. Chaque compartiment contient comme précédemment deux banquettes rembourées, mais sans séparation médiane. Enfin, la voiture de troisième classe renferme cinquante places réparties entre cinq compartiments de dix places. Les deux banquettes qui existent comme précédemment dans chaque division, sont simplement en bois, la voiture de troisième classe n'étant pas

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

capitonnée. Il existe, en outre, des voitures mixtes composées de compartiments de différentes classes.

En Allemagne il y a encore des voitures de quatrième classe. Ce sont des espèces de tombereaux découverts où l'on se tient debout. On ne les emploie guère qu'aux abords des grandes villes pour les parcours de courte durée.

En France, au contraire, dans les trains qui desservent les banlieues des grandes villes, on ne met généralement que deux classes.

Les voyageurs ainsi isolés par compartiments, ont la faculté d'ouvrir eux-mêmes et de fermer les portières des voitures. Cette mesure, adoptée en France à la suite du grand déraillement de la ligne de Versailles (rive gauche), est certainement à recommander, car, en cas d'accident, d'incendie, etc., les voyageurs enfermés à clef comme on le faisait auparavant, se voyaient enlever la dernière chance qui leur restât d'échapper au danger. Aussi cette excellente coutume est-elle maintenant générale dans tous les pays, excepté en Angleterre où les agents des trains continuent à enfermer les voyageurs dans les voitures.

On s'explique peu la ténacité de nos voisins sous ce rapport. Quelles raisons peuvent-ils avoir pour repousser ainsi de parti pris des choses évidemment excellentes? les mêmes probablement que celles qui leur font refuser la pratique du système métrique que, seuls dans le monde civilisé, ils ne veulent pas admettre : c'est que ces inventions ont le grand tort de n'être pas anglaises.

Les compartiments d'une même voiture doivent être isolés autant que possible, la communication d'un compartiment à l'autre par une cloison ne montant pas jusqu'au pavillon est toujours une mauvaise chose surtout pour les longs trajets. La seule exception à cette règle se rencontre en France dans les troisièmes classes.

Dans les pays chauds, Espagne, Portugal par exemple, on avait adopté primitivement la communication entre les compartiments dans le but facile à comprendre dans ces climats, de faciliter la circulation de l'air et de combattre la chaleur. Mais on a bientôt dû y renoncer en présence des nombreuses réclamations du public et du faible résultat obtenu. Dans les premières et deuxièmes classes, chaque compartiment muni de deux portières présente généralement deux panneaux extrêmes divisés chacun en trois parties : deux parties dormantes et une mobile. Chacune de ces parties est munie d'une baie garnie d'un châssis vitré qui peut se lever ou se baisser à volonté et donner accès à l'air extérieur et à la lumière (pl. XXX).

Dans les pays du Nord, en Allemagne, en Angleterre, la glace de la portière seule est mobile, les deux autres sont fixes et ne servent qu'à éclairer l'intérieur du compartiment. Dans ces climats froids en effet, il est rare que l'on éprouve le besoin d'ouvrir les trois châssis à la fois. Pour empêcher le bruit produit par ces châssis pendant la marche, on les garnit d'étoffe, ou bien, on les fait glisser entre de petits ressorts qui les appliquent sur le cadre fixe ou dormant de la baie. En outre, à la Compagnie du Nord français, le châssis est équilibré en arrière et au-dessous, par un contre-poids qui lui permet de rester dans la dernière position qu'on lui donne. Ce système est bien préférable à celui des lanières avec boutonnières qui permettent seulement deux ou trois déplacements importants du châssis.

§ 2. *Éclairage.* — La nuit, l'éclairage a lieu au moyen de lampes spéciales placées généralement, dans le pavillon au centre du compartiment (pl. XXX). Une coupe de verre rend ces lampes accessibles seulement du dehors; les voyageurs ne peuvent y toucher. Les lampes sont alimentées par de l'huile, du pétrole, un mélange d'huile et de pétrole, etc.; ce dernier retarde la congélation de l'huile dans les pays froids où l'on a aussi employé les bougies pour l'éclairage; on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

place ces bougies latéralement dans des ouvertures vitrées du panneau. L'éclairage au gaz commence aussi à se répandre; on l'emploie en Angleterre sur le Métropolitain de Londres. Le chemin de fer de Grande Ceinture de Paris, qui se construit en ce moment, sera éclairé au gaz; chaque voiture sera munie à cet effet de réservoirs placés sur la caisse. La question de l'éclairage, comme celle du chauffage, est une des plus intéressantes que présente l'étude du matériel roulant; nous y reviendrons dans l'examen des différents types exposés au Champ-de-Mars.

§ 3. *Voitures spéciales.* — Dans ces dernières années, les Compagnies ont construit des voitures spéciales destinées à satisfaire les demandes de plus en plus impérieuses, de bien-être et de commodité dont elles étaient obsédées. En somme, comme ce sont des voitures de luxe, on a pu élever les tarifs pour ces véhicules particuliers, et finalement les chemins de fer ont trouvé là encore, une source nouvelle de bénéfices. Parmi les places de luxe on distingue :

1° *Coupé.* — C'est un compartiment de première classe généralement disposé à l'extrémité d'une voiture et ne possédant qu'une seule banquette à trois ou à quatre places. Au chemin de fer du Nord français, à la Cie des chemins de fer de l'État autrichien, etc., on a construit des voitures de première classe un peu plus longues que les autres et on a mis un coupé à chaque bout laissant dans l'intervalle deux compartiments ordinaires. Ces coupés permettent de s'isoler un peu plus que de coutume, leurs positions aux deux extrémités de la voiture rend cette dernière plus stable que lorsqu'il n'y a qu'un coupé à l'un des bouts; la vue de face que leur situation pourrait faire espérer est masquée malheureusement par la voiture suivante.

2° *Coupés-fauteuils-lits.* — Le compartiment a la même forme et la même disposition que le coupé ordinaire. Seulement, les trois siéges sont disposés de manière à s'allonger et à former une sorte de lit.

3° *Coupés-lits.* — La Compagnie de l'Est construisit la première des coupés renfermant de véritables lits qu'on relève pendant le jour et qui sont simplement appliqués debout contre les parois de la voiture. Le coupé est naturellement un peu plus large, mais ne renferme toujours que trois places, qui la nuit, peuvent former trois lits. On a imité depuis cette disposition un peu partout (pl. XXXII).

4° *Sleeping-cars.* — Les solutions précédentes ne donnent que des lits imparfaits qui obligent à rester habillé. On a construit en Autriche des voitures spéciales avec lits fixes et étagés le long des parois dans le genre des cabines de navires. Mais le wagon ainsi disposé ne peut jamais servir dans le jour, car on ne peut replier ni déplacer les lits. Une autre solution est présentée par le sleeping-car américain (wagon-dortoir). Dans le jour, la voiture est garnie de siéges transversaux que l'on abaisse et que l'on dispose en long contre les parois quand vient la nuit. Des lits élémentaires tout préparés et relevés pendant le jour s'abaissent alors au moyen de charnières et sont maintenus horizontaux par des tirants en fer; il y en a généralement deux étages superposés : on a alors réellement de quoi se coucher commodément.

En France, nous avons encore les wagons-salons appartenant à des particuliers ou destinés à des souverains, à des administrateurs, aux fonctionnaires supérieurs des Compagnies les jours de cérémonie, d'inaugurations de lignes, etc. Ces salons ont des dispositions très-diverses; généralement on y accède par les extrémités au moyen de plates-formes, quelquefois aussi par les côtés. Dans certaines compagnies, on livre des salons au public au prix des premières classes ; la Compagnie de l'Ouest par exemple, possède des voitures

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mixtes ainsi disposées : un salon central contient 11 places et se trouve enclavé entre deux compartiments de seconde classe.

Comme nous avons eu déjà l'occasion de le dire, les Compagnies sont entrées dans une bonne voie en construisant ces voitures spéciales qui, vu leurs tarifs particuliers et élevés, constituent pour ces Compagnies une nouvelle source de bénéfices.

Dans le même ordre d'idées, on a installé des cabinets de toilette, des water-closets, toutes choses très-utiles dans les trajets longs et rapides où les temps d'arrêts sont rares et courts. Quelquefois le water-closet est dans un fourgon et ne sert alors généralement à rien, car on a le tort de ne pas en prévenir suffisamment les voyageurs. Aux États-Unis où l'on fait très-fréquemment de très-longs voyages, on a des wagons-ambulances, des wagons-buffets, etc. Quoiqu'il n'y ait en théorie qu'une seule classe de voitures, c'est là que moyennant finance on peut rencontrer le plus de confortable et de luxe. Certaines voitures dépassent, dans cette voie, tout ce que l'on peut voir en Europe : aussi les a-t-on nommées *palace-car* (voiture-palais).

Sur le continent les voitures sont toutes intérieurement garnies de coussins à l'exception des troisièmes classes. Certaines voitures de première classe, et l'usage s'en répand de plus en plus, sont même capitonnées entièrement ; les voitures sont plus sourdes, plus chaudes et cela permet d'atténuer autant que possible l'effet des chocs en cas d'accident. Dans tous les cas, une séparation garnie divise toujours chaque banquette en deux parties, de sorte que tous les voyageurs ont un accoudoir.

A la Compagnie de l'Est, on a eu pour la première fois l'idée généralement imitée depuis, de rendre mobile cet accoudoir central, de manière qu'un voyageur seul sur une banquette peut le relever, s'allonger, et avoir une sorte de lit à sa disposition. La Compagnie de l'Est est d'ailleurs, de toutes les compagnies françaises, celle qui s'est le plus préoccupée du bien-être des voyageurs et du confortable dans l'aménagement et la disposition de ses voitures. Ainsi les nouvelles voitures de troisième classe, sont munies de deux oreillères à la place du milieu à la hauteur des têtes, de sorte que sauf la vue, tout le monde jouit de l'avantage d'un coin. De plus, cette place centrale qui est la plus éloignée des fenêtres, est par compensation un peu plus large. Enfin le siége et le dossier des banquettes ont été inclinés et bombés au lieu d'être plats et droits comme dans les anciennes voitures : il en résulte pour le corps beaucoup moins de fatigue.

§ 4. — Nous avons dit précédemment, que les portières doivent s'ouvrir à la volonté des voyageurs. Cependant, il est bon que les employés puissent s'assurer d'un seul coup d'œil que toutes les portières sont bien fermées et en outre, qu'elles ne peuvent pas s'ouvrir en marche par suite d'une imprudence, d'une maladresse, d'un oubli. C'est pourquoi toutes les portières sont munies d'une double fermeture : une à battant avec une poignée aussi simple et aussi visible que possible de manière à bien indiquer par sa position si le compartiment est fermé ou non, et un *loqueteau* de sûreté situé un peu plus bas quoique toujours à la disposition des voyageurs ; il faut soulever ce loqueteau avant de pouvoir ouvrir la portière (pl. XXX). Le seul inconvénient de ces loqueteaux, est d'occasionner une perte de temps assez considérable ; on doit au contraire, chercher à réduire au minimum le temps de la descente et de la montée des voyageurs. Aussi les a-t-on supprimés dans les trains de la banlieue de Paris, par exemple, où l'affluence des voyageurs est très-grande à certaines époques de l'année.

Toutes les voitures sont également munies d'une main-courante et d'un marchepied continu aussi utiles pour un voyageur en détresse que pour la surveil-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lance et le contrôle en route (pl. XXX). On a d'ailleurs soin de laisser le plus petit intervalle possible entre les marchepieds consécutifs de deux voitures voisines. L'usage de la main-courante et du marchepied est devenu absolument général. Il n'y a guère que quelques-unes des premières lignes construites qui en soient privées parce que leurs profils en travers ne le permettent pas. C'est d'ailleurs la seule raison qui ait empêché l'Administration de rendre cette mesure obligatoire.

§ 5. *Construction de la caisse.* — Toute la caisse d'une voiture est construite de manière à pouvoir être fixée sur le châssis inférieur, entièrement terminée, et d'une seule pièce au moyen de boulons.

La caisse se compose essentiellement du plancher, de la toiture, du pavillon, et de panneaux qui relient le pavillon au plancher.

Le plancher de la caisse est constitué par deux longerons en chêne ou *faux-brancards* réunis par un certain nombre de traverses, le tout consolidé par des ferrures. Sur ce squelette on vient mettre des frises qui constituent le plancher proprement dit. C'est ce fond, sur lequel vient s'assembler tout le reste de la caisse, qui sert lui-même à fixer cette dernière au châssis. Des pieds en chêne, souvent cintrés, se placent verticalement et servent de charpente aux panneaux extérieurs. On consolide cette carcasse par une triangulation élémentaire dans le bas de la caisse et on remplit l'intervalle de garnitures en frises de sapin. L'extérieur est blindé par des panneaux en tôle ou en bois de teak, etc. Le bois de teak a l'avantage de ne pas se déformer ni se fissurer, et de résister vigoureusement à la pourriture. De plus, le bois étant mauvais conducteur de la chaleur, les parois de la voiture suivent peu les variations de température extérieure, comme cela arrive avec la tôle. Mais cette dernière a l'avantage de consolider les panneaux, de les rendre plus rigides; aussi c'est elle qu'on emploie le plus généralement. On double le remplissage en bois d'une plaque de tôle quelquefois étamée comme au chemin de fer du Nord, ou bien simplement de tôle ordinaire.

On cloue cette tôle par panneaux rectangulaires dont les joints verticaux sont cachés par des couvre-joints en cuivre ou en fer. Quant aux joints horizontaux de la ceinture, on les recouvrait par des moulures servant d'ornements mais très-défectueuses comme entretien. Depuis quelque temps on emploie des feuilles de tôle d'une seule pièce du haut en bas, ce qui est bien préférable car avec l'ancien système, l'eau se glissait généralement dans le couvre-joint horizontal et engendrait la pourriture. On a aussi employé des garnitures en pâte de papier qui donnent d'excellents résultats; mais l'inconvénient fondamental de ce procédé est de revenir aussi cher que le bois de teak.

Le pavillon se compose de deux longerons longitudinaux assemblés avec les pieds verticaux, et recevant les extrémités de membrures courbes appelées *courbes de pavillon*; on consolide encore le tout par des ferrures. Sur ces courbes, on applique un voligeage formant plafond et la toiture est formée d'une couverture en zinc n° 14 comme pour les constructions ordinaires. On le pose à dilatation libre avec des chêneaux latéraux; quelquefois on emploie des gouttières en cuivre sur lesquelles le zinc de la couverture présente un recouvrement de 0^m, 10 à 0^m,15.

Dans certaines contrées, dans les pays chauds par exemple, il est bon de laisser un double pavillon afin de permettre au-dessous de la caisse le séjour d'une couche d'air emprisonnée qui atténue en partie l'effet du soleil sur la toiture du véhicule. Dans les pays froids, ce sont les doubles parois que l'on construit avec soin dans le but d'éviter les déperditions de chaleur. A cet effet, au lieu de laisser vide l'intervalle entre les deux parois, on le remplit généralement de corps mauvais conducteurs de la chaleur. Dans les climats tempérés,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

il suffit de garnir les baies de rideaux pour éviter les rayons directs du soleil. Dans ces dernières années en France, on a mis des rideaux jusque dans les voitures de troisième classe, et pour éviter les soustractions qui se produisaient malheureusement assez souvent, on a imprimé le nom de la Compagnie sur l'étoffe dont l'usage en dehors du chemin de fer devient ainsi fort difficile.

Enfin, des systèmes particuliers de ventilation ont été appliqués dans des compartiments spéciaux réservés aux fumeurs que l'on tend avec raison en France, à isoler de plus en plus des autres voyageurs. Dans les troisièmes classes où les cloisons ne montent pas jusqu'au pavillon, il existe des compartiments complétement fermés pour les dames seules, afin de les soustraire à la fumée.

§ 6. *Chauffage des voitures.* — Le mode de chauffage le plus employé en France est celui des chaufferettes à eau. C'est un système qui laisse beaucoup à désirer; la chaleur très-forte au début est nulle au bout de quelques heures, et l'opération du changement des bouillottes est des plus désagréables pour les voyageurs, surtout la nuit.

Le chemin de fer du Nord chauffe ses troisièmes classes au moyen de briques placées dans des cuvettes en tôle qu'on introduit sans déranger les voyageurs, par des portes spéciales, dans une cavité placée sous les banquettes. En Prusse, on a remplacé l'eau par du sable et l'on introduit comme nous venons de le voir faire pour le Nord français, des boîtes à sable sous les banquettes. Il y a là un progrès médiocre, car pour porter ce sable à une haute température, il faut des fours spéciaux dont la construction est peu économique. Les Allemands n'ont pu à cause de cela, appliquer ce système de chauffage aux troisièmes classes. Depuis quelques années, on a fréquemment essayé le chauffage à la vapeur, mais ce moyen n'a pas encore donné de résultats complétement satisfaisants, soit qu'on emploie les vapeurs perdues de la machine, soit qu'on installe dons un fourgon une chaudière spéciale comme sur certaines lignes allemandes.

Dans les pays où l'on emploie les voitures à couloir central comme en Amérique et en Russie, le chauffage a lieu par des poêles. On obtient ainsi un chauffage plus énergique, mais beaucoup moins régulier au point de vue de la distribution de la chaleur. En outre, les accidents sont beaucoup plus graves et plus nombreux. Une étude expérimentale et comparative des divers modes de chauffage a été faite au chemin de fer de l'Est par M. Regray. Dans un rapport publié à la suite de ses observations, M. Regray conclut à l'adoption des chaufferettes à eau, mode de chauffage qui est le plus économique en même temps que suffisamment satisfaisant.

§ 7. *Voitures accessoires.* — Il existe encore comme voitures de grande vitesse, des types particuliers commandés par des besoins spéciaux. Ainsi, sur les lignes de banlieue, toutes les voitures de seconde classe (il n'y a pas de troisième classe) sont munies de places sur la plate-forme du pavillon, et constituent la voiture à *impériale*. Primitivement, on y montait par des gradins et des lisses fixés sur le flanc de la caisse; outre que cette ascension était assez périlleuse, on était exposé dans la descente, à mettre le pied sur la tête d'un voyageur sortant d'une portière. On monte aujourd'hui sur l'impériale par des escaliers situés aux deux extrémités de la voiture. Ces escaliers sont rectangulaires et opposés à chaque bout du véhicule, ou bien en quarts de cercles aux quatre angles de la caisse. Les escaliers rectangulaires, quoique occasionnant une certaine place perdue pour permettre l'accès sur la plate-forme à leur sommet, sont cependant à recommander comme beaucoup plus commodes et moins dan-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gereux pour les voyageurs. Les impériales dont les places, sauf la toiture, sont complétement exposées à l'air de tous les côtés sont pour cette raison très-recherchées l'été et complétement désertées l'hiver. Aussi, en somme, ce genre de voitures n'est-il pas très-avantageux. On a construit également des voitures à deux étages fermés comme dans les voitures ordinaires. MM. Love, Molinos et Prosnier, puis enfin M. Vidard, se sont occupés de cette question.

Dans le système de M. Vidard, un étage basé sur le système américain à couloir central surmonte une voiture ordinaire à compartiments séparés. A chaque extrémité de la voiture est disposé un double escalier qui donne accès sur ce couloir et permet aux voyageurs de gagner leurs places.

Il a fallu élargir un peu la caisse pour permettre à l'étage de présenter un nombre de places suffisant malgré la place perdue par ce long couloir. Pour permettre le passage dans le gabarit, il a fallu également baisser la caisse, et par suite, faire pénétrer dans l'intérieur, les roues dissimulées sous les banquettes. Le châssis se trouve ainsi un peu en contre-bas de ceux des voitures ordinaires qui peuvent être pourtant attelées au même train. Pour ramener les appareils de choc et de traction à la hauteur normale, on a terminé les deux extrémités de chaque longeron de châssis par un col de cygne qui reporte le tampon à la même hauteur que ceux des wagons ordinaires (fig. 36 et 37).

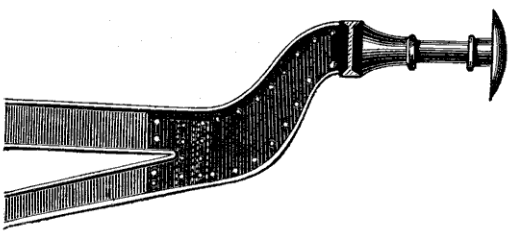


Fig. 36. — Col de cygne de tampon

§ 8. — *Matériel américain.* — Nous ne dirons que peu de chose du matériel américain et des nombreuses controverses qu'il a suscitées, la question étant à peu près vidée maintenant. Le caractère essentiel de ce système est, comme on sait, un long couloir central avec places étagées latéralement et communication au moyen de plates-formes d'une voiture à l'autre, et par conséquent d'un bout à l'autre du train. Ce genre de voitures a été essayé un peu partout en Europe ; presque partout aussi il a été abandonné, et tout porte à croire qu'on n'y reviendra plus. Il a quelque raison d'être aux États-Unis où, dans des voyages quelquefois fort longs, on éprouve le besoin de communiquer avec les voisins ou de se dégourdir les membres en marchant un peu. Le couloir est en outre imposé par les besoins du service, car on ne délivre pas de billets dans les gares en Amérique ; c'est dans le train que se règlent les places à la manière dont cela se passe chez nous par exemple sur les bateaux-mouches de la Seine. Cette méthode déplorable, qui laisse un champ si vaste à la fraude, commence à être abandonnée par toutes les compagnies américaines qui prospèrent ; son seul avantage est en effet d'économiser du personnel de gare. Le système américain s'explique encore en Russie, où, en dehors des raisons précédentes, le vigoureux chauffage par les poêles est indispensable et ne peut s'appliquer dans le mode ordinaire de division par compartiments. En dehors de ces cas tout à fait particuliers, la tendance du voyageur européen est au contraire de s'isoler le plus possible ; rien ne nous contrarie plus en général, que de voir s'ouvrir la portière de notre compartiment; c'est là un petit faible de la nature humaine que nous avons tous remarqué.

Au point de vue de la commodité du service, l'accès rapide de toutes les portières à la fois sur le quai est bien préférable à la queue qu'il faut faire pour monter dans une voiture à accès unique ou pour en descendre. Enfin, le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

système américain augmente dans une assez forte proportion le poids mort, car le couloir central absorbe un espace assez considérable où il serait beaucoup plus avantageux de placer des voyageurs.

Bref, nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet qui, comme nous l'avons déjà dit a été discuté tant de fois depuis quelques années. La disparition progressive de ce matériel de la plupart des Compagnies qui l'avaient essayé, est le meilleur argument en faveur du matériel européen.

§ 9. *Types divers.* — On a aussi construit des voitures à compartiments distincts avec couloir latéral; telles sont celles que l'on voit circuler sur le chemin de fer de Frévent à Gamaches et d'Abancourt au Tréport. M. Leprovot a imaginé une voiture avec un couloir transversal; on élargissait un peu la caisse, et on diminuait encore la place perdue en employant la tôle comme paroi. Les voyageurs se sont chargés de juger : après le premier moment de curiosité ces voitures furent complétement délaissées.

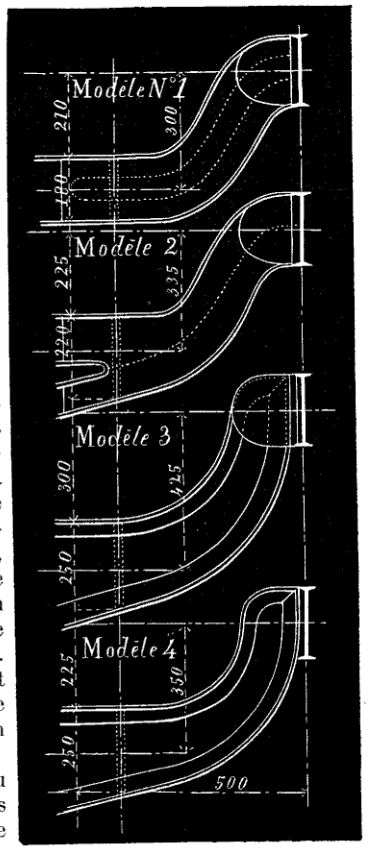


Fig. 37. — Col de cygne de tampon.

§ 10. *Châssis proprement dit.* — Le châssis est un cadre établi le plus solidement possible et qui supporte la caisse de la voiture en même temps qu'il sert d'attache à toutes les pièces accessoires de roulement, de choc et de traction. On a fait les châssis généralement en bois jusqu'à présent. Mais, depuis les progrès récents de la métallurgie et l'abaissement notable du prix du fer, on commence à les faire en métal, fer et même acier, comme au chemin de fer de l'Ouest.

Le châssis en bois, encore exclusivement adopté par certaines Compagnies se compose de différentes pièces en chêne sec et sain consolidé par des ferrures.

Ce sont généralement deux longerons ou brancards réunis à leurs extrémités par des traverses qui dépassent un peu de chaque côté le rectangle de ces longerons. Ces derniers sont en outre réunis par d'autres traverses intermédiaires également espacées. On complète ce cadre en bois par deux pièces en diagonale formant croix de Saint-André (fig. 3 et 5 pl. XXXI). Les extrémités de ces diagonales ne sont pas placées rigoureusement aux angles du rectangle, mais un peu en retraite vers le grand axe pour permettre le libre passage des tiges de tampons. On a quelquefois courbé ces diagonales en les faisant rejoindre les traverses extrêmes à leurs parties supérieures après avoir passé sous les traverses intermédiaires. Mais elles fatiguent alors beaucoup plus comme toutes les pièces de bois courbées ; ce système a été appliqué au chemin de fer de l'Est.

On a construit également des châssis analogues aux précédents, mais avec deux croix de Saint-André aux deux extrémités, et une partie centrale soute-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nue seulement par les traverses. Ce système est inférieur au précédent, car la partie du milieu est naturellement plus faible que ses voisines, et la solidarité est moins grande entre les différentes régions de ce châssis. Aussi, la rupture se produisait-elle plus fréquemment, et toujours dans la partie non contreventée du centre.

Les châssis en fer ont la même constitution élémentaire, brancards, traverses, croix de Saint-André : il y a cependant dans ce cas un deuxième type où la croix de Saint-André est supprimée et remplacée par des longerons secondaires parallèles aux brancards principaux. Avec de bons goussets d'assemblage reliant ces longerons aux traverses, on peut éviter l'effet des forces obliques que le contreventement est destiné à combattre. On emploie le fer à T, et de préférence le fer en U plus commode pour les assemblages, surtout pour la pose des plaques de garde. En résumé, le bois coûte un peu moins cher; mais il est difficile de rencontrer du chêne de dimensions suffisantes bien sec et bien sain comme il en faut absolument pour la confection des châssis. Le bois cependant, est d'un entretien plus facile; avec le châssis en fer, il faut avoir nécessairement un atelier spécial de réparation, mais le fer a une durée bien plus grande. On a eu alors l'idée de faire les pièces importantes, brancards et longerons en fer ou en acier, et le reste de plus faibles dimensions, en bois.

Le châssis métallique présente en outre cet avantage de se prêter beaucoup mieux aux grandes longueurs de brancards ; or, c'est la tendance actuelle d'allonger de plus en plus les voitures. Dans les pays métallurgiques, il n'y a pas à hésiter, il faudra employer le métal de préférence. En cas d'accident, d'ailleurs, le fer sera toujours préférable au bois, car il résiste davantage.

En résumé, le châssis métallique finira toujours par être plus économique à cause de sa plus grande durée et de sa grande résistance à toutes les causes extérieures de déformation.

§ 11. *Suspension, ressorts.* — On boulonne comme nous l'avons déjà dit, les caisses des voitures sur le châssis ; mais, celui-ci ne repose pas directement sur les boites à graisse des essieux ; il est suspendu au moyen de ressorts analogues à ceux des véhicules des routes. Par ce moyen, les chocs résultant du roulement sont fortement atténués lorsqu'ils se transmettent à la caisse, et cet adoucissement est aussi essentiel au bien-être des voyageurs qu'à la conservation du matériel lui-même ; c'est pour cela que l'on met des ressorts partout, même dans les wagons à marchandises (pl. XXX et XXXI).

La plupart des voitures de première classe sont doublement suspendues, c'est-à-dire qu'on amortit autant que possible les chocs par l'emploi d'une bande de caoutchouc, d'un ressort à boudin, d'un ressort Brown, etc.

On a employé en Allemagne des ressorts de suspension formés d'une seule lame ; mais on a dû y renoncer à cause de la difficulté de tremper sans la déformer, une barre dont l'épaisseur n'est pas constante. Ce ressort présentait un autre inconvénient capital, c'est qu'à la moindre avarie il fallait remplacer le tout. Les ressorts presque exclusivement employés aujourd'hui se composent de lames superposées d'après les lois établies par M. Philipps c'est-à-dire régulièrement étagées à intervalles égaux, et les extrémités de chaque lame amincies de manière à donner une parabole cubique comme profil longitudinal. On détermine les éléments de cette parabole dans chaque cas particulier par le calcul.

On fixe ensuite toutes les parties au centre par un boulon unique (1). On prévient les mouvements transversaux des lames les unes par rapport aux autres au moyen de petits goujons en acier appelés *étoquiaux*. Chaque lame

(1) Voir Philipps. — Calcul des ressorts en acier in 8° avec planches. . . . . 2f,50.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

porte à ses deux extrémités un étoquiau et une fente dans la longueur, le tout disposé de manière que l'étoquiau de chaque lame pénètre dans la rainure de la lame immédiatement au-dessous. Quelquefois, on se contente de réunir toutes les lames par des brides ; mais, le meilleur système consiste à faire venir au laminoir sur chaque lame une cannelure triangulaire longitudinale qui s'engage dans une rainure identique que présente la lame inférieure.

Chaque lame pénètre ainsi dans toute sa longueur dans la rainure de la suivante et reçoit la saillie de la précédente ; le déplacement latéral est donc rendu absolument impossible, et n'a pas l'inconvénient d'affaiblir les lames l'on à leurs extrémités comme le font les fentes pratiquées pour recevoir les étoquiaux.

Les ressorts ainsi constitués sont ensuite fixés invariablement aux boîtes à graisse au moyen d'étriers boulonnés fortement sur la boîte. Comme nous l'avons déjà dit, on intercale souvent encore entre les deux, une plaque de caoutchouc, un second ressort, etc. En Norwège, la plaque de caoutchouc est générale. Au chemin de fer du Nord, on a employé pendant quelque temps des étriers articulés sur la boîte à graisse de manière à permettre les mouvements latéraux des essieux sans influencer les ressorts. Ce système dont l'utilité n'est pas bien démontrée est aujourd'hui abandonné. On retrouve cependant quelque chose d'analogue au chemin de fer de Ceinture où l'emploi d'une petite gorge permet encore un certain jeu transversal sans que le ressort ait besoin d'être articulé.

Comme nous l'avons vu précédemment, la flexibilité du ressort se détermine par le calcul. Elle n'est pas la même pour les voitures et les wagons ; elle n'est pas non plus la même pour les voitures ordinaires et les voitures à étages, ce qui se comprend de reste : les voitures à impériales ont des ressorts un peu moins souples, moins élastiques que les autres.

Dans le but de faciliter la réparation, on a essayé de faire les ressorts en deux parties ; les lames ayant un peu plus de la demi-longueur du ressort sont encastrées les unes dans les autres au centre. Cette idée assez peu heureuse a donné, comme cela était facile à prévoir, d'assez mauvais résultats. L'encastrement central des lames était fort difficile à obtenir irréprochable, et le frottement de ces lames les unes sur les autres enlevait au ressort sa qualité essentielle, l'élasticité.

On a essayé d'apporter beaucoup de modifications aux ressorts, mais sans arriver jamais à de meilleurs résultats. Tels sont les ressorts à auxiliaires, à lames de sûreté, à lames séparées par des tasseaux, à volute, etc. Ces différents systèmes, ou bien pèchent contre la théorie, ou donnent de mauvais résultats pratiques.

§ 12. *Attaches des ressorts.* — Dans les voitures, on ne fixe pas le ressort directement au châssis ; on rend encore la liaison plus douce par l'addition de *menottes* inclinées. Les menottes sont de petites pièces intermédiaires, généralement en forme d'anneau allongé, fixées d'un côté à l'extrémité du ressort, et de l'autre au longeron par un support en forme de V et deux articulations à boulons. On comprend que la plus grande lame du ressort, celle qu'on appelle la *maîtresse lame*, a besoin, pour se prêter à cet assemblage, d'être fabriquée d'une manière spéciale, au moins à ses extrémités (pl. XXX et XXXI).

Certaines Compagnies, comme celle du Nord par exemple, ont ajouté une fausse maîtresse lame en fer au-dessus de la véritable qui, comme toutes les lames du ressort, est en acier. La menotte a ici la forme d'une bielle à fourche qui vient saisir l'extrémité arrondie de la lame. Le travail de l'assemblage est ainsi fort simplifié, car on n'a plus qu'à travailler du fer qui se forge facilement. D'autres fois, c'est au contraire la lame qu'on dédouble et qu'on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fait embrasser une menotte simple ; le travail de forge est encore plus élémentaire.

La question fondamentale de la suspension des voitures, est d'équilibrer exactement le châssis de manière que toutes les roues soient également chargées lorsque la voiture est normalement pleine. C'est pourquoi la tendance actuelle est d'écarter autant que possible les essieux et de fixer les ressorts de suspension aux extrémités mêmes des brancards. La limite d'écartement des essieux sera donnée dans les grandes lignes par les courbes minima, et dans les petites lignes où la question d'économie prime toutes les autres, par les plaques tournantes que l'on construit les plus petites possibles afin qu'elles reviennent moins cher. Dans tous les cas, c'est surtout lorsque les trains devront marcher à grande vitesse, qu'il faudra donner aux essieux le maximum d'écartement.

Terminons en disant que les ressorts de suspension établis dans nos Compagnies françaises donnent tous une élasticité suffisante aux voitures. Cette élasticité est d'ailleurs en raison inverse de la durée du ressort ; un ressort qui fléchit facilement, fatigue beaucoup plus, toutes choses étant égales d'ailleurs quant à la qualité de l'acier. On a donc pu tout en restant dans la logique rendre les ressorts de première classe, par exemple, beaucoup plus doux que ceux de troisième.

§ 13. *Choc et traction.* — A l'origine des chemins de fer, le tampon de choc et l'attelage se trouvaient dans l'axe de la voiture. Aujourd'hui, pour la voie normale, l'attelage seulement se fait par le centre et le choc par deux tampons placés de chaque côté de la caisse et à chaque extrémité. Par ce dernier moyen, les voitures sont beaucoup plus solidaires les unes des autres à la condition que les tampons soient en contact et l'attelage bien serré. Les voyageurs sont beaucoup moins secoués, souffrent moins du mouvement de lacet et le démarrage et l'arrêt se font moins brutalement. Cependant le tampon central est préférable lorsque le tracé présente des courbes très-prononcées ; dans le cas ordinaire, en effet, il n'y a dans ces courbes qu'une seule ligne latérale de tampons en contact, ce qui sollicite la voiture à sortir de la voie.

Aussi ce système à tampon unique, rend-il de réels services dans les petits chemins de fer, lignes sur routes, tramways, etc., où les courbes à faibles rayons sont très-fréquentes. On peut en même temps, comme sur certaines lignes norwégiennes par exemple, employer un système mixte qui soit à la fois tampon et attelage ; il en résulte de la simplicité et de l'économie.

En France, sur toutes les lignes d'une certaine importance, on emploie comme nous l'avons dit, les tampons d'angle et la traction centrale.

Les pièces essentielles disposées pour permettre l'attelage et le choc sont des ressorts analogues à ceux de suspension, mais avec des flèches un peu plus grandes, à cause du grand travail qu'ils doivent emmaganiser. L'attelage est fixé au milieu du ressort dont la convexité est tournée vers le centre du châssis, et les tampons viennent agir par leurs tiges sur les extrémités de ce ressort. Chaque extrémité de la caisse est ainsi munie de deux tampons, soit en tout quatre tampons attelés à deux ressorts posés le plus souvent dos à dos au centre du châssis, dans les espaces que laissent entre elles les traverses intermédiaires dont nous avons parlé précédemment (pl.XXXI fig. 3 et 5).

Les ressorts sont maintenus dans leurs positions respectives par les traverses précédentes et un guidage horizontal en fer léger. Les tringles d'attelage et des tampons pénètrent à travers les traverses du châssis qui leur servent ainsi naturellement de guides ; on empêche l'usure dans les traverses en bois au passage de ces tringles, en doublant les orifices de passage avec de petits guidages en fonte. Les tiges de choc sont généralement terminées par une main en fonte

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sur laquelle s'appuie l'extrémité de la maîtresse lame du ressort. Ces tiges sont placées tout près des brancards des châssis de manière à permettre au ressort d'avoir la plus grande longueur possible, celle que lui laisse la largeur du châssis. On comprend alors facilement comment fonctionne tout ce système.

Il faut distinguer deux cas, suivant que la traction s'opère par l'intermédiaire des traverses du châssis ou bien au moyen de bielles de traction réunissant les lames intérieures des ressorts.

1er CAS. — Dans la traction, par exemple, le ressort sollicité en son milieu s'applique contre la traverse voisine. Celle-ci transmet, par l'intermédiaire de la partie centrale des brancards, l'effort à la traverse symétrique qui le communique elle-même à son ressort par une marche inverse, et de là à l'attelage ; ainsi de suite. On voit que dans ce cas, la partie centrale du châssis seule éprouve de la fatigue, et cela d'autant moins que les ressorts sont placés dos à dos plus près l'un de l'autre au centre du dit châssis. En cas de choc, les ressorts viennent buter simplement l'un contre l'autre par l'intermédiaire d'une cale de butée en bois, ou bien sur les traverses intermédiaires en intéressant au choc une partie du châssis. Si les ressorts sont dos à dos au centre, séparés par une seule traverse, le choc a lieu sur cette traverse, et les brancards restent ici indépendants de ce travail. On place aussi fréquemment les ressorts aux extrémités du châssis ; on économise ainsi six longueurs de tiges, mais le brancard se trouve intéressé dans tous les efforts de choc et de traction ; il demandera donc à être construit solidement. Il ne faut pas hésiter à employer ce système avec les châssis en fer qui présentent la résistance nécessaire (fig. 3, pl. XXXI).

2e CAS. — On peut éviter tout travail du châssis lorsqu'on le désire, en établissant la liaison directement d'un ressort à l'autre au moyen de deux lames auxiliaires placées à l'intérieur des ressorts, et reliées directement entre elles par des tiges. Ce système présente en outre l'avantage de donner un démarrage assez ferme et un arrêt très-élastique. En effet, au démarrage, ces petites lames auxiliaires qui seules sont chargées de la transmission directe des efforts, viennent se plaquer immédiatement sur les grandes lames des ressorts ; ces derniers agissent alors comme s'ils étaient seuls. En cas d'arrêt au contraire, les lames auxiliaires s'écartent des ressorts, et permettent ainsi un jeu plus considérable qui donne une grande douceur. Ce démarrage, autant que possible d'un seul coup, est aussi essentiel pour le bien-être des voyageurs que pour la conservation du matériel. En effet, la secousse produite par la brusque mise en mouvement d'un véhicule au repos lorsque le démarrage a lieu graduellement par voiture, non-seulement est fort désagréable pour les personnes que contiennent ces voitures, mais encore occasionnent des chocs très-préjudiciables pour le matériel. Aussi, même dans les trains de marchandises, ordonne-t-on toujours d'atteler à fond et d'avoir les tampons au contact.

De plus, l'attelage aussi rigide que possible est encore très-utile pour rendre les voitures solidaires entre elles et leur permettre d'être moins ébranlées par les causes de perturbation ordinaires : mouvement de lacet, attelage défectueux ne passant pas par le centre de gravité, mauvais entretien de la voie, traverses irrégulièrement bourrées de ballast, etc., tous inconvénients d'autant plus nuisibles, et même dangereux, que la vitesse du train est plus considérable ou les courbes nombreuses et d'un rayon plus faible.

Cet attelage s'effectue au moyen d'un *tendeur*. C'est une vis filetée dans deux sens opposés et tournant, au moyen d'une manivelle munie d'une boule qui en facilite le mouvement et la manœuvre, dans deux écrous ajustés aux extrémités de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

deux longs étriers d'accrochage ou *manilles*. Grâce au filetage de la vis dans deux directions différentes, on approche ou éloigne à la fois les manilles selon que l'on tourne dans un sens ou dans l'autre, et par suite on serre ou on desserre l'attelage (fig. 6 et 7, pl. XXXI).

L'extrémité de chaque tige d'attelage est munie d'un fort crochet qui porte, au moyen d'un trou et d'une encoche, un tendeur au repos, destiné, en cas d'accident ou de rupture, à remplacer le tendeur qui fonctionne. Chaque crochet est donc disposé de manière à recevoir un tendeur et l'extrémité du tendeur voisin, de sorte qu'il y a toujours un de ces appareils en service et un de rechange entre deux véhicules consécutifs (fig. 39). L'Administration exige en outre que les voitures soient reliées les unes aux autres par deux chaînes très-

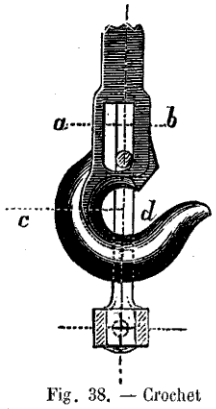


Fig. 38. — Crochet disposé pour recevoir un tendeur.

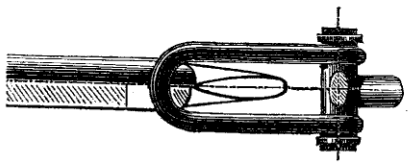


Fig. 39. — Tendeur au repos.

Fig. 40. — Coupe *cd*.

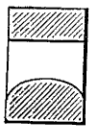


Fig. 41. — Coupe *ab*.

improprement appelées *chaînes de sûreté* et placées de chaque côté du tendeur, dans le but aussi louable qu'imaginaire de conserver l'attelage si ce dernier vient à se rompre (fig. 4, 6 et 7, pl. XXXI).

Cette mesure est dans la pratique d'une efficacité nulle. Si le tendeur se rompt, en effet, ces chaînes, qui ne sont pas tendues afin de permettre le jeu des ressorts de traction, et ne travaillent pas en temps ordinaire, éprouvent une tension subite et considérable qui les fait régulièrement céder toutes les deux; on a malheureusement constaté le fait un assez grand nombre de fois : ces chaînes se sont toujours brisées lorsqu'il y a eu rupture d'attelage. Aussi, le mieux est d'employer comme garantie un deuxième attelage identique au premier et placé à côté de lui ou au-dessous. Cette dernière position est encore meilleure que des attelages placés à côté l'un de l'autre, car elle permet à chaque tendeur de travailler suivant l'axe de traction du châssis. Il serait même très-préférable, si l'on persiste à employer les chaînes de sûreté, de n'en mettre qu'une disposée comme nous venons de le dire pour le deuxième attelage. En effet, lorsque dans une rupture, il n'y a par hasard qu'une chaîne qui se casse, ce qui heureusement est assez rare, l'autre continue à tirer le wagon dans une direction oblique ettend à le faire dérailler. C'est pour cette raison que quelques Compagnies ont adopté la chaîne de sûreté unique. La Compagnie de l'Ouest est la plus éloignée de la vérité dans ce cas particulier; la logique indique en effet que si l'on emploie deux chaînes, il est très-avantageux de les rapprocher toutes deux autant que possible du tendeur. Or à l'Ouest, les deux chaînes sont écartées de $1^{m},18$, de sorte que si l'une d'elles vient à casser, le déraillement de voiture est presque certain (fig. 7, pl. XXXI).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On pourrait encore lorsqu'on emploie deux chaînes les atteler à des ressorts de traction ; on amortirait ainsi considérablement l'intensité du choc transmis à ces chaînes en cas de rupture d'attelage. Les ressorts de caoutchouc actuellement employés sont insuffisants.

Les tampons qui terminent les tiges de choc sont, dans tous les véhicules, voitures et wagons de toutes sortes et de toutes classes, disposés avec le même écartement et à la même hauteur au-dessus du rail. Cela se rencontre même non-seulement dans le matériel d'une même Compagnie, mais chez toutes les Compagnies françaises; du moins, les différences sont insignifiantes. Cette mesure générale a été nécessairement adoptée à cause des nombreux échanges journaliers des Compagnies, afin de permettre aux différents véhicules de circuler sur tous les réseaux. Les tampons sont des disques en fer quelquefois garnis de bois, mais maintenant presque exclusivement en fer.

Aux deux extrémités d'une voiture ou d'un wagon, on met un tampon plat et un tampon bombé placés symétriquement par rapport à l'axe longitudinal du véhicule. Il en résulte que lorsque le train est formé et les wagons en ligne, un tampon plat rencontre toujours un tampon bombé. Cette disposition a été adoptée surtout à cause des chocs dans les courbes; l'effort en effet, par suite de la courbure du tampon, est toujours ramené dans la ligne des centres, et l'on évite ainsi de fausser et même de casser des tiges (fig. 3 et 5, p. XXXI). Mais cela présente quelques inconvénients, comme celui de soulever la voiture et même de la faire dérailler, lorsqu'un tampon plat appartenant à une voiture plus chargée ou à ressorts plus flexibles, se trouve un peu plus bas que le tampon rond d'un véhicule voisin plus léger ou à ressorts plus rigides. Il en résulte alors des chocs de bas en haut qui compromettent fortement la stabilité de cette dernière caisse.

Aussi, quelques Compagnies, comme celles de l'Est, ont-elles cru devoir abandonner les tampons bombés, et les remplacer partout par des tampons plats; mais cela n'est pas à recommander; malgré ses inconvénients, le tampon bombé est préférable surtout en courbe. Il suffit de ne pas exagérer la courbure. Les oscillations des tampons sont mesurées et limitées par des boîtes, généralement en fonte, fixées aux traverses de tête et qu'on appelle *boisseaux* ou *faux-tampons*.

On a remplacé quelquefois les ressorts à grandes lames dont nous avons parlé précédemment, par des ressorts spéciaux logés dans les faux-tampons ; dans ce cas, il faut évidemment des ressorts de choc et de traction séparés, ce qui donne un attelage très-convenable. C'est ainsi qu'on a cherché à employer des ressorts en caoutchouc. Un certain nombre de rondelles de cette substance sont séparées par des platines en métal qui répartissent régulièrement la pression, et le tout est traversé par la tige du tampon qui glisse dans la traverse extrême du châssis. L'entretien de cet appareil, qui ne fonctionnait pas mieux que les ressorts ordinaires, était trop coûteux, et on a dû bientôt revenir à l'ancien mode de ressorts.

Ressort Brown. — C'est une spirale métallique employée depuis longtemps déjà aux Etats-Unis, même pour la suspension des voitures. Dans ce dernier cas, la boîte à graisse est surmontée d'une tige sur laquelle viennent s'appuyer plusieurs ressorts métalliques en spirale soutenant les brancards des châssis. Pour le choc, on loge ce ressort dans les faux-tampons, comme nous l'avons dit précédemment pour le ressort en caoutchouc. L'attelage a naturellement aussi son ressort distinct fixé à l'intérieur du châssis contre la traverse extrême. Les chaînes de sûreté sont simplement munies de plaques en caoutchouc. En somme, on voit qu'avec ce système de ressorts, il faudra faire la traverse extrême le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus solide possible, en fer par exemple, car c'est elle qui supporte en première ligne tous les efforts de choc et de traction.

§ 14. *Boîte à graisse.* — Nous avons examiné jusqu'à présent tout ce qui concerne le châssis et ses accessoires; nous allons étudier maintenant la manière de fixer ces différentes pièces sur le train de roues destiné à les supporter. L'appareil qui sert d'intermédiaire entre le ressort de suspension et l'essieu est la *boîte à graisse.* C'est une boîte en fonte qui entoure la partie de l'essieu appelée *fusée,* sur laquelle repose un coussinet en bronze entièrement enveloppé par cette boîte. Les meilleures proportions de cuivre et d'étain à employer pour les coussinets sont :

Cuivre	82
Etain	18
	100

Avec plus d'étain, le bronze obtenu est trop dur, et la fusée en souffre. Avec plus de cuivre, le coussinet est trop mou et s'use rapidement. L'intérieur du coussinet est muni comme d'ordinaire de ces rainures destinées à distribuer la matière grasse, et qu'on appelle *pattes d'araignée.* Remarquons que dans le matériel roulant des chemins de fer on n'emploie qu'un seul coussinet par fusée, et non deux comme dans les paliers ordinaires des machines. C'est qu'en effet, la charge ne vient ici que de la partie supérieure, et la fusée n'a besoin d'être enveloppée que dans la demi-circonférence du haut, la seule qui rencontre des parties frottantes. Cela posé, le rôle de la boîte à graisse est multiple; elle doit d'abord renfermer la matière lubrifiante destinée à diminuer le frottement considérable qui existe entre le coussinet et la fusée, et par conséquent il lui faut entourer complétement ces deux pièces, qu'elle garantit encore contre la poussière et le ballast voltigeant au passage des trains. Elle doit en outre servir de support aux ressorts dont elle reçoit les attaches, et transmettre aux essieux le mouvement qu'elle reçoit du châssis par l'intermédiaire des plaques de garde.

On comprend qu'une telle quantité de choses si différentes soient difficiles à demander à la fois à un même appareil. Aussi existe-t-il un très-grand nombre de boîtes à graisse de types très-divers, et aucune d'elles ne réalise d'une façon indiscutable les nombreuses conditions qu'on voudrait lui voir remplir.

La matière grasse employée est tantôt l'huile, la graisse, et même l'eau. Le climat entre naturellement comme considération sérieuse dans le choix de cette matière. Toutes choses égales d'ailleurs, le graissage à l'huile est le meilleur et le plus employé. Le seul inconvénient de ce système, c'est que l'huile se maintient moins bien que la graisse entre le coussinet et la fusée sous les fortes charges, et s'échappe en partie par l'ouverture qui donne entrée à l'essieu, malgré toutes les précautions que l'on peut prendre pour s'y opposer.

La graisse nécessite pour fondre un certain échauffement de l'essieu, tandis que son rôle devrait être au contraire de prévenir tout échauffement. D'ailleurs il faut lui donner des compositions différentes suivant les saisons, ce qui complique beaucoup son emploi et le rend forcément imparfait. A la même époque de l'année en effet, la température n'est pas la même, par exemple à Bruxelles, à Paris et à Marseille, et cependant, le même wagon peut être appelé à effectuer ces différents trajets. Le graissage à l'eau paraît très-satisfaisant au premier abord; mais, la trop grande fluidité de l'eau fait que les défauts que nous signalions précédemment pour l'huile sont encore exagérés. De plus, l'eau gèle en hiver, et lorsque le véhicule ne sert pas pendant quelques jours, la rouille envahit tout. Aux Etats-Unis, on emploie souvent l'eau de savon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous allons étudier maintenant les divers types de boîtes appropriés à ces différents modes de graissage.

Boîte à graisse proprement dite. — Lorsque l'on emploie la graisse, la boîte est excessivement simple. Elle enveloppe comme toujours le coussinet et la fusée, et présente à sa partie supérieure un réservoir fermé par une plaque de tôle ou de fonte, à charnière, formant couvercle. On place la graisse dans ce réservoir, et des trous percés dans le fond et dans le coussinet lui permettent d'arriver jusqu'aux pattes d'araignées.

Les étriers qui rendent les ressorts solidaires des boîtes viennent se fixer dans des côtes saillantes disposées à cet effet, et venues de fonte avec la boîte. En arrière, se trouvent placées symétriquement deux rainures destinées à recevoir les plaques de garde dont nous parlerons plus loin. Dans certains cas, d'autres rainures, encore en arrière des précédentes, reçoivent les longerons de frein. Nous retrouverons d'ailleurs ces accessoires dans tous les types de boîtes. La visite de cette boîte est très-simple : on n'a qu'à démonter des boulons disposés à cet effet, le dessous qui est indépendant du reste de la boîte s'enlève, et l'on peut facilement voir à l'intérieur.

Boîte à huile. — Lorsqu'on emploie l'huile, on peut mettre également le réservoir au-dessus de la fusée ; cela n'a plus ici autant d'importance que pour la graisse. Si le réservoir est à la partie supérieure, on plonge une mèche dans l'huile, cette mèche s'imprègne, et, par capillarité, amène l'huile comme un véritable siphon dans les trous du coussinet. Dans le cas contraire, on amène l'huile contre la fusée par l'emploi d'une brosse en coton (la laine ne vaudrait rien, elle se coupe trop facilement), pressée contre l'essieu par de petits ressorts, et imbibée constamment par des mèches qui trempent dans l'huile du réservoir inférieur. D'autres fois, on emploie un rouleau tournant dans l'huile sur un axe invariable, ou bien encore, un rouleau libre que la fusée force à plonger dans l'huile d'une certaine quantité. Notons en passant que l'huile, après avoir graissé le coussinet et la fusée, tombe à la partie inférieure de la boîte, et que par conséquent le réservoir inférieur est le plus rationel dans ce mode de graissage ; c'est aussi le plus employé.

Pour empêcher l'huile de sortir, on place généralement à l'arrière de la boîte un demi-disque soutenu par un petit levier, qui, tout en étant mobile, appuie constamment ce demi-plateau contre la fusée. Ce disque ramasse alors constamment l'huile qui tendrait à sortir, et la ramène vers l'intérieur. On empêche la poussière et le ballast soulevés de pénétrer dans la boîte, en plaçant une rondelle de cuir, de feutre, de toile goudronnée garnie de feutre, etc., dans une rainure ménagée à cet effet sur la paroi interne de la boîte de manière à former joint. Au chemin de fer de Ceinture, ces rondelles sont munies d'un petit ressort qui les force à s'appliquer encore sur l'essieu lorsqu'elles commencent à s'user. On a songé aussi à filtrer l'huile avant de l'employer au graissage. Pour cela, il suffit de séparer la partie inférieure du réservoir en deux compartiments par une toile qui ne laisse passer que l'huile et retient toutes les impuretés et le cambouis formé. Il en résulte que le graissage obtenu avec de l'huile ayant déjà servi se trouve fait dans de bien meilleures conditions.

Boîte Delannoy. — M. Delannoy s'est préoccupé surtout de la fermeture aussi complète que possible de la boîte à graisse. Il a d'abord fait sa boîte d'une seule pièce au lieu de la faire en deux morceaux comme à l'ordinaire ; on supprime ainsi déjà un joint. On vient ensuite enfiler d'un seul bloc la boîte sur la fusée, et on ferme le joint unique à l'arrière au moyen d'une espèce de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

presse-étoupes composée d'une rondelle de chanvre logée dans une rainure et sur laquelle on vient appuyer un chapeau en forme d'anneau qui se visse sur la boîte.

Il y a évidemment là un progrès très-réel. Cependant, le montage et la visite pour l'entretien sont peu commodes, par ce fait que l'appareil est d'une seule pièce. Le système du graissage proprement dit est le même qu'à l'ordinaire : une brosse pressée par un ressort ; le réservoir seul est rejeté sur le côté au lieu d'être à la partie inférieure, et cela, dans le but d'éviter les chocs provenant d'obstacles imprévus se trouvant sur la voie. Le coussinet qui doit ici permettre l'entrée longitudinale de la boîte, est dépourvu des saillies qu'il présente d'ordinaire à ses extrémités. On le munit à la partie supérieure d'une côte unique en forme de queue d'hironde, qui glisse dans une rainure conjuguée située dans la paroi supérieure de la boîte. Pour empêcher cette dernière de se retirer une fois en place, on la fixe au coussinet par une grosse vis.

Boîte Dietz. — Dans la boîte de M. Dietz, la fusée plonge elle-même dans l'huile, et, comme elle est généralement d'un plus petit diamètre que l'essieu, il en résulte que le niveau de l'huile se trouve plus haut que le joint de sortie à l'arrière de la boîte. Aussi, ce joint est-il aussi bien fait que possible au moyen d'un disque fortement appliqué contre l'essieu par un ressort dissimulé dans une rainure inférieure. L'huile qui échappe à ce joint et coule par le haut où il n'y a pas d'obturateur, est recueillie dans un deuxième réservoir placé à la suite du premier. Là, cette huile est reprise par un disque élévateur du genre Decoster qui l'élève à la partie supérieure, et une raclette spéciale la reprend sur les bords du disque où la force centrifuge l'a accumulée. Elle retombe alors sur la fusée, de sorte qu'on évite ainsi toutes espèces de pertes. De plus, le disque élévateur ne trempant pas lui-même dans la masse principale de la matière lubrifiante, on est à l'abri de l'inconvénient capital du palier Decoster qui, comme chacun sait, est de rendre l'huile fort mousseuse, et, par conséquent, d'en perdre une quantité notable, car l'huile agitée s'altère rapidement (fig. 42).

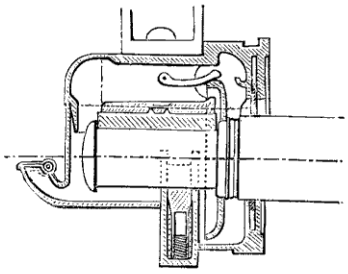


Fig. 42. — Échelle 0,05 par mètre.

En somme, le disque ici n'est qu'un accessoire, et il présente cet inconvénient de modifier la forme de l'essieu dans sa partie utile ; aussi M. Piret eut-il l'idée de rejeter le disque à la partie antérieure de la fusée. Cet élévateur devient alors la pièce essentielle du graissage : il prend l'huile dans un réservoir inférieur pour la faire remonter dans une cavité supérieure d'où elle s'écoule par des trous sur la fusée. En résumé, on peut dire que les boîtes Delannoy sont à préférer pour les grandes vitesses, et les boîtes Dietz pour le matériel à marchandises et entre autres pour les wagons très-chargés. Il n'y a cependant là rien d'absolu.

On fait souvent usage aussi de boîtes à double réservoir : un inférieur forcément à l'huile, et un supérieur à la graisse. Ce dernier, qui ne sert pas en temps ordinaire, s'emploie en cas d'accident quand l'autre vient à manquer. M. Haeck, en Belgique, fait servir la boîte à double réservoir au graissage mixte à l'eau et à la graisse. L'eau est naturellement en bas pressée contre la fusée par un rouleau appliqué par des ressorts. La graisse est en haut, et les deux modes de graissage fonctionnent ensemble. M. Haeck prétend obtenir ainsi de bons résultats. D'une manière générale, on peut dire que le défaut actuel des boîtes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à graisse ou à huile, est la mauvaise fermeture à l'entrée de l'essieu. C'est en effet là la cause de pertes d'huiles et d'entrées de poussières qui corrompent la matière lubrifiante, et usent rapidement la fusée et la boîte.

Boîte à galets. — Ces boîtes ont été imaginées dans le but de diminuer considérablement le frottement. Le poids du véhicule se transmet par l'intermédiaire de la boîte à graisse, dont la forme est modifiée en conséquence, à deux galets ou à une couronne de galets qui s'appuient sur la fusée, et transforment ainsi le frottement de glissement en un frottement de roulement qui est beaucoup moindre. Ces appareils beaucoup trop compliqués et trop délicats, se dérangeaient facilement, et, à partir d'une certaine vitesse, 40 kilomètres à l'heure, leur utilité paraissait fort contestable : on a dû y renoncer.

§ 14 *bis. Plaques de garde.* — Comme nous l'avons déjà vu précédemment, les boîtes à graisse sont saisies de chaque côté par une espèce de fourchette destinée à maintenir les essieux parallèles : c'est ce qu'on appelle la *plaque de garde* (pl. XXXI). A l'origine, on découpait dans la tôle deux bras que l'on fixait verticalement sur la face intérieure du châssis, et qui venaient passer dans des rainures ménagées dans ce but de chaque côté de la boîte à graisse. La plaque de garde ainsi constituée, se mouvait verticalement en suivant les oscillations des ressorts de suspension. Aujourd'hui, quelques Compagnies, comme celle de Paris-Lyon-Méditerranée, consolident ces deux bras primitifs par des contrefiches obliques soudées aux bras précédents et toujours appliquées sur la face interne du brancard. Au Nord français on fait usage de plaques de garde pleines découpées tout entières dans le même morceau de tôle ; la figure résultant du découpage présente alors dans son ensemble deux trapèzes dont les petites bases sont en bas, et dont les parties voisines des grandes bases sont réunies par une bande intermédiaire.

Aux chemins de fer de la Vendée, cette liaison intermédiaire est supprimée, et l'on découpe la plaque en deux morceaux séparés dans la tôle ; il y a ainsi moins de matière perdue. On garnit quelquefois de cuir les rainures de la boîte à graisse dans lesquelles s'engagent les plaques de garde ; on diminue ainsi la sonorité. On a longtemps relié les plaques de garde d'un même côté du châssis par une tringle en fer rond ou en fer à T dans l'intention de s'opposer un peu à la flexion du brancard. Mais l'usage a montré que ces pièces étaient ordinairement inutiles, et on n'en met plus que lorsque le châssis est spécialement fatigué comme quand il supporte un frein. Elles résistent alors à la poussée des sabots contre les roues, et par suite s'opposent à l'écartement des plaques de garde. Dans tous les cas, les branches d'une même plaque de garde sont généralement réunies à leurs extrémités par une petite tige de fer horizontale, et ces branches doivent être assez longues pour que, par suite des oscillations des ressorts ou des variations de la charge, cette tige ne vienne jamais toucher la boîte.

§ 15. *Essieux.* — Les essieux sont soumis dans l'état de mouvement à des forces très-complexes qu'il est difficile d'évaluer exactement. Néanmoins, on a constaté que le point le plus fatigué est celui où a lieu l'encastrement de la roue, ce qu'on appelle la *portée de calage.* C'est là que se transmet naturellement le premier effort, et que les ruptures sont le plus fréquentes. Aussi, faut-il donner à ces portées de calage des dimensions largement suffisantes, au moins $0^m,12$ et mieux $0^m,13$ à $0,14$ de diamètre (fig. 3, 5, 6, 7, pl. XXXI).

Ce point est d'autant plus essentiel, qu'une rupture en cet endroit est exposée à rester cachée par la roue calée sur l'essieu, et qu'il sera par conséquent difficile de prévenir un accident. Le corps de l'essieu n'a pas besoin d'avoir un diamètre aussi grand, $0^m,12$ peut être considéré comme un maximum avec une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

longueur d'essieu de $1^m,36$ entre roues. La partie en dehors des roues qui reçoit la boîte à graisse s'appelle, comme nous l'avons déjà vu, la *fusée*. Elle doit toujours être de dimensions plus faibles que le reste; son diamètre ne doit pas dépasser $0^m,08$ à $0^m,085$ pour une longueur double de $0^m,16$ à $0^m,17$ et quelquefois $0^m,20$. La fusée en effet, par sa position en dehors des roues, n'a pas à résister aux efforts multiples, torsion et autres, qui agissent sur les essieux; elle n'a qu'à supporter simplement la charge transmise par la boîte à graisse. De plus, au point de vue du frottement contre le coussinet, on a encore intérêt à réduire les dimensions des fusées, et on les a faites en effet souvent plus petites qu'on ne les fait généralement aujourd'hui. Mais alors elles s'échauffent trop rapidement et produisent des *grippements*; on a dû revenir aux dimensions convenables que nous avons indiquées plus haut. On réforme généralement les fusées lorsqu'elles ont perdu plus de 6 % de leur diamètre primitif.

L'acier, qui tend à se répandre de plus en plus dans l'industrie, et à se substituer partout au fer, a fait naturellement son apparition dans la fabrication des essieux. L'envahissement a été rapide et satisfaisant. Aujourd'hui, tous les nouveaux essieux que l'on fabrique sont en acier.

Épreuves des essieux. — Nous terminerons ce qui est relatif aux essieux, en donnant une idée de la manière dont les compagnies en font l'essai avant de les mettre en œuvre. On prend généralement un essieu sur 50 dans la livraison à soumettre aux épreuves; on le place transversalement sur deux points d'appui parfaitement fixes espacés de $1^m,50$, et on laisse tomber sur le milieu de cet essieu, d'une hauteur de $4^m,28$, un mouton pesant 500 kil. pour les essieux de 120 à 125 millim. de diamètre au milieu du corps. On donne ainsi des coups de mouton jusqu'à ce que l'essieu ait atteint une flèche de 210 à 240 millim. pour l'acier; la condition *sine quâ non* est que ces flèches ne soient pas obtenues sous moins de 6 coups de mouton.

Ensuite, on retourne l'essieu; on le frappe pour le redresser jusqu'à qu'il ait repris ses formes primitives, et tout cela doit se faire encore au moins avec 6 coups de mouton, sans la moindre déchirure, et sans que le métal ait paru le moins du monde souffrir de l'opération. Dans le cas contraire, tout le lot est refusé. Il ne faut cependant pas attacher une grande importance à ces épreuves. On exige en outre la garantie d'une période de 4 années de service. C'est en effet dans ce sens qu'ont été établis les premiers règlements des chemins de fer, alors qu'on avait surtout pour but de combattre le changement de texture moléculaire reconnu comme peu important depuis. Ces règlements exigent que tous les essieux soient numérotés, et qu'on tienne sur un registre spécial un compte exact du nombre de kilomètres parcourus par chacun d'eux.

Le mieux, en somme, est d'avoir de bons visiteurs qui examinent fréquemment ces essieux, et soient encouragés par des primes à découvrir un commencement de rupture. Celle-ci, en effet, à moins d'accident, n'arrive jamais d'un seul coup; elle commence toujours par une petite fissure qu'une attention soutenue fera toujours apercevoir.

§ 16. *Roues.* — Il nous reste, pour compléter l'exposé du châssis, à étudier les roues. Dans les chemins de fer, les roues sont calées à poste fixe sur les essieux, au lieu d'être folles comme dans les véhicules ordinaires. Ainsi, les deux roues opposées et l'essieu qui les relie forment un ensemble continu dont tous les mouvements sont solidaires. Cela est indispensable sur les voies ferrées où la trajectoire courante est la ligne droite, et où par conséquent, les véhicules doivent tendre, par suite de leur construction même, à aller toujours en ligne droite sans qu'une roue puisse prendre d'avance sur l'autre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les roues se composent de quatre parties essentielles : 1° un moyeu ; 2° des rais ou un disque plein ; 3° une jante ; 4° un bandage qui entoure la jante. Elles sont généralement plus petites dans les chemins de fer que dans les véhicules des routes, malgré le désavantage qui en résulte pour la traction. Mais ici, on est tenu par des considérations spéciales : les roues sont forcément sous la caisse et non sur les côtés, de sorte que pour les faire plus grandes, il faudrait les faire pénétrer dans le plancher, sous les banquettes, ce qui présente certains inconvénients. De plus, les grandes roues augmentent assez rapidement le poids mort ; on leur donne généralement de $0^m,90$ à $1^m,00$ au plus (pl. XXXI).

On les fait en fonte, en fer, en acier, et par parties de ces différents métaux. Les roues en fonte ne sont plus employées aujourd'hui que dans le matériel de chantiers ou d'usines ; le bandage est alors coulé en coquille afin d'être plus dur. Les États-Unis, la Russie, l'Autriche ont tenté de nouveau, dans ces dernières années, l'emploi des roues en fonte, et prétendent s'en bien trouver ; en France elles sont interdites partout. Les roues les plus employées aujourd'hui n'ont que le moyeu en fonte ; les rais et la jante sont en fer forgé. On ajoute ensuite un bandage en acier, et on obtient ainsi une roue un peu plus économique que celle entièrement en fer ; d'un autre côté, ces dernières sont plus légères. Les rais viennent se noyer dans le moyeu en fonte et affectent deux formes générales qui se font pour ainsi dire concurrence : le triangle et le pentagone.

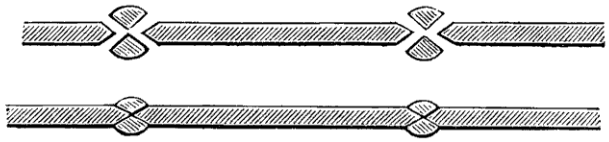


Fig. 43. — Jante de roues.

Dans le premier cas, on rapproche les uns des autres des triangles en fer forgé ouverts par leur sommet noyé dans le moyeu, et dont la base forme elle-même une partie de la jante. Chaque rais portant ainsi une portion de jante, cette dernière se trouve complète lorsque tous les rais sont en place, et il ne reste plus qu'à appliquer le bandage sur le tout. Dans le second cas, ce sont des pentagones que l'on dispose de la même manière ; seulement, comme ceux-ci se touchent forcément par un côté, les côtés adjacents vont en se fuyant retrouver la jante à laquelle il manque ainsi autant de petits triangles qu'il y a d'intervalles entre les rais. On est alors forcé de compléter la roue par un faux cercle avant le bandage, ce qui présente l'inconvénient de donner des roues un peu plus lourdes.

Dans tous les cas, lorsqu'on emploie les rais en triangle, on est obligé de souder un coin à la rencontre sur la jante de deux rais voisins : cette dernière sans cela ne serait pas continue, et on ne pourrait y appliquer directement le bandage (fig. 43).

Les rais ont l'inconvénient pendant la marche, de fouetter l'air et de soulever la poussière. Pour éviter cela on a, sur certaines lignes, garni l'intervalle entre les rais avec du bois ou de la tôle. On a fait aussi simplement des roues à disques pleins qui, de même que les rais ordinaires, sont un peu plus épais vers le moyeu que vers la jante. Au chemin de fer du Nord, on n'emploie plus d'autres roues pour les voitures, et tout le monde a constaté qu'elles sont en effet bien moins sonores que les anciennes.

Quelquefois aussi, au lieu d'un disque unique, on en emploie deux laissant entre eux un certain intervalle vide ; on obtient ainsi une roue plus légère. On a également fait usage de roues à disques pleins entièrement en acier ; mais,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

elles présentent cet inconvénient capital de casser facilement aux changements brusques de température. Ainsi, il est rare d'en voir une résister à l'action subite d'un frein.

Tous les systèmes qui précèdent, sauf les roues en fonte et en acier, sont complétés par un bandage qu'on rive ou qu'on visse sur la jante. Ce bandage est conique; l'inclinaison est de $^1/_{20}$ vers l'axe de la voie, et les roues conjuguée sont leurs bandages coniques en sens contraires, de manière à tendre toujours à ramener la voiture dans l'axe. Il est muni d'un *boudin* ou *mentonnet* jouant le rôle de pièce de sûreté pour maintenir le véhicule sur les rails. En circonstances normales, ce boudin ne doit pas servir et ne touche pas le rail. L'inclinaison du mentonnet est beaucoup plus forte que celle du bandage proprement dit; elle est de $^1/_5$, et se trouve raccordée avec la précédente au moyen d'un congé.

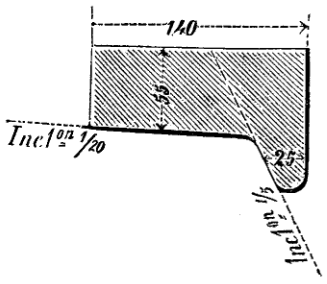


Fig. 44. — Bandage.

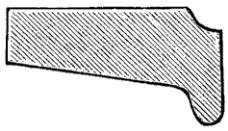


Fig. 45. — Bandage dévié.

Cette dernière conicité est surtout utile pour prévenir l'usure du boudin lorsqu'il est en contact avec le bord du rail. Le bandage, comme l'indique la figure 44, a généralement $0^m,140$ de large et $0^m,035$ d'épaisseur en son milieu. Le boudin a $0^m,025$ dans sa partie moyenne. Dans certaines Compagnies, on évide le bandage au droit du boudin, non-seulement pour avoir une pièce plus légère, mais encore d'épaisseur un peu plus uniforme, et par conséquent plus facile à fabriquer (fig. 45).

Les figures 46 et 47 indiquent comment les bandages sont rivés ou vissés sur les jantes des roues.

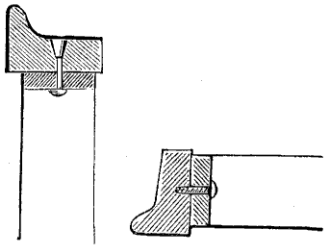


Fig. 46 et 47. — Bandages rivés ou vissés sur les jantes des roues.

La pose du bandage ou *embattage*, a lieu à chaud, et une fois le bandage sur la jante, on refroidit brusquement par une immersion d'eau froide. Il en résulte une contraction brusque du métal dilaté par la chaleur, et un serrage énergique qui rend les deux pièces parfaitement solidaires l'une de l'autre. Comme nous l'avons déjà dit, l'emploi des bandages en acier est aujourd'hui général; l'acier fondu et forgé est beaucoup plus homogène, et très-supérieur à l'acier puddlé.

§ 17. *Nombre et écartement des essieux.*—Les véhicules des chemins de fer sont très-généralement portés sur deux essieux, c'est-à-dire sur quatre roues; ces conditions sont parfaitement suffisantes pour les dimentions ordinaires des voitures. On pourrait bien être tenté d'allonger un peu ces dernières, dans le but de diminuer le nombre des attelages, mais on est limité dans cette voie surtout par la considération des passages en courbes. La dimension maximum rarement dépassée dans certaines voitures spéciales est de huit mètres entre les extrémités des tampons. Néanmoins, quelques Compagnies ont cru bon d'ajouter un troisième essieu au châssis, dans le but de mieux équilibrer la voiture. Beaucoup de chemins de fer prussiens et toutes les voitures des trains de grande vitesse de la Compagnie de Lyon sont dans ce cas. En somme, pour retirer des avantages très-contestables, on augmente la dépense et les chances de rupture de moitié.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les wagons très-longs, il faut alors employer le système américain, qui fait reposer la caisse à ses deux extrémités sur un petit châssis à deux essieux assez rapprochés, et pouvant se mouler dans les courbes indépendamment de la caisse. Cette dernière est reliée à chaque châssis par une cheville ouvrière autour de laquelle s'effectue la rotation nécessaire.

Nous avons ici terminé l'étude générale que nous voulions présenter sur les voitures ; nous allons passer maintenant à l'exposé rapide des généralités sur les wagons ; ce dernier sera naturellement très-simplifié par la rencontre d'un assez grand nombre de parties communes aux deux genres de véhicules, et que nous aurons déjà étudiées précédemment.

Généralités sur les wagons. — Avant de passer à l'étude du matériel à marchandises proprement dit, nous exposerons un type qui accompagne généralement le matériel de grande vitesse, mais qu'on ne peut cependant pas classer parmi les voitures comme cela se fait souvent; nous voulons parler des *fourgons* à bagages. Ces fourgons quoique n'étant pas, bien entendu, installés avec le même luxe que les voitures, tendent cependant, depuis quelques années, à s'en rapprocher de plus en plus dans leurs parties extérieures. Les poteaux ou *pieds* sont disposés verticalement et assemblés aux brancards de caisse et aux sablières du pavillon, ce qui permet des assemblages plus solides que dans les voitures. Ces pieds laissent entre eux des panneaux droits qui sont remplis par des garnitures de planches jointives souvent doublées en tôle ; la toiture est généralement couverte en zinc. En France, dans certaines petites Compagnies, il existe sur tout le périmètre de cette toiture une galerie en fer qui permet au besoin de mettre des bagages au-dessus du wagon. Le fourgon est toujours muni d'un frein ; il contient généralement, en outre, des niches à chiens et des compartiments spéciaux pour les bijoux précieux, les valeurs, etc. Quelquefois aussi, il renferme un compartiment de seconde classe destiné aux employés de la poste lorsque le train ne renferme pas de bureau ambulant spécial. On ajoute souvent aux fourgons une guérite supérieure munie d'un châssis vitré qui permet aux agents la facile surveillance du train tout entier. A l'étranger, ce wagon contient généralement aussi un compartiment spécial destiné aux employés de la Compagnie qui accompagnent le train.

Comme nous avons déjà eu occasion de le dire à propos des installations spéciales, il y a dans quelques trains un water-closet que l'on place dans le fourgon. Nous ne saurions trop recommander encore une fois aux Compagnies d'en aviser le public d'une manière un peu plus ostensible.

Pour la commodité du service, les ouvertures sont fermées par des portes roulantes. A la partie supérieure, une tringle soutient la porte au moyen de crochets ; en bas, cette porte roule sur un rail par l'intermédiaire de galets.

Les fourgons étant tous munis de freins, un certain nombre d'entre eux ont besoin d'être *lestés* pour ne pas sauter sur la voie et dérailler lorsqu'ils sont à vide et que le frein est serré. Chaque train est accompagné généralement de deux fourgons ; dans l'un d'eux, appelé *fourgon de tête* et situé derrière la locomotive, se place le chef de train qui peut ainsi facilement communiquer avec le mécanicien. C'est dans ce fourgon que l'on place d'abord les bagages, de sorte que le lest est ici moins nécessaire. Mais le fourgon placé à l'arrière du train, et que pour cette raison on appelle *fourgon de queue*, n'est pas toujours chargé ; le lest est alors indispensable car, à cause du frein, il faut absolument que ce véhicule présente un poids suffisant. Dans les fourgons, la caisse est toujours indépendante du châssis, comme dans les voitures ordinaires ; la liaison s'opère simplement par des boulons. Le châssis présente aussi la même constitution et le même mode de construction que dans le matériel à voyageurs. Les freins qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

accompagnent ce véhicule, et qui doivent pouvoir au besoin se manœuvrer très-facilement, doivent être des freins à vis perfectionnés tels que ceux à manœuvre automatique et à déclanchement rapide de Newal, Bricoigne, etc.

Cela posé, nous allons passer à l'étude du matériel à marchandises proprement dit. Comme précédemment, nous diviserons notre travail en deux parties : la caisse et le châssis.

§ 1. **Caisse.** — On les fait en bois ou en fer. Elles présentent généralement ce caractère particulier et distinct des voitures, de ne pas être indépendantes du châssis, qui forme lui-même le fond de la caisse. Les parties saillantes et qui dépassent en largeur sont soutenues par des consoles; cette disposition est économique, mais moins commode pour l'entretien. Les caisses présentent trois formes générales, selon les transports auxquels elles sont destinées, et qui sont les suivants :

1° Transport des animaux;
2° Marchandises délicates devant être soignées et abritées;
3° Marchandises grossières et ne redoutant pas les intempéries.

1° *Transport des animaux.* — Les types de wagons employés sont très-variés. Pour les animaux de haute taille, comme les bœufs, les mûlets, on emploie des wagons couverts, qui, pour simplifier les types et économiser le matériel, servent souvent aussi dans les grandes Compagnies au transport des marchandises. Il suffit pour cela que les baies qui permettent l'accès de l'air à l'intérieur lorsqu'il y a du bétail, puissent se fermer au besoin par des volets. Des anneaux sont fixés aux parois intérieures du wagon et servent à attacher les bestiaux. Souvent, les baies sont garnies de barreaux qui permettent aux animaux de respirer, sans les laisser cependant passer leurs têtes au dehors.

Pour les chevaux, on prend un peu plus de soins dans l'aménagement des wagons qui sont de deux types différents, selon qu'ils présentent leurs stalles intérieures en long ou en travers. Les wagons destinés aux chevaux de luxe ont le plus souvent des compartiments ou stalles, disposés en longueur; ils peuvent contenir trois stalles, c'est-à-dire trois chevaux; à l'extrémité et du côté des têtes on place une cabine de palefrenier. Les chevaux ordinaires se placent en travers dans des wagons à stalles qui peuvent en contenir six. Les caisses sont munies de baies garnies de barreaux comme à l'ordinaire; on ferme généralement ces baies au moyen de volets mobiles à charnières. Lorsque ces volets sont ouverts, on les empêche de battre le long des parois au moyen d'un petit verrou spécial. Dans les deux cas, on s'est préoccupé avec soin de l'écoulement de l'urine. De plus, les séparations entre les stalles sont garnies de cuir; l'isolement en compartiments séparés a pour but d'empêcher les chevaux de se battre; le cuir les empêche de se blesser eux-mêmes contre les cloisons. Dans les wagons pour les chevaux de luxe, il faut avoir soin de toujours réserver un compartiment spécial pour le palefrenier.

Les animaux de petite taille, tels que brebis, agneaux, chèvres, etc., sont expédiés dans des wagons à claire-voie et à plusieurs étages, généralement deux. L'introduction du bétail a lieu par des baies fermées au moyen de loqueteaux. On ne peut malheureusement pas mettre ici un compartiment pour chaque mouton, de sorte que les animaux, trop entassés les uns sur les autres, ont souvent à souffrir, surtout dans les longs voyages. Les wagons de ce genre ne peuvent absolument servir qu'au petit bétail, et ne reçoivent accidentellement aucun autre emploi. Il ne faut donc en construire qu'un nombre fort limité et en relation avec les besoins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2° *Marchandises délicates.* — Les marchandises qui ont à souffrir de la chaleur, de l'humidité, des intempéries en général, etc., doivent être transportées nécessairement en wagons couverts. Comme nous l'avons dit déjà plus haut, ces wagons couverts servent souvent aussi au transport des bestiaux. Il faut alors que les baies puissent se fermer par de solides panneaux de bois dont la manœuvre se fasse autant que possible de l'intérieur, de manière à rendre les détournements impossibles. Comme la fermeture de l'extérieur est plus commode et plus facile, on la préfère cependant dans certaines Compagnies. Les panneaux glissent alors dans deux rainures et sont manœuvrés par une tringle en fer, ou bien se rabattent autour de charnières. Ces wagons sont fermés une fois le chargement fait, au moyen de portes glissantes ou à coulisses, qui doivent interdire complétement l'accès dans le wagon des agents atmosphériques, tels que l'eau en cas de pluie, etc. Les wagons couverts doivent d'ailleurs toujours se fermer hermétiquement pour remplir convenablement le but qu'on se propose en les construisant.

Ces véhicules sont les moins avantageux pour les Compagnies; ils présentent un poids mort, plus considérable, coûtent plus cher, et surtout, excluent l'emploi si commode des grues pour le chargement et le déchargement. En Angleterre cependant, on a construit des wagons couverts dont la toiture, munie d'ouvertures spéciales qu'on ouvre à volonté, permet l'usage des grues. Il faut donc, en résumé, avoir le moins possible de ces wagons et en proportionner le nombre aux exigences rigoureuses du trafic. Il est tout à fait absurde en pareille matière, de faire comme les Allemands, chez lesquels ce type domine, et qui sont obligés, pour s'en tirer, d'avoir un tarif plus élevé pour les marchandises transportées par ce genre de véhicule.

3° *Marchandises grossières.* — Ici, le wagon n'a plus besoin d'être couvert; cependant, l'expéditeur a toujours le droit de réclamer le bachage. Selon la nature des marchandises à transporter, on emploie dans ce cas deux types de wagons : 1° des caisses, soit pleines, soit à claire-voie, et ouvertes à leur partie supérieure, qu'on appelle *wagons-tombereaux*; 2° des wagons plats avec ou sans rebords, qui se nomment *wagons-plateformes*. En outre, des natures spéciales de marchandises, comme le bois, les longs rails, les chaises de postes, les grosses pierres, les matières dangereuses, etc., exigent la construction de wagons spéciaux.

Wagons-tombereaux. — C'est un type commode et courant; avec une bâche, on peut en faire à la rigueur un wagon fermé, suffisant pour certaines marchandises (fig. 1, 2, 3, pl. XXXI). La difficulté principale dans la construction de ces wagons est le contreventement. Dans les plate formes, il est inutile; dans les wagons couverts il s'opère par la toiture; mais ici, il est impossible, et la caisse a toujours une certaine tendance à la déformation sous la charge. C'est pour éviter cet inconvénient qu'on donne souvent aux deux extrémités de ce wagon une élévation en forme de pignon. On réunit alors ces pignons par une pièce longitudinale qui les rend solidaires l'un de l'autre. Cette disposition permet en même temps l'application facile d'une bâche. Les portes sont à charnières et à vantaux, et non à coulisses comme dans les wagons fermés. Il est en effet impossible ici d'employer ces dernières qui, faussées par la poussée intérieure du chargement, présenteraient une manœuvre fort difficile. Mais cela est très-regrettable, car l'ouverture en marche de portes à charnières mal fermées, cause souvent des accidents que les portes glissantes éviteraient d'une manière complète. Dans tous les cas, la fermeture des tombereaux doit être très-solide; elle se compose généralement d'une forte barre d'accrochage munie d'un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

crochet qui vient entourer un boulon le plus complétement possible. En outre, on complète la fermeture à la partie inférieure par une espagnolette à main liant les deux vantaux entre eux et avec les longerons. Ces wagons sont généralement en bois; on en a fait également en fer. Leur usage le plus fréquent est le transport de la houille.

Wagons-plateformes. — Les wagons-plateformes sont complétement plats, ou bien munis de très-petits rebords de $0^m,20$ à $0^m,40$ au plus. Dans ce dernier cas, et pour la facilité du chargement et du déchargement, les côtés ou les extrémités, quelquefois les deux, sont mobiles et se fixent une fois relevés avec des targettes. On a ainsi le wagon à bords ou à côtés tombants. Généralement aujourd'hui, les bords des extrémités seuls sont mobiles (fig. 4, 5, 6, 7, pl. XXXI).

Wagons spéciaux. — Les wagons à équipages sont des plate formes à bouts tombants que l'on peut rabattre à volonté pour avoir continuité avec le quai. On peut ainsi commodément faire avancer les équipages ou chaises de postes, qu'on fixe ensuite par les roues à des chevilles spéciales plantées verticalement sur la plate-forme. Les wagons à lait ont une forme analogue à celle des wagons à moutons. Les brocs de lait sont disposés sur plusieurs étages dans des caisses à claires-voies. Les wagons à pierres de taille sont des plate formes dont le fond est muni transversalement de traverses saillantes qui supportent tout l'effort du chargement sans que les pierres touchent le fond proprement dit. Ces traverses sont un peu concaves, pour ne pas déformer les pierres sous l'effet des oscillations produites pendant la marche. Le chargement et le déchargement se font très-facilement ici au moyen de chaînes manœuvrées par les grues des gares.

Le transport des bois en grumme et des pièces de charpente est plus difficile. Les arbres qu'on transporte d'une seule pièce ont souvent 18 à 20 mètres de long, ce qui représente trois longueurs de wagons. On place alors aux extrémités deux wagons porteurs spéciaux, et au milieu un wagon ordinaire ne portant aucune charge, mais jouant simplement le rôle de tamponneur pour maintenir les autres à distance constante. Ces wagons à bois sont des plate formes sans bords munies d'une cheville-ouvrière centrale autour de laquelle peut osciller une espèce de plaque tournante qui reçoit la charge. De cette façon, et malgré la grande longueur des pièces, le passage en courbe a lieu très-facilement. On voit que tout cela exige la modification profonde de la plate-forme du wagon qui ne peut ainsi servir qu'à un seul usage. Aussi, les compagnies ont-elles le droit, si elles n'ont pas ce matériel, ou ne veulent pas se le procurer, de refuser le transport des pièces qui sortent des dimensions ordinaires des wagons. Cependant, aujourd'hui, elles sont généralement munies de ce matériel, qui est utile également pour transporter les longs rails et les pièces toutes montées de charpentes métalliques, telles que poutres de ponts, entretoises, etc. Des wagons spéciaux sont encore employés dans les Compagnies pour le transport des plaques tournantes, des pièces de locomotives, etc. Des plateformes élémentaires à tampons secs, c'est-à-dire en bois et sans ressorts, sont employées dans les terrassements ou pour le transport du ballast. Nous ne nous arrêterons par sur ces spécialités, qui n'intéresseraient pas la grande majorité de nos lecteurs.

Résumé. — Les wagons se construisent généralement en bois et quelquefois en fer; il les faut dans tous les cas très-solides, de sorte que l'introduction du fer était naturellement indiquée, et cela d'autant plus qu'en outre de la question de résistance, il a fallu se préoccuper de la question de légèreté. Il est essentiel que le poids mort du wagon soit le plus faible possible et qu'il puisse

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cependant recevoir sans inconvénient pour la voie et pour lui-même, une forte charge. Le chargement maximum qui était à l'origine de cinq tonnes a été constamment en augmentant; il est aujourd'hui de dix tonnes et dépasse même quelquefois ce chiffre. L'augmentation de la charge des wagons, qui produit un accroissement de poids utile transporté, est sans contredit une condition économique à rechercher. Mais il ne faut pas s'avancer avec exagération dans cette direction qui entraîne avec elle l'accroissement du poids des rails, du nombre des traverses, et d'une manière générale, exige que la voie soit plus solide et mieux assise. Il ne faut donc marcher dans ce sens qu'avec précaution, et encore, si l'on est certain que l'alimentation régulière des marchandises est assurée. D'ailleurs, des wagons à chargement de plus de dix tonnes sont difficiles à manœuvrer sur les plaques tournantes; il y aura donc dans chaque cas particulier, peu d'avantage à dépasser une certaine limite, variable nécessairement avec le trafic de la Compagnie et l'établissement de la ligne.

Ce qui précède résume tout ce qu'il peut y avoir d'intéressant au point de vue élémentaire sur les caisses des wagons; nous allons maintenant faire le même examen rapide pour le châssis.

§ 2. **Châssis.**—Comme nous l'avons déjà dit, le châssis dans les wagons est rarement indépendant de la caisse; il sert lui-même de fond de caisse. Et, comme cette dernière est généralement plus large que le châssis, on dispose des encorbellements, des consoles ou des pièces analogues, qui sont chargées de racheter la largeur qui manque (fig. 6, pl. XXXI). La première qualité du châssis d'un wagon est d'être très-solide, en raison des fortes charges qu'il est constamment appelé à supporter. La construction de ce châssis est identique à celle des pièces analogues des voitures que nous avons étudiées précédemment. On les construit en bois, en fer, ou mixtes en fer et bois. Mais, toujours en raison de la résistance et de la légèreté qu'ils doivent présenter, on les fait actuellement de préférence en fer, surtout eu égard à la longueur de plus en plus grande que tendent chaque jour à leur donner certaines Compagnies. La suspension, même dans les wagons à ballast, a lieu par l'intermédiaire de ressorts comme dans les voitures. Nous avons vu en effet, dans l'étude de ces dernières, que les ressorts sont indispensables à la conservation du matériel. Comme toujours, les ressorts à lames sont supérieurs aux autres systèmes, aux ressorts Brown en particulier. Seulement, leur qualité essentielle ici sera la résistance et non la souplesse comme dans les voitures. On les calcule toujours d'après les lois établies par M. Philipps suivant le poids que doit porter le wagon. Mêmes dispositions également que dans les voitures pour le choc et la traction qui se font sur ressorts à lames ou sur ressorts Brown. Dans ce cas, ces derniers présentent moins d'inconvénients que pour la suspension.

Rien de particulier non plus à ajouter pour les essieux, les fusées, les roues, si ce n'est que toutes ces pièces sont nécessairement un peu plus robustes que dans les voitures. Les roues n'ont pas besoin d'être à disques pleins, car peu importe ici qu'elles soient sonores ou soulèvent la poussière. L'attelage est exactement le même que pour les voitures, accompagné des mêmes chaînes de sûreté. Le tendeur est seulement un peu plus fort. Comme boîtes à graisse, il faut employer celles qui se comportent le mieux et s'échauffent le moins sous les fortes charges. Au chemin de fer de l'Est, l'usage de la boîte Dietz est exclusivement répandu. Afin de faciliter les manœuvres dans les gares, on munit une partie des wagons de freins à mains. On peut placer des freins sur tous les wagons, à l'exception de ceux qui renferment des animaux nerveux et faciles à effrayer, comme les chevaux. Généralement, d'ailleurs, on évite les freins dans les wagons à bestiaux. Tous les autres wagons peuvent en recevoir, même

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les plate formes. On ajoute à une extrémité, dans le cas des freins à vis, un siége et une guérite pour le garde-frein. Cela entraîne seulement une modification des tampons de choc.

2° Examen des principaux types exposés en 1878.

1° *Matériel français.* — § 1. L'exposition du matériel des chemins de fer en 1878, laissait beaucoup à désirer au point de vue de l'installation. En effet, tandis que le matériel roulant exposé par les Compagnies se trouvait avenue de Labourdonnaye, que le matériel fixe des mêmes Compagnies était près de l'Ecole militaire, tout ce qui avait rapport au même objet et qui avait été envoyé par des constructeurs spéciaux, se trouvait relégué de l'autre côté de la Seine, dans les annexes du Trocadéro.

Il en résulte que cette exposition, qui était très-remarquable, ne pouvait être appréciée dans son ensemble, et, à notre avis, y perdait beaucoup. C'est surtout dans l'examen de cet ensemble en effet, qu'on pouvait dégager les deux tendances générales des chemins de fer dans ces dernières années, savoir, la grande vitesse et le confortable. Ces améliorations étaient depuis longtemps réclamées par le public. En outre, la question de vitesse était fort intéressante pour plusieurs de nos Compagnies, qui craignaient à juste titre de voir les transports venant de l'Angleterre, suivre les voies belge et allemande. Cette crainte était d'autant plus fondée que le percement du Saint-Gothard pourrait établir un raccourci sérieux pour certains transports effectués jusqu'alors par les Compagnies françaises.

A côté de cette question commerciale, il s'en présentait une autre non moins impérieuse : les Compagnies furent invitées par l'administration à admettre dans les express, des voitures appartenant à toutes les classes. Avec l'accélération de vitesse, et l'introduction du matériel des trois classes dans les trains rapides, il devenait nécessaire de perfectionner certaines parties spéciales du matériel, telles que les essieux montés, les appareils de choc et de traction, la suspension de la caisse, etc., tous perfectionnements concernant le châssis. Au contraire, les modifications apportées en vue d'augmenter le confortable donné aux voyageurs, ont trait principalement à la caisse.

Les grandes Compagnies françaises, tout en maintenant la division bien tranchée des trois classes de voitures ont cependant cherché à améliorer le plus possible chacune d'elles. Les baies ont des dimensions plus grandes et les voitures sont plus hautes, de sorte qu'on peut généralement s'y tenir debout; ce dernier point était indispensable pour les longs trajets.

Les voitures de seconde classe ont subi moins de changements; les garnitures intérieures montent seulement plus haut, et la place offerte à chaque voyageur est plus grande. Mais, les perfectionnements auxquels se sont le plus spécialement attachées les Compagnies, concernent surtout les places de luxe. Les tarifs perçus pour ces places sont naturellement d'autant plus élevés que le bien-être est plus grand, et les Compagnies ont compris que somme toute, leur intérêt était encore ici d'offrir le plus de confortable possible. En 1867, notre infériorité sous ce rapport fut constatée d'une manière générale. Aussi en 1878, les chemins de fer ont-ils rivalisé d'émulation pour offrir au public divers types de voitures perfectionnées qui, quoique encore imparfaites, réalisent cependant un progrès sensible sur le matériel d'il y a dix ans.

Le plus grand luxe en effet, que l'on montrait dans les voitures de 1867, était le coupé de première classe. En 1878, au contraire, on remarquait par-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tout des coupés-lits, des coupés-fauteuils-lits, des wagons-salons, des cabinets de toilette, des water-closets, etc. Les premiers coupés construits, n'avaient pour but que de permettre un isolement plus complet, et dans certains cas de donner un peu plus de place à chaque voyageur. Cela a été bien vite reconnu insuffisant, et c'est alors que l'on a construit les types actuels que l'on voyait à l'Exposition.

Le chauffage a été imposé pour les trois classes; après avoir été bien discuté il se trouve en résumé, être généralement le suivant : les premières et secondes classes sont chauffées au moyen de bouillotes ordinaires que l'on réchauffe et change plus fréquemment qu'autrefois. Pour les troisièmes classes on ne s'est encore arrêté à rien de bien caractéristique. Nous ne nous étendrons pas davantage sur cette question de chauffage qui a été traitée en détails par un de nos collègues.

L'éclairage, qui de tous temps a laissé beaucoup à désirer, semble avoir fait un progrès sensible par l'emploi du pétrole. Au chemin de fer d'Orléans, on commence à employer deux lampes à huile par compartiment. On a cherché aussi à employer l'éclairage du gaz comme en Belgique. L'inconvénient de ce système, est d'exiger des tuyaux de communication entre tous les wagons et de rendre impossible l'interposition d'une voiture non éclairée dans le train. Lorsqu'on emploie le gaz, il faut avoir sur le pavillon de chaque voiture, un réservoir spécial qu'on charge de temps en temps aux stations, et très-simplement à la manière déjà usitée depuis longtemps pour le gaz portatif. Ces données générales étant bien établies, nous allons examiner rapidement les principaux types exposés en 1878.

§ 2. **Chemins de fer de l'Est.**—Nous devons nécessairement commencer par la Compagnie de l'Est; comme nous avons déjà eu souvent l'occasion de le dire, c'est la première en France qui se soit préoccupée sérieusement des améliorations à apporter dans le matériel à voyageur, surtout au point de vue du confortable.

Dès l'année 1865, les trains rapides pour Strasbourg contenaient des coupés-lits. Les autres Compagnies n'ont fait depuis que suivre celle de l'Est dans cette voie. Le coupé en général, dont on voyait encore de nombreux échantillons à l'Exposition, présente cet inconvénient d'empêcher la répartition régulière du poids de la caisse sur toute l'étendue du châssis. Les trépidations et secousses de ce dernier se font alors beaucoup plus sentir dans le coupé que dans tout autre compartiment. Dans le but d'assurer une meilleure répartition de la charge sur le châssis, et par suite d'éviter aux voyageurs les inconvénients dont nous venons de parler et qui existent dans toutes les voitures non symétriques, la compagnie de l'Est a étudié une disposition spéciale de voiture de luxe dont nous allons donner la description.

Cette voiture se compose de trois compartiments : deux de première classe aux deux extrémités et un salon intermédiaire. Les premiers sont aménagés intérieurement comme les compartiments ordinaires de première classe de cette Compagnie; ils présentent notamment une disposition que nous voudrions voir se généraliser, car elle est très-commode pour les voyageurs, et augmente peu le prix de revient des voitures. Cette disposition consiste à permettre aux sièges de s'avancer de manière à offrir plus de largeur et au besoin à former lit. Les sièges des coussins s'avancent deux à deux, et il y a ainsi par compartiment quatre sièges mobiles pouvant offrir quatre lits lorsque les voyageurs ne dépassent pas ce nombre.

Le salon central contient cinq fauteuils-lits, dont trois peuvent encore se transformer en lits, et un water-closet avec toilette. Deux des fauteuils-lits ordinaires, sont disposés à une extrémité du salon de chaque côté du cabinet

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de toilette qui forme un tambour n'ayant pas plus de 0,75 de saillie intérieure, et recevant le jour du haut par un châssis vitré. En face, sont disposés les trois autres fauteuils-lits, qui peuvent encore eux-mêmes faire place à des lits véritables formés de deux matelas, d'un traversin et d'un oreiller, et qui pendant le jour, sont relevés verticalement contre la paroi. En agissant sur une poignée placée à la partie supérieure, on abaisse horizontalement le lit à volonté. Chacun de ces lits a 2 mètres de long sur $0^m,60$ de large; lorsqu'il est relevé, et dressé contre la paroi, il n'occupe pas plus de $0^m,35$ de vide. Les fauteuils-lits se manœuvrent en amenant le siège au moyen de tirants spéciaux placés à cet effet sous la banquette. Il en résulte qu'on peut à volonté d'un côté avoir des lits ou des fauteuils-lits; les voyageurs placés près du cabinet de toilette au contraire, n'ont que des fauteuils-lits.

Ces doubles dispositions entraînent une certaine complication de mécanisme dont nous ne voyons pas l'utilité. En adoptant seulement trois lits et deux fauteuils-lits, cela nous eut paru bien suffisant.

Enfin, une table pliante et des pliants complètent l'aménagement intérieur. De plus, pour garantir du froid et des rayons directs du soleil, les baies sont garnies de deux châssis, dont un vitré et un en boiserie capitonnée intérieurement. Les châssis vitrés sont garnis de velours pour amortir le bruit pendant la marche. Nous préférons des ressorts suffisants pour maintenir le châssis immobile à cette garniture d'étoffe qui entraîne rapidement la pourriture du bois. La voiture est munie de deux planchers entre lesquels on a placé du varech pour éviter la sonorité; elle possède également deux pavillons qui garantissent aussi bien contre le froid rigoureux que contre la chaleur excessive. Ajoutons encore que la hauteur intérieure est assez grande pour qu'on puisse partout se tenir debout, ce qui est très-appréciable. Le premier bien-être que recherchent en effet les voyageurs, est l'espace, et à notre avis, les Compagnies doivent surtout s'attacher, dans les limites possibles, à augmenter la hauteur et la largeur intérieures des compartinents. Quoi qu'on en dise quelquefois, ces modifications peuvent être obtenues à peu de frais, et sont très-importantes.

Enfin, la voiture est rendue très-douce par l'emploi de grands ressorts et d'une double suspension en caoutchouc. C'est jusqu'à présent, la voiture de luxe qui, proportionnellement au nombre de places, présente le moins de poids mort à transporter; aussi pensons-nous qu'elle est appelée à un certain avenir et se généralisera.

La Compagnie de l'Est exposait en outre, une voiture de 3^{me} classe chauffée par un appareil thermosiphon; nous n'entrerons pas dans la description de cet appareil qui a été faite dans le chapitre relatif au chauffage des voitures. Nous n'avons à examiner ici que le véhicule. Le châssis est complétement en fer et du type adopté par la Compagnie; les brancards sont en fer à T ce qui présente quelques difficultés d'assemblage qu'on pourrait éviter par l'emploi du fer en U. Ce châssis est entretoisé par trois traverses intermédiaires et quatre flèches en fer cornière; ces dernières disposées en croix de Saint-André nous paraissent préférables. Les appareils de choc sont indépendants des appareils de traction; il en résulte que les mouvements de galop, de lacet, etc., sont beaucoup moins sensibles.

La caisse est divisée en cinq compartiments, dont un complètement isolé pour les dames seules. Les banquettes sont simplement en bois, mais disposées de manière à donner un bien-être relatif: le siège est concave, le dossier incliné avec appui pour la tête, et planchettes pour les bagages. Comme construction, il faut remarquer les tôles recouvrant la paroi extérieure de la voiture; elles sont d'une seule pièce sur toute la hauteur ce qui permet d'éviter le couvre-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

joint horizontal qui, comme nous l'avons déjà signalé dans le chapitre premier est toujours une cause de pourriture du bois de la caisse.

Enfin, on remarquait à l'Exposition de 1878, un type assez curieux exposé par la Compagnie de l'Est sous le nom de *wagon dynamomètre*. Ce wagon renferme des appareils très-complets destinés à l'étude des résistances que l'on a à vaincre dans la traction et l'arrêt des trains; les appareils permettent en outre de se rendre compte des divers phénomènes qui se passent pendant le même temps sur la locomotive.

§ 3. **Chemins de fer du Midi.** — Cette compagnie avait exposé deux types de voitures qui méritent notre attention. La première est une voiture de première classe contenant deux compartiments et deux coupés extrêmes, présentant les inconvénients de tous les coupés ainsi disposés. Les dimensions des compartiments ont été augmentées dans tous les sens; ainsi la hauteur de la caisse sous pavillon est de 2 mètres et chaque compartiment ne contient que six places au lieu de huit; les coupés offrent chacun trois places : la voiture contient donc en tout dix-huit places (pl. XXXIII, fig. 4).

Les trépidations, mouvements de lacet de galop, etc., sont atténués autant que possible par un très-grand empâtement des essieux qui, pour une longueur totale de la voiture de $8^m,82$ sont distants de 5 mètres. De plus, la double suspension est réalisée au moyen de ressorts à spirales dissimulés dans des boîtes en fonte et qui servent d'intermédiaires entre la caisse et le châssis. Les ressorts de suspension proprements dits ont en outre de très-grandes dimensions; la maîtresse-lame n'a pas moins de $1^m,80$ de longueur. Le châssis est mixte, en fer et bois, les roues sont pleines, en fer avec bandages en acier.

Le second type de voiture, exposé sous le n° 44 (pl. XXXIII, fig. 3), présente des dispositions spéciales; il contient trois compartiments de première classe avec cabinets de toilette et water-closet auxquels on peut avoir accès au moyen d'un couloir central dont les portes de communication peuvent être fermées à volonté. On peut donc malgré ce couloir, s'isoler jusqu'à un certain point dans son compartiment. La caisse est encore un peu plus haute que dans la précédente; elle atteint $2^m,06$. Le plancher est double, et les joints du bas des portières sont garnis de moquette afin d'empêcher l'accès de l'air extérieur. Le châssis des glaces est entouré de velours, système que nous avons déjà critiqué plus haut. Les coussins des sièges sont à élastiques. Les essieux sont encore très-écartés; leur distance est $4^m,50$. La longueur des ressorts de suspension atteint $2^m,03$ pour la maîtresse lame. Le châssis est entièrement en fer, et les roues garnies d'un remplissage en bois, système Brunon. La double suspension est effectuée ici au moyen de bandes de caoutchouc interposées entre la caisse et le châssis. La voiture est ainsi rendue en même temps plus sourde.

Le plafond en érable est complètement indépendant du pavillon supérieur et repose également dans toute sa longueur sur une bande de caoutchouc.

§ 4. **Chemins de fer d'Orléans.**—La compagnie d'Orléans exposait une voiture de première classe composée de deux compartiments ordinaires à huit places, un coupé à quatre places, et un compartiment à trois lits formant sièges pour le jour comme dans le type exposé par le chemin de fer de l'Est. Le compartiment à lits est en outre muni d'un cabinet de toilette et d'un water-closet. On comprend que pour trouver la place de quatre compartiments de cette importance, il faut une voiture assez longue; l'écartement des essieux atteint $5^m,50$. Outre le plus grand nombre de places à offrir et le faible poids mort relatif à transporter, ces grandes dimensions, surtout le long empâtement des essieux, augmentent notablement la stabilité de la voiture et lui donnent un meilleur roulement. Des précautions

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

spéciales et nombreuses sont d'ailleurs prises dans le châssis pour éviter les trépidations, mouvements de lacet, etc. Ainsi les ressorts de suspension ont une maîtresse lame de 2 mètres de long, la double suspension est réalisée comme cela est assez général maintenant, par l'interposition de lames de caoutchouc entre la caisse et le châssis : les boîtes à graisse sont montées avec un soin tout particulier, et, excepté dans les courbes, ne viennent jamais frotter contre les faces des plaques de garde.

Le châssis est en chêne avec brancards doublés extérieurement en tôle. Le bois a été conservé surtout pour rendre les voitures moins sonores. La caisse est munie d'un double plancher garni de matières inertes qui amortissent encore le bruit. Les coussins et les dossiers sont intérieurement munis de ressorts à boudins en acier trempé qui constituent de véritables sommiers élastiques. L'éclairage a lieu au moyen du gaz comprimé, système Hugon ; chaque compartiment est muni de deux lanternes à gaz.

La Compagnie exposait en outre un fourgon à bagages destiné à être placé en tête des trains. A l'avant se trouve un compartiment pour un employé ; à l'arrière un compartiment de deuxième classe à deux places en communication avec un water-closet. On a fait sur ce fourgon l'essai du frein Heberlein que la Compagnie tente en ce moment d'appliquer à tout son matériel.

§ 5. **Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.** — C'est dans cette Compagnie que nous trouvons en France, l'emploi que nous avons déjà signalé précédemment, de trois essieux pour le matériel à grande vitesse. La Compagnie exposait deux voitures et un wagon à marchandises. Ce dernier est un wagon à houille qui rentre dans le type ordinaire, et sur lequel nous ne nous arrêterons pas. Les deux voitures sont plus intéressantes: l'une d'elles (n° 38), est une voiture de première classe renfermant deux compartiments et deux coupés, un coupé-lit et un coupé fauteuil-lit.

Le coupé fauteuil-lit ressemble à tous les coupés du même genre ; il est garni de trois fauteuils-lits analogues à ceux du chemin de fer de l'Est. Le second coupé renferme une banquette mobile qui, au moyen d'une console pour relever la tête, peut se transformer en lit. Un water-closet est dissimulé à l'extrémité sous le coussin. Le châssis est en fer, monté selon la coutume de la Compagnie, sur trois essieux ; les roues sont en fer forgé ; elles sont évidées et à centre équilibré pour combattre le mouvement de lacet. Toutes les parties métalliques de la caisse, poignées, etc., sont en bronze nickelé qui présente un fort bel aspect et demande peu d'entretien. La caisse elle-même est munie d'une double suspension en caoutchouc ; des bandes d'étoffe entourent les châssis vitrés des baies pour éviter le bruit. Nous trouvons ici encore, l'application du châssis vitré équilibré en arrière par un contre-poids, ce qui permet de le maintenir à toute hauteur.

La seconde voiture exposée (n° 40), se compose de trois compartiments : un salon central et une chambre à coucher de chaque côté. A l'intérieur sont disposés des fauteuils dont quelques-uns peuvent se transformer en lits. On obtient ainsi dans le jour douze fauteuils, et la nuit quatre lits et quatre fauteuils-lits. De petits compartiments spéciaux sont en outre ménagés aux deux extrémités de la voiture ; l'un d'eux renferme deux sièges pour les domestiques ; l'autre une toilette avec water-closet.

§ 6. **Chemins de fer du Nord.**—On s'est surtout préoccupé ici, d'apporter des soins spéciaux dans la construction des châssis, afin de rendre les voitures moins sensibles aux mouvements de lacet qui se produisent dans la marche à grande vitesse, ainsi qu'aux autres mouvements brusques et désagréables que l'on res-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sent au passage des courbes et aux changements d'inclinaison dans le profil en long de la ligne. — La Compagnie du Nord a fait de très-nombreux esssais à ce sujet, et imaginé dans ce but des appareils très-intéressants. Le résultat à obtenir, est d'avoir des roues montées parfaitement équilibrées dans lesquelles la matière soit répartie bien également autour de l'axe de l'essieu. Des expériences très-curieuses ont été faites à cette Compagnie, sur des essieux construits avec les soins que nous venons d'indiquer et qui avaient été vérifiés au moyen des tours spéciaux construits dans les ateliers du chemin de fer du Nord.

Des voitures munies de ces essieux, dont le parallélisme avait été assuré mathématiquement par un montage soigné des plaques de garde et des boîtes à huile, ont été placées dans des trains à grande vitesse après qu'on avait eu soin de peindre en blanc les bandages des roues. Ces voitures ont parcouru 50 kilomètres entre Paris et Creil, sans que les boudins soient venus toucher les rails, et la surface de roulement des bandages ne dépassait pas deux à trois centimètres de largeur. La conclusion est donc qu'avec des bandages dont la conicité est suffisante pour assurer le passage dans les courbes sans que les boudins portent contre les rails, avec un bon équilibre de la voiture, et un attelage soigné, on peut arriver à détruire presque complétement le mouvement de lacet.

Ces conditions de construction des voitures sont non-seulement excellentes pour les voyageurs, mais encore à recommander au point de vue de la conservation du matériel dont l'usure est considérablement diminuée. La suspension a aussi d'ailleurs, son influence en pareil cas; celle des voitures à grande vitesse doit toujours être très-soignée. A la Compagnie du Nord, la caisse des voitures de première classe repose sur le châssis par l'intermédiaire de ressorts à spirales et non par des plaques de caoutchouc comme nous l'avons fréquemment remarqué ailleurs. Il est en même temps très-nécessaire que les voitures soient bien équilibrées et que les ressorts soient chargés très-également; mais en outre il ne faut pas oublier que l'état d'entretien de la voie joue souvent un grand rôle dans les secousses que l'on éprouve en chemin de fer.

Dans les voitures dissymétriques, comme celles qui présentent un coupé à une extrémité, la répartition des charges sur chaque essieu est une chose très-difficile à réaliser. La Compagnie exposait un appareil spécial qui sert à peser les quatre angles d'une voiture; on peut alors établir convenablement les ressorts d'après le poids qu'ils doivent porter, et fixer exactement leur point d'attache. — La voiture de première classe exposée a été construite d'après toutes les conditions précédentes; aussi l'équilibre parfait du véhicule sur ses ressorts de suspension, le parallélisme absolu des essieux et la double suspension en font une voiture très-douce.

Cette voiture contient deux compartiments et un coupé-lit toilette analogue au type de l'Est; ce coupé est représenté à part dans les fig. 1 et 2 de la pl. XXXIII. Les compartiments ordinaires présentent extérieurement le même aménagement et les mêmes dimensions réduites que dans le vieux matériel. C'est une grande économie pour la Compagnie qui a ainsi beaucoup moins de poids mort à transporter. Ce poids mort est en effet dans les types courants de 308k,70 par voyageur au maximum, et dans les classes secondaires il est encore plus réduit, il n'est que de 170 kilogrammes dans les secondes et 127 dans les troisièmes. Nous sommes donc assez loin de la compagnie du Midi par exemple, ou ce poids atteint 590 kilogrammes par voyageur et ne descent pas au-dessous de 375 kil. au chemin de fer de l'Ouest, sauf dans quelques voitures de construction exceptionnelle.

La Compagnie exposait encore un fourgon-bagages qui rentre dans les types courants et bien conçus de ces genres de véhicules.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 7. **Chemins de fer de l'Ouest.** — Sur le réseau de l'Ouest, on a rarement à faire de longs voyages, de sorte que la construction et l'installation des wagons-lits et autres améliorations nécessaires aux grands trajets, a peu préoccupé la Compagnie. Toute l'attention de celle-ci s'est portée sur le service de banlieue, qui à certaines époques de l'année surtout, atteint un développement considérable. — Le matériel des grandes lignes de la compagnie était représenté par une voiture de première classe à quatre compartiments sortant des ateliers de MM. Desouches et David de Pantin. Cette voiture était construite exactement sur les mêmes principes que celles du Midi et d'Orléans vues précédemment. Nous ne nous étendrons donc pas sur les détails qui sont les mêmes (pl. XXX).

Pour contenir quatre compartiments elle doit être fort longue, et mesure en effet 9m,25 entre tampons. Les ressorts ont une maîtresse lame de 2 mètres de longueur. L'éclairage a lieu par le pétrole ; les lampes ont un diamètre un peu plus grand que d'ordinaire. La voiture vide pèse 8,800 kilogr et son chargement maximum est de 2,400 kilogrammes soit 275 kilogrammes de poids mort par voyageur. Une particularité intéressante réside dans l'attelage qui se serre au moyen de quatre tours de tendeur et jusqu'à ce qu'on ait atteint un trait de repère indiquant qu'on a obtenu la tension de 2,400 kilogrammes. On peut ainsi commodément atteler les voitures toujours avec la même tension.

La Compagnie exposait encore, sortant des mêmes ateliers, une voiture de première classe à deux coupés, qui est d'ailleurs fort peu employée. On ne met des coupés que dans quelques trains à trajets un peu plus longs que d'ordinaire comme ceux de Bretagne.

L'intérieur ressemble à tous les coupés déjà décrits ; il faut remarquer cependant que les poteaux ou pieds d'angle ont été déplacés et remplacés par des glaces courbes, ce qui augmente la vue sur la campagne. Les châssis des baies sont doubles ; il y en a un vitré et un en bois capitonné, comme cela se fait en général maintenant. Le coupé contient encore un strapontin et deux grandes tablettes. Lorsqu'on le loue comme lit, le conducteur, au moyen d'une clef spéciale, ouvre un déclanchement qui permet de relever l'accoudoir de séparation auquel est lié le siège d'un water-closet.

Le type le plus curieux exposé par la Compagnie, était sans contredit la voiture contenant des compartiments des trois classes et un compartiment supplémentaire pour les bagages, sans compter une vigie à double escalier et une niche à chiens placée sous le plancher.

Cette voiture est destinée surtout aux petits embranchements du réseau, qu'elle peut mettre en communication avec les grandes villes et la capitale. On n'a pour cela qu'à l'attacher à l'arrière d'un train express, ou à la décrocher de la même manière au passage d'une gare de bifurcation. Un tendeur à déclanchement disposé dans ce but, se manœuvre de la guérite du frein. Ce véhicule est très-long ; il mesure 8m,22 entre tampons ; cependant, les essieux sont disposés de manière à permettre la manœuvre sur les plaques ordinaires de 4m,50 de diamètre, et présentent par conséquent un écartement maximum de 3m,75.

Le compartiment de première classe contient 4 voyageurs, celui de seconde 10 et celui de troisième 20, en tout 34 places. Le poids mort est de 8,500 kilogrammes, soit 250 kilogrammes par voyageur pour ce type exceptionnel.

La Compagnie exposait en outre sa voiture de banlieue à impériale, que tout le monde connaît, et une autre voiture de deuxième classe à frein, avec guérite spéciale pour le garde-frein. Cette guérite qui fait très-peu saillie dans la voiture, est munie d'un double escalier, et présente une disposition telle que, quel que soit le sens de la marche, le garde-frein se trouve toujours protégé et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peut surveiller le train dans toutes les directions. Enfin, on remarquait encore un wagon couvert à frein, et un wagon à marchandises. Ces types ne présentent rien de bien spécial si ce n'est dans la construction des brancards qui sont entièrement en acier.

§ 8. **Compagnie française de matériel de chemins de fer.** — Cette compagnie située à Ivry-sur-Seine et dirigée par M. Bonnefond, a exposé quelques types spéciaux assez intéressants. Comme matériel à voyageurs, on remarquait une voiture à couloir excentré présentant certaines dispositions particulières (fig. 4, pl. XXXII). Ce couloir longitudinal donne directement accès d'un côté à trois compartiments de première classe ordinaires, contenant chacun 4 places, soit 12 en tout. De l'autre côté, des compartiments fermés également au nombre de 3, présentent des places de luxe dont les fauteuils peuvent se transformer en lits. Afin de permettre de loger à une extrémité un cabinet de toilette, le compartiment extrême ne contient que 2 places et forme coupé. Les deux autres offrent chacun 4 places, en tout 10 places pouvant fournir autant de lits pour la nuit. Aux deux extrémités de la voiture se trouve une terrasse donnant accès dans l'intérieur. Le cabinet de toilette water-closet, est complétement isolé des compartiments : on ne peut y entrer que par la terrasse, et à certains points de vue, cette dernière disposition n'est pas mauvaise. Ce type de voiture a été adopté par quelques lignes espagnoles.

Le roulement est adouci par des ressorts de suspension très-grands, et dont les maîtresses lames n'ont pas moins de $1^m,95$ de longueur; on a ajouté en outre une double suspension en caoutchouc conforme aux derniers modèles de la Compagnie d'Orléans. Le pavillon est double, et emprisonne ainsi une certaine couche d'air qui atténue en partie l'effet des rayons directs du soleil. Cette voiture a $8^m,684$ de longueur entre tampons; la caisse sans les terrasses a $6^m,48$, et avec les terrasses $7^m,94$; la largeur est $3^m,13$; la hauteur sous plafond est largement suffisante, $1^m,98$.

Cette Compagnie exposait également une voiture et un wagon pour lignes à voie étroite, assez remarquables dans leur genre ; nous ne nous y arrêterons pas, le matériel des voies réduites devant être décrit dans une autre partie de ces *Études*. Mais le type le plus intéressant de cette exposition, était un *wagon-réservoir* destiné à transporter des liquides. Au wagon était annexée une *charette-réservoir* qui prend directement le liquide dans le wagon sans transbordement, et le conduit au domicile des négociants. Ce véhicule (pl. XXXII, fig. 3) se compose d'un wagon couvert à marchandises pesant 7,400 kilogrammes à vide avec tous ses accessoires A. A l'intérieur est un récipient composé d'une succession de cylindres en tôle étamée et montés symétriquement sur un réservoir central, ce qui permet une bonne répartition de la charge; la capacité de ce récipient B, est de 110 hectolitres. On le remplit et on le vide au moyen d'une pompe spéciale mue par une manivelle C.

Une bouteille alimentaire D placée à la partie supérieure est destinée à maintenir le plein dans le réservoir; elle est munie d'un clapet permettant l'échappement des gaz au dehors. Un tube de niveau en verre E indique la hauteur du liquide qui s'introduit ou qui s'écoule par un robinet inférieur F. Enfin, une caisse G ménagée à la partie inférieure du wagon, contient tous les outils et instruments nécessaires à la manœuvre et aux réparations urgentes. On comprend qu'avec cet appareil, on puisse transporter facilement les liquides sans avoir à craindre les fuites et les détériorations produites par le mouvement du train ou la température. On simplifie en outre les opérations de chargement et de déchargement; mais on s'oppose surtout aux vols qui peuvent se produire le long du trajet. Cependant ce wagon ne peut être adopté par toutes les Com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pagnies de chemin de fer à cause de son poids considérable, et des précautions spéciales qu'il exige.

§ 9. **Matériel étranger.** — L'Exposition étrangère n'offrait que bien peu de sujets d'étude en fait, de matériel roulant : l'Espagne, le Portugal, la Hollande, la Norwège, le Danemark, la Grèce n'avaient rien envoyé et cela peut s'expliquer jusqu'à un certain point. Mais on comprend cela beaucoup moins de la part de l'Angleterre qui s'intitule elle-même si pompeusement l'*alma mater* de l'industrie et surtout de l'industrie des chemins de fer. Or cette dernière nation n'avait envoyé absolument aucun modèle de voitures ou wagons en circulation sur ses nombreuses lignes.

La Russie avait très-peu de chose : un wagon et ses accessoires exposés par la maison Lilpop, Rau et Lowenstein de Varsovie. La Suisse était représentée par une voiture de tramway construite par la Société industrielle de Newhausen. La maison Abt-Aarau offrait au public une description compléte du matériel roulant des chemins de fer à crémaillère en exploitation. La Suède était représentée par deux compagnies : 1° la compagnie des fonderies et ateliers d'Atlas de Stockholm exposait plusieurs types de voitures à voyageurs en même temps que plusieurs modèles de roues et d'essieux; 2° la compagnie des usines de Lockum à Malmö exposait une voiture à lits destinés au district Norlandais des chemins de fer de l'État suédois. Nous nous arrêterons un peu plus longtemps sur la Belgique, l'Autriche, l'Italie et l'Amérique dont les expositions étaient plus complètes.

§ 10. **Belgique.**—En Belgique, on commençait à rencontrer une exposition un peu plus sérieuse où dominait le matériel de tramways, voitures à vapeurs, etc. La compagnie belge de construction de matériel de chemins de fer exposait un *sleeping-car* semblable à ceux qui circulent sur nos lignes françaises et qui appartiennent à la Société internationale de wagons-lits. Cette société fait circuler ses voitures sur les principaux chemins de fer par suite de conventions particulières passées avec les compagnies ; elle retrouve son bénéfice en augmentant assez notablement le tarif ordinaire des premières classes.

Cette augmentation est d'ailleurs nécessaire même dans l'état normal des choses où la compagnie posséderait ses sleepings-cars. En effet ces voitures pèsent de 14 à 15 tonnes en charge, et au tarif ordinaire des premières classes, elles donnent par tonne kilométrique transportée un rendement très-inférieur aux voitures de première. Elles seraient donc très-onéreuses pour les compagnies qui les emploieraient à moins d'augmenter considérablement le prix des places ; il reste à savoir alors, si l'on aurait des voyageurs en nombre suffisant. Les nouvelles voitures étudiées par les compagnies françaises, et dont nous avons parlé précédemment, sont préférables, car elles offrent une partie du bien-être du sleeping-car sans en présenter les graves inconvénients. Il est incontestable d'ailleurs que ces véhicules de luxe offrent aux voyageurs des commodités très-grandes ; les lits sont très-confortables, il y a des water-closets, des cabinets de toilette, un buffet, etc. Nous allons examiner en détails celle qui était exposée par la Société belge.

Cette voiture est montée sur trois essieux par l'intermédiaire de six ressorts de suspension très-longs et très-flexibles. La caisse fait corps avec le châssis et est divisée en quatre compartiments de voyageurs séparés par un couloir longitudinal. Elle a en tout 9 mètres de long. Le couloir central donne accès à l'une de ses extrémités sur un couloir d'entrée transversal fermé à chaque bout par une portière ; deux cabinets de toilette, un pour les hommes, l'autre pour les dames, sont installés à l'extrémité de la caisse et sur les flancs du couloir

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'entrée ; ils comprennent entre eux l'appareil de chauffage. A l'autre extrémité du couloir central se trouvent un siège et une armoire où le garde peut mettre ses effets et quelques objets essentiels.

Cette voiture est disposée de manière à pouvoir circuler sur toutes lignes à voie normale de $1^m,50$; les roues présentent une constitution particulière qui les rend très-peu sonores; le centre, suivant un système usité aux États-Unis, est en papier comprimé recouvert des deux côtés par des disques en tôle; le bandage est en acier fondu. Les quatre compartiments de la caisse sont semblables deux à deux; ceux des extrémités contiennent quatre places, ceux du milieu deux, et la communication peut avoir lieu à volonté entre ces derniers au moyen d'une porte disposée dans la cloison qui les sépare. Les compartiments à quatre places sont garnis chacun de deux sièges rembourés fixes, et dont les caisses servent d'armoires pour placer pendant le jour tout le matériel nécessaire à l'installation des lits : matelas, draps, oreillers, rideaux, etc., en même temps que des tables à jeu et des échelles pour monter aux lits supérieurs. Les dossiers qui sont adossés aux cloisons de séparation, sont mobiles et articulés sur ces cloisons à leur partie supérieure. Au moment de se coucher, on relève ces derniers, et on les maintient horizontalement au moyen de verrous et de courroies disposés à cet effet ; on a ainsi deux lits en bas et deux à la partie supérieure.

La caisse est très-élevée et possède un pavillon fortement bombé de manière à permettre l'installation commode de ces deux étages de lits; elle est garnie à l'intérieur de bois de teak; les cloisons intérieures, les portes, les encadrement des baies, sont en noyer d'Amérique. Comme dans toute les voitures un peu soignées, le plancher et le pavillon sont doubles. L'intérieur est assez richement aménagé, surtout dans les cabinets de toilette et lavabos; ces derniers sont en métal blanc avec garniture et robinetterie en bronze similor; on a à volonté de l'eau chaude ou froide; des glaces garnissent les parois du fond, et achèvent de donner tout le confortable qu'on peut désirer en voyage.

Le chauffage a lieu au moyen d'une circulation d'eau chaude établie par l'intermédiaire de tuyaux fixés contre une des parois du couloir longitudinal; l'appareil générateur est une petite chaudière verticale à double paroi. L'éclairage à l'huile se fait au moyen de lampes fixées dans le pavillon et disposées de manière que l'allumage en marche puisse se faire commodément par le garde de l'intérieur de la voiture.

La ventilation se fait par les deux baies du couloir d'entrée, celle de chaque cabinet de toilette, puis par des ventilateurs à coulisses garnis de toiles métalliques et placés au-dessus de chaque fenêtre mobile. Un capuchon en tôle placé à l'extérieur sert à garantir ces ventilateurs. Les châssis des baies sont doubles : l'un d'eux en bois est capitonné; quand à l'autre, il est muni d'une glace pendant l'hiver, et pendant l'été, d'une toile métallique qui laisse entrer l'air tamisé de toutes les poussières qu'il peut entraîner. La compagnie belge de construction de matériel a exécuté les premières voitures de ce genre sur le continent en 1873. L'une d'elle, envoyées à l'Exposition de Vienne, fut acquise par le chemin de fer de Manchester à Sheffield en 1874, et a servi depuis de modèle à toute une série de voitures semblables construites en Angleterre.

§ 11. **Autriche.**—L'Autriche avait envoyé beaucoup d'albums et de brochures, mais peu de pièces d'exécution, si ce n'est des objets de détails, comme garnitures de roues, attelages spéciaux, boîtes à graisse, etc. Nous remarquons dans la société I R P des chemins de fer de l'État, deux types sortant un peu de l'ordinaire et méritant que nous nous y arrêtions quelques instants; ce sont : 1° Un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

wagon-lit actuellement en essai sur cette ligne et dont le dessin était à l'Exposition; 2° le modèle d'un wagon spécial pour transport de bière.

Le wagon-lit, construit dans les ateliers de la compagnie à Simmering, se compose de: 1° Deux parties A qui, au moyen de rideaux *b* disposés dans la longueur (pl. XXXIII, fig. 1 et 2) peuvent se transformer en quatre compartiments indépendants où chaque voyageur peut dormir et faire sa toilette; 2° trois compartiments B complétement fermés au moyen de portes dans chacun desquels chaque voyageur peut également se reposer et faire sa toilette.

Il y a en outre un water-closet C, une place pour le garde E, une armoire à linge F, une fontaine d'eau à boire, etc. Toutes les baies sont garnies de châssis doubles, l'un d'eux garnis d'une glace ordinaire, et l'autre d'une toile métallique que l'on peut pendant l'hiver remplacer par une glace, cela dans le même but que dans le seeping-car vu précédemment. Les compartiments-lits peuvent offrir pendant le jour chacun 4 places et même 6 au besoin. La nuit, il y a 7 places disponibles, et 11 pendant le jour, 13 à la rigueur. On comprend qu'il y a là une excellente utilisation du véhicule quand on le compare aux voitures de première classe de la même compagnie qui ne peuvent contenir que 18 voyageurs au maximum, et les places occupées payantes ne s'élevant encore qu'à 7 % des places offertes. L'éclairage du couloir a lieu au moyen de lampes analogues à celles exposées par la compagnie. En outre, chaque compartiment est éclairé par une bougie.

Le chauffage s'effectue au moyen de briquettes de charbon de bois mélangé de salpêtre que l'on place sous le plancher et qui peuvent durer 15 heures sans qu'on y touche. L'écartement extrême des essieux est 4^{m}.90. Le poids total de cette voiture munie de ses agrès est 12.600 kilogrammes. Le poids mort par voyageur est :

En service de nuit, 7 places.	1.800^{k}
En service de jour, 11 places.	1.146
En service de jour au besoin, 13 places.	969

Wagon à bière. — La compagnie I R P des chemins de fer de l'État exposait en second lieu le modèle d'un wagon à bière sortant également des ateliers de Simmering près de Vienne, et qu'elle fut appelée à construire la première fois lors de l'Exposition de 1867 sur la demande de M. Dreher brasseur des environs de Vienne. La bière, en effet, s'altère beaucoup plus vite que le vin, surtout pendant l'été; aussi exige-t-elle lorsqu'on la transporte, des précautions spéciales très-grandes si l'on veut éviter de la voir se décomposer complétement. Le wagon exposé en 1878, presque identique aux premiers types construits en 1867, répond complétement au but qu'on voulait atteindre; plusieurs compagnies ont imité depuis ce genre de véhicules pour transporter la bière, la viande, le poisson, etc., et généralement, les marchandises qui s'altèrent rapidement.

C'est un wagon couvert à marchandises présentant quelques dispositions spéciales; le chargement des tonneaux de bière se fait à l'intérieur qui peut en contenir jusqu'à 55 hectolitres. Au-dessus, se trouvent deux réservoirs en tôle étamée d'une épaisseur de 2 millimètres et dans lesquels on peut mettre 1,500 kilogrammes de glace. On a disposé cette glace à la partie supérieure, de manière que la bière placée au-dessous, soit toujours entourée de la couche d'air la plus froide.

La caisse est pourvue de deux portes latérales à charnières pour permettre le chargement et le déchargement de la bière; de deux ouvertures carrées ménagées dans la toiture pour le chargement de la glace, et en outre, de parois mobiles à la partie supérieure des pignons extrêmes ordinairement fermés, permettant au besoin de démonter les glacières. En été, une charge complète de glace

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dure suivant la chaleur de huit à quinze jours et produit dans l'intérieur du wagon une température de 4 à 6 degrés Réaumur. Pour les trajets plus courts, la quantité de glace nécessaire est naturellement moindre. L'eau de fusion de la glace s'écoule par quatre tuyaux dans de petits vases en fonte ménagés au bas de la caisse et qui, étant remplis d'eau, empêchent la circulation de l'air ; l'eau de condensation de la chambre à bière s'écoule également par de petits tuyaux dans ces mêmes vases.

Les parois, le plancher et le pavillon sont doublés et garnis dans l'intervalle de paille hachée et bien sèche, afin de préserver l'intérieur, de la chaleur du dehors. La toiture est en outre munie d'une toile goudronnée et sablée. En raison de l'humidité permanente qui règne dans ces wagons, on construit le châssis entièrement en fer, et tout ce qui cependant doit être nécessairement en bois, comme le plancher, etc., est soigneusement peint à l'huile et goudronné. Enfin, toutes les vis et les ferrures de la caisse sont étamées. Le poids mort du wagon est 8,340 kilogrammes.

Résumé. — Nous terminerons ce qui est relatif à cette compagnie par quelques considérations sur son matériel qui nous a paru un des mieux conditionnés de l'Exposition étrangère. Sauf les plateformes qui sont entièrement en fer, tous les véhicules ont le même type de châssis mixte en fer et bois, les mêmes attelages, appareils de choc et de traction, boîtes à huiles, ressorts roues et essieux. Tout le matériel est construit dans les ateliers de la compagnie depuis 1873, pour les wagons et 1876, pour les voitures. En 1877, le nombre total des véhicules construits dans ces ateliers s'élevait à 1,200. Toutes les roues des voitures ou wagons sont en fer forgé des usines de Reschitza ; les rais affectent la forme triangulaire, et la roue dans son ensemble a la forme d'une étoile à huit doubles branches. La jante a une épaisseur de 22 $^{m}/^{m}$ en son milieu et une largeur de 80 $^{m}/^{m}$. Le bandage est fixé au moyen de 4 boulons coniques ; la partie filetée est rivée sur l'écrou.

Les bandages sont tous en acier Bessemer; on essaie en ce moment l'acier Martin qui paraît donner d'excellents résultats. Ces bandages ont 130 $^{m}/^{m}$ de largeur ; l'épaisseur au cercle de roulement est de 56 $^{m}/^{m}$; l'inclinaison de la surface de roulement est plus grande qu'en France, elle atteint $^{1}/_{16}$; un léger bourrelet empêche le mouvement latéral du bandage sur la jante. Les essieux se faisaient autrefois en acier Krupp. Aujourd'hui cet acier est complétement abandonné et on emploie d'une manière générale l'acier Martin fabriqué dans les usines de la compagnie. Ces essieux ont des fusées de 88 $^{m}/^{m}$ de diamètre pour 197 $^{m}/^{m}$ de longueur ; le diamètre dans le moyeu est 133,3 et 134 $^{m}/^{m}$. Tous ces essieux sont assemblés avec les roue, sans clavettes et sous une pression de 3,000 à 4,000 kilogrammes. Il n'y a pas de portée de calage, et aucun inconvénient n'est résulté de l'adoption de ce système. L'acier Martin a d'ailleurs résisté à des épreuves qui donnent toute sécurité.

§ 12. **Italie.** — L'exposition italienne était assez variée, surtout en ce qui concerne les voitures de luxe. La compagnie des chemins de fer de la Haute-Italie, à Milan, exposait un type assez remarquable de salon à deux essieux avec réservoir et appareil d'éclairage au gaz. Les chemins de fer Romains exposaient une voiture à lit ; le commandeur Martorelli montrait un modèle au $^{1}/_{10}$ d'un genre assez curieux de compartiment de wagon-lit. Mais la voiture de luxe qui nous a paru la plus digne d'attention est celle de M. G. Herzog, chef des ateliers des véhicules des chemins de fer romains, à Rome.

Cet ingénieur, croyant remarquer dans les types en usage jusqu'à présent, un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

certain nombre d'inconvénients sérieux, a imaginé et construit la voiture dont le modèle était exposé dans la salle 14 du groupe 6, classe 64.

Ainsi un des désagréments des voitures à lits, c'est qu'elles obligent à réclamer une surtaxe permanente pour compenser les nombreux voyages qu'elles font à vide surtout pendant le jour. Le but à poursuivre est donc d'avoir une voiture pouvant à volonté offrir des sièges ou des lits commodément installés, mais dans tous les cas disposés de manière que, quels que soient la longueur du voyage et le nombre de voyageurs, toutes les places puissent être occupées. M. Herzog croit avoir atteint ce but et corrigé beaucoup d'autres défauts des voitures ordinaires de ce genre. Sa voiture se compose d'un couloir central le long duquel sont disposées des cabines spéciales, trois de chaque côté. En plus, à l'une des extrémités se trouvent également de chaque côté du couloir, et vis-à-vis l'un de l'autre un cabinet de toilette et un water-closet. L'accès dans l'intérieur a lieu comme dans les voitures du système américain, par deux terrasses extrêmes et leurs marchepieds. Les compartiments ou cabines ont $0^m,70$ de longueur dans le sens transversal à la caisse ; ils contiennent chacun deux fauteuils espacés eux-mêmes de $0^m,70$; les sièges mobiles peuvent se réunir et former un lit pour une personne. La porte de la cabine est munie d'une glace dépolie et peut se fermer de l'intérieur de manière à obtenir l'isolement complet.

Chacune de ces cabines est éclairée par une seule grande baie centrale placée en face de la porte : on a supprimé les châssis latéraux afin de permettre au voyageur d'appuyer avec confiance la tête contre la paroi de la voiture, et de lui éviter les infiltrations d'air qui se font toujours par les baies et lui tombent dans ce cas, directement sur la tête. Chaque châssis présente des dimensions de $0^m,90$ sur 0,80. Au-dessous de chaque fenêtre, une table à charnière est fixée contre la paroi. On peut la relever à volonté ; elle occupe alors l'espace libre entre les deux fauteuils. La cloison de séparation de deux cabines consécutives est munie également d'une baie garnie d'un verre dépoli qui peut se fermer des deux côtés de sorte qu'on peut à sa guise établir ou supprimer la communication entre les deux compartiments. Le couloir central a $1^m,30$ de large et contient encore 4 fauteuils servant comme places ordinaires ; ce couloir est éclairé par les glaces dépolies des cabines, et comme tout le reste de la voiture, par des lampes spéciales fixées dans le pavillon.

En résumé, la voiture peut offrir 6 lits et 4 fauteuils ou 16 fauteuils, chaque cabine pouvant à volonté donner un lit ou deux fauteuils. On remarquera que dans ce système, chaque lit est complétement isolé de sorte que le voyageur peut se déshabiller et se mettre à son aise. De plus, quand ces cabines servent comme compartiments ordinaires à fauteuils, elles remplacent avantageusement les systèmes ordinaires de coupés qu'on n'est plus obligé de placer à l'extrémité de la caisse, et, tout en obtenant un isolement aussi complet, on a une bien meilleure répartition de la charge sur le châssis. Enfin, l'isolement ne présente aucun de ses dangers ordinaires puisqu'on peut à volonté et instantanément être en communication avec les autres voyageurs.

§ 13. **Etats-Unis.**— Ici les tramways absorbaient presque tout et l'on rencontrait peu de choses sur le matériel roulant normal des chemins de fer. Nous ne pouvons cependant pas passer sous silence la voiture de luxe dite *palace-car* exposée par la compagnie bien connue de MM. Pulmann et C^ie^ de Chicago. Ces voitures qui, comme leur nom l'indique, sont très-luxueuses, contiennent des salons, des cabinets de toilette avec water-closet, et des lits. L'entrepreneur les fait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

circuler sur les lignes et en prélevant comme d'ordinaire un supplément de tarif qui est d'environ 20 francs par voyageur et par 24 heures.

La voiture dans son allure générale présente la disposition de toutes les voitures américaines, c'est-à-dire qu'elle est très-longue et portée sur deux trucks extrêmes à six roues chacun, L'intérieur contient un couloir central le long duquel se groupent les compartiments; il renferme en outre une cabine spéciale pour les hommes de service, un water-closet, des lavabos, et un réservoir d'eau glacée. Les sièges réunis deux à deux pour la nuit forment les supports des lits inférieurs dont les accessoires sont dissimulés sous ces sièges pendant le jour.

Au-dessus, à hauteur d'homme, sont disposés les lits supérieurs sur des panneaux inclinés munis à la partie inférieure de charnières et qu'on abaisse horizontalement au moyen de câbles passant sur des poulies. Vers la nuit, des hommes de services spéciaux viennent opérer ces transformations de sièges en lits, et garnir ces derniers de leurs sommiers, de leurs draps et de leurs rideaux. La propreté et la bonne tenue de ces véhicules en font, il faut le reconnaître une voiture de luxe des plus confortables et fort appréciée au-delà de l'Océan.

§14. **Conclusion**.—Ici se termine le court exposé que nous avions à faire sur les progrès réalisés par le matériel roulant des chemins de fer depuis l'Exposition de 1867. Nous voyons que les points principaux qui paraissent aujourd'hui acquis sont les suivants : 1° Le confortable des voitures en France a fait un grand pas surtout par l'introduction générale des lits dans le matériel de première classe, et par bien des améliorations des détails pour les autres classes. De plus les voitures de toutes classes font partie de trains rapides et sont chauffées; 2° le matériel américain avec ses dispositions spéciales est complétement abandonné en France et dans presque toute l'Europe ; 3° le fer d'abord, puis l'acier ont à peu près complétement détrôné le bois dans la construction des pièces importantes du matériel et spécialement des châssis. Les brancards en particulier pouvant être plus longs, on peut construire des voitures et des wagons de plus grandes dimensions et par conséquent diminuer considérablement le poids mort à transporter.

Cette longueur plus grande du châssis a conduit certaines compagnies à un plus grand écartement des essieux pour avoir une meilleure répartition de la charge et un véhicule mieux équilibré. Le seul obstacle qui se présente ici est l'emploi des plaques tournantes qu'il y aurait probablement intérêt à supprimer comme on le fait en Hollande et dans quelques autres contrées. 4° Le graissage à l'huile tend à devenir de plus en plus général, partout où il est possible de l'employer.

Enfin, nous dirons pour conclure que sans être parfaits, les chemins de fer actuels sont arrivés à un certain degré de maturité; nous pensons que l'attention des ingénieurs et constructeurs se portera à l'avenir sur le matériel des chemins à voie étroite qui a encore beaucoup à faire et dont on voyait déjà de nombreux échantillons à l'Exposition de 1878. Nous aurons sans aucun doute pour la prochaine Exposition un choix nombreux et très-étudié de types de ce matériel.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LES CHEMINS DE FER

PAR

MM. Cosmann, Guillemant, Moreau et Sartiaux,

Ingénieurs civils.

TABLE ABRÉGÉE DES MATIÈRES CONTENUES DANS CET ARTICLE

	Pages.
Ier PARTIE	
I. *Etude sur l'exploitation proprement dite des chemins de fer*	99
II. *Appareils destinés à garantir la sécurité de l'exploitation* :	
Section A. Signaux optiques et acoustiques	114
Sonnerie d'annonce de la marche des trains	127
Section B. Organisation des signaux	143
Section C. Des freins : état actuel de la question	167
Freins automoteur (Lefèvre et Doré)	171
Freins à chênes et à frictions.	172
— à air comprimé. . . .	178
— à vide	181
III. *Chauffage et éclairage sur les chemins de fer* :	
Section A. Chauffage	194
Section B. Éclairage des trains	224
Appareils d'éclairage	230
IV. *Appareils divers de l'exploitation technique* :	
Section A. Manutention. . . .	235
Manœuvre des wagons	244
Section B. Appareils divers : Contrôle de la vitesse et de la marche des trains	252
Conclusions	269
IIe PARTIE. VOIE ET MATÉRIEL ROULANT.	
Introduction	345
De la voie en général	347
Matériel roulant.	361
Examen des principaux types exposés en 1878.	388
Conclusions	401

ERRATA.

Pages	Sens	lignes	
118	H	16	*Au lieu de :* imaginée par M. Forest, ingénieur du bureau des études, *lisez* analogue à celle étudiée et appliquée par le chemin de Ceinture (Rive droite).
163	H	25	*Au lieu de :* parait devoir être adopté, *lisez* a été étudié, mais modifié depuis à l'exécution.
163	B	14	*Au lieu de :* appliqué, *lisez* étudié.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LA CORDERIE

PAR ALFRED RENOUARD,

Filateur de lin.

I. — Matières premières employées.

Suivant les divers usages auxquels sont destinés les câbles et les cordages, les matières premières qui entrent dans leur fabrication appartiennent aux trois règnes de la nature. Pour certaines spécialités, on fait usage des dépouilles des *animaux,* notamment pour les arbalètes et les instruments de musique; dans d'autres cas, on préfère les matières *minérales,* telles que l'amiante, le fer ou l'acier; enfin, plus souvent encore, on utilise des matières *végétales,* comme le caoutchouc, le gutta-percha et différents genres de fibres textiles. — Nous n'avons évidemment à nous occuper ici que des cordages en fibres textiles.

En règle générale, presque toutes les fibres d'origine végétale sont employées à faire des cordes. C'est ainsi que bon nombre de cordes d'ameublement sont faites en coton, et que les ficelles en usage dans certaines contrées ne sont autre chose que de l'étoupe de lin. Mais le plus souvent la corderie préfère à toute autre matière le chanvre d'Europe, qu'elle remplace, suivant les circonstances, par divers textiles exotiques, tels que le jute, le chanvre de Manille, l'aloès, le sunn, etc.

Les détails que nous avons déjà donnés sur le lin, le jute, le coton et le chanvre d'Europe sont suffisamment étendus pour que nous n'ayons plus besoin d'y revenir; mais il nous semble nécessaire de dire quelques mots des autres.

Le *chanvre de Manille,* appelé encore *abaca,* nous vient des Philippines, où on le rencontre principalement depuis Luçon, dans la province nord de Camarine, jusque Mindanao; on le cultive aussi à la Jamaïque et dans les Antilles. Ses filaments, soyeux et extrêmement résistants, atteignent jusque $3^{m},50$ de long. On les retire des feuilles de différentes espèces de bananiers, et principalement du *musa textilis,* soit en les râclant à l'aide de couteaux pour enlever le parenchyme et en les lavant ensuite, soit en les mettant en tas sur place, pour laisser écouler la sève et séparer ensuite plus facilement les fibres de la partie charnue. Ce dernier procédé donne aux filaments une couleur foncée et nuit à leur solidité; il est plus employé aux Antilles qu'aux Philippines. Le chanvre de Manille que nous recevons en France nous vient exclusivement par voie anglaise : comme il est facile de s'en assurer par l'administration des douanes, aucun vaisseau des îles Philippines n'a eu, depuis nombre d'années, pour destination un port français. De cette façon, cette matière nous coûte plus cher qu'à nos voisins. Outre les frais d'un transport par voie indirecte, le chanvre de Manille, qui nous vient d'Angleterre, est encore frappé d'une taxe de 3 % aggravée d'un droit de 4 %, soit 3 fr. 12 par 100 kilog., qui, depuis 1872, atteint toutes les marchandises arrivant chez nous par l'intermédiaire d'un autre pays : une exception a été faite pour les jutes.

L'*aloès,* qu'il ne faut nullement confondre avec le produit officinal du même

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nom, se retire de l'*agave americana*, soit par le râclage des feuilles charnues de cet arbre, comme on le fait pour le chanvre de Manille, soit par le pilage de ces feuilles et leur macération dans l'eau. Dans les deux cas, les fibres qu'on en obtient sont extrêmement résistantes, raides, très-blanches, et avant tout légères; elles se divisent par le froissement, sans acquérir pour cela plus de douceur au toucher.

Le *sunn (crotularia jacea)* nous vient très-peu en Europe. Il est surtout tombé en défaveur depuis qu'on a reconnu que, moins encore que le jute, il peut être soumis aux influences humides. Il est désigné sur les marchés d'Europe sous le nom de chanvre des Indes, chanvre brun de Bombay ou de Madras. La filasse du commerce, d'une longueur d'environ 1 mètre, est généralement très-sale, emmêlée et remplie de parcelles d'écorce adhérant aux fibres. Pour retirer celles-ci de la plante brute, on en fait d'abord immerger le pied dans l'eau un jour durant. Cette partie de la plante, qui serait dure et grossière et fournirait, comme dans le jute, un pied d'écorce adhérant à la filasse, s'attendrit alors rapidement. On suit ensuite, pour le rouissage et la préparation du sunn, les procédés, quelque peu modifiés, qui sont employés pour le jute.

Le *coir*, que l'on emploie encore à la fabrication des cordages, est un textile de couleur rougeâtre, gros et tenace, que l'on extrait du brou filamenteux qui entoure les fruits du palmier *(cocos nucifera)*, désignés sous le nom de noix de coco. Ce tégument recouvre les noix sur une épaisseur de 4 à 5 centimètres. Sept noix donnent en moyenne 500 grammes de fibres brutes. Pour retirer ces fibres et leur donner moins de raideur, on fait séjourner les noix pendant un an dans un fossé rempli d'eau; l'eau croupit et se colore fortement; un battage énergique suffit alors pour nettoyer les fibres.

L'*hibiscus*, autre genre de textile dont on fait aussi des cordes, ressemble extérieurement au sunn, à tel point qu'il est presque toujours confondu avec lui. C'est un textile de qualité médiocre, qui s'assouplit facilement, mais qui manque de ténacité. On le casse très-facilement avec l'ongle.

II. — Produits de la corderie.

La fabrication des cordages, qu'elle se fasse à la main ou à la mécanique, se divise toujours en trois parties bien distinctes :

1° Fabrication du fil de caret; 2° fabrication des cordes; 3° opérations accessoires.

La fabrication des fils de caret, c'est-à-dire des fils simples qui, par leur réunion, formeront un cordage, varie avec la matière employée et suivant les usines. Le peignage, par exemple, qui est l'opération préliminaire, ne peut évidemment se faire pour des textiles de 3 mètres de long, comme le chanvre de Manille, sur les mêmes machines qui servent à peigner d'autres textiles beaucoup plus courts, comme le lin; à moins cependant que ce peignage ne se fasse à la main. De même, certains cordiers se contentent d'un simple banc à broches pour fabriquer le fil de caret; d'autres emploient des machines de différents systèmes.

La fabrication proprement dite des cordes varie avec le genre de produit que l'on veut obtenir : telle usine qui ne fabrique que des ficelles fines ou de petites cordes, ne peut avoir le même matériel que celle qui fabrique les gros cordages et les câbles.

Enfin, les opérations accessaires, étrillage, glaçage, pelotage, etc., se font à peu près constamment sur les mêmes machines; mais elles exigent souvent,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lorsqu'elles se font à la main, un « tour de main » qui ne s'acquiert qu'à la longue et fait varier beaucoup les produits.

D'une manière générale, réunir entre eux plusieurs fils de caret et les tordre s'appelle *commettre*. Or, suivant le nombre de fois que des fils de caret sont *commis* ensemble, le produit qu'on en obtient porte un nom différent. Dans l'ensemble toutefois, plusieurs fils de caret tordus ensemble ne sont jamais autrement désignés que par le nom de *toron*. Il va sans dire que lorsqu'on forme un toron, on tord toujours les fils en sens inverse de la torsion des fils de caret, de même que lorsqu'on réunit plusieurs torons ensemble pour en faire ce que l'on désigne plus génériquement sous le nom de *câble*, ces torons sont tordus dans le même sens que les fils de caret.

Le commerce fait généralement cinq catégories dans les câbles proprement dits. C'est ainsi qu'on distingue :

1° Les cordages *commis une fois*, qui se composent de trois torons tordus, ensemble ;

2° Les cordages *commis en quatre*, formés de quatre torons au lieu de trois, entourant une *âme* (1), ou cordage mince formé de torons tordus en spirale, destinée à maintenir les torons extérieurs dans une bonne position ;

3° Les *septains*, formés de six torons câblés autour d'une mêche (6 torons et une mêche font 7) ;

4° Les cordages *commis en aussières*, formés de trois *cordages* commis une fois ;

5° Les *cordages plats*, qui se composent de cordages placés ensemble pour former une bande plate, tordus alternativement à droite et à gauche afin d'empêcher le câble de tourner, et réunis entre eux par des cordes obliques. Ces cordages sont surtout employés dans les mines du Nord et du Pas-de-Calais, et se fabriquent spécialement à Lens. Ils sont cousus à l'aide d'une forte machine à coudre munie de deux aiguilles très-solides, fonctionnant une de chaque côté, qui sont enfoncées à travers le câble par des vis horizontales agissant dans une direction oblique.

Mais en dehors des cordages, il y a encore les ficelles et les petites cordes dont les noms varient à l'infini. C'est ainsi qu'on appelle *bitord* l'assemblage de deux brins ; *merlin*, celui de trois. Une corde faite de plusieurs fils commis et tordus ensemble est une *aussière ;* plusieurs aussières commises ensemble forment un *grelin* (limite généralement adoptée, bien que plusieurs exposants nous donnent ici, à titre d'essai, plusieurs grelins commis ensemble), et ce n'est que lorsque la corde atteint certaines dimensions, qu'on lui donne le nom de *câble*. Outre cela, il y a encore les *dreux*, les *chapelières*, les *longes*, les *traits*, les *hélingues*, les *bablues*, les *chablots*, les *fils à gorre*, les *luzins*, les *seizennes*, les *fils de fouet*, les *avançons*, les *lignes*, etc., tous termes qui demanderaient une définition spéciale. La destination de chacune de ces cordes les fait encore varier de nom ; c'est ainsi qu'on distingue les lignes à tambour, les lignes de sonde, lignes de lock, d'amarrage, etc. Nous ne parlons pas des patois et dialectes, qui changent tellement d'une contrée à l'autre les noms d'un même produit, qu'il est impossible d'y rien reconnaître. Tous ces produits donnent lieu en France à un commerce assez étendu.

En 1835, l'industrie de la corderie comptait dans notre pays 290 établissements, d'une valeur de 3 millions de francs environ, occupant 2,068 hommes gagnant 1 fr. 30 à 4 francs par jour, 418 femmes dont les salaires variaient de 0 fr. 75 à

(1) Cette âme est ordinairement en étoupe de chanvre. On a essayé de la remplacer par des fils de zinc, mais cet essai ne paraît pas avoir donné de résultats satisfaisants. Généralement, le diamètre de l'âme est presque toujours égal à celui des torons.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1 fr. 50, et 769 enfants gagnant de 40 centimes à 90 centimes par jour. Ces établissements employaient 63,343 quintaux métriques de matières textiles diverses, valant 5,662,794 francs, et les transformaient en 59,221 quintaux métriques de produits fabriqués représentant une valeur de 12,424,037 francs.

De 1865 à 1876, il a été importé en France 11,600,242 kilogrammes de cordages divers valant 11,300,494 francs. Dans la même période, il a été exporté 32,268,769 kilogrammes de cordages divers, représentant une valeur de 42,592,400 francs.

Propriétés de ces produits. — L'*usure*, qui résulte du frottement, constitue le principal inconvénient des cordages en matières végétales. Aussi, dans certains cas, pour diminuer la perte qui résulterait de la cessation d'usage de certains câbles de gros diamètre, particulièrement les câbles plats, impropres, par suite d'usure, à l'emploi auquel ils servaient, a-t-on recours à un artifice pour les utiliser à nouveau. On les fend alors au milieu pour séparer les aussières les unes des autres, en coupant la couture au couteau au fur et à mesure qu'elle se présente. Reprenant ensuite chaque partie, on en détache les torons en tirant latéralement sur chacun d'eux. Si l'on peut avoir à sa disposition une locomotive, comme dans les mines, on tire le toron détaché au moyen de la machine, en maintenant l'autre partie à un point fixe. A l'aide d'un crochet mû par un levier, on dépouille facilement les torons extrêmes de la couture qui y est restée : on saisit alors le fil par le milieu, au point où il se replie pour changer de sens (1). Cette opération se pratique très-souvent pour les câbles plats en aloès en usage dans les houillères du Pas-de-Calais; on se sert alors des torons de ces cordages pour desservir les plans inclinés du fond des mines.

NUMÉROS.	CORDES DE MÊME GROSSEUR ET DE 1m,20 DE LONGUEUR.	CORDES sèches.	CORDES mouillées.
1	Chanvre récolté près de Calcutta.	72k	86k
2	Sunn (*crotularia jacea*) coupé avant la floraison et roui immédiatement.	51	72
3	Le même, roui après dessiccation.	27	35
4	Sunn coupé pendant la floraison et roui immédiatement .	60	84
5	Le même, roui après l'avoir fait sécher.	45	75
6	Sunn coupé après la maturité des graines.	68	93
7	Le même, roui après séchage.	50	74
8	Sunn récolté l'hiver et roui immédiatement	72	95
9	*Corchorus capsularis* (teetah paat)	65	66
10	*Corchorus capsularis* rougeâtre, de Chine	74	74
11	*Corchorus olitorius*.	51	56
12	*Hibiscus strictus*	47	52
13	Le même, récolté après maturation de la graine. . . .	58	62
14	*Hibiscus cannabinus*, pendant la floraison et roui immédiatement.	52	60
15	Le même, coupé après la maturation de la graine	50	53
16	*Hibiscus cannabinus*, pendant la floraison et roui immédiatement.	53	56
17	*Hibiscus sabdariffa*, pendant la floraison et roui immédiatement.	41	53
18	*Hibiscus abelmoschus*, pendant la floraison et roui immédiatement.	49	49
19	Fibres tirées du pédoncule d'un bananier sauvage	36	»
20	*Urtica tenacissima*.	110	126

(1) A. Evrard, *Note sur les cordages en usage sur les plans inclinés.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les cordages, quels qu'ils soient, doivent autant que possible être mis à l'abri de l'humidité. Au premier abord, l'eau qui les imprègne semble leur donner une force factice supérieure à celle qu'ils possèdent (1); diverses cordes, à l'état sec et à l'état humide, de même grosseur et de même longueur, ont en effet supporté les poids comme nous l'indiquons au tableau en regard.

Il semblerait qu'on dût conclure de là qu'une corde mouillée résiste plus qu'une corde sèche. Cela serait parfaitement vrai si l'humidité ne persistait pas dans les câbles. Au contraire, une corde mouillée ne sèche pas facilement, et elle perd alors, au bout d'un certain temps, une fraction importante de sa résistance à la rupture. Forbes Royle a démontré en effet que des cordes de $1^{m},20$ de longueur et de même diamètre, laissées pendant 116 jours dans l'eau stagnante, ou se trouvaient complétement pourries, ou avaient perdu une partie de leur force :

DÉSIGNATION DES FIBRES.	NOUVELLEMENT PRÉPARÉES.			APRÈS MACÉRATION.		
	État naturel.	Tanné.	Goudronné.	État naturel.	Tanné.	Goudronné.
Chanvre récolté près de Calcutta.	34^{k}	63^{k}	20^{k}	pourri.	Id.	Id.
Coir.	39	»	»	24^{k}	»	»
Sunn	31	31	27	pourri.	23^{k}	29^{k}
Jute.	31	31	28	18	22	27
Aloès	50	36	35	pourri.	pourri.	7
Sanseviera (moorva)	54	33	22	13	12	15
Hibiscus mutabilis.	20	24	»	pourri.	20	»

Comme on peut aussi en juger d'après ce même tableau, le *goudronnage*, qui a été un moment préconisé pour empêcher l'humidité de pénétrer dans les câbles, et qui est encore forcément employé dans la marine, diminue aussi la résistance des cordages, en facilitant le glissement des fils les uns sur les autres : il augmente cependant leur durée réelle. On peut voir en effet qu'une corde en sanseviera, qui supporte 54 kilos à l'état naturel, n'en supporte plus que 22 goudronnée; le sunn, 27 au lieu de 31; l'aloès, 35 au lieu de 50. La graisse et l'huile diminuent aussi la force des cordages, mais sans en augmenter la durée.

Les expériences suivantes, établies d'une manière comparative sur différents textiles de provenances diverses, donnent une idée de la force moyenne des câbles les plus employés :

CORDES DE $0^{m},05$ DE CIRCONFÉRENCE.		CORDES DE $0^{m},038$ DE CIRCONFÉRENCE.	
DÉSIGNATION DES FIBRES.	POIDS de rupture.	DÉSIGNATION DES FIBRES.	POIDS de rupture.
Chanvre de Manille, naturel. .	1240^{k}	Phormium tenax	1010^{k}
Sunn naturel	1225	Chanvre d'Europe, 1839	890
Chanvre d'Europe.	1210	Chanvre d'Europe.	790
Phormium tenax	1180	Sunn, goudronné	770
Chanvre d'Europe, 1839	1120	Sunn, naturel.	725
Sunn, goudronné	1020	Chanvre de Manille, goudronné.	660
Chanvre de Manille, goudronné.	775	Chanvre de Manille, naturel . .	650
Moorva (sanseviera), naturel. .	530	Moorva, naturel.	400
Moorva, goudronné.	480	Coir, naturel	370

(1) Forbes Royles, *Fibrous of India*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Avant de se rompre, un cordage diminue de $^1/_7$ à $^1/_5$, et son diamètre diminue de $^1/_{14}$ à $^1/_7$. En nommant d le diamètre d'un cordage en millimètres, le poids de rupture théorique est estimé à $4d^2$ kilogr.; la charge permanente ne doit pas dépasser la moitié de son poids. La *raideur*, c'est-à-dire l'effort qu'il faut faire pour plier une corde est aussi un élément dont il faut tenir compte : si l'on considère une corde passant sur une poulie s'enroulant d'un côté et se déroulant de l'autre, on remarque que, dans la première partie, elle s'écarte sensiblement de la poulie, tandis que, dans la seconde, l'écartement est insensible. L'augmentation de longueur du bras de levier de la résistance nécessite un accroissement de la puissance, et par suite l'enroulement crée une résistance nuisible, tandis que le déroulement ne paraît exiger aucun effort.

D'après Coulomb, en désignant par d le diamètre de la corde, D celui de la poulie, Q le poids qui tend la corde, a et b des constantes qui varient pour chaque espèce de corde, μ un exposant qui dépend du degré d'usure des cordes, cette résistance peut être représentée par l'expression :

$$\frac{1}{D}(ad^{\mu} + bd\mu Q).$$

L'exposant μ est 2 pour les grosses cordes neuves; 1,5 pour celles qui ne sont plus qu'à demi usées; 1 pour des ficelles très-petites et très-flexibles. Si l'on distingue les cordes blanches, sèches ou mouillées, les cordes à demi usées, soit sèches, soit mouillées, les cordes goudronnées, enfin les ficelles, la raideur pour les premières est à peu près proportionnelle au carré des diamètres; pour celles de la deuxième classe, elle varie comme la racine cubique du carré des diamètres; pour celles de la troisième classe, elle est proportionnelle au nombre des fils de caret; quant aux ficelles, leur raideur varie proportionnellement à leur diamètre.

En reprenant les résultats de Coulomb, le général Morin a trouvé les formules suivantes, dans lesquelles n désigne le nombre de fils de caret et D le diamètre de la poulie :

1° Pour les cordes blanches :

$$ad^{\mu} = (0{,}000297 + 0{,}000245n)n,\ bd^{\mu} = 0{,}000363n,$$

ce qui donne, pour la raideur R :

$$R = \frac{1}{D}[(0{,}000297 + 0{,}000245n)n + 0{,}000363nQ] \text{ kilogr.}$$

2° Pour les cordes goudronnées :

$$ad^{\mu} = (0{,}0014575 + 0{,}000346n)n,\ bd^{\mu} = 0{,}0004181n,$$

d'où :

$$R = \frac{1}{D}[(0{,}0014575 + 0{,}000346n)n + 0{,}0004181nQ] \text{ kilogr.}$$

Le travail absorbé par la raideur des cordes est représenté par $T_n = \pi DR$, d'où il suit, le travail utile étant égal à $T_u = \pi(D + d)Q$, que le travail moteur est :

$$T_m = T_u + T_n = \pi(D + d)Q + \pi DR.$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

III. — Fabrication à la main.

Les outils nécessaires au cordier varient suivant qu'il doit fabriquer de simples ficelles ou des câbles. Pour les ficelles, ces outils sont :

1° Un rouet, mû ordinairement par un enfant au moyen d'une manivelle, faisant tourner plusieurs crochets coudés; 2° un râtelier en forme de T pour supporter le fil de caret au fur et à mesure qu'il est fabriqué; 3° un dévidoir ou *touret* destiné à enrouler ce fil; 4° un poteau, placé en face du rouet, à une assez grande distance, muni d'un crochet dit *émerillon*, auquel le cordier accroche le fil pour le maintenir. Comme la torsion du fil attire l'émerillon et que celui-ci se romprait s'il était fixe, on l'assujettit ordinairement à une corde tournée autour d'une roue de bois dont l'axe est constamment sollicité par un poids.

Le commettage de la ficelle se fait au moyen de l'un des crochets du rouet, qui tourne en sens contraire des autres et auquel on assujettit deux fils de caret de même longueur.

Pour les câbles, le matériel destiné à la confection du fil de caret est à peu près le même, mais pour le commetage il y a :

1° Un *chantier à commettre*, composé de plusieurs poteaux fixés en terre, munis de manivelles à l'extrémité desquelles on adapte le fil à commettre; 2° un chariot à roues, qu'on peut avancer ou reculer, qu'on charge plus ou moins de poids, suivant le commettage que l'on veut obtenir, et muni d'un émerillon un peu plus grand que pour les ficelles; 3° plusieurs appareils accessoires, une planchette à torons, un toupin, etc.

Nous supposons que le cordier ait peigné son chanvre à la main sur des pointes en fer fixées sur une planchette de bois, comme on en voit dans toutes les filatures. Il en prend une certaine quantité avec lui, se la passe autour des reins et va l'attacher à l'un des crochets du rouet auquel un enfant donne le mouvement. Puis il marche en arrière, laisse échapper une certaine quantité de filasse, qui se tord immédiatement par l'action du rouet, et en arrête le tortillement de la main gauche au moyen d'un morceau de drap auquel on donne nom de *paumelle*. Quand il a fabriqué une certaine longueur de fil, il la passe au dessus d'un ratelier pour l'empêcher de toucher à terre et continue toujours jusqu'à ce qu'il soit arrivé au bout de l'aire qu'il s'est réservée. Là il rencontre le poteau à émerillon, auquel il assujettit son fil, ou bien, si plusieurs ouvriers travaillent avec lui et dans le même sens, il relie ces fils bout à bout, pour arriver toujours à l'émerillon en dernier lieu. La longueur du fil de caret fabriqué et par conséquent de l'aire du cordier est très-variable; elle va parfois jusqu'à 50 mètres. Comme il a été reconnu qu'il est bon de garder quelque temps en magasin, avant de les commettre, les fils de caret fabriqués, pour que toutes ces fibres faiblement tordues tendent moins ensuite à se redresser, le cordier les plie autour de l'axe d'un chevalet, pour les emmagasiner ensuite jusqu'au tordage. Cette dernière opération ne présente rien de particulier pour les ficelles; elle se fait en réunissant deux ou trois fils de caret au crochet du rouet, qui tourne en sens inverse des autres, comme nous l'avons dit.

Pour les câbles, c'est autre chose. Les fils à commettre sont assujettis à un crochet beaucoup plus fort assujetti sur le chantier à commettre et à un émerillon plus solide que pour les ficelles. Une planchette rectangulaire percée de trous remplace le rouet, et un enfant qui tient en mains les manches adaptés à cette planchette, est chargé de les faire tourner. Pour faire un commettage régulier, on se sert de ce qu'on appelle le *toupin*, morceau de bois en forme de cône tronqué, dont la grosseur varie avec le câble que l'on veut fabriquer, muni de rainures longitudinales en nombre égal à celui des fils qu'il s'agit de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

commettre, et que l'on place entre les torons, de façon que ceux-ci se tordent sous un angle égal pour chacun d'eux. Au fur et à mesure que l'on tord, on éloigne petit à petit le toupin. Lorsqu'on veut faire des câbles avec une âme au milieu, on se sert d'un toupin dans l'axe duquel passe cette âme, et on opère comme précédemment.

IV. — Fabrication mécanique du fil de caret.

Il y avait à l'Exposition toute une série de machines destinées à la fabrication du fil de caret, exposées par MM. Sam. Lawson et C^ie^, de Leeds. Ces appareils peuvent nous donner une idée de ce que sont dans les principales corderies anglaises, les machines préparatoires destinées à la fabrication des cordages.

Nous avons donné plus haut, au chapitre des Arts textiles, la description et la figure de l'étirage à tête radiale pour chanvre de Manille, exposé par la même maison. Nous n'y reviendrons pas. Il nous suffira de rappeler que le chanvre au sortir de la balle, passe sur une étaleuse à double chaîne sans fin, dont l'une des chaînes va plus vite que l'autre, d'un mouvement qui, selon les fibres, varie de 6 à 16, qu'il y est ainsi soumis à un peignage déterminé, peignage qui est encore augmenté par la grande vitesse que l'on donne aux cylindres étireurs, qui est généralement triple de celle de la seconde chaîne. C'est au sortir de cette machine que le chanvre de Manille est soumis à l'étirage sur les machines dont nous avons parlé, une, deux ou même trois fois, suivant la finesse que l'on veut donner au fil de caret. De là, il passe sur la machine à filer le fil de caret.

Dans les corderies anglaises, le numérotage employé pour le fil de caret est nécessairement celui du fil de lin. Mais en France, et particulièrement à Angers, on fait exception aux usages habituels qui veulent qu'en filature de lin ou de chanvre on se serve du numérotage anglais, et on fait usage d'un genre de numérotage, dit français, qui désigne le nombre de kilomètres nécessaires pour former un poids de 1000 grammes. C'est ainsi que 1000 mètres pesant 1000 gr. constituent le numéro 1 ; 2000 mètres pesant 2000 gr., constituent le numéro 2. On peut de la sorte employer les numéros fractionnaires 0,1, 0,2, 1 $^1/_2$, 2 $^1/_2$, etc., ce qui est moins facile avec le numérotage anglais.

La figure 1 représente la machine à filer le fil de caret construite par M. Lawson. La *chaîne-gills* B reçoit le chanvre étalé d'abord sur une toile sans fin. Le mouvement est transmis à cette chaîne au moyen de la courroie *b*, par la poulie E montée sur l'arbre C, qui reçoit un mouvement variable par la corde *d;* cette corde *d* est commandée par une poulie I, dont l'arbre *e* est commandé au moyen de la courroie *f* par l'arbre de première commande *g*. Sur l'arbre *h* se trouvent trois poulies G, F, H; celle du milieu F seule est reliée au pignon h^1 qui, par les engrenages L, M, N et la courroie *b*, commande la chaîne sans fin B. La roue N est reliée à l'arbre c^5 par un encliquetage PO, dont les plateaux sont serrés l'un contre l'autre par le ressort à boudin K. Si la corde passait sur la poulie G, le ressort cèderait et l'encliquetage se desserrerait. La poulie G est folle sur l'arbre *h* et commande un pignon Q qui, par les roues R, S, T, commande l'arbre c^5 à une vitesse plus grande qu'avant, grâce à la numération des engrenages, ce qui accélère la marche de la chaîne-gills, pour compenser une diminution d'épaisseur de la nappe. D'un autre côté, si la matière vient trop abondante, la corde *d* passe sur la poulie folle H, qui correspond à une diminution de vitesse de la chaîne. L'entonnoir C est ainsi construit que le plus ou moins d'épaisseur du ruban déplace la corde *d* au moyen

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

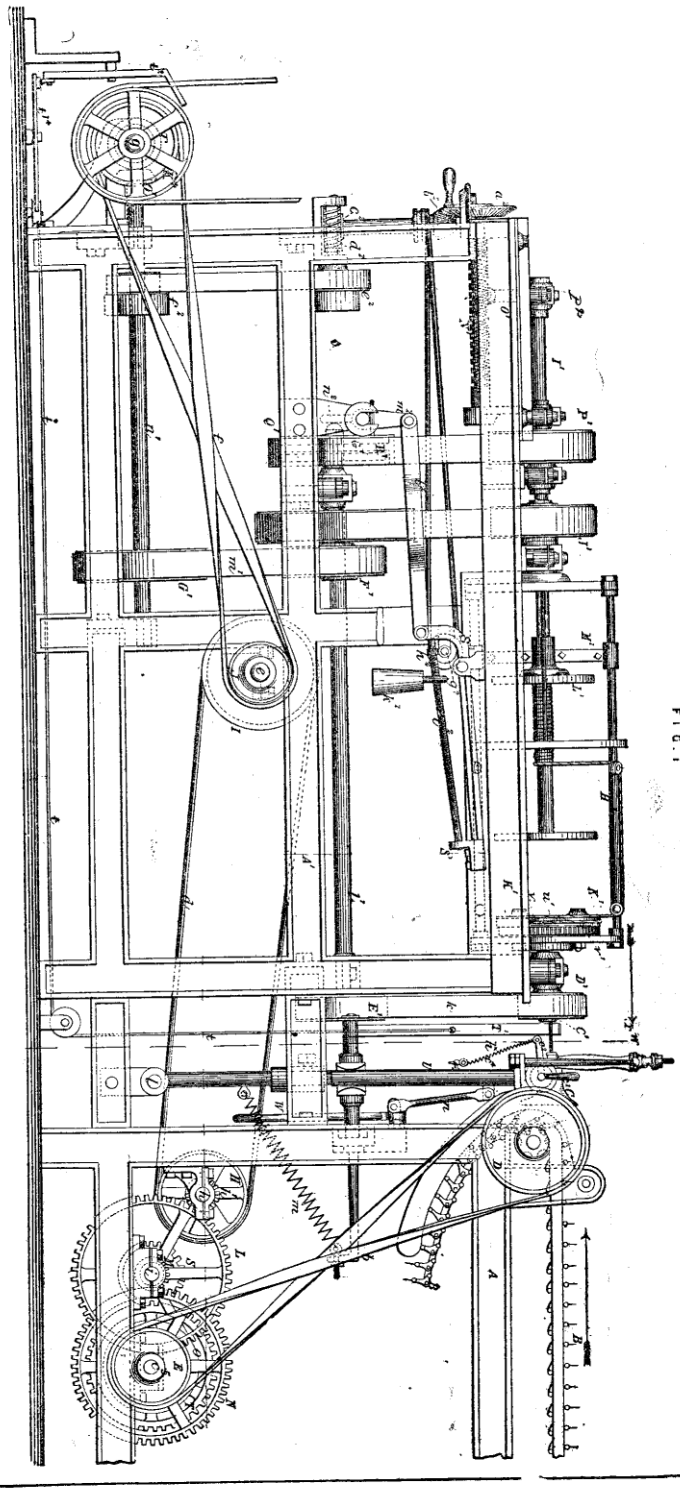


Fig. 1. — Machine à fabriquer le fil de caret exposée par MM. Sam. Lawson et Co de Leeds.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des leviers n et W. La chaîne qui alimente la machine a donc ainsi trois vitesses différentes, qui régularisent ou compensent les inégalités de grosseur des rubans.

L'*entonnoir condenseur* se compose d'un pavillon en métal C, dans le fond duquel se trouve un cylindre. Dans ce cylindre est pratiquée une rainure dans laquelle passe la mèche de chanvre. Le cylindre est mobile sur son axe et maintenu dans une certaine position par des leviers c^2 et des ressorts à boudin x^4. La mèche, en passant sur ce cylindre, le déplace d'un angle plus ou moins

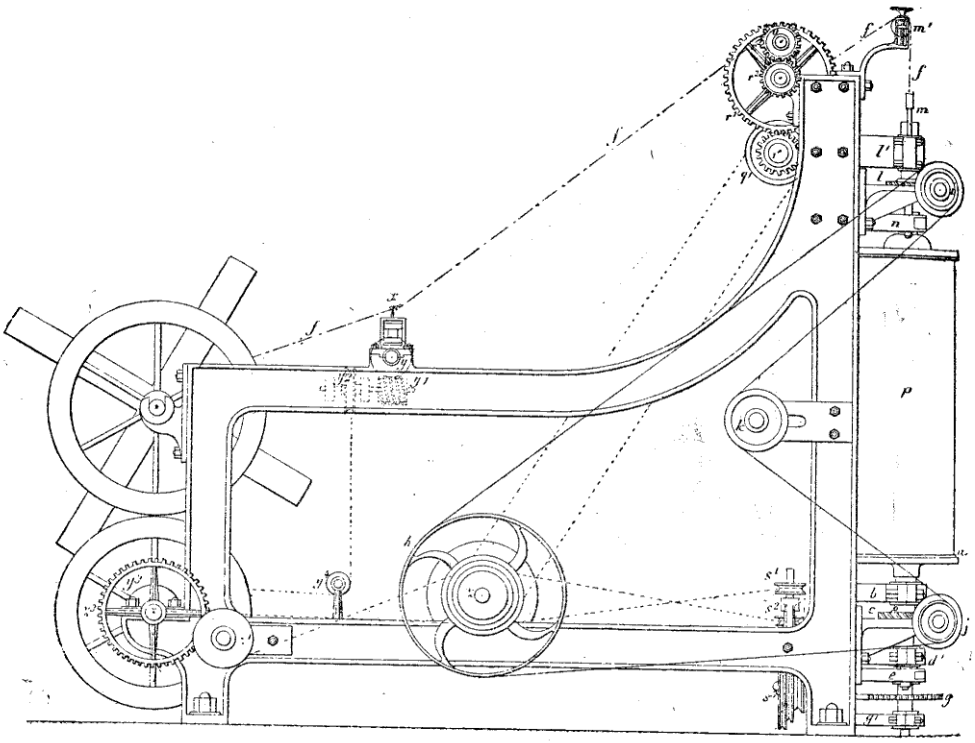


Fig. 2. — Machine à fabriquer le fil de caret, dite à pot tournant, de M. Motiron.

grand, selon la grosseur de la mèche ; si la mèche est mince, le cylindre occupera sa position normale ; si elle a la grosseur voulue, il se mettra à la moyenne de sa course et s'il y a trop de matière, il sera entraîné jusqu'au bout de sa course. Si donc ce cylindre est relié à la fourche de la corde d par les leviers n et w, il s'ensuivra que *la vitesse de translation de la chaîne-gills* B *sera régularisée par la grosseur même du ruban*, au moyen des combinaisons que nous venons de décrire.

Le trou de l'entonnoir est elliptique, et la matière étant toujours serrée entre la rainure du cylindre régulateur et le haut du trou de l'entonnoir, la mèche est tenue constamment de trois côtés, ce qui assure sa rondeur.

La combinaison de ces trois éléments, la chaîne-gills, le condenseur-régula-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

teur et l'ailette tordeuse, forme toute la machine. On remarquera l'absence de tout cylindre comprimeur et la suppression de l'inconvénient du duvet s'enlaçant autour desdits cylindres. Le tube C′ est mû par les poulies E^1D^1 et la courroie H; l'arbre t^1 est mû par les poulies F^1G^1 et la courroie m', et l'arbre n' est l'arbre de couche de première commande. L'*ailette* H′ est supportée dans deux paliers, et elle reçoit son mouvement de rotation de l'arbre l' par une courroie agissant sur la poulie J^1.

La marche et la tension du ruban sont obtenues par la roue dentée u^1, actionnant les poulies à gorges multiples K^1. Le fil passe ensuite sur des roulettes fixées à une des branches de l'ailette, et vient s'enrouler sur la bobine L^1. Cette bobine est montée sur l'arbre I′ et elle reçoit son mouvement par l'arbre t' au moyen d'une courroie agissant sur la poulie P^1. Comme l'ailette est fermée aux deux bouts, elle peut tourner sans qu'on ait à craindre l'effet de la force centrifuge sur les branches. Toutefois la broche I′, sur laquelle est montée la bobine L′ est en l'air et ne manquerait pas de vibrer quand la bobine se trouve à son extrémité. Pour éviter cet inconvénient, le constructeur a ajouté la lunette M′, qui suit la bobine dans son mouvement de va-et-vient et relie les deux branches de l'ailette à l'axe de la bobine; cette disposition est des plus simples et ingénieuses. Le mouvement alternatif de la bobine est obtenu par la vis à filets opposés N′ opérant sur l'écrou O^1, lequel écrou fait corps avec le coussinet P^2, qui embrasse la tête de la broche I^1. La vis N^2 est mue par l'arbre n^1, au moyen de la commande de courroie f^2e^2, l'engrenage à vis sans fin c^2d^2 et les roues coniques a^2b^2.

Nous avons dit que la bobine est commandée de l'arbre l^1 par la poulie R^1 et la courroie agissant sur la poulie P^1; or cette commande ne peut pas être intégrale : il faut une friction pour compenser la différence de diamètre de la bobine vide ou pleine. Cette friction s'opère par la poulie Q′ garnie de cuir. logée dans la poulie R^1; mais il y a encore une autre variable à compenser, c'est la différence de tension du fil selon le diamètre de la bobine; cette compensation est obtenue par le déplacement du poids k^2 sur la vis i^2, actionnée par la vis sans fin h^2. A mesure que le poids k^2 s'éloigne du centre, il agit davantage sur la friction Q′ par l'intermédiaire des leviers s^2, l^2, m^2, n^2.

L'entonnoir condenseur est monté sur un levier vertical U articulé en l. Si le ruban de chanvre devenait trop gros, ce levier céderait à la poussée; or, il passe par un œillet dans l'arbre l^1; donc en se déplaçant, il débraie la friction Q^1 et arrête le mouvement de la broche I^1. Le casse-fil, qui arrête la machine aussitôt qu'un ruban se rompt, est monté comme suit : un levier T s'appuie constamment sur le ruban entre l'entonnoir c et le tube c'. Dès que le fil se casse, ce levier tombe, et, au moyen de la corde t, le balancier t^1, la fourche t^2 et le ressort t^3 débraient la machine.

Mais toutes les machines à filer le caret ne sont pas basées sur le principe que nous venons d'indiquer. Le métier dit *à pot tournant*, représenté par la fig. 2, est constitué d'une toute autre façon.

Dans la fabrication des fils de caret au moyen de ces pots tournants, on a toujours eu à combattre les effets de la force centrifuge sur la matière, effets préjudiciables à un bon résultat et qui circonscrivent ainsi l'application de ce principe. La machine que nous allons décrire remédie quelque peu à cet inconvénient. Le pot p, qui renferme le ruban, vient se poser sur un plateau a qui, par l'ergot a' et une entaille correspondante, communique son mouvement au pot. Ce plateau est guidé par un appendice dans le palier b et solidaire de l'engrenage c, puis se prolonge encore un peu pour s'ajuster dans une gorge *ad hoc* d'un arbre vertical d, où il repose sur des billes d'acier qui lui servent de pivot. L'arbre d est maintenu par le palier d', et, en pénétrant dans le trou

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

central de l'appendice a, lui sert de guide tout en laissant du jeu; l'arbre d est lui-même percé d'un trou longitudinal dans lequel passe librement la vis v, qui doit faire monter le fond mobile p du pot p'.

A cet effet, l'extrémité de la vis v, munie d'un épaulement pour lui permettre de s'arrêter au plateau a, sert de pivot support au fond mobile p'; puis, plus bas, dans le palier e, la vis v est prise avec l'un des coussinets e'; tandis que l'autre e^2, placé du côté intérieur, ne lui sert que de guide et n'est pas fileté; enfin, la vis v pénètre dans le moyeu d'un engrenage g, maintenu entre les paliers e, g', vis avec laquelle il est solidaire par un ergot ou clavette qui s'engage dans une rainure générale de la vis; de cette façon, le pot peut tourner à telle vitesse que l'on veut, sans pour cela entraîner la vis v qui, elle, est soumise aux mouvements de rotation et d'ascension que lui donne l'engrenage g, au moyen de la clavette d du coussinet fileté e' du palier e. Le mouvement est communiqué au pot par la courroie qui passe sur la poulie h de l'arbre de commande, et celles i, j, en contournant la poulie folle k.

La poulie j est calée sur l'extrémité de l'arbre de l'engrenage oblique j', qui commande celui c du plateau a. La poulie i entraîne l'engrenage oblique i', qui correspond avec l'engrenage l, calé sur l'extrémité d'un axe maintenu dans le palier l' et qui supporte le pince-fil m; cet arbre est percé d'un trou pour le passage du ruban f après sa sortie du couvercle du pot, dont le col est maintenu par les coussinets du palier u. L'appel du fil est produit par les galets o, o', qui prennent leur mouvement par le cône q de l'axe de commande, la poulie q' et les engrenages r, r^1, r^2, r^3. Avant d'arriver à ces rouleaux et au sortir du pince-fil m, il est guidé par le petit galet m', disposé sur une chape qui permet de monter ou de descendre ce galet dans une certaine latitude. L'engrenage g, qui fait monter la vis v, prend son mouvement sur l'arbre de commande par le cône s, dont la corde, par les galets de renvoi s', s^2, vient passer sur les gorges du cône s^3 calé à l'extrémité de l'axe d'une vis sans fin s^4, qui actionne l'engrenage g.

Ainsi donc, les mouvements du pot p ou ceux du plateau a, du pince-fil m, des rouleaux d'appel o, o' et le mouvement ascensionnel du fond mobile p' sont fournis par l'arbre de commande, indépendants l'un de l'autre, et pouvant varier séparément dans les proportions les plus facultatives; on doit donc obtenir une torsion aussi uniforme que possible, le ruban se déroulant dans le pot toujours à la même distance du pince-fil. Lorsque la matière est filée, on appuie sur le levier t, dont l'extrémité en crochet retient le couvercle du palier e ajusté à articulation sur le corps de ce palier; à ce moment, un ressort chasse brusquement en dehors ce couvercle avec le coussinet fileté e', et la vis tombe en entraînant le fond mobile p' jusqu'à la rencontre de son collet supérieur avec le plateau a.

On enlève le pot après avoir ouvert le palier n, dont le couvercle est, comme celui de e, ajusté à la charnière, ce qui a pour effet de dégager le couvercle du pot et de permettre facilement la sortie de ce dernier.

Il est clair que ces mouvements ne demandent que très-peu de temps, et une minute est grandement suffisante pour la mise des pots. En arrière, on dispose sur le bâti le touret, auquel le mouvement est donné par friction et pris sur l'arbre de commande par l'agencement des cônes z, z' et des engrenages z^2, z^3. L'enroulement du fil f sur la bobine u est réglé par le jeu du polichinelle x dont le mouvement de va-et-vient est fourni par la vis x', à pas à droite et à gauche, qui tourne par la disposition de l'engrenage y, de la vis sans fin y' et des poulies y^2, y^3, dont la corde ou courroie est guidée par les rouleaux y^4.

Comme on le voit, le caractère principal de cette machine réside dans la mobilité du fond du pot sur lequel repose la matière à traiter. Grâce à la com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

binaison mécanique dont nous venons de donner un aperçu, le mouvement ascensionnel de ce fond est tel, que le ruban se déroule dans le pot à une distance invariable du pince-fil. Lorsque le pot est vide, la manœuvre d'un levier fait retomber instantanément le fond à son point de départ, attendant la mise d'un pot préparé. Les fils de caret sont ensuite dévidés; ils sont ensuite renvidés, à l'aide d'un bobinoir, sur des bobines de dimension convenable.

V. — Fabrication mécanique des cordages.

Il y a trois manières de fabriquer les cordages à la mécanique en supposant le fil de caret tout fabriqué : 1° sur une seule machine fixe et en une seule fois; 2° sur deux machines fixes dont l'une fait les torons et l'autre les réunit en câbles; 3° sur deux machines dont l'une est fixe et dont l'autre est mobile et peut être manœuvrée sur une aire de cordier comme celle dont on a besoin pour la fabrication à la main. Nous allons examiner successivement ces trois genres de fabrication.

PREMIER GENRE DE FABRICATION.

Fabrication des cordages sur une seule machine. — Les machines de ce genre confectionnent les cordages tout d'une pièce, c'est-à-dire qu'on obtient avec plusieurs fils de caret un cable ou une ficelle sans passer par d'autres

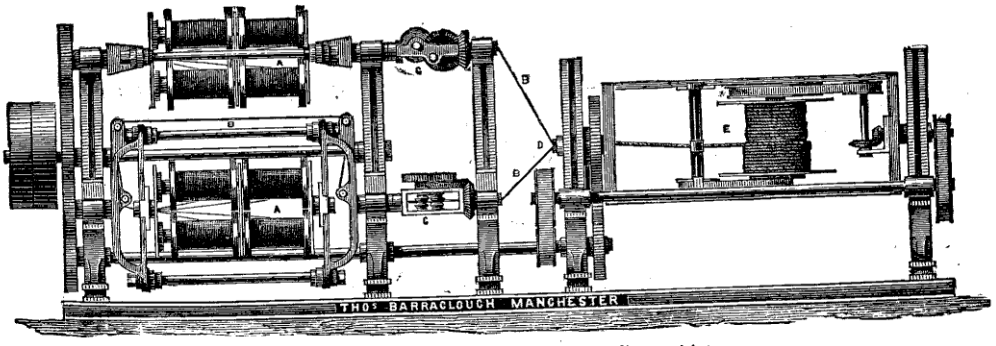


Fig. 3. — Machine à fabriquer les cordes d'un seul jet.

métiers intermédiaires. Elles sont surtout employées dans les petites corderies, à cause de la simplicité de leur service, puisqu'il suffit d'un seul ouvrier pour en diriger plusieurs, et aussi à cause du peu de place qu'elles occupent et de la force minime qu'elles exigent pour marcher. Elles sont encore en usage dans les corderies où l'on doit fabriquer une grande quantité de cordages qui ne diffèrent pas sensiblement entre eux. Pour fabriquer successivement, suivant les besoins, des grands câbles et des ficelles, il faudrait employer plusieurs appareils successifs.

La fig. 3 représente un type des machines dont nous parlons, avec laquelle on peut fabriquer sept genres différents de cordes à trois torons en changeant les dents de certains pignons : suivant que chaque toron comprend 8, 7, 6, 5, 4, 3 ou 2 fils, on obtient des cordes de 24, 21, 18, 15, 12, 9 et 6 fils. La machine a trois ailes correspond à chacun de ces torons, et il y a sur chacune d'elles autant de bobines

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

munies de fil de caret qu'il en faut pour confectionner les torons. Ces ailes étant animées d'un mouvement de rotation, il en résulte que lorsque les fils de caret (la figure en représente huit, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ou 8 selon le cas), viennent après avoir traversé un des tourillons creux des ailes, longé leur côté B et passé à travers l'autre tourillon creux, s'enrouler sur les cylindres cannelés *c* pour se réunir D; ils ont formé trois torons qui par leur réunion vont former un câble. Ces trois torons sont finalement tordus en une seule corde par le renvideur E, qui, suivant le principe que nous avons indiqué tout à l'heure, tourne dans un sens opposé à la torsion des torons, c'est-à-dire en sens contraire des ailes de la machine. Naturellement, comme la corde en s'enroulant autour du renvideur en augmente le diamètre, la vitesse de rotation de celui-ci est combinée de façon à diminuer au fur et à mesurs de l'envidage; on serait obligé en cas contraire de rendre la marche des torons plus rapide à chaque nouvelle couche. Dès que le renvideur est plein on déroule le cable et quelques minutes après on recommence à travailler. Il y a trois types de dimension de cette machine, l'une pouvant fabriquer des cordes de 12 fils, une autre permettant d'aller jusqu'à 18 fils, et une troisième jusqu'à 24 fils, toujours à trois torons.

SECOND GENRE DE FABRICATION.

Fabrication successive des torons et des câbles. — Lorsqu'on veut fabriquer indifféremment dans une corderie, de très-gros câbles ou des ficelles, on emploie alors deux machines différentes, l'une qui sert à tordre les fils de caret en torons, l'autre tord ces torons en câbles.

Machine à toronner. — Le type de machine à toronner représenté par la fig. 4 se compose de deux bobinoirs portant chacun dix bobines et pouvant fabriquer par conséquent des torons de 20 fils. Ces bobines sont fixées en haut et en bas par deux plaques circulaires, afin d'être maintenues bien fixes; la plaque du bas est attachée solidement au bâtis en fonte de la machine, la plaque du haut fait partie d'organes se rattachant directement à une poutre A du bâtiment de l'usine. De cette manière, on évite toute vibration.

Les fils de caret se dévident par le haut. Là, ils rencontrent une seconde plaque dite *registre*, perforée d'autant de trous qu'il y a de fils. Ceux-ci ne peuvent dès lors s'écarter d'un coté ou de l'autre et, lorsqu'ils sortent bien réguliers au-dessus de la plaque, ils s'engagent dans une *filière évasée* qui les comprime tous ensemble au moment même où ils se tordent.

Le toron une fois formé, passe sur une poulie fixée au sommier A, descend ensuite sur deux autres poulies situées au bas de la machine, dont le but est de régler par leur vitesse plus ou moins grande, la torsion à donner, puis va s'enrouler sur une immense bobine en fer, mobile dans le sens de la longueur.

Ce qu'il y a surtout à régler dans cette machine, ce sont les bobines sur lesquelles est enroulé le fil de caret, et les filières par où s'engagent d'un côté ces fils, pour former le toron. Des bobines trop grandes donnent trop de lourdeur à la machine; des bobines trop petites doivent être trop souvent renouvelées; des bobines faites en matières trop lourdes sont difficiles à bouger, car il faut toujours un escabeau pour atteindre celles du haut lorsqu'elles sont vides et qu'il faut les remplacer, les bobines faites en matières trop légères, s'usent d'un autre côté très-rapidement. Finalement, on s'est arrêté à des bobines de $0^m,30$ de longueur, sur $0^m,30$ de diamètre, bien que pour certains cas spéciaux on prenne $0^m,225$ sur $0^m,225$. Quant à la matière dont elles sont faites,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

c'est plus souvent le fer que le bois. Pour les filières, il faut toujours en avoir une certaine quantité de rechange suivant la grosseur du toron que l'on veut former. Avec un assortiment de filières et quelques roues de rechange pour régler la vitesse des poulies d'appel, et partant la torsion du toron, on peut fabriquer sur cette machine toute espèce de torons. La machine que l'on voit fig. 4 ne se compose que de deux bobinoirs verticaux de 10 bobines, mais il y a des machines de 4, 5, 6 et même 10 bobinoirs. Il y a généralement dans les corderies une série de deux machines à toronner pour une machine à câbler : quelquefois cependant les machines à toronner sont au nombre de trois.

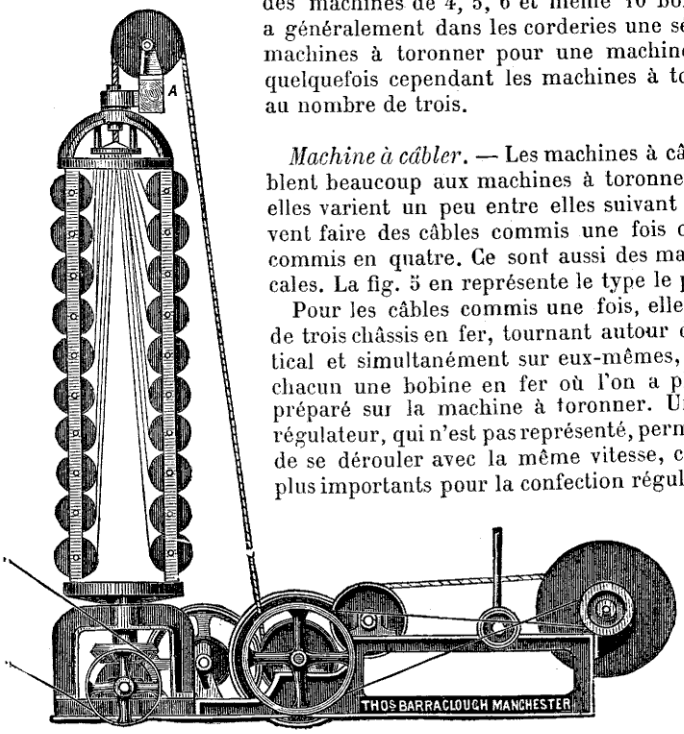


Fig. 4. — Machine à toronner.

Machine à câbler. — Les machines à câbler ressemblent beaucoup aux machines à toronner, seulement elles varient un peu entre elles suivant qu'elles doivent faire des câbles commis une fois ou des câbles commis en quatre. Ce sont aussi des machines verticales. La fig. 5 en représente le type le plus usuel.

Pour les câbles commis une fois, elles se compose de trois châssis en fer, tournant autour d'un axe vertical et simultanément sur eux-mêmes, et contenant chacun une bobine en fer où l'on a placé le toron préparé sur la machine à toronner. Un mécanisme régulateur, qui n'est pas représenté, permet aux torons de se dérouler avec la même vitesse, ce qui est des plus importants pour la confection régulière du câble. Un autre mécanisme dit de réglage, mais qu'on ne trouve généralement que sur les machines destinées à faire de très-gros câbles, donne aux torons un degré plus ou moins fort de torsion. Pour les câbles commis en quatre, il y a quatre châssis au lieu de trois, plus une grosse bobine d'étoupe, de chanvre qui doit former l'*âme* du câble.

Le reste de la machine est, à peu de chose près, identique à la machine à toronner. Le câble une fois formé passe au travers d'un chapeau percé de trous pour s'enrouler sur une poulie située au faîte de la machine et dont le coussinet est maintenu sur un sommier du haut; il descend ensuite, après avoir passé sur deux autres poulies, s'enrouler sur un dévidoir, qui n'est pas représenté ici, dont le diamètre et la largeur varient avec le câble que l'on fabrique. La machine est toujours munie de chapeaux de rechange en bois de différentes grandeurs, de roues de rechange pour modifier la vitesse des poulies d'étirage, d'autres roues de rechange pour changer la vitesse du mécanisme de réglage, et du mécanisme régulateur de traction. Le diamètre des bobines sur lesquelles est enroulé chaque toron varie de $0^m,58$ à $1^m,35$, leur largeur est comprise entre $0^m,45$ et $0^m,75$: ces bobines sont toujours en fer.

Comme on le voit, le seul inconvénient des machines à toronner et à câbler,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

c'est qu'il en faut un assortiment complet, et qu'elles nécessitent par conséquent de grands frais pour la fabrication de toute espèce de câbles ; leur grand avantage,

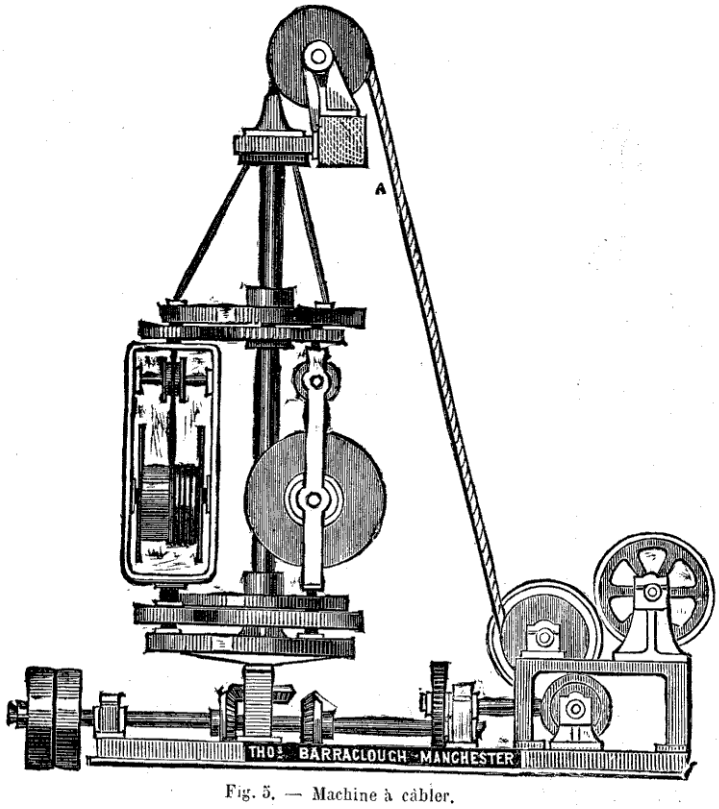


Fig. 5. — Machine à câbler.

c'est qu'avec cet assortiment on peut fabriquer tous les genres possibles de câbles et de cordages.

TROISIÈME GENRE DE FABRICATION.

Fabrication sur aires de cordier avec la coureuse et la fileuse en gros. — Les corderies qui disposent d'un espace suffisant (et beaucoup d'anciennes fabriques sont dans ce cas) emploient pour la confection des cordages des machines accouplées, l'une *fixe*, dite fileuse en gros, l'autre appelée *coureuse mobile* sur une voie ferrée où elle avance et recule au moyen d'un wagon a quatre roues, munies de freins puissants, auquel elle est fixée.

A une certaine distance de la fileuse, et derrière cette machine, on place un ou plusieurs bancs à broches munis de bobines pleines. Ceux-ci sont construits de façon à recevoir le plus grand nombre possible de ces bobines, et agencés de manière qu'il puisse être facilement vérifié, au fur et à mesure du dévidage, s'il n'y a pas de fils cassés ou par trop défectueux. Très-souvent ils sont en bois, en forme de V, munis d'armature en fer, mais, en somme, leur forme varie très-souvent.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Du banc à broche les fils se dirigent vers une plaque en fonte percée d'un trou pour chacun d'eux : cette plaque se nomme *plaque-registre*. Tous les trous

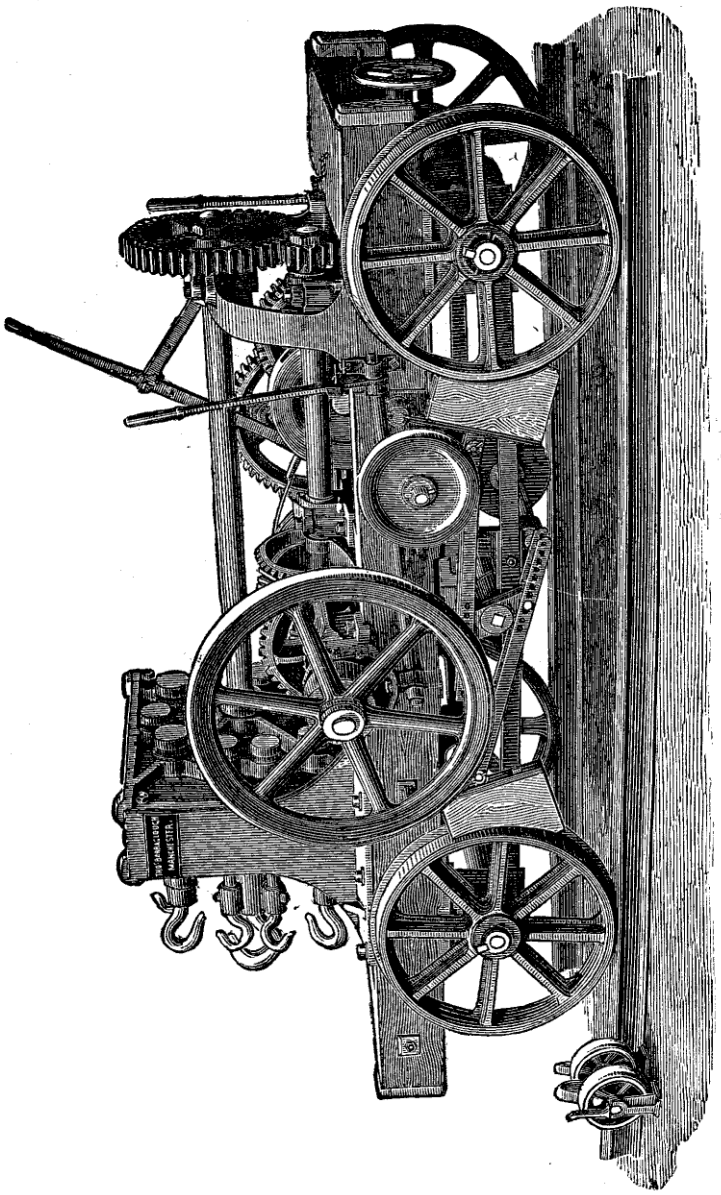


Fig. 6. — Machine dite *Coureuse*.

sont percés suivant les cercles concentriques, de façon que les fils qui sortent du côté opposé peuvent se réunir facilement tous ensemble, en laissant autant que possible le moins de vide entre eux. Il y a généralement quatre plaques-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

registres dans un assortiment complet, pour un, trois, six et douze torons : les plaques pour un toron ne servent évidemment que pour les très-gros diamètres et ne comportent qu'une seule série de trous; afin d'être mieux guidés vers la plaque-registre, les fils passent dans un châssis en fer muni de tringles entre-croisées formant autant de carrés qu'il y a de fils : c'est le *registre* proprement dit. En somme, au sortir de leurs bobines, les fils se dirigent vers le registre qui leur donne une direction unique, puis vers la plaque-registre, d'où les différentes séries de fils de chaque cercle se réunissent sous un angle déterminé. C'est dans des tubes, placés horizontalement dans une caisse à vapeur qui les maintient chauds, que se réunissent tous ces fils; là ils y sont étirés, puis on les fixe à l'un des crochets de la machine mobile (fig. 6) que nous avons désignée sous le nom de *coureuse*.

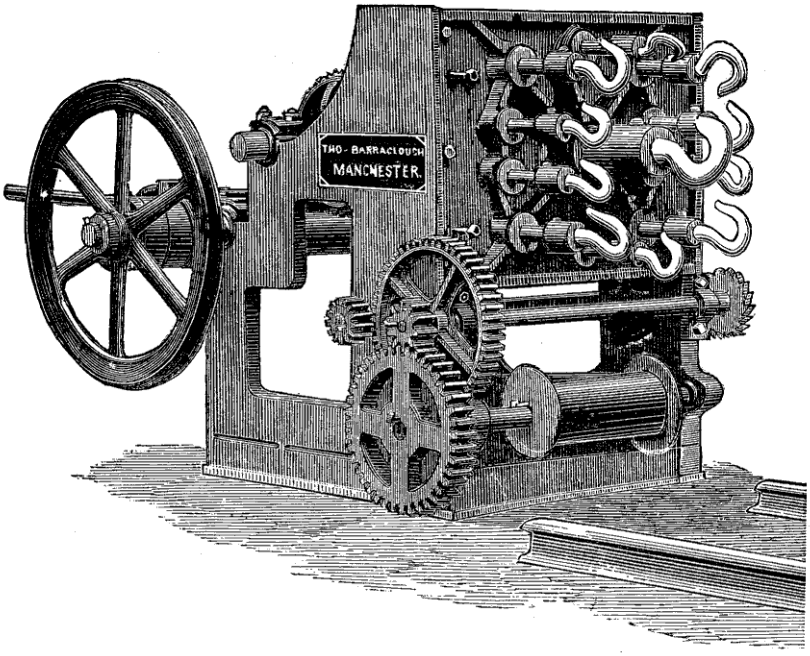


Fig. 7. — Machine dite *Fileuse en gros*.

Supposons que nous ayons à faire un câble à trois torons commis une fois, et que chacune des trois séries de fils qui composent chacun des torons ait traversé le registre, trois séries de torons de la plaque-registre et trois tubes. On attache donc ces trois torons à trois crochets de la coureuse. Ces crochets sont fixés à l'extrémité d'arbres de transmission auxquels une courroie communique la rotation; leur vitesse est rendue variable au moyen de roues de rechange, et ils peuvent tourner à droite ou à gauche au moyen de manchons d'accouplement. L'arbre principal qui donne le mouvement à la coureuse au moyen d'une longue courroie sans fin qui règne sur toute la longueur de l'aire, donne aussi le mouvement aux crochets au moyen de roues d'engrenages et d'un second arbre fixé au wagon portant une poulie sur laquelle passe une chaine fixée à la fileuse en gros et qui s'étend jusqu'à l'autre extrémité de l'aire. La coureuse est mise en mouvement et les crochets aussi; les fils sont ainsi

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

déroulés du banc à broches, étirés et les torons formés, tordus simultanément.

Pour faire le câble, on coupe les extrémités des torons; on les attache aux crochets correspondants de la machine fixe, dite *fileuse en gros* (fig. 7); on détache les torons des crochets de la coureuse, et on les réunit à un crochet du milieu tournant en sens contraire de la torsion des torons. La fileuse en gros est munie de crochets, arbres de transmission, roues de rechange et manchons d'accouplement correspondant à la coureuse d'en face. Avant de communiquer la rotation au crochet de la coureuse et aux trois crochets de la fileuse, on place entre les trois torons un morceau de bois conique, muni de rainures dans le sens de la longueur qu'on assujettit ordinairement sur un wagon placé devant la coureuse et qui remplit absolument le même but que le *toupin* dont nous avons parlé plus haut, à propos du filage à la main. Qu'arrive-t-il en effet? Le crochet de la coureuse en tordant les trois torons en sens inverse de la torsion qui leur a été donnée, leur fait perdre une partie de cette torsion; mais d'un autre côté les trois crochets de la fileuse, tordant les torons dans un sens identique à celui de la torsion, maintiennent celle-ci au même point, en leur donnant cette torsion en quantité égale à celle qu'ils perdent de l'autre côté. Au fur et à mesure de la fabrication du câble, les freins adaptés aux roues de la coureuse, l'empêchent de subir un mouvement en avant, que donne toujours le raccourcissement occasionné par le commettage des torons, le câble se tend et bientôt, quand la coureuse est arrivée à l'extrémité de l'aire du cordier, il est fabriqué complétement. — Généralement, dans les corderies, il y a deux coureuses, une grande et une petite, l'une ou l'autre est enlevée des rails, au fur et à mesure des besoins de la fabrication; on peut, avec la plus forte des machines, fabriquer des câbles qui ont presque $0^m,60$ de circonférence.

Opérations accessoires.

Les corderies mécaniques sont généralement munies de machines accessoires destinées aux opérations secondaires telles que l'étrillage, c'est-à-dire le rabattage des barbes de chanvre, ce qui, dans les corderies à la main, se fait au moyen d'une corde en crin, dite *radia*, enlacée sur trois broches et traînée par un homme ou un cheval, le goudronnage, le polissage, la mise en pelotes, etc. Nous n'avons pas l'intention de décrire ici toutes les machines, dont quelques-unes, comme la pelotonneuse, sont très-compliquées et nous entraîneraient à des détails sans fin; nous nous contenterons de dire quelques mots des machines à goudronner et de la machine à étriller qui figuraient à l'Exposition.

Il y a deux manières de goudronner, soit en fils isolés, soit en paquet. Dans le premier cas, la machine à goudronner se compose d'un appareil à double fond dans lequel le goudron (qui doit être clair, afin que les câbles présentent un bon aspect et qui doit, par conséquent, n'avoir aucun contact avec le fer) est chauffé à la vapeur. Un cylindre poli tourne à demi dans le liquide et s'en recouvre d'une manière continue. Des bobines (ordinairement 16) de 0,50 de diamètre sur 0,50 de long, munies de fils, en délivrent sans cesse et les forcent à passer sur ce cylindre de façon à se pénétrer de goudron. Ces fils passent de là pour être exprimés dans un réservoir en cuir où des bandes de cuir les pressent convenablement. — Dans le cas, au contraire, du goudronnage en paquet, on dévide les 16 bobines dont nous venons de parler sur un touret de bois, sur lequel les fils sont enroulés en spirale, de manière à pouvoir être enroulés d'un autre côté en renversant le mouvement de rotation du touret après avoir attaché les fils à une cheville. Une fois les fils enroulés dans les deux sens et le touret contenant de 200 à 400 fils, on le dévide sur un chevalet pour le faire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

passer dans la machine à goudronner. Dès que les fils sont goudronnés, on les fait ramollir pendant un temps plus ou moins long, qui peut aller jusqu'à quinze mois, puis on les renvide sur le touret et de là sur leurs bobines respectives, d'où on les fait passer par toutes les opérations que nous avons décrites plus haut.

La machine à étriller les ficelles, exposée par MM. Laboulais frères, d'Angers, se compose d'une corde sans fin, enroulée d'un côté sur une poulie à gorge, de l'autre sur deux tambours également à gorge. Sur la poulie à gorge, la corde fait plusieurs tours, et cette poulie est rendue mobile au moyen d'une vis, afin de tendre plus ou moins bien la corde sans fin. Les tambours au contraire sont munis d'un engrenage commandé par un pignon unique collé sur un arbre vertical qui se trouve entre eux; comme ce pignon tourne dans un sens ou dans l'autre, grâce à trois pignons d'angle et à trois poulies, en tout semblables à la commande d'une machine à raboter, on conçoit qu'il suffit de faire passer sur l'une ou l'autre de ces poulies la courroie qui leur donne le mouvement pour faire marcher la corde dans un sens ou dans l'autre. En appliquant sur cette corde un *raida* en crin comme celui dont on se sert pour la corderie à la main, on donne à ce raida un mouvement dans l'aire du cordier semblable à celui de l'homme ou du cheval qui marche en avant. C'est une autre corde, placée près de la corde sans fin, dont nous venons de parler, qui permet à la volonté de l'ouvrier de faire passer la courroie de l'une des poulies sur l'autre.

La ficelle que l'on veut polir est placée le long de la corde sans fin, et elle est fixée d'un côté aux treuils raidisseurs, de l'autre à ce qu'on appelle un *piquet*, c'est-à-dire un certain nombre de brins de ficelles, de même longueur, attachées à un petit morceau de bois de $0^m,30$ de long, appelé *bois de piquet*, lequel est amarré à un poteau fixe. En faisant agir le treuil, on tend d'un seul coup tous les fils en commençant; mais au fur et à mesure que le raida de crin parcourt la ficelle à étriller, celle-ci s'allonge encore, et comme il est nécessaire de corriger cet allongement continu par une tension également continue, et par conséquent par un travail incessant de treuils raidisseurs, il a été nécessaire d'adapter à ces appareils un mécanisme spécial de tension. Dans la corderie à la main, on n'a d'autre guide que le son de la voix à laquelle se fie un ouvrier placé spécialement à un treuil pour le faire tourner chaque fois qu'on l'en avertit.

RENOUARD.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LES GRANDS TRAVAUX PUBLICS

NOTES

SUR LES MODÈLES, CARTES ET DESSINS

EXPOSÉS PAR L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES (1)

LES TRAVAUX MARITIMES

Port de Dunkerque. — Écluse à sas d'entrée du bassin de l'Ouest.

Dans le projet d'amélioration du port de Dunkerque qui s'exécute en ce moment, se trouve compris un nouveau bassin à flot, dit « bassin de l'Ouest », communiquant avec le port d'échouage par une grande écluse à sas.

Les dessins exposés et que nous regrettons de ne pouvoir mettre sous les yeux de nos lecteurs représentaient les maçonneries decette écluse, qui est aujourd'hui terminée, mais qui ne sera mise en service qu'en 1879, lorsque le bassin à flot sera complétement achevé.

Dispositions générales de l'écluse. — L'écluse a 21 mètres de largeur. Elle admettra, en vives eaux moyennes, des navires de $7^{m},35$ de tirant d'eau, et en mortes eaux moyennes, des navires de $6^{m},35$. Les navires qui n'ont pas plus de 120 mètres de longueur pourront être sassés en quelques minutes; les navires plus longs entreront, toutes portes ouvertes, pendant l'étale du plein.

L'écluse s'ouvre à peu près au milieu du côté Nord du bassin à flot de l'Ouest. A son extrémité d'aval, elle débouche dans le port d'échouage.

Le sas est fermé, à chacune de ses extrémités d'amont et d'aval, par une paire de portes d'èbe busquées. Les portes d'aval sont munies de portes-valets; enfin, une paire de portes d'èbe intermédiaires, placées entre les portes extrêmes et aux deux tiers de leur distance à partir de l'amont, divisent le sas en deux parties.

De cette sorte, on disposera de trois sas entre lesquels on réglera son choix d'après les dimensions des navires : 1° un petit sas, ayant 52 mètres de longueur de busc en busc et compris entre les portes d'aval et les portes intermédiaires; 2° un moyen sas, ayant 77 mètres de longueur de busc en busc et compris entre les portes intermédiaires et les portes d'amont; 3° un grand sas, ayant 129 mètres de longueur de busc en busc et s'étendant entre les portes extrêmes.

Deux ponts tournants assurent la communication entre les deux rives de l'écluse; l'un est placé immédiatement en aval des portes d'amont, et l'autre immédiatement en aval des portes intermédiaires.

Les mouvements d'eau pour les sassements se feront à la fois par des aque-

(1) L'administration des ponts et chaussées avait une très-riche exposition de carte, de plans cotés et dont la reproduction à petite échelle aurait eu un grand intérêt pour nos lecteurs, et aurait rendu la lecture de la présente note plus intéressante. Nous regrettons de n'avoir pu nous la procurer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ducs ménagés dans l'épaisseur des maçonneries et par des vannes disposées dans les portes.

Dans le but de rendre faciles les épuisements qui permettront la visite et la réparation du radier et des portes, une feuillure pour bateau-porte a été préparée à chaque extrémité de l'écluse.

Un avant-radier protége chacune des têtes de l'écluse.

Radier et bajoyers. — Le radier est construit en voûte renversée dans le moyen et le petit sas. Il est plan dans toutes les autres parties.

Le profil du radier courbe est une anse de panier à cinq centres, ayant $3^m,50$ de flèche et tracée d'après cette condition, qu'il n'y ait que $0^m,50$ de différence de niveau entre le point le plus bas et le point situé à 4 mètres de distance horizontale du bajoyer.

Les bajoyers du sas sont verticaux.

Dimensions principales. — Les dimensions les plus importantes sont les suivantes :

Hauteur d'eau sur le radier en basses mers moyennes de vives eaux ordinaires	$2^m,00$
Hauteur d'eau sur le radier en pleines mers de vives eaux moyennes	7 ,45
Hauteur d'eau sur le radier en pleines mers de mortes eaux moyennes	6 ,45
Largeur de l'écluse	21 ,00
Longueur de tête en tête entre les lignes de palplanches extrêmes de la fondation	168 ,00
Distance entre les pointes des buscs des portes extrêmes	129 ,00
Distance entre les pointes des buscs des portes d'aval et des portes intermédiaires	52 ,00
Distance entre les pointes des buscs des portes intermédiaires et des portes d'amont	77 ,00
Longueur d'une enclave de portes	12 ,00
Longueurs franches des sas (entre la corde du busc d'amont et l'origine de l'enclave des portes d'aval) :	
1° Pour le petit sas	40 ,00
2° Pour le moyen sas	65 ,00
3° Pour le grand sas, constitué par la réunion du petit et du moyen	117 ,00
Flèche des buscs	3 ,70
Saillie des buscs	0 ,35
Saillie des seuils de bateaux-portes	0 ,50
Épaisseur du radier dans les sas	3 ,00
Épaisseur maximum du radier sous les buscs	4 ,50
Hauteur du couronnement au-dessus du fond du radier des sas	9 ,20

Manœuvres d'eau pour les sassements. — Le grand sas, compris entre les portes extrêmes, présente une superficie horizontale de $2,780^{mq}$. Eu égard à l'étendue de cette surface, les manœuvres exigent de grands orifices, tant pour l'introduction de l'eau du bassin dans le sas, que pour l'évacuation de cette eau dans le port d'échouage.

Les dispositions de l'écluse assurent, pour l'introduction de l'eau dans le grand sas, un débouché de 16^{mq}, et pour l'évacuation, un débouché de 20^{mq}. Les vannes sont d'ailleurs organisées de manière à s'ouvrir en une minute.

D'après cela, on a calculé que le remplissage ou la vidange du grand sas durerait environ trois minutes et demie, dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans celui d'un sassement à mi-marée montante ou descendante de vive eau d'équinoxe. En tenant compte du temps perdu par les éclusiers pour mettre en train les organes de manœuvre, on peut dire qu'en pratique, dans les circonstances les plus désavantageuses, on emploiera moins de cinq minutes à remplir ou à vider le grand sas, et que, dans les cas moyens et ordinaires, la manœuvre ne durera pas trois minutes.

Le remplissage ou la vidange du petit ou du moyen sas exigera un temps un peu moindre.

Le moyen sas dispose à cet effet d'un débouché de 16^{mq}, et le petit sas d'un débouché de 10^{mq}, pour l'introduction comme pour l'évacuation.

Vannes et aqueducs. — Les sections indiquées ci-dessus sont données par les vannes des portes busquées et par des aqueducs ménagés dans le massif des bajoyers.

Chaque paire de portes busquées offrira 6^{mq} de surface de vannes.

Un aqueduc longitudinal est logé dans l'épaisseur du bajoyer, sur chaque rive, depuis la tête amont jusqu'à la tête aval de l'écluse. Sur chacun des deux aqueducs longitudinaux, s'embranchent trois aqueducs transversaux qui débouchent dans le grand sas, savoir : le premier à l'extrémité amont, immédiatement en aval des chardonnets des portes amont; le second, à peu près au milieu de la longueur totale du grand sas, immédiatement en amont de la chambre des portes intermédiaires; le troisième, dans la chambre des portes avals.

Chacun des aqueducs transversaux d'amont présente un débouché de 3^{mq}, et chacun des aqueducs transversaux intermédiaires et d'aval, un débouché de 2^{mq}.

Chacun des aqueducs longitudinaux a 5^{mq} de section depuis la tête amont de l'écluse jusqu'à l'aqueduc transversal d'amont correspondant; il mesure 3^{mq} de section depuis sa jonction avec cet aqueduc jusqu'à la rencontre de l'aqueduc transversal intermédiaire; à partir de cette rencontre jusqu'à celle de l'aqueduc transversal d'aval, il prend une section de 5^{mq}, somme des sections des aqueducs transversaux intermédiaires et d'amont; enfin, sa section s'accroit de 2^{mq} après la rencontre de l'aqueduc transversal d'aval, et demeure fixée à 7^{mq} jusqu'à la tête aval de l'écluse.

Les radiers des aqueducs sont un peu au-dessus du niveau des plus basses mers, pour que la visite en soit toujours facile pendant les marées basses de vive eau.

Les têtes des aqueducs longitudinaux sont disposées de manière à pouvoir être munies de clapets de fermeture. Les clapets d'amont sont montés à charnière, et pourront être facilement rabattus sur leurs siéges, toutes les fois qu'il faudra visiter les aqueducs à marée basse. Les clapets d'aval ne seront mis en place que momentanément, lors de grosses réparations.

Les vannes des aqueducs transversaux et des portes busquées sont levantes et à jalousies; elles seront manœuvrées au moyen d'appareils hydrauliques du système Armstrong, et pourront aussi être mues à bras d'homme.

Dans les aqueducs longitudinaux, dont les sections, variables entre 5 et 7^{mq}, sont trop grandes pour admettre un système de vannes levantes, on a disposé la construction de manière à faire concourir la chute même de l'eau à l'ouverture de l'aqueduc.

A cet effet, chaque aqueduc longitudinal est fermé, à chacune de ses extrémités, par une porte tournante dièdre dont l'axe est vertical et dont les deux côtés sont inégaux. L'angle des deux côtés est droit pour la porte d'amont, un peu obtus pour celle d'aval. L'axe de rotation est placé suivant l'arête du dièdre,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en dehors et à $0^m,25$ du contour de l'orifice qui met l'aqueduc en communication avec le puits où est logée la porte tournante. Le petit côté du dièdre ferme, de l'amont vers l'aval, l'orifice de l'aqueduc, en s'appuyant, par un recouvrement de $0^m,10$, sur la paroi d'aval du puits; le grand côté se meut, avec un jeu de $0^m,01$, dans une chambre cylindrique pratiquée aux dépens de la paroi du puits. Du fond de cette chambre, part un tuyau de décharge, muni d'une vanne et aboutissant à une certaine distance en aval de la porte. Quand la vanne du tuyau de décharge est fermée, la pression de l'eau d'amont tient la porte hermétiquement close. Quand on lève la vanne du tuyau de décharge, l'eau contenue dans la chambre cylindrique s'écoule vers l'aval, et la pression sur la face postérieure du grand côté diminue, tandis que la face antérieure reste soumise à la pression de l'eau d'amont; bientôt, le moment de la différence des pressions que supportent respectivement les deux faces du grand côté l'emporte sur le moment de la différence des pressions que l'eau d'amont et l'eau d'aval exercent sur les deux faces du petit côté, alors la porte s'ouvre d'elle-même; ou bien, si la différence des niveaux d'amont et d'aval est trop faible pour vaincre les frottements du système, on aide à l'action des pressions de l'eau en tirant au moyen d'une chaîne, manœuvrée par un treuil qui est placé au sommet du puits.

La fermeture ne doit jamais avoir lieu qu'après que l'égalité de niveau s'est établie entre le bassin et le sas ou bien entre le sas et l'avant-port; il n'y a plus dans ce cas de pression d'eau à vaincre, et il suffit de tirer la porte au moyen d'une seconde chaîne, manœuvrée par le même treuil.

Lorsqu'on fait usage du grand sas, il n'y a pas lieu de manœuvrer les vannes des aqueducs transversaux, qui doivent rester ouvertes pour le remplissage comme pour la vidange. Le remplissage du sas se fera en ouvrant : 1° les vannes des portes busquées d'amont (6^{mq}); 2° les portes tournantes amont des aqueducs longitudinaux ($2 \times 5^{mq} = 10^{mq}$); on aura ainsi en totalité 16^{mq} de débouché; l'eau qui proviendra des aqueducs longitudinaux sera jetée dans le sas par les aqueducs transversaux en six points : deux à l'amont, deux à l'aval et deux au milieu, de manière que les effets d'impulsion sur la carène des navires se neutralisent autant que possible. La vidange du grand sas s'opèrera par les vannes des portes busquées d'aval (6^{mq}) et par les portes tournantes aval des aqueducs longitudinaux ($2 \times 7^{mq} = 14^{mq}$), soit par un débouché total de 20^{mq}; et l'eau sera appelée dans les aqueducs longitudinaux par six points à la fois : deux à l'extrémité d'amont, deux au milieu et deux à l'extrémité d'aval.

Les vannes des aqueducs transversaux ne deviennent nécessaires que pour les manœuvres du moyen et du petit sas; si l'on se reporte à la description ci-dessus, il est aisé de voir comment elles permettent de réaliser, concurremment avec les vannes des portes busquées, les débouchés de 16^{mq} et de 10^{mq} indiqués plus haut.

En résumé, on s'est efforcé, dans l'écluse à sas du bassin de l'Ouest, d'accélérer le plus possible les manœuvres de dénivellation, moyennant : 1° de très-grands débouchés d'introduction et d'évacuation de l'eau; 2° l'utilisation de la chute d'eau qui existe du bassin vers l'avant-port, pour rendre facile et rapide l'ouverture des grands aqueducs longitudinaux; 3° l'emploi des appareils hydrauliques du système Armstrong, pour ouvrir les diverses vannes levantes du système.

Utilisation des aqueducs et des vannes des portes pour les chasses. — Cet ensemble d'aqueducs et de vannes ne servira pas seulement aux manœuvres de sassements, on l'emploiera encore pour donner, pendant les marées basses de vive eau, des chasses destinées à concourir au maintien de la profondeur du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chenal en aval de l'écluse; chacune de ces chasses aura pour effet de faire baisser la retenue jusqu'au niveau moyen des hautes mers de morte eau, soit d'environ 1 mètre par rapport au niveau initial qui correspond moyennement au plein des marées de vive eau.

Détails de la construction. — Le terrain sur lequel est établie l'écluse est constitué par du sable pur farineux, jusqu'à une profondeur d'environ 20 mètres au-dessous des basses mers. L'écluse est assise sur une table de béton, dont l'épaisseur est de $1^m,50$ sous le radier des sas et de $2^m,50$ à 3 mètres le long des têtes, sous les chambres des portes busquées et sous les seuils de bateaux-portes. Ce béton est composé de volumes égaux de briques concassées, de galets de Calais et de mortier; il a été coulé dans une enceinte de pieux et palplanches en orme. Les faces latérales de l'enceinte ont été arrachées après la prise du béton, et l'on n'a conservé que celles des têtes amont et aval. Celles-ci sont faites de palplanches de $8^m,50$, assemblées à rainures et grains d'orge et moisés.

Le mortier employé dans la confection du béton contient, pour 1^{mc} : $0^{mc},800$ de chaux éminemment hydraulique de Tournay, $0^{mc},400$ de trass d'Andernach, et $0^{mc},250$ de cendre de houille.

Le mortier des maçonneries au-dessus du béton est composé de ciment de Portland et de sable en proportions variables suivant les cas : celui des maçonneries de pierres de taille et des enduits est dosé à raison de 570 kilogrammes de ciment par mètre cube de mortier; pour les autres maçonneries, la proportion a varié de 350 à 500 kilogrammes de ciment par mètre cube de mortier, suivant le degré de résistance ou d'imperméabilité que comporte chaque partie de la construction.

Toutes les maçonneries de remplissage sont en briques jaunes du pays, et les parements vus sont en pierres de taille de diverses provenances. Seuls, les parements intérieurs des aqueducs font exception : ceux-ci, sauf aux angles, sont en briques revêtues d'un enduit en mortier de ciment de Portland de $0^m,02$ d'épaisseur. Pour les parements des parties inférieures de l'écluse, placées au-dessous des naissances du radier courbe, on a employé comme pierres de taille les calcaires durs des environs de Marquise (Pas-de-Calais); toutefois les seuils et feuillures de bateaux-portes et les plates-bandes extrêmes du radier sont en calcaire dur de Soignies (Belgique). Dans les parties de l'écluse placées au-dessus des naissances du radier courbe, on a employé comme pierres de taille le calcaire dur des environs de Marquise et le granit de Normandie (carrières de Dielette ou des îles Chausey) : le granit pour les musoirs, chardonnets, angles d'enclaves des portes busquées, feuillures de bateaux-portes, encuvements de ponts et tablettes de couronnement.

Les parements vus des pierres de taille de sujétion (musoirs, busces, chardonnets, feuillures de bateaux-portes, encuvements de ponts, tablettes, pierres d'angle), sont bouchardés et ciselés. Les pierres courantes sont simplement smillées à la grosse pointe dans toutes les parties de l'écluse placées au-dessous du niveau moyen de la mer; elles sont bouchardées avec ciselures d'encadrement au-dessus de ce niveau.

Les avant-radiers sont limités par une enceinte de pieux et palplanches en orme, moisés; ils comprennent :

1° Un corroi d'argile (terre grasse de Watten) de 1 mètre d'épaisseur; 2° une couche de $0^m,50$ d'épaisseur de menus matériaux, mélangés avec les déchets provenant du blutage de la chaux de Tournay employée dans le béton; 3° un revêtement supérieur en maçonnerie sèche de libages grossièrement équarris, de $0^m,50$ à $0^m,60$ d'épaisseur, dont les joints sont remplis avec les mêmes déchets de chaux et avec des débris de pierres fortement coincés au marteau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce massif est consolidé et maintenu, dans l'avant-radier d'aval, par trois liernes transversales en orme, boulonnées de 2 en 2 mètres sur des pilots d'orme en grume de 4 mètres, et qui partagent la longueur de l'avant-radier ne quatre parties égales.

Dépense. — La dépense correspondant aux terrassements et aux maçonneries de l'écluse est évaluée à 3 millions; il faut compter, en outre, sur un chiffre de 300,000 francs pour les ponts, les portes, les vannes, les appareils de manœuvre, la maison éclusière et le pavage des abords de l'écluse.

Bateau à vapeur aspirateur, dragueur et porteur.

Régime de la passe d'entrée. — La passe d'entrée du port de Dunkerque est une dépression entretenue artificiellement dans une vaste plage de sable, sur une longueur d'environ 600 mètres au-delà de la tête des jetées.

Les matériaux de cette plage, remués par l'action combinée des vents et des courants, s'avancent de l'Ouest vers l'Est et tendent continuellement à combler la dépression; il se produit en outre, de temps en temps, sous l'influence des vents de Sud-Ouest, des apports brusques de sable : des masses de 30,000 à 40,000^{mc} s'amoncellent ainsi en moins de quinze jours dans la partie Ouest de chenal intérieur et de la passe, rétrécissent et barrent même quelquefois l'entrée du port.

Effet des chasses agissant seules. — Les chasses actuelles, qui comportent une émission de un million de mètres cubes lancés en trois quarts d'heure, attaquent facilement les alluvions déposés dans les parties d'amont de la passe et entretiennent une profondeur de 2 mètres à 2^{m},50 dans les 300 ou 400 premiers mètres à partir de la tête des jetées; mais elles sont incapables d'approfondir les 200 ou 300 derniers mètres, qui s'étendent jusqu'au talus des grands fonds de la rade; dans cette partie d'aval subsiste toujours un bourrelet, sur lequel on ne trouve, en basse mer de vive eau ordinaire, que 1 mètre à 1^{m},30 de profondeur, quand les chasses produisent leur maximum d'effet. Or il faut que cette profondeur soit portée à 3 mètres pour que les grands navires, de 6^{m},50 à 7 mètres de tirant d'eau, puissent entrer au port à marée haute en tout temps.

Combinaison des chasses et des dragages. — On travaille actuellement à doubler la puissance des chasses au moyen de nouveaux réservoirs, et l'on espère qu'ainsi augmentées, elles maintiendront en tout temps la profondeur nécessaire de 3 mètres dans la partie d'amont de la passe, sur 300 ou 400 mètres au delà de la tête des jetées. Quant à la partie d'aval, un bourrelet y subsisterait toujours si les chasses agissaient seules. L'administration des travaux publics a décidé, en conséquence, que cette partie d'aval serait creusée et entretenue par des dragages à la même profondeur que la partie d'amont.

On a entrepris, depuis deux ans, ces dragages dans le but de se rendre compte, par un premier essai, des résultats que peut produire la combinaison de leur effet avec celui des chasses, et d'améliorer en tout cas la situation actuelle.

Le modèle exposé en 1878 représentait au $^{1}/_{15}$ de la vraie grandeur le bateau aspirateur-porteur *Fives-Lille n°* 1, qu'emploie, pour ces dragages de la passe d'entrée, la Compagnie de Fives-Lille, adjudicataire des travaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Difficultés du dragage. — Les fonds qu'il s'agit d'attaquer ne sont souvent que de 0m,50 à 0m,60 au-dessous des basses mers de vive eau; il en résulte que le travail de déblai cesse d'être possible aux environs de la marée basse, pendant une durée qui dépend du tirant d'eau des appareils et du régime des marées.

L'emplacement des déblais à exécuter est d'ailleurs entièrement découvert; l'horizon marin, allant de l'Ouest à l'Est en passant par le Nord, est à peu près égal à l'horizon terrestre; celui-ci ne présente lui-même qu'un pays plat, dont le niveau moyen, derrière les digues et le cordon de dunes basses qui bordent la côte, est inférieur au niveau des hautes mers. Les vents conservent donc toute leur force, de quelque point qu'ils soufflent, et il y a presque toujours une houle très-sensible sur la passe, où la marée produit, en outre, des courants alternatifs dont la vitesse s'élève jusqu'à 1m,75 par seconde.

Enfin, le mouvement de la navigation est très-actif à l'entrée du port (5,000 à 6,000 navires, plus un millier de bateaux de pêche par an); il dure environ cinq heures par marée, et constitue une gêne sérieuse pour le dragage, qui doit avoir lieu sur le trajet même des navires.

Telles sont les conditions dans lesquelles on est placé.

A la suite d'une étude approfondie de toutes ces sujétions, la Compagnie de Fives-Lille, aidée de la collaboration de M. Lavalley, ancien entrepreneur général des travaux de l'isthme de Suez, n'a pas cru pouvoir résoudre le problème avec des dragues à godets, et s'est décidée à créer un matériel nouveau d'engins hydrauliques.

Caractères essentiels de l'appareil. — Les caractères essentiels de l'appareil adopté sont les suivants :

1° Le bateau extracteur est un navire à hélice, qui tient bien la mer et porte lui-même ses déblais à la décharge dans des puits à soupapes : on n'a donc pas besoin de chalands-porteurs, qui encombreraient l'entrée du port et qui d'ailleurs, à raison des difficultés de l'accostage, ne pourraient fonctionner sous une houle un peu forte.

2° Le déblai est amené dans le bateau par simple aspiration d'un mélange d'eau et de sable; l'appareil peut, en conséquence, travailler en se tenant dans le courant sur une seule ancre d'avant, aidée, pour tenir contre les vents de travers, d'une petite ancre à jet à l'arrière; il embarrasse aussi peu que possible l'entrée du port par ses amarres; il peut quitter et reprendre son travail en quelques minutes.

3° La partie des appareils extracteurs qui opère sur le fond est reliée au navire par des organes absolument flexibles, et ne participe en rien aux mouvements de roulis et de tangage auxquels le navire obéit librement sans choc.

Dispositions d'ensemble. — Le bateau présente trois parties distinctes :

1° A l'avant se trouvent le guindeau à vapeur, le logement de l'équipage, les magasins d'approvisionnement pour les machines, l'outillage et l'armement.

2° Au centre sont les puits destinés à recevoir les déblais. Ces puits, au nombre de deux, peuvent contenir ensemble 250mc de sable, et présentent, dans le fond, des clapets de vidange. Une poutre longitudinale, fixée au-dessus de ces puits, supporte, par des poulies de renvoi, les chaînes de retenue des clapets, qui sont manœuvrées à bras d'homme au moyen de treuils placés aux deux extrémités de la poutre.

3° A l'arrière sont disposés les appareils de propulsion du navire et d'extraction des déblais, comprenant :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

a. Une machine à vapeur, qui actionne, à volonté, soit l'hélice, soit les organes d'extraction;

b. L'hélice du navire;

c. Deux élindes, suspendues de chaque côté, à l'arrière et le long des flancs du bateau. Une élinde se compose d'un couple de tuyaux, partie en tôle, partie en caoutchouc; dans chaque couple, l'un des tuyaux, dit « tuyau de montée », sert à conduire dans le bateau le mélange d'eau et de sable aspiré par l'appareil; à cet effet, il aboutit, par son extrémité supérieure, à une pompe centrifuge installée au-dessus de la flottaison dans l'intérieur du bateau; cette pompe est amorcée, puis aidée dans son action d'aspiration par un jet d'eau sous pression, lancé de bas en haut au pied du tuyau de montée par une tuyère annulaire, dite « injecteur », à laquelle l'eau sous pression est amenée par le second tuyau de l'élinde;

d. Deux pompes centrifuges, dites « de pression », qui refoulent l'eau dans les injecteurs;

e. Deux pompes centrifuges, dites « d'aspiration », placées aux extrémités supérieures des deux tuyaux de montée;

f. Deux treuils mus par une petite machine à vapeur spéciale logée dans la chambre d'arrière, pour manœuvrer et relever hors de l'eau les élindes.

Dimensions principales. — Les dimensions principales du bateau sont les suivantes :

Longueur au pont	45m,00
Largeur à la flottaison	7 ,70
Creux à la ligne droite du pont	3 ,75
Longueur des puits à sable	18 ,00
Largeur des puits en haut	5 ,50
Largeur des puits en bas	3 ,00
Tirant d'eau à l'arrière, le navire étant léger	2 ,60
Tirant d'eau maximum en charge	3 ,10

Coque. — La coque, entièrement en fer, est solidement établie; elle ne présente d'ailleurs aucune disposition nouvelle, non plus que les puits à clapets.

Machine motrice. — La grande machine motrice est du système Compound, à condensation par surface et changement de marche; elle est verticale et du type dit « à pilon ».

En marche normale, la pression absolue de la vapeur dans la chaudière étant de 6 atmosphères, la machine fait 100 tours par minute, développe sur les pistons un travail de 150 chevaux de 75 kilogrammètres, et consomme 150 kilogrammes de houille par heure.

La machine est munie de deux embrayages, dont l'un, sur l'avant, commande les appareils d'extraction des déblais, et l'autre, sur l'arrière, commande l'arbre de l'hélice, qui fait le prolongement de l'arbre de la machine.

Pompes de pression et d'aspiration pour l'extraction des déblais. — Les deux systèmes de pompes centrifuges « de pression » et « d'aspiration » reçoivent leur mouvement de la machine par l'intermédiaire d'engrenages et de courroies.

Les pompes de pression prennent l'eau à la mer et la refoulent dans un réservoir à air; de là elle se rend, par des tuyaux coudés en cuivre, dans le tuyau de refoulement de chaque élinde, qui la conduit jusqu'à l'injecteur correspondant. L'appareil est actuellement disposé de manière à lancer l'eau sous une pression de 2 atmosphères $^1/_2$ à 3 atmosphères; mais il serait possible qu'on fût amené à diminuer la pression et à augmenter le volume de l'eau injectée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'axe des pompes d'aspiration est à 0m,85 au-dessus de la flottaison lége. Chacune de ces pompes est reliée à l'élinde à laquelle elle correspond par une tubulure en fonte, boulonnée sur le bordé du navire, à 13m,50 de l'arrière. Entre cette tubulure et la pompe se trouve, à l'intérieur du navire, un bout de tuyau droit muni d'un regard et d'une grille transversale qui ne laisse passer que le sable; on recueille souvent, devant cette grille, des morceaux de minerais, de pierres, etc., pesant plus de 2 kilogrammes.

Le mélange d'eau et de sable, en sortant des pompes d'aspiration, est refoulé dans des couloirs cloisonnés qui le distribuent uniformément dans les puits.

Le débit moyen, à la sortie des couloirs, est de 25me de mélange par minute.

Élindes. — Les tuyaux accouplés qui constituent chaque élinde sont composés comme suit :

1° Tuyaux en caoutchouc servant d'articulation, près de la tubulure d'attache à la coque.	2m,00
2° Tuyaux en tôle galvanisée.	7 ,00
3° Tuyaux en caoutchouc reliant les tuyaux en tôle à l'injecteur et permettant à la tubulure d'aspiration qui termine l'élinde de rester en contact avec le sol, malgré les oscillations du bateau.	1 ,50
LONGUEUR TOTALE.	10 m,50

Cette longueur, augmentée de celle de l'injecteur et de la tubulure d'aspiration, permet de draguer dans des fonds de 8m,50.

Le tuyau de montée a 0m,300 de diamètre, et le tuyau de refoulement 0m,200.

Injecteurs. — L'injecteur établi à l'extrémité inférieure de chaque élinde est un appareil analogue à celui qui est employé depuis quelque temps pour les fonçages de caissons à l'air comprimé et qui a été appliqué au pont Saint-Louis sur le Mississipi. Il est constitué par une boîte ou enveloppe en fonte contenant la tuyère d'injection en bronze.

La boîte présente à sa partie supérieure deux orifices : l'un, de 0m,200 de diamètre, correspond au tuyau de refoulement; l'autre, de 0m,300, correspond au tuyau de montée. L'orifice de refoulement sert d'entrée à une sorte de chambre courbe, de forme méplate, qui tourne autour de l'axe prolongé du tuyau de montée, en conservant autour de cet axe un vide central cylindrique de 0m,220 de diamètre. La chambre courbe communique avec ce vide intérieur par une tuyère annulaire dirigée vers le tuyau de montée. L'eau en pression s'échappe avec une grande vitesse par le mince orifice annulaire de la tuyère; elle produit ainsi, par un effet d'entraînement de bas en haut, l'aspiration du déblai dans une tubulure courbe qui continue inférieurement le vide central de l'injecteur et termine l'élinde en reposant sur le sol.

Cette tubulure, dite « tubulure d'aspiration » ou « aspirateur », est en fonte et a 0m,230 de diamètre intérieur; elle est courbe à l'extrémité, de manière que sa tranche pose bien sur le fond, quelle que soit l'inclinaison que donne à l'élinde la hauteur d'eau dans laquelle on travaille.

Tuyaux à jet pour la désagrégation des déblais. — L'aspirateur est muni sur son pourtour de trois petits tuyaux venus de fonte, ayant 0m,010 de diamètre intérieur et communiquant avec la chambre extérieure de l'injecteur, qui leur fournit ainsi de l'eau sous pression. Ces tuyaux sortent, par trois points équidistants, de la tranche de l'aspirateur en contact avec le sol, et ils la dé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

passent de $0^m,06$. Les jets d'eau, lancés avec vitesse par ces tuyaux, désagrégent le sable et le mettent en suspension, ce qui rend l'aspiration plus facile.

Équipage. — L'équipage du *Fives-Lille* comprend un capitaine, un chef dragueur, deux mécaniciens, quatre chauffeurs, six matelots, un mousse.

A terre, un mécanicien travaille à l'entretien courant du matériel et un charbonnier prépare l'embarquement du charbon.

Un agent supérieur de la compagnie adjudicataire dirige sur place l ensemble des opérations, tant au point de vue technique qu'au point de vue de l'administration et de la comptabilité.

L'équipage est organisé de manière à travailler aux marées de jour et de nuit, quand le temps le permet. Si l'on ne devait opérer qu'aux marées de jour, on pourrait supprimer un mécanicien, deux chauffeurs et deux matelots.

Mode de fonctionnement. — Le bateau, arrivé sur la partie de la passe où il doit fonctionner, mouille son grappin d'arrière, puis son ancre d'avant, raidit ses amarres, mouille ses élindes et commence à pomper. Le mélange d'eau et de sable remplit bientôt les puits. A partir de ce moment, l'eau se déverse pardessus le bord et retombe à la mer en cascade; le déblai se dépose dans les puits par décantation, sauf une certaine quantité qui reste en suspension dans l'eau déversée et retourne à la mer. Cette quantité perdue est relativement faible lorsque la mer est calme et que le fond est de sable pur; elle est importante quand le roulis ou le tanguage est violent ou que le fond est vaseux; la vase, en effet, ne reste pas dans les puits, et l'on ne recueille que le sable qui y était mêlé.

La succion exercée sur le fond par les élindes produit rapidement un entonnoir, dont les talus, en s'éboulant brusquement, pourraient ensevelir les aspirateurs si l'on descendait trop bas. Aussi, quand la profondeur de l'entonnoir au-dessous des fonds environnants atteint 2 mètres, on relève les aspirateurs sans cesser de pomper, on se déplace d'une vingtaine de mètres, puis on rabaisse les aspirateurs sur le fond, et l'on commence un nouvel entonnoir. La durée de chaque station est, en moyenne, d'une heure. On doit d'ailleurs, pendant cet intervalle, relever de temps en temps les aspirateurs, pour qu'ils ne « s'ensouillent » pas, puis les rabaisser immédiatement.

Quand les puits sont remplis autant que le permet l'état de la mer, on remonte les élindes hors de l'eau, on lève les ancres, et l'on se met en route pour le lieu de déchargement, situé à une distance de 2 milles. Le navire chargé a une vitesse moyenne de 6 nœuds; à vide, il peut filer 8 nœuds.

Les durées des diverses opérations sont les suivantes :

Pour appareiller, sortir du port et arriver sur la passe. . .	$0^h,25^m$
Mouiller les ancres et se remettre au travail	0 ,10
Remplir les puits (de 2 à 5 heures, suivant l'état de la mer et la nature du fond), en moyenne.	3 ,00
Lever les élindes et les ancres et partir à la décharge. . . .	0 ,20
Faire route jusqu'à la décharge.	0 ,20
Vider les puits, de 2 minutes à.	0 ,10
Relever les clapets et revenir sur la passe, de 25 minutes à	0 ,35
TOTAL.	5 ,00

Le bateau, étant sorti à mi-marée montante, revient donc en moyenne une heure avant la mi-marée descendante. En vive eau, il rentre directement au port, parce que, dans l'état actuel de la passe, il échouerait en continuant à travailler; il ne se remplit ainsi qu'une fois par marée. En morte eau, quand

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la mer baisse très-peu, il recommence à fonctionner en revenant de la décharge, et peut ainsi se remplir deux fois et demie ou trois fois en deux marées. A mesure que la profondeur de la passe augmentera, ce dernier cas deviendra de plus en plus fréquent.

Dépenses. — Le prix payé aux entrepreneurs pour l'extraction et le transport d'un mètre cube de déblais est de 2f,89. Il pourra être notablement réduit dans les marchés ultérieurs.

L'appareil actuel, compris tous frais d'études, d'essais, de modifications, etc., a coûté environ 550,000 francs. Un appareil semblable reviendrait aujourd'hui tout au plus à 350,000 francs.

Port du Havre. — Agrandissements de l'avant-port du côté Sud.

Objet des travaux. — L'agrandissement de l'avant-port a pour but de faciliter les évolutions des grands navires et de créer, en dehors des lignes d'accès aux écluses, un nouvel avant-port où se tiendront les remorqueurs et les relâcheurs.

Au moment de la mer montante, le courant de flot est perpendiculaire aux jetées du port : il conserve cette direction jusqu'à ce que l'embouchure de la Seine se trouve remplie ; à ce moment, il se produit dans la partie Nord de la baie un contre-courant nommé « verhaule ». Ce courant, à l'ouvert des jetées, porte au N. 65° O. ; il commence à se faire sentir quarante minutes avant l'heure de la pleine mer, et persiste pendant deux heures après le plein ; son intensité est de 2k,5 pour une marée dont le coefficient est 100.

A l'entrée, les navires sont donc soumis à l'action de la verhaule, qui les contraint d'attaquer le port par le S. O. ; mais, quand ils ont l'avant engagé dans le chenal et masqué par la jetée du Sud, le courant n'agit plus que sur l'arrière, tandis que l'avant est pris par le courant réfléchi sur la jetée du Nord. Les navires sont alors soumis à un couple qui tend à les faire pivoter sur eux-mêmes et à les jeter sur les écluses de chasse.

Ce danger évité, et les bâtiments se trouvant à peu près parallèles aux deux jetées, ils doivent revenir au S. E. pour gagner l'écluse des Transatlantiques. Il leur faut décrire un arc de cercle de 400 mètres de rayon ; cette manœuvre est d'autant plus difficile que les navires, n'ayant que peu de vitesse et peu d'eau sous le quille, obéissent mal au gouvernail ; ils sont, de plus, rejetés au Nord par le refoulement de l'eau comprise entre eux et le quai Courbe. Aussi parfois de grands steamers ont-ils échoué sur le talus en terre qui se trouve en avant du grand quai.

Lorsque l'avant-port aura été élargi, les difficultés actuelles n'existeront plus, et les navires pourront décrire un arc de cercle de plus de 900 mètres de rayon. D'autre part, on ne sera plus forcé d'interdire les mouvements de la navigation pendant l'entrée ou la sortie des grands bâtiments.

La création d'un nouvel avant-port donnera aux relâcheurs ou aux remorqueurs un lieu de stationnement qui leur a manqué jusqu'à présent. Ces bateaux, dont le nombre est souvent assez grand (on en a vu parfois plus de quatre-vingts ensemble), n'entraveront plus la marche des navires entrant dans les bassins.

Dispositions générales. — Le quai Courbe et la jetée du Sud, jusqu'au point de raccordement avec le mur d'enceinte, seront démolis. Le bassin de la Floride sera divisé par une traverse en deux parties. La plus grande, celle de l'Ouest, sera réunie à l'avant-port ; une passe de 80 mètres donnera accès dans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ce nouvel avant-port, qui sera séparé de l'ancien par un môle en maçonnerie. La jetée du Sud, rétablie en arrière de sa position actuelle, se raccordera avec le mur de quai construit au Sud de l'ancien bassin de la Floride. Dans l'espace compris entre le mur d'enceinte, la nouvelle jetée du Sud et les fortifications qui dominent l'entrée du port, on construira un grand brise-lames et une rampe pour descendre sur le poulier du Sud.

La largeur de l'ancien avant-port, dans sa partie centrale, sera portée de 90 à 185 mètres ; l'annexe aura environ 290 mètres de longueur sur 100 mètres de largeur. Le môle intermédiaire aura 345 mètres de longueur et une largeur variant de 26 à 63 mètres ; il sera terminé par un musoir en maçonnerie. L'estacade du brise-lames aura 105 mètres de longueur.

La surface de l'avant-port sera portée de 11 hectares 21 ares à 21 hectares 34 ares. Le développement des quais utilisables pour les navires atteindra 1,790 mètres, et la surface des terre-pleins sera de 30,600^{mq}.

Mode d'exécution. — Pour les déblais généraux, jusqu'à la cote 0^{m},15 (19 mètres), on a pu s'abriter derrière des batardeaux, comme aussi pour les murs de quai du môle et de l'annexe et la culée Est du brise-lames. Dans ce but, on a commencé par construire la traverse en terre qui divise en deux le bassin de la Floride et par fermer les écluses de chasse au moyen de murs en maçonnerie.

Le complément du brise-lames, quelques terrassements, la démolition du quai Courbe, des écluses de chasse de la Floride et des brise-lames d'Harcourt et Vidame s'exécutent en prise à la mer. Le creusement de la surface annexée à l'avant-port s'opérera par dragage.

Les déblais ont été faits dans d'excellentes conditions, après drainage complet, au moyen d'appareils d'épuisement très-puissants. Le terrain était formé, à la partie supérieure, de sable et galets provenant de l'ancienne plage, puis au-dessous, de sable plus ou moins argileux traversés par des bancs de tourbe. Ces sables argileux, d'épaisseur très-variable, reposaient sur une couche de galets que l'on trouve sous toute la ville du Havre, à des profondeurs différentes. Dans le chantier, l'altitude de cette couche a varié de la cote — 2^{m},40 (21^{m},55) à la cote — 14^{m},10 (33^{m},25). Au Sud, le sable argileux disparaissait en certains endroits, il était replmacé par un banc de sable mouvant, fluant comme de l'eau, et dont l'épaisseur était comprise entre 1^{m},10 et 2^{m},80.

Les murs du môle et le mur Est de l'annexe ont été fondés en fouille blindée. Les terrassements généraux ayant atteint la cote 3^{m},15 (16 mètres), on a ouvert, sur l'emplacement du mur, une tranchée dont les parois, à peu près verticales, étaient maintenues au moyen d'un revêtement en madriers, avec fermes en charpentes composées d'étais horizontaux et de montants verticaux. Dès qu'on fut parvenu en moyenne à la cote — 3^{m},10 (22^{m},25), on a battu les pieux et construit le mur. Les bois employés à l'étayement des fouilles étaient enlevés au fur et à mesure de l'avancement des maçonneries : leur cube était d'environ 2^{m},85 par mètre courant.

Les ouvrages longeant les fortifications et la jetée du Sud n'ont pu être fondés d'après le même système, par suite de la présence des sables mouvants; il a fallu recourir à l'emploi de cadres ou puits.

Le déblai ayant été amené à la cote 3^{m},15 (16 mètres), on battait deux lignes de pieux, l'une en avant, l'autre en arrière de l'emplacement que devait occuper le mur ; les pieux étaient distants de 1^{m},50 dans chaque file. Des madriers cloués contre eux maintenaient le terrain en place pendant la fouille. Le déblai était arrêté un peu au-dessus du niveau des sables mouvants, puis on plaçait au fond de la fouille des cadres en charpente de dimensions variables en plan, mais de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

structure uniforme. Ces cadres étaient formés de trois cours de madriers superposés ; ils avaient $0^m,24$ de hauteur et étaient taillés en biseau ; leur largeur était de $0^m,30$ à la partie inférieure et de $0^m,60$ à la partie supérieure. Au-dessus de cette charpente, on montait une couronne en maçonnerie de briques. Chaque rang de briques était placé à $0^m,05$ en saillie sur le précédent, jusqu'à ce que le puits eût atteint son épaisseur normale.

Les mortiers ayant acquis une résistance suffisante, des ouvriers déblayaient à l'intérieur du cadre en même temps que l'on épuisait. Le puits s'enfonçait, et, lorsqu'il était arrivé au fond de la fouille, on surélevait la couronne de maçonnerie. L'opération était ainsi poursuivie jusqu'à ce que le dessous du cadre fût descendu à la profondeur qu'il fallait atteindre. Le puits était alors rempli en béton.

Afin d'arrêter les sables en arrière des murs de quai, il était nécessaire de bétonner également l'intervalle d'environ $0^m,80$ laissé entre les cadres. Pour y arriver, on enfonçait, en avant et en arrière, des panneaux de charpente et l'on déblayait dans l'espace compris entre ces panneaux et les cadres. En certains endroits, le terrain était si fluant qu'il a fallu calfater les joints des panneaux.

Les cadres mesuraient en général 6 mètres sur 6 ; ceux de la culée Est ont eu jusqu'à 6 mètres sur 8, tandis que ceux du seuil n'avaient que $3^m,70$ sur $5^m,70$. La largeur de la couronne était généralement de $1^m,03$, mais elle a été portée à $1^m,14$ pour les cadres de la culée Est du brise-lames, et réduite à $0^m,80$ pour ceux du seuil. Dans la partie courbe de la jetée, les cadres ont dû être déformés : les deux faces latérales étaient dirigées suivant les rayons de la courbe, et la face antérieure se composait de deux parties droites faisant un angle très-ouvert.

Antérieurement au 8 octobre 1876, jour où l'eau a été introduite dans le chantier, les épuisements s'effectuaient au moyen de trois appareils comprenant chacun deux locomobiles et deux pompes. La construction d'une partie des murs du môle a nécessité un relais composé d'une machine et d'une pompe. En outre, une locomobile et une pompe ont été spécialement employées aux cadres. Les locomobiles, de la force nominale de 18 chevaux, avaient développé plus de 30 chevaux aux essais.

Dans les conditions normales, quatre locomobiles et quatre pompes étaient constamment en marche ; elles ne pouvaient être arrêtées qu'une demi-heure environ à chaque basse mer. Les autres engins servaient de rechange ; mais il fallait parfois une ou deux machines de renfort, notamment pendant les grandes marées de vives eaux.

Des dispositions avaient été prises pour réduire autant que possible, la hauteur d'ascension des eaux d'épuisement ; cette hauteur a varié de 5 mètres à $13^m,10$; mais le plus souvent, elle était de 8 à 10 mètres.

Port de Saint-Nazaire. — Nouveau quai Ouest du bassin à flot de Penhouët.

Le nouveau bassin de Penhouët, actuellement en construction au Nord du bassin actuel de Saint-Nazaire, sera l'un des plus vastes du monde. Il a la forme générale d'un rectangle de 1,100 mètres de longueur sur 230 mètres de largeur ; le côté de l'Est porte un redan en saillie, de 300 mètres de long sur 70 mètres de large, dont l'angle Sud-Est est remplacé par un pan coupé de 400 mètres de longueur. La surface totale entre les arêtes des murs de quai

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sera de 23 hectares 1/2, tandis que la superficie du bassin actuel n'est que de 10 hectares. L'avant-projet général fut approuvé dès l'année 1860, trois ans après l'ouverture du bassin actuel. On commença le creusement en 1869 ; mais le projet définitif des murs de quai ne date que de l'année 1875, et les travaux n'ont été poussés activement que depuis la fin de cette même année. On y consacre par an 2 à 3 millions, dont le département de la Loire-Inférieure fait l'avance à l'État ; selon toutes les prévisions, les travaux seront achevés en 1880.

La situation topographique du terrain a nécessité ces grandes dimensions. L'espace sur lequel s'étend le bassin de Penhouët est traversé en diagonale par une ancienne vallée rocheuse de granit et gneiss, très-profonde et aujourd'hui complétement remplie par les alluvions argilo-sableuses de la Loire. Il fallait établir les deux côtés Nord et Sud sur les deux rives extrêmes de cette vallée. En se rapprochant du thalweg dans les deux sens, on est obligé de descendre les fondations des murs de quai, le long du plan très-incliné des coteaux, jusqu'à 15 ou 18 mètres au-dessous du fond du bassin. Dans les environs du thalweg même, il faudrait atteindre en certains points 30 mètres au-dessous du niveau du bassin ; aussi l'on abandonne en cette partie les quais verticaux de maçonnerie, et on les remplace par des estacades en bois sur pilotis destinées aux marchandises légères.

Ainsi le côté Ouest ou bassin de Penhouët se divise en trois sections distinctes : les deux extrêmes ont 356 mètres de longueur chacune avec quais verticaux de maçonnerie ; elles encadrent une section de 388 mètres de longueur, desservie par six estacades en bois de 12 mètres de largeur chacune.

La section à laquelle se rapportent les dessins exposés est la section Sud de ce quai Ouest ; elle est en maçonnerie et correspond à la rive droite de la vallée rocheuse.

Les fondations ne présentent aucune particularité notable tant que le rocher se rencontre à moins de 4 mètres au-dessous du fond du bassin. Dans ces limites on se contente d'une fouille directe, et la seule difficulté consiste dans l'appréciation du talus nécessaire au déblai des alluvions extérieures.

On a reconnu que, dans ces conditions de profondeur (10 à 14 mètres) et de fixité du pied des talus, il convient d'adopter pour le déblai de vase une déclivité variant de 2 à 3 de base pour 1 de hauteur : on le divise en gradins horizontaux de de 1 mètre de hauteur, ce qui facilite l'accès des matériaux.

Dès que la fouille descend à plus de 4 mètres au-dessous du fond du bassin les talus de déblais sont si peu stables, pendant les périodes humides de l'année, qu'il faut admettre un système de fondation à l'aide de puits coulés en place dans toute la profondeur de l'alluvion ; ces puits forment, lorsqu'ils sont calés et remplis, des piles solides qu'on réunit ensuite par des voûtes en plein cintre de 6 mètres de diamètre ; c'est sur ces voûtes que sont établis les quais. Le havage de tous ces puits s'exécute à l'air libre et ne présente aucune difficulté sérieuse tant que le massif de maçonnerie se meut dans la vase ; mais il n'en est plus de même lorsqu'il arrive à toucher au rocher par un de ses angles ou par un de ses côtés. La déclivité du rocher étant souvent à 2 ou 3 de base pour 1 de hauteur, il se produit un porte-à-faux si considérable qu'il est impossible de soutenir définitivement le puits ou de circonscrire par un blindage le prisme de vase situé au-dessous. Les premiers puits au Nord avaient une section de 11 mètres sur 5, avec un vide intérieur de 5 mètres sur 2. La pente du rocher se trouvait dans le sens de leur longueur ; il en résultait que, lorsque l'un d'eux atteignait le rocher par son côté Ouest, il avait encore 6 mètres de vase sous son côté Est. On n'a pas hésité à les faire descendre dans le roc même dérasé en encastrement régulier, et c'est dans cette opération fort délicate que réside la nouveauté du travail ; en voici la description sommaire :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Lorsque le puits touche au rocher par l'un de ses côtés extérieurs (voir la série des dessins exposés représentant la suite des phases de l'opération), on bat de gros pieux de $0^m,40$ à $1^m,50$ ou deux mètres au-dessus de la plate-forme inférieure du massif, pour les ramener, à l'aide de vérins hydrauliques, sous un fort palâtre encastré dans la maçonnerie. On fouille alors la vase sur $1^m,50$ de profondeur au-dessous du puits, et l'on attaque le rocher qui se découvre à la pioche ou à la mine, de manière à enlever un prisme triangulaire dont la face inférieure soit horizontale. A mesure qu'on avance, on dispose de forts billots sous le puits, afin de le soutenir ; puis, lorsque le prisme de roc est enlevé, on perce un trou de tarière dans tous les billots jusqu'à la moitié de leur épaisseur; on place dans chacun de ces trous horizontaux une cartouche de 50 grammes de dynamite avec une mêche à poudre ordinaire de 1 mètre de longueur : on allume toutes les mêches, on remonte, et, par l'effet de l'explosion, tous les pieux éclatent et s'écrasent. Le massif de maçonnerie descend alors en brisant soit les gros pieux battus, soit leur palâtre qu'on a eu soin de ne pas pétarder, pour obtenir une résistance du côté de la vase. Cette résistance et le matelas de vase qui s'écrase de côté déterminent une descente très-régulière et verticale. On recommence alors l'opération d'une façon analogue à $1^m,50$ plus bas, en détachant cette fois un prisme trapézoïdal de rocher, et, de chute en chute, on arrive à loger le massif dans son encastrement rocheux dont la base est horizontale et la surface assez grande pour qu'on n'ait pas à craindre le déversement, et qu'on puisse effectuer à vif le déblai des vases restantes, sans avoir trop à compter avec le siphonnement des vases extérieures.

On a fait descendre ainsi de 4 mètres dans le rocher, en trois opérations successives, le grand puits-culée, qui mesure 9 mètres sur 12 de côté et qui pesait 2 millions de kilogrammes ; il était supporté à sa dernière descente par 25 étais de $0^m,45$ d'équarrissage, et vingt mineurs travaillaient par-dessous avec la plus grande sécurité.

Pour rendre le fonçage plus économique et plus facile, on a été cependant amené à diviser les puits de fondation en deux puits échelonnés l'un derrière l'autre lorsque les sondages indiquaient une trop forte inclinaison de rocher. De cette façon, le nombre des descentes est notablement diminué, le cube de rocher à extraire l'est encore davantage, et il ne reste plus, une fois les deux puits calés en sous-œuvre, qu'à déblayer l'entre-deux à vif pour le remplir de maçonnerie. Mais ce système a des inconvénients : d'abord les puits sont beaucoup moins lourds, ils s'enfoncent moins bien, à cause du frottement latéral des vases, et souvent il faut les charger de 80 ou 100 tonneaux de gueuses de fonte pour les mettre en mouvement ; de plus, le puits d'arrière, poussé par la différence de pression des déblais, est entraîné vers le puits d'avant, de telle façon que le déblai de l'entre-deux devient parfois difficile. Les deux puits étant de 5 mètres sur 5 mètres, et l'intervalle entre l'un et l'autre de 2 mètres, il arrive presque toujours qu'ils se rapprochent d'au moins un mètre en pénétrant de 10 à 15 mètres dans la vase.

On a employé avec avantage, pour extraire simultanément les déblais des petits puits conjugués et manœuvrer les pompes d'épuisement, un treuil à vapeur roulant, dont tous les mouvements sont obtenus à l'aide de câbles en fils de fer et chanvre tressés.

Malgré les difficultés exceptionnelles, malgré de fréquents éboulements survenus dans les talus des déblais extérieurs, malgré le siphonnement continuel des vases inférieures par l'intérieur des puits, le travail s'est exécuté dans des conditions assez économiques. La dépense du mètre cube de maçonnerie des piles, tous frais compris et les déblais étant transportés à 1 kilomètre de distance, se décompose ainsi qu'il suit :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Maçonnerie.	Matériaux.	Moellons ordinaires avec mortier de ciment à 400k pour le puits, et mortier avec un tiers de chaux hydraulique pour les remplissages.	19f00
		Façon, toutes sujétions et pertes de temps comprises.	10,00
Machines élévatoires des déblais			2,50
Main-d'œuvre des déblais (il faut extraire environ trois fois le cube de la pile, à cause des rentrées et des siphonnements)			12,00
Transport des déblais à 1 kilomètre			4,50
Épuisements			2,50
Bois pour les plate-formes, les pieux et les étais, etc.			2,00
Service général			1,50
Total du pris du mètre cube			54,00

Ce prix total est notablement inférieur à celui de la plupart des fondations tubulaires. On a déjà construit directement en régie environ 30,000mc ce qui représente à peu près les trois quarts des prévisions.

L'avant-projet a été étudié par M. Leferme, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. Chatoney, alors ingénieur en chef,

Les projets définitif ont été dressés et les travaux dirigés par M. Pocard-Kerviller, ingénieur ordinaire, M. de Carcaradec remplissant les fonctions d'ingénieur en chef.

M. David a participé à cet ouvrage comme conducteur principal.

Les entrepreneurs étaient : M. Bord, pour les maçonneries ; MM. Buette et Béchu, ingénieurs civils, pour les appareils d'exécution ; MM. Hermann-Lachapelle, pour la construction des machines.

Portes métalliques de l'écluse de 25 mètres. — Elle sert aux communications entre les deux bassins à flot. La paire de portes à deux vantaux busqués de l'écluse de 25 mètres qui doit établir la communication entre les deux bassins à flot a été projetée en 1869 et construite de 1873 à 1874 par la Compagnie des forges et chantiers de l'Océan.

Un modèle métallique d'un vantail complet, réduit au dixième de la grandeur d'exécution, était exposé avec l'amorce de l'enclave et du busc, exécuté en bois.

La coupe horizontale affecte la forme de plan-convexe que possèdent déjà les portes en fer et bois de la grande écluse d'entrée du bassin à flot de Saint-Nazaire, forme se rapprochant, autant que la pratique le permet, de la section d'égale résistance qui convient à une poutre également chargée sur toute sa longueur et appuyée à ses deux extrémités. D'autre part, le renflement au milieu empêche la porte de fléchir sous la compression longitudinale que produit la butée des deux vantaux. La courbure de la face convexe a même centre que le cercle circonscrit au busc.

D'après cela, les dimensions générales du vantail sont les suivantes :

Face plane d'élévation.	Hauteur	10m,203
	Largeur	13 ,697
Plan de la porte.	Epaisseur aux extrémités du vantail	0 ,600
	Flèche totale au milieu du vantail	1 ,623
	Rayon du cercle de la face courbe	24 ,050

Le mode de construction a été combiné d'après les recherches expérimentales de feu M. l'inspecteur général Chevallier et les calculs de M. Lavoinne ; on a adopté les entretoises également espacées, à condition de tenir compte de la résistance propre des pièces verticales, poteaux montants et bordé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Conformément aux principes posés par ces deux ingénieurs, on a d'abord cherché à réduire le plus possible le nombre des entretoises, tout en restant dans des conditions pratiques, c'est-à-dire en n'employant pour la composition de ces entretoises que des tôles et des cornières de fabrication courante. On s'est arrêté à un chiffre de douze entretoises distantes d'axe en axe de $0^m,897$.

Des considérations analogues ont fait adopter cinq poteaux montants : un au milieu suivant l'axe transversal du vantail, deux autres à chaque quart de la longueur en plan ; les deux derniers sont à une faible distance ($0^m,66$) des faces butante et buscante. Ces deux derniers peuvent être considérés comme des dépendances des systèmes tubulaires qui constituent les poteaux busqués et tourillons : de sorte qu'en se plaçant à ce point de vue, les portes ne présentent outre les poteaux busqués et tourillons, que trois poteaux montants.

Les entretoises, comme les poteaux montants, comprennent : une âme de $0^m,015$, dont le double T est formé d'une bande de $0^m,335 \times 8^m,015$; un bordé de $0^m,010$, et de cornières de $\frac{0,110 \times 0.160}{0,016\ 1/2}$. Leur moment d'inertie est de 0,0253.

Les formules de M. Lavoinne ont été partout exactement appliquées pour les calculs de résistance des pièces et la justification de leurs dimensions. Le coefficient de raideur général du vantail a été fixé à 2,13, et l'on a trouvé que, ni dans les entretoises, ni dans les poteaux montants, le fer ne devait travailler à plus de 4 kilogrammes par millimètre carré.

Le bordé, de $0^m,010$, ne travaille qu'à 1/3 de kilogramme par millimètre carré : en adoptant cette épaisseur, on a tenu compte de l'usure par la rouille. On s'est interdit de galvaniser les tôles, dans la crainte que cette opération n'en modifiât la qualité. Le doublage en zinc n'a pas été non plus employé, les essais de ce procédé n'ayant pas paru en établir suffisamment l'avantage.

Pour la conservation des tôles, on n'a adopté que la peinture, et les compartiments intérieurs des vantaux sont disposés de manière qu'on puisse en gratter et repeindre les parois toutes les fois qu'il sera nécessaire.

Au point de vue de la stabilité, la quatrième entretoise forme pont étanche, en sorte que l'eau joue librement pour mettre la porte à l'abri de toute chance de soulèvement lors des marées. En mortes eaux, le poids de chaque vantail, y compris la tranche d'eau introduite dans le compartiment supérieur, est de 140 tonneaux ; l'effort de soulèvement est de 126 tonneaux. Reste, pour le poids du vantail immergé, 14 tonneaux ; aux plus basses mortes eaux, il est de 15 tonneaux ; il ne descend jamais au-dessous de 10 tonneaux en vives eaux.

Pour rendre la fermeture plus exacte, on a appliqué contre le busc une bande de caoutchouc, et une expérience de trois ans a prouvé que l'écluse peut servir provisoirement de forme de radoub. Les manœuvres se font à l'aide de treuils à main.

La dépense totale des deux vantaux, avec leurs accessoires, a été de 300,000 francs.

Les projets ont été dressés par M. Chatoney, alors ingénieur en chef, et par M. Revol, ingénieur ordinaire.

Les travaux ont été exécutés, sous la direction de M. Leferme, ingénieur en chef, par M. Revol, ingénieur ordinaire, avec le concours de M. Butat, conducteur des Ponts et Chaussées.

La Compagnie des forges et chantiers de l'Océan était adjudicataire de la partie métallique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Bassin à flot du port de Bordeaux.

Forme de radoub et porte d'écluse — La création du bassin à flot du port de Bordeaux a été décidée en 1867, en vue d'agrandir ce port, dont la capacité naturelle était devenue insuffisante pour desservir le mouvement maritime et commercial qui s'y développe.

Les premiers travaux projetés comprenaient, outre le bassin proprement dit, le chenal et les écluses qui doivent le mettre en communication avec la Garonne et un réservoir destiné à emmagasiner l'eau nécessaire pour le service de l'alimentation.

Cet ensemble d'ouvrages a été complété par une forme de radoub dont la construction a été résolue en 1873.

L'exécution des travaux, commencée en 1869, fut interrompue pendant la guerre de 1870-1871; elle a été reprise en 1872, et touche aujourd'hui à son achèvement.

Le bassin à flot sera livré au commerce dans le courant de 1878.

Description sommaire des ouvrages. — Le bassin à flot de Bordeaux est situé sur la rive gauche de la Garonne, dans le quartier de Bacalan, entre le magasin aux vivres de la marine et la manufacture de porcelaines, à 2,500 mètres de distance de la Bourse. Il s'étend, dans une direction à peu près perpendiculaire au fleuve, à 750 mètres du quai de Bacalan, et occupe, avec ses dépendances, une superficie de 52 hectares.

Altitudes. — Les cotes d'altitude qui vont suivre sont rapportées à l'étiage de la Garonne dans le port de Bordeaux; le plan de comparaison répond au zéro de l'échelle placée à la deuxième pile de rive droite du pont de pierre. Les cotes sont affectées du signe + ou du signe — selon que les altitudes sont mesurées au-dessus ou au-dessous de l'étiage.

1° *Cotes des marées dans le port de Bordeaux.*

Plus haute mer connue	+ 6,43
Haute mer moyenne de vive eau	+ 5,13
Haute mer moyenne de morte eau	+ 3,92
Plus faible mer connue	+ 3,19
Mer moyenne	+ 2,79
Basse mer moyenne de vive eau	+ 0,97
Basse mer moyenne de morte eau	+ 0,89
Plus basse mer connue	— 0,11

2° *Cotes des principaux ouvrages du bassin à flot.*

Busc des écluses		— 3,00
Heurtoir de la forme de radoub		
Plafond du bassin	aux abords des écluses	— 3,50
	en amont	— 3,00
Fond de la fouille de fondation des radiers	des écluses	— 6,50
	de la forme de radoub	— 6,70
Banc de sable sur lequel reposent les fondations	des écluses	— 6,30
	des murs de quai du bassin	— 5,94
	de la forme de radoub	— 6,50
Couronnement des bajoyers des écluses, de la forme de radoub et des murs de quai du bassin		+ 7,00
Milieu des tabliers des ponts tournants		+ 7,65

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Bassin proprement dit. — Le bassin a 120 mètres de largeur normale et une longueur de 592 mètres, comptée sur l'axe. A son extrémité Ouest, il fait retour en forme de T sur 90 mètres à droite et 115 mètres à gauche, avec une largeur de 120 mètres.

Aux abords des écluses, du côté gauche, est disposée, en reculement de 40 mètres, une darse de 140 mètres de longueur, destinée à fournir un accostage aux grands paquebots et à faciliter les évolutions des navires.

Le bassin présente une surface d'eau de 10 hectares, entourée de murs de quai verticaux de 1,800 mètres de développement, où les navires trouveront un tirant d'eau de $7^{m},50$ de profondeur normale. Ce tirant d'eau pourra être porté à 9 et 10 mètres par l'introduction des grandes marées.

Murs de quai. — Les murs de quai, dont le couronnement est à la cote 7 mètres, ont une hauteur de 10 mètres ou $10^{m},50$, selon la profondeur du plafond, et une épaisseur moyenne égale aux 40/100 de la hauteur. Le profil présente, du côté du bassin, la forme d'une courbe parabolique concave dont les éléments inférieurs ont une inclinaison assez prononcée pour embrasser le gabarit d'une carène de navire; les éléments supérieurs se raccordent tangentiellement au sommet du mur et présentent un fruit de 1/20.

Des contre-forts espacés de 50 en 50 mètres sont établis de manière à subdiviser l'action de la poussée.

On a commencé par fonder sur pilotis; ce mode de construction a été appliqué à la partie du mur qui soutient la rive droite du bassin sur 600 mètres de développement en amont des écluses. Les autres parties ont été établies sur une suite continue de voûtes en plein cintre de 8 mètres d'ouverture, espacées de 12 mètres d'axe en axe, qui reposent elles-mêmes sur des blocs de 6 mètres de longueur et 5 mètres de largeur, enfoncés dans le sol.

Le vide des voûtes est fermé par des massifs de maçonnerie à pierres sèches soutenant les terres en arrière du mur.

Quais et terre-pleins. — Un quai de chargement et de déchargement de 18 mètres de largeur régnera sur tout le pourtour du bassin. En arrière s'étendront des emplacements affectés aux dépôts de marchandises et desservis par une ceinture de voies de communication de 20 mètres de largeur, qui les rattacheront au port, à la ville et aux gares des chemins de fer.

L'ensemble des terrains destinés à recevoir les dépôts de marchandises présente une surface de 12 hectares 50 ares, dans laquelle est compris un emplacement de 5 hectares 50 ares de superficie, réservé, aux termes de la loi du 20 mai 1868, à la Chambre de commerce de Bordeaux, qui est autorisée à y établir des magasins-docks. La construction de ces magasins a été commencée au mois de juillet 1877.

Réservoir d'alimentation. — Au delà du quai Ouest du bassin, sera disposé un réservoir de 16 hectares $^1/_2$ de superficie, communiquant avec le bassin au moyen d'une aqueduc muni de vannes et de poutrelles.

Le niveau de la retenue du bassin sera maintenu à $4^{m},50$ au-dessus de l'étiage par l'introduction de la marée montante dans le bassin et le réservoir. Cette introduction n'ayant lieu que pendant un faible intervalle de temps, aux approches de la pleine mer, n'occasionnera dans le bassin que des dépôts peu considérables; une série prolongée d'observations et d'expériences permet d'en évaluer le volume à un maximum de $20,000^{mc}$ par an. Ces atterrissements seront enlevés au moyen d'un bateau pompeur-dévaseur, suivant le système employé au port de Saint-Nazaire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Puits artésiens. — Bien que l'alimentation du bassin à flot par les eaux de la Garonne soit adoptée en principe, le succès de nombreux forages exécutés dans le département de la Gironde a fait entrevoir la possibilité d'y faire concourir les eaux d'une nappe artésienne qui paraît régner à 200 mètres sous le sol de Bordeaux. L'un de ces puits, entrepris à titre d'essai, est parvenu à 100 mètres environ de profondeur.

Écluses. — Deux écluses à sas, parallèles l'une à l'autre et séparées par un bajoyer intermédiaire de 10 mètres d'épaisseur, mettront le bassin en communication avec la Garonne. La plus grande, destinée aux grands paquebots à roues, a 22 mètres de largeur et 152 mètres de longueur entre les portes. La seconde a 14 mètres de largeur et 136 mètres de longueur : elle sera affectée aux vapeurs à hélice et aux navires à voiles ; une paire de portes intermédiaire la divise en deux sas, l'un de 60 mètres, l'autre de 76 mètres.

Dans les maçonneries des bajoyers sont logés des aqueducs munis de vannes pour le remplissage et la vidange des écluses.

La surface supérieure des radiers est disposée en voûte renversée, de manière à arc-bouter le pied des bajoyers et à offrir plus de résistance à la sous-pression des eaux.

De chaque côté des écluses règnent des francs-bords de 25 mètres de largeur, bordés de trottoirs.

Ponts tournants. — Deux ponts tournants existent sur chaque écluse : un à chaque extrémité ; lorsque l'un d'eux sera ouvert pour laisser passer un navire, l'autre sera fermé pour livrer passage à la circulation. La largeur de ces ponts est de 8 mètres. Chacun d'eux repose sur un pivot placé dans l'axe du bajoyer intermédiaire, et prend 1 mètre d'appui sur les bajoyers latéraux. Il présente ainsi, de part et d'autre de son pivot, deux portées : l'une de 28 mètres, passant sur la grande écluse, l'autre de 20 mètres, passant sur la petite écluse.

Leur charpente, en tôle d'acier, comprend deux poutres longitudinales, forme double T, de 48 mètres de longueur et d'une hauteur variant de $2^{m},35$ aux extrémités à $2^{m},80$ au milieu.

Entre ces poutres sont établies trente-deux pièces de pont reliées par des longerons et contreventées.

Appareils de rotation. — Une cuve en maçonnerie ménagée dans le massif du bajoyer intermédiaire, au-dessous du pivot de chaque pont tournant, reçoit l'appareil de rotation. Cet appareil est disposé de la manière suivante : un tambour cylindrique, de 5 mètres de diamètre et de $2^{m},275$ de hauteur, est fixé aux pièces de pont autour du pivot. Deux couronnes horizontales de galets, placées entre les parois de la cuve en maçonnerie et le tambour, le maintiennent et le guident dans ses mouvements. Le pivot, assujetti au pont au centre du tambour, est formé par une tige de fer forgé de $0^{m},30$ de diamètre. Il s'appuie sur une crapaudine portée par le piston d'une presse hydraulique établie sur la maçonnerie du bajoyer intermédiaire, et qui permet de soulever le pont pour le dégager de ses appuis et rendre ses volées mobiles. Le tambour est entouré d'une chaîne qui, selon qu'elle est tirée dans un sens ou dans l'autre, fait tourner le tambour et entraîne le pont dans le même mouvement, de manière soit à l'amener sur le bajoyer intermédiaire, soit à le placer en travers des écluses. Les deux bouts de la chaîne sont actionnés par des appareils à pression hydraulique. D'ailleurs, pour les cas d'accident, on a ménagé un mécanisme de secours composé d'une roue dentée fixée au pourtour de la cuve, et d'un pignon mû à bras, adapté au pont.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Portes d'écluses. — Le fonctionnement des écluses est desservi par sept paires de portes busquées en tôle, savoir:

Deux paires de portes d'èbe et une paire de portes de flot pour la grande écluse, trois paires de portes d'èbe et une paire de portes de flot pour la petite.

Quinze grandes vannes sont disposées dans les aqueducs des bajoyers latéraux et du bajoyer intermédiaire pour régler l'introduction des eaux du bassin ou de la Garonne dans les sas et leur évacuation.

Les mouvements des portes et des vannes, comme ceux des ponts, sont actionnés par des appareils à pression hydraulique.

Chenal d'entrée en rivière. — Les écluses débouchent en rivière par un chenal évasé de 80 mètres de longueur en prolongement des écluses. Ce chenal présente une ouverture de 100 mètres à l'extrémité touchant les écluses et de 242 mètres à l'autre extrémité; il est bordé de cales inclinées au 1/5 se raccordant avec les rives du port.

Au pied de ces cales, et sur 75 mètres tant à l'amont qu'à l'aval de l'issue du chenal, sont disposées des estacades en charpente destinées à faciliter les manœuvres d'entrée et de sortie des navires.

Forme de radoub. — Cette forme, capable de recevoir les plus grands paquebots transatlantiques, est située sur la rive gauche du bassin, à une distance d'environ 180 mètres des écluses. Sa construction a été commencée à la fin de 1874.

Sa longueur totale est de 154^{m},80, comprenant 14 mètres pour la chambre d'entrée. La chambre d'entrée a 22 mètres de largeur; ses parois sont verticales; elle présente deux enclaves pour bateaux-portes, dont les seuils sont établis au même niveau que les buscs des écluses, soit à 3 mètres en contre-bas de l'étiage.

Le périmètre des bajoyers de la forme est divisé en gradins par quatre étages de banquettes horizontales ayant 1^{m},10 de largeur. Ces banquettes sont reliées entre elles par huit volées d'escaliers. Les deux bajoyers sont raccordés à l'extrémité amont de la forme par une partie demi-circulaire de 14^{m},45 de rayon.

Le radier est établi, à l'extrémité aval, à 4 mètres en contre-bas de l'étiage, et se relève vers l'amont suivant une pente longitudinale de 0^{m},01 par mètre. Les tins reposent sur une plateforme en pierre de taille occupant le milieu du radier suivant l'axe. De part et d'autre de cette plateforme, le profil transversal du radier s'abaisse suivant des pentes de 0^{m},01 par mètre vers des rigoles régnant de chaque côté, au pied des bajoyers.

Un bateau-porte en tôle sert à fermer la forme du côté du bassin. La vidange et le remplissage s'effectueront au moyen de trois aqueducs aboutissant à un puisard en maçonnerie dont le radier est à 5^{m},70 en contre-bas de l'étiage. L'un de ces aqueducs met le puisard en communication avec la forme, l'autre avec la Garonne, le troisième avec le bassin à flot. Le débit de ces aqueducs est réglé par des vannes. Des pompes, mues par des machines à vapeur, seront installées dans le puisard pour l'épuisement de la forme.

Mode d'exécution des travaux. — L'ensemble des ouvrages est fondé par enfoncement de blocs évidés. Des circonstances locales ont d'abord nécessité l'application de ce procédé aux écluses.

Fondation des écluses. — Le terrain est constitué par une couche de vase argileuse qui recouvre, jusqu'à une profondeur de 12 à 14 mètres, un banc de sable et de gravier aquifères de 3 à 4 mètres d'épaisseur, reposant lui-même sur la molasse. Par des sondages, on a reconnu que les eaux souterraines

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS BIBLIOTHÈQUE

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

s'écoulent vers la Garonne, en exerçant des sous-pressions considérables sur les terres.

Par suite du niveau assigné aux buscs des écluses, les maçonneries devaient porter en entier sur le banc de sable. On ne pouvait songer à ouvrir dans la vase molle des fouilles de près de 14 mètres au fond desquelles on aurait rencontré la couche aquifère, et l'on s'est résolu à faire descendre par leur propre poids, jusqu'au gravier, une suite de blocs en maçonnerie pour former les bajoyers et les murs de garde. Ces blocs occupaient le périmètre d'un rectangle de 205 mètres sur 57.

On a donné à ces blocs une largeur uniforme de 6 mètres, des longueurs variant entre 16 et 35 mètres, et une hauteur de 9 mètres. Sur la moitié aval du bajoyer séparant les deux écluses, on a disposé en outre des blocs de 9 mètres de largeur, 15 mètres de longueur et 9 mètres de hauteur. Tous ces blocs étaient espacés de $0^m,50$ les uns des autres. Ils étaient évidés de manière à présenter un ou plusieurs puits verticaux.

La maçonnerie d'un bloc n'était d'abord élevée que jusqu'à la moitié environ de sa hauteur définitive. Quand elle avait fait prise, on commençait à déblayer le terrain au fond du puits, et le bloc descendait jusqu'à ce que sa face supérieur affleurât au niveau du sol. On ajoutait ensuite, en une ou deux reprises, le reste de la maçonnerie, qu'on faisait descendre de la même manière.

Cette opération s'effectuait sans le secours d'aucune machine, tant que le déblai s'opérait à sec. Mais lorsque la nappe souterraine faisait irruption dans les puits (et cela se produisait quand il ne restait qu'environ 2 mètres d'épaisseur de terrain vaseux), on installait dans chaque puits une pompe centrifuge, actionnée par une locomobile; cette dernière machine était en même temps utilisée pour la manœuvre des treuils qui remontaient les terres. Les déblais ont pu se continuer ainsi sans difficulté par des ouvriers travaillant au fond des puits; on arrêtait l'enfoncement, lorsque le bloc était engagé de $0^m,80$ dans le sable graveleux.

Ce fonçage ne s'est pas toujours fait avec une entière régularité, et, le plus souvent, les blocs se sont inclinés plus ou moins dès le début de l'opération, malgré l'emploi d'étais. On est parvenu à les redresser pour la plupart, soit en dirigeant convenablement les déblais, soit en exerçant, indépendamment des étais, une contre-pression latérale par des remblais. Quelquefois les blocs n'ont pu être redressés et sont descendus jusqu'au sable en restant inclinés, mais on est alors parvenu à les ramener dans la verticale par des fouilles bien conduites. Ces irrégularités de fonçage s'expliquent par le défaut d'homogénéité du terrain, par des obstacles tels que des troncs d'arbres, et aussi par les excavations que produisaient les épuisements. Quoi qu'il en soit, on a remédié à tous ces accidents et tous les blocs ont été établis dans une position normale, sauf de légères déviations d'alignement qu'on a corrigées en exécutant les parements définitifs des bajoyers.

Après l'enfoncement des blocs, les puits ont été remplis en béton pour la partie sous l'eau, et en maçonnerie pour la partie supérieure.

Les blocs ainsi échoués, on a comblé en maçonnerie les intervalles laissés entre eux, et, dans l'enceinte ainsi formée, les fouilles ont pu être descendues, à l'aide d'épuisements, jusqu'au niveau du gravier; le radier général a été établi à sec à 7 mètres environ au-dessous de l'étiage. La construction s'est ensuite poursuivie dans les conditions ordinaires.

Fondation des murs de quai. — La réussite du mode de fondation employé pour les écluses a conduit à l'appliquer au mur de quai du bassin, qu'on avait commencé sur pilotis. Ce mur, sur les deux tiers de son parcours, a pour appui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une suite de voûtes en plein cintre de 8 mètres d'ouverture, qui reposent elles-mêmes sur des blocs de 6 mètres de longueur et 5 mètres de largeur, enfoncés de 1 mètre dans le gravier.

Fondation de la forme de radoub. — Les épuisements énergiques nécessités par le mode de fonçage qui vient d'être décrit ont occasionné, dans le sous-sol de l'enceinte de fondation des écluses et des terrains environnants, des excavations d'où résultèrent des tassements parfois considérables. Ces accidents ont fait déverser les blocs de fondation pendant le fonçage. On a essayé, pour y remédier, de renoncer aux épuisements et d'employer une drague à l'extraction des terres. Ce moyen n'a pu réussir aux écluses, à cause de la nature particulière et du défaut d'homogénéité du sol; mais les circonstances étaient tout autres pour la forme de radoub: on s'était assuré, par des sondages préalables que le terrain ne présenterait pas les mêmes difficultés, et l'extraction par dragage y fut avantageusement adoptée.

L'expérience acquise dans les travaux de fondation des écluses avait en outre fait reconnaître l'utilité d'augmenter l'épaisseur des blocs, de réduire leur longueur et de diminuer leur rapprochement, pour régulariser leur enfoncement et faciliter leur liaison ultérieure. On a profité de ces leçons, en modifiant comme il suit les dimensions des blocs: les blocs de la forme de radoub présentent une épaisseur de 8 mètres, au lieu de 6 mètres qu'ont ceux des écluses; en longueur, ils mesurent au plus 11 mètres, tandis que quelques-uns de ceux des écluses avaient atteint 35 mètres; enfin, l'espace laissé entre eux est de 1 mètre, au lieu de $0^{m},50$ qui est l'écartement de ceux des écluses.

Sur trente-six blocs de fondation de la forme de radoub, vingt ont été foncés au moyen d'une drague à élingue verticale, et seize au moyen d'épuisements.

L'emploi de la drague a présenté, dans les travaux de fondation de la forme de radoub, de grands avantages sur celui des épuisements. Ainsi, il n'a fallu, en moyenne, que cent dix heures pour foncer avec la drague des blocs de mêmes dimensions que ceux dont le fonçage par épuisements exigeait un mois de travail. Quant à la dépense, elle n'a été que de $7^{f},35$ par mètre cube de déplacement à l'aide de la drague, tandis qu'elle s'était élevée à $11^{f},95$ par mètre cube de déplacement à l'aide d'épuisements.

Nature et provenance des matériaux employés. — Pieux pour pilotis: pin gemmé des Landes. — Granit pour couronnements, chardonnets, buscs, angles d'enclaves: des carrières de Labère (Finistère). — Pierre de taille dure et moellons calcaires: des carrières de Saint-Macaire (Gironde). — Ciment à prise lente: de Portland (Angleterre). — Chaux hydraulique: du Theil (Ardèche). — Chaux hydraulique: de Saint-Astier (Dordogne). — Fers et aciers: des usines du Creusot.

Dépenses. — Les dépenses autorisées pour la construction du bassin à flot de Bordeaux se répartissent de la manière suivante:

Acquisition de terrains.	2.968.769^{f}55
Bassin, écluses et forme de radoub (terrassements et maçonnerie).	9.959.076,03
Ouvrages métalliques (portes d'écluses, vannes, ponts tournants, bateau-porte, bateau dévaseur, machine hydraulique).	1.236.581,71
Déblais, dragages et enrochements de l'entrée en rivière.	238.111,92
Estacades en charpente de l'entrée en rivière.	85.007,80
Pavages.	131.035,02
Puits artésien.	40.400,00
Somme à valoir, pour dépenses diverses.	295.172,71
TOTAL	14.955.154,74

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sur cette somme, il a été dépensé jusqu'au 30 novembre 1877 :

Acquisition de terrains.	2.968.769f55
Travaux.	10.630.101,13
TOTAL	13.598.870,68

PHARES ET BALISES

Le phare du Four (Finistère).

Le phare du Four est construit à l'extrémité Nord du chenal de ce nom, sur la roche la plus avancée en mer, à 2 milles à l'Ouest du petit port d'Argenton. Cette roche, formée d'un granit très-dur, s'élève à 2 mètres environ au-dessus du niveau des hautes mers, et il devient impossible de l'accoster dès que la mer est agitée.

Dans les gros temps, les lames y déferlent avec une telle violence qu'elles s'élèvent au-dessus de la lanterne du phare et ont brisé des volets de $0^m,06$ d'épaisseur qui fermaient, pendant la période d'exécution des travaux, les étroites fenêtres de la tour. Les dépôts et les chantiers de préparation des pierres étaient établis dans le port d'Argenton, d'où partait, quand les circonstances de mer paraissaient favorables, la flottille qui transportait sur la roche les ouvriers et les matériaux de construction.

Des échelons, diversement disposés et distribués, permettaient aux ouvriers de gravir les parois abruptes et glissantes, et une grue très-simple, n'offrant presque pas de prise à la mer, servait au débarquement du matériel.

Le phare consiste en une tour d'un diamètre intérieur de $4^m,50$, établie sur un massif de maçonnerie arasé à 2 mètres au-dessus des pleines mers d'équinoxe et encastré dans le rocher dont il enveloppe les parties les plus hautes. Le mur a $2^m,75$ d'épaisseur à la base et $1^m,18$ au sommet. Au-dessus de la corniche du couronnement, dont le larmier est soutenu par seize consoles, s'élève un parapet composé de dalles de $0^m,20$ d'épaisseur, assemblées dans des pilastres.

La tour s'élève à $22^m,70$ au-dessus du massif de la base ; à cette hauteur, elle est surmontée d'une murette hexagonale en tôle, de $2^m,40$ de diamètre, au-dessus de laquelle s'élève la lanterne ; le plan focal dépasse de 28 mètres le niveau des plus hautes mers.

Les maçonneries sont exécutées en moellons de granit posés à bain de mortier de ciment de Portland, avec parement en pierres de grand appareil.

La déclivité très-prononcée de la roche, vers le Sud, a commandé les plus grandes précautions dans l'implantement du phare.

Le rocher a été profondément entaillé partout en redans concentriques inclinés vers le centre de la tour, et de nombreux goujons en fer, de $0^m,07$ de diamètre, y ont rattaché les premières assises de la maçonnerie. Des crampons de même métal relient entre elles toutes les pierres de l'assise du cordon, et une vigoureuse ceinture, également en fer, est encastrée au-dessus des consoles de la corniche. Les pilastres du parapet sont maintenus, à leur pied, par des dés en bronze.

La tour se compose d'un rez-de-chaussée surmonté de cinq étages. Le rez-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de-chaussée et les quatre premiers étages sont mis en communication par un escalier en pierres, commençant au bout du couloir qui suit la porte d'entrée.

Droit d'abord, puis circulaire à noyau plein, cet escalier compte quatre-vingt-quatorze marches et sa cage est formée en partie aux dépens du vide cylindrique de la tour; un mur de faible épaisseur l'isole des chambres. Du quatrième étage, auquel il s'arrête, on accède à l'étage supérieur, et de là, dans la lanterne, au moyen d'escaliers métalliques en forme d'échelle de meunier, disposés de manière à occuper peu de place. Le rez-de-chaussée est divisé en trois compartiments : le vestibule et deux caveaux dallés éclairés chacun par une lucarne de $0^m,50$ sur $0^m,25$. Le caveau de gauche renferme une soute à charbon de 5,000 kilogrammes de contenance, se chargeant par l'escalier, et une pompe aspirante et foulante pour l'alimentation d'eau. Celui de droite est le dépôt des huiles. Au premier étage est le magasin. Il peut recevoir dans vingt-deux caisses en tôle, un approvisionnement de 5,000 litres d'eau douce; on y trouve aussi deux soutes à charbon d'une contenance totale de 2,000 kilogrammmes, placés de chaque côté de la porte, dans les angles formés par la saillie de la cage d'escalier sur le cylindre intérieur de la tour. La chambre du deuxième étage sert de cuisine; le fourneau y est placé dans une niche surmontée d'une coulisse de $0^m,30$ de largeur sur $0^m,45$ de profondeur, ménagée dans le mur du phare et se prolongeant jusqu'à la plate-forme supérieure. Dans cette coulisse se loge le tuyau en cuivre du fourneau. Les pans coupés que présente la saillie de l'escalier ont servi à établir deux placards. Le troisième étage forme la chambre à coucher, contenant deux lits et deux placards analogues à ceux de la cuisine. Au quatrième étage est la chambre de la trompette à vapeur, que surmonte la chambre de service formant le cinquième étage. Le rez-de-chaussée et les deux premières étages sont voutés, ainsi que le cinquième; la voûte du rez-de-chaussée est cylindrique, celles des autres étages sont sphériques. Toutes sont en briques de Bristol, sauf la voûte du cinquième, qui, traversée par la pénétration de l'escalier de service, est tout entière en granit. Au troisième et au quatrième étage, dans le but de gagner de l'espace, on a substitué aux voûtes une charpente formée de sept poutres en tôle entretoisées et servant de sommiers à de petites voûtes en briques. La porte d'entrée du phare et les fenêtres extérieures sont exécutées en chêne enduit d'huile de lin cuite. Les fenêtres intérieures, les parquets, les bâtis des lambris, les portes des chambres et des armoires, les plinthes, les cimaises, sont en chêne ciré. Les panneaux sont en sapin également ciré. Les lucarnes des caveaux et les deux premières fenêtres extérieures de l'escalier sont fermées par des châssis en bronzes garnis de verres à hublots, dans le genre de ceux qu'on emploie à bord des navires.

Tous les ouvrages de serrurerie sont confectionnés en bronze, la plupart sur modèles spéciaux.

Les trompettes auxquelles on a recours pour suppléer les phares dans les temps de brume, sont habituellement mises en action par de l'air qui a été comprimé dans un grand réservoir au moyen d'une machine à vapeur. Ici, où la place faisait défaut, on a adopté une nouvelle disposition imaginée par M. le professeur Lissajoux. L'appareil qui est nettement représenté sur le modèle, se compose des pièces suivantes :

1° Deux chaudières à vapeur verticales, accouplées (système Field), d'une force totale de 4 chevaux; 2° Une trompette avec appareil d'entraînement d'air par jet de vapeur; 3° Un mécanisme de distribution, mû par la vapeur, destiné à ouvrir et à fermer périodiquement la communication des chaudières avec la trompette, de façon que le son se produise à raison d'un coup par cinq secondes; 4° Une horloge commandant le distributeur de vapeur de ce mécanisme.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La trompette se fait entendre au dehors à travers un pavillon métallique logé dans une ouverture circulaire pratiqué à l'O. S. O. dans le mur de la tour. La fumé du combustible se dégage par un tuyau en cuivre qui va se greffer sur le tuyau du fourneau de la cuisine, dans la coulisse ménagée à cet effet. Les chaudières ont la pression nécessaire à la mise en marche vingt minutes, au plus, après l'allumage des feux.

Les chaudières sont alimentées à l'eau douce; leur consommation, avec le rhythme adopté pour la trompette, est d'environ 25 litres par heure. L'eau est approvisionnée au moyen de la pompe aspirante et foulante placée dans le caveau ouest du phare, laquelle, puisant l'eau douce dans les bateaux accostés à la roche, la refoule dans les vingt-deux caisses en tôle placées au premier étage, dont la capacité est de 1,500 livres pour l'eau destinée aux gardiens et 3,750 litres pour l'eau destinée aux chaudières. Ces dernières peuvent ainsi être alimentées pendant cent cinquante heures de travail au moins, sans que l'approvisionnement soit renouvelé. L'eau des caisses est montée à la bâche d'alimentation, dans la chambre de la trompette, au moyen d'un appareil injecteur que l'on met en marche par l'ouverture d'un robinet de prise de vapeur placé sur les chaudières.

Les phares sont très-multipliés sur la côte Ouest du Finistère, à raison des difficultés et de l'importance de la navigation dans ces parages, il était donc essentiel de donner à celui du Four un caractère qui ne permit de le confondre avec aucun autre.

L'appareil lenticulaire de troisième ordre dont le phare est pourvu, a été imaginé dans ce but. A un feu fixe durant une demi-minute, il fait succéder, pendant le même laps de temps, un feu à éclipses, dont les intervalles sont fixés à 3 secondes 3/4. Il est illuminé par des lampes à trois mèches concentriques, alimentées à l'huile minérale.

Les travaux du phare du Four ont été entrepris en 1869. Les maçonneries étaient complétement terminées à la fin de 1872, les menuiseries et autres ouvrages de détail vers le milieu de 1873; enfin, le phare a été allumé le 15 mars 1874.

Les dépenses de la construction se sont élevées à 256,000 francs, non compris la trompette à vapeur, qui a coûté 31,000 francs, et l'appareil optique dont le prix est de 22,000 francs. Le volume total des maçonneries de la tour étant de $920^{m.c.}$, le prix de l'édifice ne revient pas à plus de 280 francs par mètre cube de maçonnerie.

Pendant toute la période active de la construction, et malgré les conditions périlleuses dans lesquelles cette construction s'exécutait, on n'avait eu le bonheur de n'avoir à déplorer la perte d'aucun ouvrier. Malheureusement de graves accidents sont survenus depuis. Le 27 avril 1873, une embarcation stationnant contre la roche, par beau temps, fut enlevée par une lame de fond (lame sourde); elle chavira, et trois ouvriers qui la montaient furent noyés. Le 2 novembre 1876, le gardien Wimel, occupé sur la plate-forme extérieure à fixer contre la tour la corde de débarquement, à plus de 4 mètres au-dessus du niveau de la mer, par beau temps également, fut enlevé, sous les yeux de ses camarades, par une lame de même nature, et emporté par le courant.

D'autres accidents, moins funestes, sont venus faire voir encore combien la mer est dangereuse sur ce point. Dans les premiers jours de décembre 1874, la mer brisait la porte du phare et enlevait une grande partie du dallage en pierre de taille de la plate-forme extérieure, coulé en ciment pur et cramponné par des barres de fer. Le 9 mars 1876, la mer brisait les vitrages de la lanterne, dont les éclats projetés à l'intérieur, venaient écorner les verres et les cuivres de l'appareil. Il fallut, pour sauver cet appareil, tout le courage et toute la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

présence d'esprit des gardiens, qui parvinrent à remonter le vitrage malgré l'effort du vent et les masses d'eau projetées par la mer.

Par gros temps de N. O., le phare disparaît littéralement dans l'écume, et l'on peut dire que la mer est plus forte peut-être sur ce point que sur aucun autre du littoral breton. Si, néanmoins, la construction du phare n'a pas présenté d'aussi énormes difficultés que celle du phare d'Ar-Men, par exemple, c'est que la grosse mer y est moins continue, et que, d'autre part, la roche est plus rapprochée de la terre.

L'édifice a été projeté et exécuté par MM. PLANCHAT, ingénieur en chef, et FÉNOUX, ingénieur ordinaire des Ponts et Chausssées, et les chantiers ont été dirigés par M. le conducteur BOUILLON. L'appareil d'éclairage a été exécuté par MM. HENRY-LEPAUTE fils. La trompette à vapeur est due à MM. LISSAJOUX et FLAUD.

Phare d'Ar-Men (Finistère).

L'île de Sein, située à l'extrémité occidentale du département du Finistère, se prolonge dans la direction de l'Ouest par une suite de récifs qui s'abaissent à mesure qu'ils s'éloignent, et s'étendent à près de 8 milles de distance de l'île. Les uns élèvent leurs cimes au-dessus des plus hautes mers, d'autres couvrent et découvrent alternativement; la plupart sont toujours submergés. Ils constituent une sorte de barrage dont la direction est à peu près normale à celle des courants de marée, et la mer y brise presque constamment avec une violence extrême. Cette singulière formation géologique, connue sous le nom de « Chaussée de Sein », est tristement célèbre parmi les navigateurs, et avait préoccupé la commission qui fut chargée, en 1825, d'élaborer le programme de notre éclairage maritime.

La solution adoptée à cette époque, et il était impossible alors de proposer mieux, consista à élever deux phares de premier ordre : l'un sur la pointe du Raz, l'autre dans l'île de Sein, pour jalonner la direction de la chaussée. Les navigateurs sont en dehors des dangers et savent de quel côté, quand ils voient les feux à l'ouvert l'un de l'autre, et ils sont prévenus, dès que ces points lumineux sont près de se montrer sur la même verticale, qu'ils doivent se tenir à grande distance au large pour éviter, de tomber sur les écueils. Mais cette distance, rien ne leur permet de l'apprécier; et d'ailleurs il n'est pas besoin d'une brume bien épaisse pour que les phares ne portent pas jusqu'à la limite des dangers et perdent, par conséquent, toute efficacité. La chaussée de Sein n'a donc pas cessé d'être le théâtre de douloureux sinistres; le système d'éclairage dont elle a été dotée, n'a eu pour effet que d'en réduire le nombre, et notre navigation, qui trouve aujourd'hui tant de sécurité sur les autres points du littoral, s'est plainte à plusieurs reprises de cet état de choses.

En avril 1860, la Commission des phares demanda que la question fût examinée de savoir s'il ne serait pas possible de construire un phare de premier ordre sur l'une des têtes de roches émergentes les plus rapprochées de l'extrémité de la chaussée. Son avis fut approuvé le 3 juin suivant, et les premières études à faire sur place furent confiées à une commission composée d'ingénieurs et d'officiers de marine. En juillet de la même année, cette commission avait fait un examen sérieux des circonstances locales; elle avait reconnu que, dans les grandes marées, trois têtes de roches émergent près de l'extrémité, lesquelles portent les noms de Madiou, de Schomeur et d'Ar-Men; que les deux premières découvrent à peine, et que la troisième s'élève à environ $1^{m},50$ au-dessus des plus basses mers. Mais les dimensions d'Ar-Men, que l'état de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mer n'avait pas permis d'accoster, lui ayant paru insuffisantes pour l'assiette d'un grand phare, en même temps qu'il semblait impossible de descendre sur cet écueil, si favorable que put se montrer l'état de la mer, elle concluait en proposant de s'établir sur la roche Neurlach, à 5 milles en dedans des écueils les plus éloignés. Cette solution fut repoussée par la Commision des phares comme n'étant pas de nature à améliorer l'état actuel des choses autant que l'exigeaient les intérêts de la navigation, et l'Administration de la marine fut priée d'ordonner une reconnaissance hydrographique approfondie à l'extrémité de la chaussée.

Diverses circonstances retardèrent l'exécution de ce travail. En 1866, M. l'ingénieur hydrographe Ploix fut envoyé sur les lieux, et, s'il ne put recueillir tous les renseignements désirables, il permit cependant à la Commission des phares d'arrêter un programme. M. Ploix concluait à une construction sur Ar-Men. « C'est une œuvre excessivement difficile, presque » impossible, disait-il; mais peut-être faut-il tenter l'impossible, eu égard à » l'importance capitale de l'éclairage de la chaussée. »

Les courants qui passent sur la chaussée de Sein sont, en effet, des plus violents; ils s'élèvent au-delà de 8 nœuds dans les grandes marées, donnent naissance, même par les temps les plus calmes, à un fort clapotis, et rendent la mer très-grosse dès que la brise pousse dans une direction opposée à la leur. Aucune terre n'abrite la roche contre les vents compris entre le Nord et l'E. S. E. en passant par le sud, et elle n'est accostable que par de très-faibles brises contenues entre le Nord et l'Est.

Mouiller un feu flottant à l'extrémité de la chaussée avait été reconnu impossible, tant à cause de la grande profondeur d'eau qu'eu égard à la nature du fond, qui est parsemé de têtes de roches sur lesquelles s'enroulerait la chaîne de retenue. On ne pouvait songer non plus à établir sur ce point une construction métallique, reposant directement sur l'écueil : le percement de trous profonds, de $0^m,18$ à $0^m.20$ de diamètre, qu'exigerait le scellement des montants, serait une opération des plus difficiles et de bien longue durée; les principaux plans de clivage de la roche étant verticaux, il serait à craindre qu'elle ne résistât pas aux ébranlements qu'elle aurait à supporter; enfin, il serait presque impossible de débarquer des pièces de fer, nécessairement lourdes et difficiles à manier, et l'on serait exposé à en perdre plusieurs avant de parvenir à les mettre en place. La Commission des phares émit en conséquence l'avis, dans sa séance du 29 nouvembre 1866, qu'il fallait essayer d'établir un massif en maçonnerie sur la roche Ar-Men, en lui donnant de telles dimensions qu'il pût servir ultérieurement de base à un phare.

Ni la commission de 1860, ni les ingénieurs hydrographes, ni les ingénieurs du département, ni leurs marins, ni le directeur du service des phares n'étaient encore parvenus à descendre sur la roche. M. Ploix n'avait pas pu s'en approcher à moins de 15 mètres; mais M. l'ingénieur Joly avait réussi à la ranger de plus près, et les dessins qu'il avait pris et complétés sur les indications des pêcheurs de l'île de Sein qui l'accompagnaient permettaient de présenter un système de construction à titre de point de départ. On savait que la roche avait une largeur de 7 à 8 mètres au niveau des basses mers, sur une longueur de 12 à 15 mètres; que sa surface était fort inégale; qu'elle était divisée par de profondes fissures, et que, presque accore du côté de l'est, elle s'inclinait en pente douce à l'opposé. Bientôt le syndic des gens de mer de l'île annonça qu'une nouvelle tentative faite par lui dans des circonstances favorables avait été couronnée de succès, et il envoya un échantillon qui montra que la roche est formée d'un gneiss assez dur, sauf en quelques points où il y a décomposition.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le mode de construction auquel on s'arrêta est le suivant : percer dans la roche, sur tout l'emplacement que doit couvrir l'édifice, des trous de fleuret de $0^m,30$ de profondeur, espacés de mètre en mètre environ, et quelques autres en dehors de cette limite : ces derniers, appelés à recevoir des organeaux pour faciliter les accostages ou tenir des haubans; les premiers, destinés au scellement de goujons en fer ayant pour objet, à la fois, de fixer la maçonnerie au rocher et de faire servir la construction elle-même à relier entre elles les diverses parties de cette roche fissurée et à consolider ainsi une base qui n'inspirait qu'une confiance limitée. Il était dit en outre que d'autres goujons verticaux et d'autres vigoureuses chaînes horizontales en fer seraient introduits dans la maçonnerie au fur et à mesure qu'elle s'élèverait, de manière à s'opposer à toute disjonction.

Pour le percement des trous, on s'adressa aux pêcheurs de l'île de Sein, dont l'industrie s'exerce au milieu de toutes les roches de la chaussée et qui étaient, par conséquent, mieux que personne à même de profiter de toutes les occasions favorables. Après bien des difficultés, ils acceptèrent un marché à forfait, l'Administration leur fournissant les outils et des ceintures de sauvetage.

Ils se mirent résolûment à l'œuvre en 1867. Dès qu'il y avait possibilité d'accoster, on voyait accourir des bateaux de pêche; deux hommes de chaque bateau débarquaient, munis de leur ceinture de liége, se couchaient sur la roche, s'y cramponnant d'une main, tenant de l'autre le fleuret ou le marteau, et travaillaient avec une activité fébrile, incessamment couverts par la lame, qui déferlait par-dessus leurs têtes. L'un d'eux était-il emporté, la violence du courant l'entraînait loin de l'écueil contre lequel il se serait brisé, sa ceinture le soutenait, et une embarcation allait le prendre pour le ramener au travail.

A la fin de la campagne, on avait pu accoster sept fois, on avait eu en tout huit heures de travail, et quinze trous étaient percés sur les points les plus élevés. C'était un premier pas vers le succès. L'année suivante, on se trouvait en présence de plus grandes difficultés, puisqu'il fallait se porter sur des points qui découvraient à peine, mais on avait acquis de l'expérience; des prix plus forts accrurent l'ardeur au travail, la saison fut favorable, on eut seize accostages, dix-huit heures de travail, et l'on parvint à percer quarante nouveaux trous; on put même exécuter les dérasements partiels nécessaires à l'établissement de la première assise des maçonneries.

La construction proprement dite fut entreprise en 1869. Des goujons en fer galvanisé, de $0^m,06$ d'équarissage et de 1 mètre de longueur, furent implantés dans les trous, et l'on maçonna d'abord en petits moellons bruts et ciment de Parker-Médina. Il fallait, en effet, une prise des plus rapides, car on travaillait au milieu des lames qui venaient se briser sur la roche et qui parfois arrachaient de la main de l'ouvrier la pierre qu'il se disposait à placer. Un marin expérimenté, adossé contre un des pitons du rocher, était au guet, et l'on se hâtait de maçonner quand il annonçait une accalmie, de se cramponner quand il prédisait l'arrivée d'une grosse lame. Les ouvriers, le conducteur, l'ingénieur qui encourageait toujours les travailleurs par sa présence, étaient d'ailleurs munis, comme l'avaient été les pêcheurs, de ceintures fournies par la Société de sauvetage des naufragés, et d'espardilles destinées à prévenir les glissements.

Toutes les fois que l'état exceptionnel de la mer présentait quelques chances de débarquement, une petite chaloupe à vapeur, portant le personnel et la quantité de matériaux qu'on espérait pouvoir mettre en place dans la marée, partait de l'île, de manière à arriver en vue de la roche vers quatre heures de jusant, et elle remorquait les canots d'accostage; mais on ne trouvait pas toujours au large le calme sur lequel on comptait, et la journée était perdue. Quand on pouvait accoster, on débarquait à la main les pierres et les petits

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sacs, et l'on avait soin, avant de bâtir, de piquer à vif la surface sur laquelle devait s'établir la nouvelle maçonnerie. Il est sans doute inutile d'ajouter que le ciment était employé pur ; on le gâchait à l'eau de mer ; on n'a commencé à employer de l'eau douce qu'en 1877, quand on est arrivé aux parties du phare qui doivent être habitée.

A la fin de la campagne de 1869, on avait exécuté 25^{mc} de maçonnerie, que l'on trouva intacts l'année suivante.

Aujourd'hui, le cube des maçonneries s'élève à 702^{m},85 et elles dominent de 12^{m},30 le niveau des plus hautes mers. Le succès de l'entreprise paraît assuré, et l'on espère pouvoir terminer le phare dans un délai d'environ trois années.

Depuis 1871, le ciment de Portland, dont la résistance à la décomposition par l'eau de mer paraît bien établie, a été substitué au ciment Parker, qui ne présente pas le même mérite ; et l'on compte préserver les maçonneries du pied de la construction par des rejointoiements exécutés en même matière et peut-être par une enveloppe continue.

Des expériences faites sur l'adhérence que les pierres du pays contractent avec le mortier ayant fait reconnaître que la roche amphibolique de Kersanton était la meilleure de toutes sous ce rapport comme sous beaucoup d'autres d'ailleurs, elle a été employée exclusivement à l'exécution des maçonneries. Les moellons de parement sont smillés, ceux de remplissage sont dans l'état où les fournit la carière ; tous sont de petites dimensions. Des goujons, des tirants et des ceintures en fer galvanisé sont noyés dans les maçonneries, afin de prévenir les disjonctions.

D'après le programme récemment adopté, le phare sera de second ordre, à à feu scintillant ; on élèvera son foyer à 28^{m},80 au-dessus du niveau des plus hautes mers. On eût dépassé cette limite et admis un appareil de premier ordre si l'on n'avait été arrêté par l'insuffisance du diamètre à la base. Il fallait s'attacher à assurer la stabilité de la construction.

Le massif plein qui constitue le soubassement se prolonge jusqu'au niveau des hautes mers avec le diamètre de 7^{m},20, auquel la largeur du rocher a obligé de se restreindre, et avec celui de 6^{m},90 sur les 3 mètres suivants. Le diamètre intérieur des chambres variera de 3 mètres dans le bas, de 3^{m},40 dans le haut, au moyen de retraites successives, et l'épaisseur du mur passera de 1^{m},70 au niveau de la porte d'entrée à 0,80 au-dessous de la corniche de couronnement. Il y aura sept étages dans la hauteur de l'édifice, dont l'un sera consacré à l'appareil sonore destiné à signaler la position dans les temps de brume.

Le tableau ci-contre fait connaître, en reproduisant quelques-uns des chiffres déjà donnés, les principaux faits relatifs aux travaux exécutés à partir de 1867.

L'étude de ce tableau permet d'apprécier combien sont rares les jours où le travail est possible et combien les chances de mer ont ici une influence prédominante, puisque, dans l'année 1869, au début de la construction, alors que l'accostage était le plus difficile, on a pu descendre sur la roche plus souvent que dans chacune des sept années qui ont suivi, et cela malgré l'amélioration que l'avancement du travail apportait chaque année dans les conditions d'accostage.

Le même tableau permet également de se rendre compte des diverses phases que la construction a traversées.

En 1874, on put installer sur la roche un mât de charge et faciliter ainsi le débarquement des matériaux. La hauteur à laquelle on était parvenu, tout en permettant de séjourner plus longtemps à chaque marée, rendait en outre le travail moins périlleux et plus facile ; on n'avait encore à exécuter que des maçonneries de blocage. Aussi on arriva en 1874 et 1875 à faire près de 2^{mc} par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

heure, et le prix moyen du mètre, qui avait atteint près de 3,000 francs en 1873, s'abaissa à 375 francs en 1875.

ANNÉES.	NOMBRE des accostages.	NOMBRE DES HEURES passées sur la roche par année.	NOMBRE DES HEURES passées sur la roche par accostage.	CUBE DE MAÇONNERIE EXÉCUTÉE par année.	CUBE DE MAÇONNERIE EXÉCUTÉE par accostage.	CUBE DE MAÇONNERIE EXÉCUTÉE par heure.	EXHAUSSEMENT ANNUEL DE LA TOUR.	HAUTEUR TOTALE à la fin DE CHAQUE ANNÉE. au-dessus du rocher.	HAUTEUR TOTALE à la fin DE CHAQUE ANNÉE. au-dessus des plus hautes mers.	DÉPENSE PAR ANNÉE.	PRIX MOYEN du mètre cube.
		h. m.	h. m.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	francs.	francs.
1867	7	8 »	1 8	»	»	»	»	»	»	8 000	
1868	16	18 »	1 8	»	»	»	»	»	— 4,40	21 000	2 156
1869	24	42 10	1 45	25,05	1,04	0,60	0,60	0,60	— 3,80	25 008	
1870	8	18 5	2 15	11,55	1,44	0,64	0,60	1,20	— 3,20	26 336	2 289
1871	12	22 10	1 50	23,40	1,95	1,05	0,60	1,80	— 2,60	17 000	726
1872	13	34 20	2 38	54,55	4,20	1,62	0,60	2,40	— 2,00	40 000	727
1873	6	15 25	2 34	22,00	3,67	1,43	0,40	2,86	— 1,60	62 000	2 818
1874	18	60 10	3 20	115,30	6,41	1,91	2,00	4,80	+ 0,40	71 800	623
1875	23	110 55	4 49	203,00	8,83	1,82	3,00	7,80	+ 3,40	76 000	375
1876	23	162 45	7 5	128,00	5,56	0,78	3,20	11,00	+ 6,60	80 000	625
1877	30	261 »	8 42	120,00	4,00	0,46	5,70	16,70	+ 12,30	90 000	750
TOTAUX ET MOYENNES.	180	753 »	4 11	702,85	3,90	0,93	1,85			517 136	736

A partir de 1876, les conditions d'accostage et de séjour s'améliorent encore ; mais il faut élever les matériaux à une hauteur de plus en plus grande, et l'on arrive désormais à des maçonneries de sujétion dont l'exécution exige beaucoup de temps, à raison de la difficulté d'installer les apparaux et d'employer un nombreux personnel sur l'espace singulièrement restreint dont on dispose.

Les résultats de l'année 1877 font bien ressortir ces nouvelles conditions. Le nombre et la durée des accostages dépassent tous les résultats précédents ; mais le cube exécuté par heure n'est plus que de $0^m,46$, et le prix moyen du mètre cube s'élève à 750 francs.

D'autre part cependant, comme le cube à exécuter par mètre de hauteur est bien diminué, la tour s'élève plus rapidement que jamais.

Tous les apparaux doivent être simples, peu coûteux et faciles à remplacer, car ils sont sujets à être emportés par la mer, ainsi que cela est arrivé deux fois dans la campagne de 1877. Les chantiers du phare comportaient en 1877 un personnel de cinquante-cinq hommes, marins, maçons, manœuvres et tailleurs de pierres. Le nombre des hommes employés sur la roche même est de trente-cinq à quarante.

Le matériel flottant comprend un remorqueur à vapeur, trois chaloupes à voiles et trois embarcations.

Le second modèle figure le phare terminé d'après le projet approuvé. Ce modèle s'ouvre de manière à laisser voir l'intérieur, et l'on a représenté sur les tranches coupées, au moyen de peintures et d'inscriptions, les principaux détails de la construction et l'avancement successif des ouvrages d'année en année.

Ce travail a été conçu et arrêté, en ce qui est essentiel, par M. Léonce Reynauld, directeur du service des phares.

On voudrait pouvoir citer aussi les noms de tous ces braves marins et ouvriers bretons qui, inconscients de leurs titres à l'admiration, ont, à force d'énergie et de dévouement, assuré le succès d'une entreprise plus hardie, plus téméraire pourrait-on dire, qu'aucune de celles du même genre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Phare de Planier (Bouches-du-Rhône).

La tour de ce phare est cylindrique. Elle est construite en maçonnerie de moellons hourdés au mortier de chaux hydraulique du Theil et de sable non salé de l'île de Riou. La pierre de taille n'est employée que pour le revêtement du soubassement, ainsi que pour la corniche et le parapet du couronnement. Le parement du fût est fait au moyen d'un enduit au ciment de Portland. L'escalier est en pierre de taille, mais le parement de la cage est simplement revêtu d'un enduit en ciment de la Valentine. Les moellons ont été pris partie sur l'île, partie sur le continent, et ces derniers viennent des carrières des Catalans. Les pierres de taille proviennent des bancs, dits « plombés », des carrières de Cassis.

Le soubassement repose sur une plate-forme de fondation qui est arrasée à $4^m,33$ en contre-haut de la haute mer. La hauteur du soubassement au-dessus de cette plate-forme est de $8^m,60$, la hauteur du fût de $42^m,44$, celle du couronnement de $5^m,45$; le foyer sera à $57^m,60$ au-dessus de la plate-forme de fondation, et se trouvera par suite à $61^m,93$ au-dessus des hautes mers.

Les rayons des sections circulaires horizontales de la tour sont de : $3^m,35$ au sommet du fût, $4^m,40$ à la base du fût et $6^m,90$ à la base du soubassement. Le vide intérieur formant la cage de l'escalier est un cylindre de 4 mètres de diamètre.

La tour ne contient ni magasin ni logement pour les gardiens. On utilise, pour ces installations indispensables, les dépendances qui servaient déjà à cet usage dans l'ancien phare que celui-ci remplace.

Tour-balise de Lavezzi (Corse).

L'écueil de Lavezzi, situé dans les bouches de Bonifacio, entre la Corse et la Sardaigne, à 1,800 mètres au sud de l'île de Lavezzi (France) et à 7,000 mètres au nord-ouest de l'île de Razzoli (Sardaigne), présente un danger sérieux pour la navigation. Il est formé, à sa partie supérieure, d'un plateau incliné dans lequel on peut inscrire une circonférence de $6^m,50$ de diamètre et dont les cotes de profondeur, au-dessous des mers moyennes, varient entre $2^m,30$ et 6 mètres. Du côté du N. O., la paroi du rocher est verticale sur environ 8 mètres de hauteur.

Pendant la nuit, la position de l'écueil est déterminée par l'intersection de deux secteurs lumineux rouges émanant des feux établis sur les îles de Lavezzi et de Razzoli. Pendant le jour, elle est indiquée par une tour en maçonnerie dont la construction, commencée en 1876, a été achevée en 1877.

Les conditions d'exécution du travail furent des plus difficiles. L'écueil à signaler est, comme nous l'avons dit plus haut, situé à 1,800 mètres de l'île presque déserte de Lavezzi et à 12 kilomètres de Bonifacio, qui n'offre du reste aucune ressource en ouvriers spéciaux, ni en matériel. Il a fallu fréter à Ajaccio les embarcations et les gondoles; le ciment, les fers et tout le matériel ont dû arriver du continent français par un bateau à vapeur qui fait le service d'Ajaccio à Bonifacio tous les quinze jours seulement. Mais la plus grande difficulté consistait dans l'énergie des courants qui règnent d'une manière presque continue dans les bouches de Bonifacio, et dans l'extrême variabilité de l'état de la mer, même pendant l'été. Cette violence de la mer et l'insuccès des tentatives antérieures causaient les plus vives appréhensions aux ingénieurs, et justifient

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les précautions spéciales dont ils ont cru devoir s'entourer, ainsi qu'on va le voir.

La fondation est formée d'un massif cylindrique en béton de ciment, de $6^m,50$ de diamètre, arasé à 1 mètre au-dessus des mers moyennes; la tour affecte la forme d'un tronc de cône de 6 mètres de hauteur, dont les bases ont $5^m,50$ et 4 mètres de diamètre.

L'adhérence de la tour au rocher a été augmentée au moyen de douze goujons en fer; les quatre les plus rapprochés du centre du massif ont $0^m,10$ de diamètre et pénètrent de $0^m,60$ dans le rocher; les huit autres, de $0^m,15$ de diamètre, ont été scellés à 1 mètre de profondeur.

Le travail peut se diviser en quatre périodes : l'installation, la fondation, le forage des trous dans le rocher, la construction de la tour au-dessus de l'eau.

Dès le mois d'avril 1876, on s'occupa de construire des baraques pour le logement des ouvriers sur l'île de Lavezzi, dans l'enceinte du phare. Le matériel fut commandé et fabriqué à Marseille.

Le 1er juin, tout le personnel, hommes et embarcations, était rendu à Lavezzi, tout le matériel nécessaire pour commencer les travaux était sur place; un approvisionnement important de ciment était arrivé avec les gâcheurs et les plongeurs, venus du continent français.

Le personnel se composait du conducteur des travaux, de deux plongeurs et d'un guide, de leurs gâcheurs et de quarante ouvriers, tant marins que manœuvres.

Le matériel flottant consistait en deux tartanes de 22 tonneaux chacune et en trois canots de dimensions diverses, dont l'un portait le scaphandre. Un quatrième canot était chargé des transports de toute sorte entre Lavezzi et Bonifacio.

On plaça immédiatement les corps-morts de l'ancrage, au nombre de quatre; ils furent rattachés à autant de bouées en tôle placées au N. O., à l'O. S. O., au S. E. et à l'E. N. E. de l'écueil, de manière à constituer un système d'amarrage aussi solide que possible.

Le 5 et le 6 juin, on s'occupa du nettoyage du rocher; cette opération fut interrompue par le mauvais temps et ne put être reprise que le 25; le 28, elle était terminée. Le mois de juin avait donc été peu propice; la campagne commençait mal.

Lorsqu'on ne pouvait se rendre sur l'écueil, tous les ouvriers, sans exception, préparaient de la pierre cassée pour le béton.

Le 5 juillet, on détermina aussi exactement que possible le centre des fondations, et on y scella avec du ciment pur un axe formé d'une barre en fer galvanisé de $0^m,06$ de diamètre. Puis le coulage du béton commença. Il était descendu dans des seaux au plongeur, qui les vidait en les retournant et qui tassait la matière en la serrant contre le tas le plus rapproché. Douze vides furent ménagés dans le massif, à l'aide de tubes en fonte de $0^m,60$ de hauteur, qui s'emboîtaient de $0^m,15$ les uns dans les autres, et que l'on plaça successivement au fur et à mesure de l'avancement des fondations.

Dès que l'on eût ainsi atteint le point le plus élevé du rocher et réglé la fondation suivant une surface à peu près plane, on se servit d'un panneau mobile de $0^m,60$ de hauteur, ayant en plan un développement de $1/5$ de circonférence environ. Ce panneau, inventé par M. l'ingénieur Martin, pour la construction des balises du Var, rendit les plus grands services, en opposant au courant un obstacle sérieux, en empêchant le délavage ou l'enlèvement du béton, et en permettant de donner à la fondation une forme très-régulière.

Le ciment employé dans la fondation était du ciment de la Méditerranée (Désiré Michel). Le béton était composé en volume d'une partie de pierres cas-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sées pour une de mortier, formé lui-même, moyennement, de deux parties de ciment pour une de sable. Cette proportion de mortier variait du reste suivant la force du courant et la portion de massif à élever. Ainsi, extérieurement, le ciment était employé sans aucun mélange de pierres et quelquefois pur, en vue d'un durcissement plus rapide, tandis qu'intérieurement le béton était presque toujours composé de volumes égaux de ciment, de sable et de pierres.

La mer obligea souvent de suspendre le travail. Bien des fois on se rendit sur l'écueil et l'on fut obligé de rentrer après une heure de travail, ou même sans avoir pu travailler.

Il arriva à plusieurs reprises qu'après avoir travaillé deux jours, on se reposa pendant onze et douze jours consécutifs; nous avons éprouvé onze interruptions de cette nature. Le 25 août, une tempête effroyable s'abattit sur les bouches de Bonifacio, et ce ne fut que seize jours après que la mer fut assez calme pour permettre la reprise du travail. On comprend quels faux frais une situation semblable engendrait.

Enfin, le 30 septembre, la fondation était élevée à 1 mètre au-dessus du niveau moyen de la mer. Sur cent dix-sept jours, on avait à peine travaillé trente-six jours, à raison de six heures par jour en moyenne. Le cube du massif de fondation était de 163 mètres; mais, en profitant d'une crevasse que le rocher présente dans sa partie S. E., on a pu adosser à la tour un contre-fort de 14^{mq} environ, ce qui porte le cube total de la fondation à 177 mètres. On a donc coulé près de 1^{mq} de béton par heure de travail effectif.

On aurait pu suspendre alors les travaux et remettre à l'été suivant le forage des trous dans le rocher. Mais cette opération longue et pénible devant exiger une campagne entière, la tour n'aurait pu ainsi être achevée qu'en 1878. On gagna une année en commençant le forage immédiatement, et cet avantage ne coûta en définitive que 7,500 francs environ.

Le forage se pratiquait au moyen de trépans manœuvrés dans les tubes qu'on avait ménagés à cet effet dans le massif de fondation; puis, lorsque le trou avait la profondeur voulue, on y descendait un goujon en fer galvanisé ayant, à $0^m,01$ près, le diamètre du trou, et dont la longueur était double de la profondeur de ce trou; le tube était ensuite rempli de ciment pur très-liquide.

La somme des profondeurs qu'on a ainsi forées s'élève à $10^m,40$. L'opération, commencée le 27 octobre 1876, a été terminée le 7 août 1877. Elle a été souvent contrariée par la mer; on devait bien s'y attendre, mais cependant il faut constater que le temps a été cette année exceptionnellement mauvais. Ainsi, c'est à peine si on a pu travailler pendant onze jours par mois, à raison de sept heures dix minutes par jour en moyenne. On a foré en moyenne $0^m,014$ par heure de travail effectif, résultat satisfaisant, eu égard aux circonstances dans lesquelles on a opéré et à la dureté extrême du rocher.

Dès le 8 août, on a commencé la construction de la tour, qui fut terminée, y compris la balustrade, le 14 septembre suivant. Elle est en maçonnerie de ciment recouverte d'un crépissage de $0^m,02$ d'épaisseur, également en ciment. Cet ouvrage n'a présenté aucune particularité qui mérite d'être signalée : il a exigé cent cinquante heures de travail effectif. Le cube de la maçonnerie étant de 113 mètres, on a fait $^3/_4$ de mètre cube de maçonnerie par heure en moyenne.

La tour est peinte par bandes de 1 mètre de largeur, alternativement rouges et noires, et est munie d'échelons en fer conduisant à une galerie supérieure également en fer, pouvant servir de refuge en cas d'accident.

Les travaux ont été entièrement exécutés en régie. La dépense s'est élevée à 92,000 francs et se répartit ainsi :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Installation, acquisition de matériel, personnel et dépenses diverses	7 876f,97
Fondation	43 075 ,07
Tubes en fonte et tiges galvanisées	2 659 ,60
Forage des trous	23 366 ,36
Tour au-dessus de l'eau	15 022 ,00
TOTAL	92 000 ,00

Le projet a été dressé et le travail exécuté par M. KOZIOROWICZ, ingénieur ordinaire, sous la direction de MM. les ingénieurs en chef : CELLER, pour le projet, et GAY pour la construction. Les conducteurs qui ont secondé les ingénieurs dans la surveillance sont MM. GIRAUD, pour la fondation, et ILARI, pour le forage des trous et la construction de la tour. Le ciment a été fourni par la maison Désiré MICHEL, de Marseille.

Phares et balises. — Deux appareils pour feu fixe et scintillant.

Le caractère que présentent ces appareils a été appliqué au phare du Four (Finistère) ; il a été désigné sous le nom de « feu fixe et scintillant ». Il pourra être employé avec avantage lorsqu'on aura à installer un nouveau feu sur un point du littoral où il en existe déjà beaucoup, et où se trouvent appliqués les principaux caractères déjà connus.

L'appareil de troisième ordre se compose de deux parties différentes, occupant chacune une moitié de la circonférence : l'une est un demi-appareil de feu fixe ordinaire de 1 mètre de diamètre; l'autre comprend huit panneaux annulaires complets, correspondant chacun à $^1/_{16}$ de la circonférence, et destinés à produire les huit éclats du feu scintillant. La machine de rotation est placée dans le socle de l'appareil; elle a reçu les dispositions particulières adoptées pour les appareils tournant rapidement. La rotation s'effectue en 1 minute, de sorte qu'on aperçoit pendant 30 secondes un feu fixe, et, pendant les 30 secondes suivantes, huit éclats se succédant à 3 secondes $^3/_4$ d'intervalle. La lampe est à mouvement d'horlogerie, avec bec à trois mèches disposé pour brûler de l'huile minérale. L'intensité lumineuse donnée par cette lampe est de 14 becs Carcel; celle du feu fixe est de 220 becs, et celle de chacun des éclats du feu scintillant atteint 930 becs dans l'axe.

L'appareil de quatrième ordre se compose également de deux parties : l'une est un demi-appareil de feu fixe de $0^m,50$ de diamètre, l'autre comprend cinq panneaux annulaires occupant chacun 36 degrés. La rotation complète s'effectue en 30 secondes, de sorte que l'appareil produit pendant 25 secondes un feu fixe, et pendant les 25 secondes suivantes cinq éclats se succédant à 5 secondes d'intervalle. Ces éclats sont colorés en rouge. L'intensité de la lampe à deux mèches est de $6^{becs},9$, celle du feu fixe blanc est de 59 becs et sa portée de $12^{milles},6$; les éclats donnent 270 becs de lumière blanche et ont une portée de $12^{milles},3$ eu égard à leur coloration en rouge.

Ces deux appareils ont été fabriqués par MM. HENRY-LEPAUTE fils, constructeurs de phares, à Paris.

Appareil de feu de marée.

Les signaux de marée, destinés à faire connaître aux navigateurs les hauteurs de l'eau dans un port ou dans un chenal, se font, pendant le jour, au moyen de ballons qui se hissent sur un appareil composé d'un mât et d'une vergue. Les indications ne commencent que lorsque la hauteur dépasse 2 mètres; un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ballon placé à l'intersection du mât et de la vergue, ainsi que tout ballon placé sur le mât au-dessous de celui-ci, ajoute 1 mètre à la hauteur primitive de 2 mètres, et tout ballon placé au-dessus en ajoute 2. Les fractions de mètre sont indiquées par des ballons hissés à une extrémité de la vergue ou à l'autre; quand le ballon paraît à gauche du mât, il indique $0^m,25$; quand il est vu à droite, il indique $0^m,50$; les deux ballons indiquent ensemble $0^m,75$. On complète ces renseignements en faisant connaître le mouvement de la marée au moyen d'un pavillon blanc avec croix noire et d'une flamme noire en forme de guidon.

Jusqu'à présent, ces indications n'ont pas été données pendant la nuit. Mais à la suite de réclamations des pilotes de la basse Seine, et eu égard au développement considérable qu'a pris la navigation de la Seine dans ces derniers temps, il a été décidé qu'un appareil serait installé dans le port de Honfleur pour donner aux pilotes pendant la nuit, les indications de hauteur que le mât de signaux leur fournit pendant le jour.

Pour arriver à ce résultat, il suffit de produire une série d'éclats dont on fait varier le nombre à volonté, d'attribuer à une partie de ces éclats une couleur qui représente les mètres et à l'autre partie une couleur différente représentant les quarts de mètre, enfin de séparer par une lumière fixe le signal ainsi produit du signal suivant. L'appareil exposé réalisait cette combinaison. Il se compose d'un appareil de feu fixe de $0^m,50$ de diamètre éclairant la moitié de l'horizon, d'un réflecteur catadioptrique occupant l'autre moitié et d'un demi-tambour de huit lentilles verticales embrassant chacune 22 degrés $^1/_2$. Ces huit lentilles sont colorées, cinq en rouge et trois en vert: elles sont disposées de manière à pouvoir être à volonté enlevées et remises en place, ou plutôt, afin d'éviter ces déplacements, elles peuvent tourner autour d'un axe vertical de manière à venir se placer dans un plan diamétral de l'appareil; dans cette position, elles ne produisent plus sur la lumière du feu fixe qu'une légère occultation, qui est à peu près insensible lorsqu'on emploie une lampe à deux mèches. Ces lentilles sont, du reste, maintenues par des taquets à ressort dans l'une ou l'autre des deux positions qu'elles doivent prendre. La rotation s'effectue en 80 secondes et pourrait au besoin être accélérée. Le sens du mouvement est tel, que les lentilles rouges paraissent avant les vertes.

Voici maintenant quelle est la manœuvre de cet appareil : comme tous les feux de marée, on l'allume dès que la mer atteint une hauteur de 2 mètres au-dessus des plus basses eaux; toutes les lentilles sont enlevées ou du moins placées dans les plans diamétraux, de sorte qu'on a l'apparence d'un feu fixe ordinaire. Dès que l'eau atteint $2^m,25$, le gardien met en place la lentille verte, qui se présente la première dans le sens du mouvement; on voit alors toutes les 80 secondes un éclat vert précédé et suivi d'une courte éclipse, puis un feu fixe blanc, durant 75 secondes, entre chaque éclat et le suivant. La seconde lentille verte est mise en place lorsqu'il y a $2^m,50$ d'eau, et la troisième lorsqu'il y en a $2^m,75$. On voit alors deux, puis trois éclats verts se succédant à 5 secondes d'intervalle, suivis d'un feu fixe blanc pendant 70 ou 65 secondes et se reproduisant toutes les 80 secondes. Lorsqu'il y a 3 mètres d'eau, le gardien enlève ou retourne les trois lentilles vertes et met en place la dernière lentille rouge dans le sens du mouvement, c'est-à-dire celle qui confine à la première lentille verte. Cette lentille rouge ajoute 1 mètre aux 2 mètres primitifs et représente ainsi 3 mètres de hauteur. En remettant successivement en place la première, la deuxième et la troisième lentille verte, qui suivent immédiatement cette lentille rouge, on indique $3^m,25$, $3^m,50$ et $3^m,75$. Pour 4 mètres, on retourne encore les trois lentilles vertes et on met en place l'avant-dernière lentille rouge, de sorte qu'on aperçoit deux éclats rouges qui ajoutent 2 mètres à la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

hauteur primitive et représentent par conséquent 4 mètres. En continuant ainsi, on peut arriver jusqu'à produire cinq éclats rouges et trois éclats verts, lesquels se succèdent à 5 secondes d'intervalle et sont suivis d'un feu fixe blanc durant 40 secondes. Ce signal représente une hauteur de $7^m,75$, qui dépasse les besoins ordinaires de la pratique. Lorsque la mer descend, on reproduit les mêmes signaux dans l'ordre inverse, et le feu est éteint dès que la hauteur s'est abaissée à 2 mètres.

Appareil pour feux provisoires de différents caractères.

Cet appareil est destiné à servir de rechange lorsqu'un phare existant a besoin de réparations, ou de feu provisoire en attendant l'installation d'un phare définitif. Il est disposé de manière à produire à volonté les différents caractères que présentent les feux du littoral.

Il se compose d'un appareil de feu fixe de $0^m,375$ de diamètre, éclairant les trois quarts de l'horizon, et d'un tambour de $0^m,50$ de diamètre, composé de huit lentilles verticales. La lanterne est circulaire et a $0^m,81$ de diamètre extérieur. Le piédestal, de $0^m,45$ environ de diamètre, contient une machine qui imprime au tambour lenticulaire un mouvement de rotation. Les différentes parties de cet appareil ont des dimensions aussi réduites que possible, afin qu'on puisse facilement le transporter et le monter sur la galerie extérieure d'un phare en réparation, ou sur une charpente provisoire.

Becs et lampes à huile minérale.

La substitution de l'huile minérale à l'huile de colza pour l'éclairage des phares de France est aujourd'hui un fait accompli. Les études sur cette question furent commencées en 1856, au Dépôt des phares, avec de l'huile de schiste fabriquée dans le centre de la France. Cette huile émettait des vapeurs inflammables à une température de 25 à 30 degrés, et, malgré les dangers qui pouvaient en résulter, elle fut successivement introduite, de 1858 à 1865, dans tous les fanaux munis d'une lampe à une seule mèche. Les résultats furent très-satisfaisants et aucun accident grave ne se produisit. Il eût cependant été imprudent d'adopter la même mesure pour les phares des premiers ordres, dont les lampes et les magasins contiennent une bien plus grande quantité d'huile que ceux des fanaux. Ce fut seulement en 1868, quand on put employer un produit beaucoup moins inflammable, que la question fut reprise. A la suite d'une proposition faite par M. Doty, citoyen américain, des expériences furent commencées sur des becs à plusieurs mèches dans lesquels on brûlait une huile désignée sous le nom de « paraffine d'Écosse » et n'émettant de vapeurs inflammables qu'à une température de plus de 60 degrés. Après une série d'essais poursuivis au Dépôt central et dans quelques phares, l'emploi de cette huile fut adopté d'une manière générale et introduit dans tous les phares du littoral français. La transformation a été opérée dans les grands phares en trois années, de 1872 à 1874.

Dans ces derniers temps, quelques fabricants français sont parvenus à obtenir des produits qui remplissent les mêmes conditions que l'huile paraffine et paraissent même lui être à quelques égards préférables, tout en étant d'un prix moins élevé. Depuis le 1er janvier 1876, l'huile minérale employée dans les phares de France provient de l'usine de M. Deutsch, près Paris, et elle coûte $0^f,79$ le kilogramme, rendue à destination.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'adoption de ce nouveau mode d'éclairage devait entraîner une notable diminution de dépense; on jugea convenable d'employer une partie de l'économie à augmenter, dans l'intérêt de la navigation, l'intensité lumineuse des appareils. Les becs de lampe, dans les différents ordres de phares, furent donc agrandis de manière à recevoir chacun une mèche de plus, et on profita de la nécessité où l'on se trouvait de les reconstruire tous, pour y introduire de l'uniformité en donnant exactement le même diamètre aux mèches de même rang à partir du centre.

Ce sont ces nouveaux becs qui figuraient à l'Exposition avec la forme définitivement adoptée dans le service des phares de France. Ils ont depuis une jusqu'à six mèches. Les cinq premiers sont affectés aux cinq ordres de phares; le bec à six mèches est réservé pour des cas exceptionnels. Le diamètre extérieur de ces becs augmente de $0^m,02$ en $0^m,02$, depuis $0^m,03$ jusqu'à $0^m,13$. Chaque mèche est contenue entre deux cylindres de cuivre mince espacés de $0^m,005$, et elle est séparée de la mèche voisine par un vide annulaire de $0^m,005$ destiné à l'ascension de l'air froid, l'épaisseur du métal étant prise du côté de la mèche. Le diamètre moyen des mèches varie ainsi régulièrement de $0^m,025$ à $0^m,125$.

La comparaison des deux modes d'éclairage conduit à des résultats intéressants. Les phares de différents ordres du littoral français consomment environ 320,000 kilogrammes d'huile minérale, ce qui, à raison de $0^f,79$ par kilogramme, représente une dépense de 252,800 francs. Si les mêmes phares étaient encore éclairés à l'huile de colza avec les anciens becs, plus étroits que les nouveaux, la consommation serait de 245,000 kilogrammes et la dépense, à $1^f,51$ le kilogramme, de 370,000 francs. D'un autre côté, la somme des intensités produites par toutes les lampes en service dans les deux cas s'élève à 3,000 becs pour l'huile minérale, et ne serait que de 1,785 becs pour l'huile de colza, ce qui fait revenir le prix de l'unité d'intensité, par an, à 84 francs dans le cas de l'huile minérale et à 207 francs avec l'huile de colza. Le rapport de ces deux prix est d'environ 2,5. On peut donc dire que, dans le service des phares de France, l'emploi de l'huile minérale a diminué la dépense de l'huile de près d'un tiers, tout en augmentant la quantité de lumière de plus des deux tiers, et qu'en définitive le nouveau combustible est deux fois et demie plus avantageux que l'ancien.

Phares électriques.

L'application de la lumière électrique à l'éclairage des phares remonte déjà à quatorze ou quinze ans, et depuis lors ce nouveau système ne s'est pas répandu aussi rapidement qu'on aurait pu le supposer. En France, il n'y a encore que trois phares électriques : ceux du cap de la Hève et celui du cap Gris-Nez. Ce n'est pas que les machines destinées à produire les courants électriques ou à les transformer en lumière aient présenté des imperfections ou donné lieu à des accidents; il faut reconnaître, au contraire, qu'elles ont fonctionné avec toute la régularité désirable. Mais tous les phares importants des côtes de France sont depuis longtemps installés avec les appareils optiques destinés à recevoir un éclairage à l'huile, de sorte que, pour y introduire la lumière électrique, il faut commencer par sacrifier le capital que représentent ces appareils et s'imposer ensuite une dépense au moins aussi importante pour l'installation du nouveau mode d'éclairage. Tel est le motif qui a fait ajourner l'emploi de l'électricité.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LES CHEMINS DE FER (1).

Viaduc de Vezouillac (ligne de Rodez à Millau).

Emplacement et dispositions générales. -- Le viaduc est situé au point où la ligne de Millau à Rodez rencontre le ravin de Vezouillac. Cet ouvrage se compose de sept arches en plein cintre de 16 mètres d'ouverture; il est établi pour deux voies dans une courbe de 300 mètres de rayon, et le profil en long de sa plate-forme présente une pente de $0^m,0321$ par mètre.

La hauteur maximum du viaduc est de 43 mètres par rapport au fond du ravin et de $44^m,52$ par rapport au sol de fondation. Sa superficie en élévation est de $4,445^m,50$, parapet non compris, et le volume total des maçonneries s'élève à 16,330 mètres.

Fondations. — Les piles et les culées sont fondées sur le calcaire argileux du lias, qui apparaît aux flancs du ravin.

Mode de construction. — Les piles, au nombre de six, ont une section trapézoïdale justifiée par la courbure du viaduc; leur épaisseur, mesurée aux naissances, est de $3^m,60$ sur la tête concave et de $4^m,20$ sur la tête convexe.

Pour uniformiser les pressions sur les diverses assises, on a donné des fruits courbes aux parements; cette innovation transforme la pile en un solide d'égale résistance, sans qu'il soit nécessaire de ménager des retraites à diverses hauteurs. Par cette suppression des retraites, on laisse aux lignes verticales toute leur pureté; rien n'arrête l'œil, qui embrasse d'un seul coup la hauteur entière de l'édifice. Le seul écueil qui se présentait dans l'adoption des fruits courbes semblait être la difficulté d'exécution; on l'a évité en remplaçant la courbure continue des faces par une série de facettes planes inscrites dans la courbe théorique et qui se substituent à elle sans que l'œil en soit même averti. En fait, l'adoption de ce système n'a occasionné aucune sujétion et n'a point entraîné plus de dépenses que si les piles avaient présenté un fruit constant dans toute leur hauteur.

Pour s'opposer aux déversements latéraux des piles, on a exagéré les fruits courbes sur leurs petites faces et on les a appuyées par des contre-forts présentant eux-mêmes des fruits courbes assez prononcés. Ces contre-forts, qui s'élancent sans brisures jusqu'au parapet, ont une saillie plus forte sur la face concave, afin de résister à la force centrifuge développée par un train passant sur le viaduc. Ils dissimulent à l'œil, sur les faces latérales, les arêtes du polygone formé par les voûtes et les trapèzes des piles. Ils augmentent en outre les superficies horizontales des assises, et diminuent ainsi les pressions par unité de surface.

Ces pressions, pour lesquelles on s'était imposé une moyenne de 6 kilogrammes par centimètre carré, sont :

(1) Voir notre article principal sur les *Chemins de fer*, pages 99 et suivantes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aux naissances	$4^{k},99$
A 5 mètres en contre-bas des naissances	5 ,57
A 10 mètres	6 ,03
A 15 mètres	6 ,27
A 20 mètres	6 ,28
A 25 mètres	6 ,17
A 30 mètres	5 ,98

L'emploi de la pierre de taille a été exclusivement limité à la corniche et au bahut des parapets. Les archivoltes et les angles saillants des piles, des culées et des contre-forts sont en moellons piqués; le reste des parements est en moellons têtués.

On a supprimé tout cordon aux naissances des voûtes, et c'est seulement dans les archivoltes que le moellon piqué fait saillie sur le reste des parements. En écartant ainsi toute recherche d'appareil, on s'est attaché à laisser subsister seulement les lignes principales de la construction, afin de donner aux maçonneries un caractère d'homogénéité très-rassurant, et qui convient d'une manière spéciale pour un grand ouvrage.

Dans un viaduc aussi élevé, la trépidation des trains s'exerçant sur un remplissage entre les murs des tympans pourrait produire des poussées dangereuses; pour les éviter, on a construit sur les reins de chacune des grandes voûtes un berceau de décharge dont l'axe est perpendiculaire à celui du pont. On a préféré ce système à celui des voûtes longitudinales, parce qu'on redoutait sur ces dernières l'effet combiné de la force centrifuge et des poussées. On a d'ailleurs eu soin de placer le centre de ces voûtes un peu en dehors des axes des piles; cette précaution a eu pour but de ramener vers le centre de chaque pile la résultante des actions verticales transmises par les deux demi-voûtes contiguës, résultante qui était déplacée, à raison de la pente donnée au viaduc. Des puits avec regards, ménagés sur l'axe de la plate-forme, permettent la visite des voûtes intérieures.

Pour l'ensemble du viaduc, en considérant la coupe longitudinale faite suivant l'axe de la voie, le rapport du vide au plein en élévation est de 1,82, et le cube moyen de maçonnerie par mètre superficiel en élévation est de $3^{m},67$.

Matériaux. — Les moellons de parement sont des grès de Verrières (Aveyron); les moellons employés dans l'intérieur sont calcaires et ont été fournis par les tranchées voisines de l'ouvrage; le sable a été pris dans le lit du Tarn; enfin, la chaux hydraulique dont on a fait usage provient de la cuisson de calcaires pris aux abords du viaduc, et a été fabriquée dans une usine installée spécialement par les ingénieurs.

L'intérieur des maçonneries des piles, au lieu d'être en libages ou en moellons smillés sur les lits, comme on l'a fait pour d'autres grands viaducs, est simplement en maçonnerie de moellons bruts. Les voûtes et les tympans de la face convexe ont été exécutés avec du mortier de ciment à prise lente.

Cintres. — Les cintres étaient soutenus par des rails traversant les maçonneries des piles au niveau des naissances. Par arche, le cube de bois employé s'est élevé à $51^{m},79$, et la dépense du cintre a été de 3,400 francs environ. Le tassement au sommet, pendant la construction, a été, moyennement, de 0,003, et le tassement des voûtes, à la suite du décintrement, s'est élevé en moyenne à 0,004.

Dépenses. — Les dépenses faites pour la construction du viaduc de Vezouillac se résument ainsi qu'il suit :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NATURE DES TRAVAUX.	DÉPENSES	
	TOTALES.	PAR MÈTRE linéaire.
Fondations	65.619f00	423f62
Piles et culées jusqu'aux naissances . .	235.711,64	1.521,70
Des naissances à la plinthe	290.857,82	1.877,71
Cintres	23.788,29	153,57
Abords et travaux accessoires.	28.024,00	180,92
TOTAUX au-dessus des fondations.	578.381,75	3.733,90
TOTAUX, fondations comprises . .	644.000,75	4.157,53

Les prix par mètre superficiel en élévation sont :
Au-dessus des fondations, 130f,11 ; fondations comprises, 144f,87.
Enfin, les prix moyens par mètre cube de maçonnerie de toute nature sont :
Au-dessus des fondations, 35f,41 ; fondations comprises, 39f,44.

Le viaduc a été exécuté sous la direction supérieure de MM. LEFORT, BAUDARD et MARX, inspecteurs généraux des Ponts et Chaussées. Les ingénieurs qui ont rédigé les projets et dirigé les travaux sont M. ROBAGLIA, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et M. PADER, ingénieur ordinaire.

Les chantiers ont été surveillés par MM. LONGUEVILLE et LAMOTHE, conducteurs des Ponts et Chaussées.

L'entrepreneur était M. CHÊNE.

Pont de Port-Sainte-Marie sur la Garonne (chemin de fer de Condom à Port-Sainte-Marie).

Emplacement et dimensions principales. — Le pont construit sur la Garonne par l'État, pour le chemin de fer de Condom à Port-Sainte-Marie (réseau du Midi), est situé à 3,000 mètres environ en aval de Port-Sainte-Marie à 7 kilomètres en amont du confluent de la Garonne et du Lot. Il comprend huit arches en maçonnerie de 32 mètres d'ouverture chacune, et présente par suite un débouché linéaire de 256 mètres; son débouché superficiel au-dessous de la crue du 23 juin 1875 est de 2,268mq. Il est accompagné d'ouvrages de décharge dans la plaine submersible, savoir :

1° Sur la rive gauche, trois viaducs, composés chacun d'une arche en maçonnerie de 16 mètres d'ouverture;

2° Sur la rive droite, quatre viaducs : le premier est formé de huit arches en maçonnerie de 16 mètres d'ouverture, le deuxième de treize arches en maçonnerie de 16 mètres, le troisième d'une travée métallique de 25 mètres, le quatrième de cinq travées métalliques de 25 mètres.

L'ensemble des ouvrages donne ainsi un débouché linéaire de 790 mètres et un débouché superficiel, au-dessous de la crue de juin 1875, de 4,055mq.

Les arches du grand pont sont elliptiques; la montée est de 10 mètres; la culée de rive gauche comprend en outre une petite arche de 3 mètres d'ouverture pour le passage d'un chemin rural. Le pont est établi pour une seule voie de fer et présente 4m,50 de largeur libre entre les parapets; l'intrados des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

voûtes à la clef est à 13 mètres au-dessus de l'étiage, et le niveau des rails à 15m,11.

Fondations. — Le fond de la Garonne, à l'emplacement du pont, consiste en un banc de marne argileuse, passant sur certains points au sable compacte que l'on désigne dans le pays sous le nom de « tuf » : le tout à nu ou recouvert d'une couche de gravier de 0m,50 au plus. La profondeur d'eau au-dessous de l'étiage est de 1 mètre à 1m,50 ; mais cet étiage se présente rarement, et, pendant toute la période des fondations en 1876, les eaux l'ont surmonté de 1m,50 ou même de 2 mètres.

Sur les berges, on trouvait le sol solide au même niveau qu'en rivière, mais à 5 ou 6 mètres en contre-bas du sol ; au-dessus étaient des sables et des graviers. Sur la rive gauche, on a fondé par épuisement la culée et la première et la deuxième pile dans des enceintes de palplanches battues à la sonnette avant le déblai ; sur la rive droite, la culée et la septième pile ont été fondées dans des enceintes formées de planches verticales maintenues par des cadres horizontaux et battues au maillet au fur et à mesure du déblai. Ce système a donné de bons résultats et a été appliqué à la fondation des viaducs de décharge jusqu'à des profondeurs de 7 à 8 mètres au-dessous du sol, dans des terrains plus ou moins aquifères. Les deux culées et les trois piles sur berge ont été assises sur le banc de marne convenablement dérasé.

En rivière, on a fondé également par épuisement dans des batardeaux. Le travail a présenté d'assez grandes difficultés par suite des crues continuelles des années 1875 et 1876, qui ont emporté plusieurs fois les batardeaux et les ponts de service.

Lorsque le tuf était à nu, on y forait à l'avance les trous où devraient pénétrer les pieux des batardeaux et des ponts de service ; là où le gravier empêchait le forage, on employait des sabots terminés par une tige en fer carrée de 0m,50 de longueur environ et de 0m,03 à 0m,05 de côté ; ces pieux, battus avec précaution, s'enfonçaient bien dans le tuf et étaient difficiles à arracher, tandis que les pieux battus avec des sabots ordinaires, même dans les trous forés, étaient enlevés par soulèvement ; mais ils pouvaient se renverser, et il fallut enrocher fortement le pourtour des batardeaux et les palées des ponts de service.

Les batardeaux une fois construits furent remplis d'argile bien pilonnée et s'épuisèrent assez facilement : aux piles nos 3 et 4, on déblaya le tuf à 2 mètres au-dessous de la rivière ; aux piles 5 et 6, le tuf devenant sablonneux, on descendit à 6 mètres et à 6m,50 au-dessous du fond, c'est-à-dire à 9 mètres et à 7m,50 au-dessous de la partie supérieure des batardeaux ; ces grandes fouilles purent être maintenues au moyen de blindages de peu d'importance.

Les épuisements ont été faits au moyen de trois machines à vapeur locomobiles, dont une de 10 chevaux et deux de 4 chevaux, actionnant des pompes centrifuges du système Neut et Dumont.

Toutes les fondations ont été exécutées en maçonnerie avec parement en gros libages.

Mode de construction. — Les avant-becs des piles et les bandeaux des voûtes sont en gros blocs de pierre de taille de 0m,50 à 0m,35 d'épaisseur ; les lignes d'assise des avant-becs et les lignes de joints des voussoirs sont marquées par des refends.

La douelle et les tympans sont formés par des moellons parmentés ou smillés, qu'on ne peut mieux définir qu'en les appelant des libages de petit appareil ; en douelle, sur trois assises du bandeau, une correspond à un seul moellon, et les deux autres chacune à deux épaisseurs de moellon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les reins des voûtes ont été remplis en béton maigre, recouvert par une chape en béton ordinaire de $0^m,10$ d'épaisseur et une chape en bitume de $0^m,012$ d'épaisseur; un enduit en bitume a été également appliqué sur le revers des tympans; l'écoulement des eaux se fait par l'axe des piles, au moyen de tuyaux en fonte qui aboutissent à des voûtes de $0^m,60$ d'ouverture percées à travers les piles au-dessous des naissances.

Le pont est couronné par une plinthe de $0^m,35$ d'épaisseur, reposant sur des modillons carrés, et par un parapet en pierre de $0^m,24$ d'épaisseur. Au-dessus de chaque pile est une niche de garage portée par de grandes consoles en pierre formées de trois assises en saillie les unes sur les autres.

Matériaux employés. — La pierre de taille, les moellons d'assise et de blocage proviennent des carrières de Vianne-sur-Baïse, à 7 kilomètres du pont; les matériaux arrivaient par eau jusqu'au canal latéral à la Garonne; là, ils étaient débarqués, chargés sur des wagons et transportés au chantier au moyen d'une voie de 1,500 mètres de longueur.

Les moellons piqués constituant les deux assises inférieures du parapet sont en pierre de Chancelade, près Périgueux. La chaux employée était la chaux du Theil; le mortier était composé de 300 kilogrammes de chaux pour $0^{mq},900$ de sable.

Souterrain de Pere-Ternère, (chemin de fer de Port-Vendres à l'Espagne).

Le souterrain de Pere-Ternère est situé sur la ligne du chemin de fer de Port-Vendres à la frontière d'Espagne, à 3,374 mètres de la frontière.

Il traverse un des nombreux contre-forts de nature schisteuse qu'on rencontre le long de la côte à partir de Collioure en se rapprochant de la ligne principale des Pyrénées; sa longueur totale est de 393 mètres, y compris un tronçon de 20 mètres construit à ciel ouvert dans la tranchée de sortie.

Le souterrain de Pere-Ternère a été attaqué simultanément par ses deux extrémités dans le courant du mois de janvier 1870.

Le mode d'exécution suivi pour la majeure partie de l'ouvrage différait peu du procédé connu sous le nom de « méthode belge ».

On commençait par ouvrir sur l'axe une galerie d'avancement de 2 mètres de hauteur sur 2 mètres environ de largeur, dont le ciel se confondait avec l'extrados de la voûte à construire; on approfondissait ensuite cette galerie par l'enlèvement de la partie inférieure, dite « de petit stross », jusqu'à un plan horizontal passant à $0^m,80$ en contre-haut des naissances.

La galerie étant ainsi creusée sur toute sa hauteur, on procédait aux abatages de la calotte, de manière à pouvoir établir la portion de voûte correspondante.

On pratiquait ensuite dans le massif inférieur, sur l'un des côtés de l'axe, une galerie de 3 mètres environ de largeur, dite « de grand stross », descendant jusqu'au niveau de la plate-forme définitive; après quoi l'on procédait à l'enlèvement du restant du massif et l'on établissait en sous-œuvre les piédroits par portions isolées de 4 à 5 mètres de longueur.

Au fur et à mesure de leur exécution, la galerie d'avancement et les parois des autres excavations étaient étayées et blindées au moyen de boisages solides disposés suivant les types habituellement adoptés dans ce genre de travaux.

La construction du souterrain de Pere-Ternère a été poursuivie dans des conditions à peu près normales et sans accident jusqu'à la fin de 1871.

Vers cette époque, à la suite de pluies assez abondantes survenues le 28 no-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vembre, il se produisit dans le terrain situé à gauche de la tranchée de sortie un premier mouvement de glissement dont les profils permettent de se rendre compte.

Ce mouvement s'étendit dès l'origine jusqu'à une certaine distance dans l'intérieur du souterrain.

L'anneau de la tête de sortie, qui venait d'être construit avec une épaisseur de 0m,72, fut disloqué et prit la position indiquée dans le dessin. La clef en fut écrasée sur toute sa longueur.

En même temps, et bien qu'aucun éboulement ne se fût produit dans l'intérieur du tunnel, la galerie d'avancement se trouva déformée dans le voisinage de la tête, au point que les wagons de terrassement qui la parcouraient précédemment ne purent plus y circuler.

Les causes de ce mouvement étaient faciles à apprécier par l'examen des terrains qui avaient glissé sur le côté gauche de la tranchée.

Ces terrains sont formés de couches schisteuses inclinées de 30 à 35 degrés sur l'horizon et disposées presque parallèlement à l'axe du tracé, de telle sorte que les talus de la tranchée et les parois du souterrain coupent la surface de chacune d'elles suivant une ligne à peu près horizontale.

Ces couches schisteuses sont séparées les unes des autres par une mince épaisseur d'argile verdâtre extrêmement fine, que l'humidité rendait glissante comme du savon, ainsi qu'on a pu le reconnaître en mettant à nu certaines portions de la surface de rocher suivant laquelle s'est opéré le premier glissement.

La situation des travaux du souterrain à cette époque (novembre 1871) était la suivante :

La galerie supérieure d'avancement était ouverte sur toute son étendue : les deux chantiers d'attaque s'étaient rencontrés vers le milieu du souterrain dès la fin de février 1871.

Du côté de Port-Vendres, le petit stross était enlevé sur 96 mètres à partir de la tête d'entrée, et la calotte déblayée et maçonnée sur 82 mètres à partir du même point.

Du côté de l'Espagne, le petit stross avait été déblayé sur 72 mètres en deçà de la tête de sortie; mais on n'avait encore déblayé et maçonné la calotte que dans l'étendue de l'anneau de tête disloqué par le glissement et à l'endroit de l'anneau n° 16 qui venait d'être établi comme second point d'attaque à 70 mètres de la tête.

Ce premier glissement des terrains situés sur le côté gauche de la tranchée de sortie fut bientôt après suivi de plusieurs autres.

En même temps, les mouvements observés dans les roches formant les parois de la galerie souterraine s'accentuaient davantage et s'étendaient de proche en proche vers l'intérieur, à mesure que l'adhérence des couches entre elles se trouvait rompue.

On observait très-nettement sur les parois de la galerie le déplacement des couches les unes par rapport aux autres, la couche supérieure s'étant sur plusieurs points avancée de manière à former sur le parement correspondant de la couche inférieure une saillie de 0m,08 à 0m,10.

Par exception, le déplacement des couches s'est parfois produit dans un sens parallèle à l'axe.

Ainsi, à 30 mètres environ en amont de l'ancienne tête de sortie, une fente verticale qui, dans l'origine, se continuait à travers deux couches contiguës, représentait en octobre 1872 une ligne discontinue dont les deux tronçons s'étaient séparés l'un par rapport à l'autre de 0m,50 dans le sens de la longueur du souterrain.

On remarquait aussi, à la même époque, sur le côté gauche, à 15 mètres en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

amont de cette même tête, une crevasse qui s'était ouverte peu à peu, et dont la largeur atteignait $0^m,20$ sur toute la hauteur de la galerie d'avancement.

Le ciel de la galerie, formé de roches résistantes, ne paraissait pas peser sur les boisages; mais ces derniers, peu chargés verticalement, semblaient soumis au contraire à des pressions horizontales extrêmement puissantes.

De nombreux poteaux s'étaient fendus et ouverts à leur partie supérieure sous l'effort des chapeaux qui les reliaient deux à deux. Des bois en contact s'étaient écrasés et pénétrés; mais la galerie, quoique légèrement déversée, avait conservé à peu près sa forme, grâce à la faible amplitude des mouvements.

En présence de cette situation, on se contenta d'étayer solidement la tête de sortie, qu'il convenait de ne reconstruire qu'après l'avoir renfermée entre deux anneaux solidement établis; et les travaux furent suspendus dans cette partie, jusqu'à ce qu'on eût arrêté les mesures que commandait la situation et traité avec l'entrepreneur pour leur exécution.

Voici quelles furent les mesures adoptées.

Il fut décidé que la voûte du souterrain serait continuée dans la tranchée de sortie sur une longueur de 20 mètres au-delà de l'ancienne tête et avec une épaisseur à la clef de $1^m,80$;

Que, du côté gauche, qui est celui du glissement, cette voûte extérieure reposerait sur des piédroits de 3 mètres d'épaisseur, préalablement construits au moyen de puits et par portions successives de 5 mètres de longueur; que, du côté droit, cette même voûte s'appuierait sur le rocher arasé au niveau de la base de la calotte, c'est-à-dire à $0^m,80$ en contre-haut des naissances;

Que, dans l'intérieur du souterrain, les épaisseurs des voûtes seraient fixées à $1^m,80$ (1) sur une longueur de 30 mètres à partir de l'ancienne tête, à $1^m,50$ et $1^m,20$ pour les parties suivantes jusqu'à l'anneau n° 16 déjà construit et où l'on n'avait observé encore aucun mouvement;

Que, dans toute l'étendue de la voûte ainsi établie en deçà de l'ancienne tête, les piédroits seraient faits par portions discontinues de 4 mètres de longueur; on devait, particulièrement pour le côté gauche, les maçonner dans les puits ouverts sous la retombée de la voûte et s'avançant jusqu'à une distance de 2 mètres du parement.

Ces piédroits devaient avoir une épaisseur de $2^m,30$ à $1^m,80$ et être reliés par des radiers en forme de voûte renversée, d'une épaisseur variant entre $1^m,50$ et 1 mètre.

L'exécution des travaux de l'extrémité aval du souterrain fut reprise conformément à ces indications en juillet 1872 : on commença par l'anneau n° 44, situé immédiatement à l'amont de l'ancien anneau de tête.

En même temps, on établit les piédroits du côté gauche de la voûte extérieure.

Le premier tronçon venait à peine d'être achevé, avec une épaisseur de 3 mètres, lorsqu'un léger mouvement du massif de roche le disloqua.

Il dut être refait; et l'on crut, ainsi averti, devoir porter à 4 mètres l'épaisseur des autres tronçons.

Pendant le mois de septembre 1872, on éleva la voûte extérieure sur toute sa longueur à la fois et l'on construisit un autre anneau (n° 53) à côté de l'anneau 44.

(1) L'épaisseur de $1^m,80$ fut déterminée comme il suit : On a supposé que, dans le voisinage de la tête, la portion de chaque couche comprise entre l'extrados et le terrain naturel pouvait glisser sans frottement entre les deux couches voisines, pesant ainsi sur la voûte de toute la puissance de la composante dirigée suivant le plan de glissement; et l'on n'a admis pour le travail des maçonneries que des pressions de 11 à 12 kilogrammes au maximum par centimètre carré.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On put alors sans inconvénient démolir et rétablir l'ancien anneau de la tête, dont l'épaisseur fut portée à 1m,80.

Cette opération se fit pendant le mois d'octobre 1872.

Le mois suivant, on établit l'anneau n° 63, contigu à l'anneau n° 16, dont la conservation dans cette partie du souterrain paraissait une anomalie, eu égard à la faible épaisseur (0m,72) de la voûte. Pendant le travail, les maçonneries de cet anneau 16 furent écrasées dans les environs de la clef sur toute leur longueur et sur la moitié environ de leur épaisseur.

On dut étançonner solidement cette portion de la voûte, qui fut reconstruite avec la même épaisseur, mais en mortier de ciment, sur une largeur de 2 mètres environ de chaque côté de la clef.

Cette reconstruction n'eut lieu que quelque temps après l'achèvement de l'anneau voisin.

La voûte formant revêtement de la calotte fut terminée en janvier 1873 dans toute l'étendue du souterrain.

La galerie du grand stross avait été ouverte du côté de Port-Vendres dès le mois de novembre 1872 et se poursuivait dans des conditions à peu près normales.

L'établissement des piédroits, auxquels on attribuait couramment une épaisseur de 0m,80 à 1 mètre, n'a donné lieu à quelques difficultés que dans l'étendue de trois zones, où il a été nécessaire de prendre de grandes précautions à cause de la nature du rocher.

Ces trois tronçons sont compris entre les points 73 et 101, 129 et 153, 233 et 260.

La roche, sur ces points, est formée par les schistes mous et désagrégés d'une couleur noire, qui, sous le choc de la pioche, se désagrégeaient et prenaient un aspect semblable à celui du poussier de charbon.

L'épaisseur des piédroits dans ces trois zones fut fixée à 1m,80. Comme les piédroits de la partie glissante, ils furent construits par puits avant l'ouverture de la galerie du grand stross, et on les relia ensuite par des radiers en forme de voûte renversée.

A l'extrémité, vers l'Espagne, l'établissement par puits des piédroits de la voûte intérieure fut commencé sur le côté gauche dans le courant de mars 1873, et terminé par ce même côté vers la fin de juin.

Peu de temps avant l'achèvement de ce travail, on avait ouvert, en mai 1873, sur le côté droit de la tranchée de sortie et descendant jusqu'au niveau de la plate-forme, une cunette au moyen de laquelle on comptait s'avancer dans l'intérieur du souterrain et exécuter par portions successives le radier et le piédroit du côté droit; mais on ne tarda pas à s'apercevoir que ce mode d'opération remettait le terrain en mouvement et qu'on s'exposait, en continuant ainsi, à provoquer des accidents.

A mesure que l'on ouvrait la cunette, et malgré la précaution qu'on avait prise de décharger le rocher le plus possible, on voyait se produire, sur le côté gauche, des fissures indiquant que le terrain, n'étant plus appuyé, recommençait à glisser.

Il se manifesta dans le fond de la cunette un léger mouvement de soulèvement à la suite duquel l'écoulement des eaux fut intercepté.

A peu près à la même époque, on remarqua dans les maçonneries du côté gauche de l'anneau n° 40, situé à une distance de 120 mètres de l'ancienne tête, une fissure transversale s'élevant jusqu'à 2 mètres ou 2m,50 au-dessus de la base de la calotte : les piédroits n'étaient pas alors construits dans cette région.

En présence de ces indications témoignant que la tendance au glissement du terrain du côté gauche subsistait toujours et s'étendait même plus en avant dans le souterrain, on suspendit l'ouverture de la cunette, et il fut décidé que, pour éviter d'avoir à supprimer sur une grande étendue à la fois le massif du grand

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

stross contre lequel s'appuyaient les boisages butant les piédroits du côté gauche, on construirait comme il suit les radiers et les piédroits du côté droit :

On ouvrirait simultanément, dans l'étendue des 130 derniers mètres, une première série de galeries transversales de 4 mètres de largeur, distantes l'une de l'autre de 24 mètres d'axe en axe et prenant toute la largeur du souterrain, d'un piédroit à l'autre : ce qui permettrait de construire, sans affaiblir le terrain environnant, une première série d'anneaux de radier et les portions de piédroits correspondantes sur le côté droit.

Une seconde série d'anneaux seraient ensuite disposés à mi-distance entre les premiers; après quoi le massif de 8 mètres de largeur comprise entre les anneaux de ces deux séries serait enlevé par portions successives de 4 mètres, et remplacé au fur et à mesure par le radier.

Ce programme fut exactement suivi du mois de juillet au mois d'octobre 1873, et son application ne donna lieu à aucune difficulté.

Les murs en aile, à la sortie du souterrain, ne devaient être, d'après le projet, que de simples revêtements de peu d'épaisseur. Pour plus de sûreté, celui du côté gauche fut transformé en un solide mur de soutènement, appuyé sur le prolongement du radier du souterrain.

L'ingénieur en chef des travaux est M. Tastu; les ingénieurs ordinaires ont été M. Malbes, jusqu'au 1er mars 1872, et M. Reynès, à partir de cette même date.

La surveillance était confiée à M. Lassale, conducteur principal. L'entrepreneur était M. Sarlat.

Viaduc de Pompadour (lignes de Limoges à Brives).

Emplacements et dispositions générales.—Le viaduc de Pompadour est situé sur le chemin de fer de Limoges à Brives, à 7 kilomètres après la station de Pompadour et à 2,500 mètres avant celle de Vignols-Saint-Solve. Il se compose de huit arches de 25 mètres d'ouverture et présente une longueur totale de 285 mètres; sa hauteur au-dessus du point le plus bas de la vallée est de 55 mètres.

Fondations. — Le viaduc est fondé sur le micaschiste; la roche est extrêmement dure et solide; toutefois, elle a été profondément disloquée par un soulèvement granitique qui s'est fait jour à moins de 2 kilomètres de distance, au-dessus du bourg de Vignols. Les bancs se sont redressés presque verticalement, et il a été souvent nécessaire d'employer la mine pour régulariser le rocher ou pour enlever des blocs dont la stabilité était douteuse.

Les fondations de ce grand ouvrage ont présenté peu de difficulté, le terrain sur lequel il repose offrant toutes les garanties de solidité désirable.

Difficultés d'exécution pour amener les matériaux à pied d'œuvre. — La construction du viaduc de Pompadour présentait de grandes difficultés; aucun chemin n'existait pour arriver à l'emplacement du viaduc, aucune carrière n'était ouverte, et le chemin de grande communication n° 31, qui reliait Brives à Vignols était incapable de supporter les lourds chargements de bois et de chaux destinés aux constructions. On a dû refaire entièrement la chaussée du chemin n° 31 sur 7 kilomètres et créer des chemins nouveaux pour accéder au viaduc. Beaucoup de carrières attaquées au début n'ont donné que des résultats médiocres, et lorsque enfin la carrière de la Pyrolie a été découverte, cette carrière se trouvant à 100 mètres en contre-bas du chemin de fer, il a fallu construire un plan incliné pour le transport des matériaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Une locomobile de la force de 30 chevaux, placée au sommet du plan incliné servait à remorquer au moyen d'un câble les wagons chargés de pierres.

Les frais de ces travaux accessoires ont augmenté de 295,000 francs les dépenses de construction de l'ouvrage.

Les dépenses faites pour la construction du viaduc de Pompadour se résument ainsi qu'il suit :

NATURE DES TRAVAUX.	DÉPENSES	
	TOTALES.	PAR MÈTRE linéaire.
Abords, recherches de carrières, construction de chemins.	295,000f	1,035f
Fondations	50,000	175
Piles et culées jusqu'aux naissances	350,000	1,228
Des naissances à la plinthe	350,000	1,228
Plinthes et parapets	65,000	228
Cintres	90,000	316
TOTAUX, non compris les dépenses acccessoires.	905,000	3,175
TOTAUX, compris les dépenses accessoires.	1.200,000	4,210

Les prix du mètre superficiel en élévation sont :
Non compris abords, carrières et chemins, 110 francs ;
Compris abords, carrières et chemins, 146 francs.
Les prix moyens par mètre cube de maçonnerie de toute nature sont :
Non compris abords, carrières et chemins, 49 francs ;
Compris abords, carrières et chemins, 65 francs.

Viaduc de l'Erdre (lignes de Nantes à Châteaubriant)

Emplacement et dispositions générales. — Ce viaduc est situé sur la ligne de Nantes à Châteaubriant, à 6 kilomètres de la gare de Nantes.

Il a été construit pour franchir la rivière de l'Erdre, dont le lit, resserré entre deux roches granitiques, se réduit en ce point à 100 mètres de largeur. Dans toute l'étendue de la rivière, le solide ne se rencontre qu'à 20 mètres de profondeur, et la disposition adoptée a eu pour but d'éviter la construction de piles intermédiaires, qu'il eût fallu nécessairement fonder à l'aide de l'air comprimé.

L'ouvrage, établi pour deux voies, comprend deux parties en maçonnerie réunies par un arc métallique de 95 mètres d'ouverture, surbaissé de 1/8. Chacune des parties en maçonnerie a 46m,10 de longueur et se compose de trois arches en plein cintre de 8 mètres d'ouverture, et de deux culées de 9m,35 d'épaisseur ; les rails sont à 18m,50 au-dessus de l'étiage. La longueur totale de l'ouvrage est de 190m,20 et sa largeur entre parapets de 8 mètres.

Fondations. — La culée rive gauche a été fondée par épuisement, dans une enceinte étanche, à 7m,80 au-dessus du niveau de l'eau.

Description de la partie métallique. — La grande travée est en tôle ; elle se compose de quatre arcs espacés de 2m,20 d'axe en axe ; ces arcs ont 2m,20 de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

hauteur au sommet et $2^{m},50$ aux naissances. L'ouverture, mesurée à la partie inférieure, est de 95 mètres; la montée est de $12^{m},07$. Les tables supérieures et inférieures des arcs viennent se rejoindre près des culées et reportent les pressions sur un pivot en acier de $0^{m},20$ de diamètre. Le tablier est formé de tôles embouties rivées aux pièces de pont et aux longerons; une couche de ballast de $0^{m},50$ d'épaisseur recouvre le platelage, et la voie est posée sur le pont comme sur les autres parties du chemin. Pour compenser les effets de dilatation, des chariots mobiles, reliés au tablier par des articulations, glissent sur des appuis en fonte encastrés dans la maçonnerie des culées; l'inclinaison des appuis est dirigée suivant la résultante de l'allongement horizontal du tablier et de l'allongement vertical des tympans.

Poids et dépenses. — Le poids total des fers, fontes et aciers est de 979,200 kilogrammes.

Soit, par mètre linéaire, 10,000 kilogrammes.

Les dépenses se sont élevées :

Pour les deux culées maçonnerie, à.	310,000 fr.
Pour la partie métallique, à.	520,000 —
ENSEMBLE.	830,000 fr.

Le prix du mètre linéaire, pour l'ensemble du viaduc, est de 4,364 francs.

Viaduc du Credo (ligne de Collonges à Thonon).

Emplacement et dispositions générales. — Le viaduc du Credo est situé sur le Rhône, à 450 mètres de distance du raccordement de la ligne de Collonges à Thonon avec celle de Lyon à Genève et à environ 900 mètres en aval du fort de l'Écluse. Il traverse le fleuve sous un angle de 45 degrés et est construit pour une voie.

Il se compose de quatre travées métalliques solidaires, reposant sur des piles en maçonnerie, et de cinq arches à la suite également en maçonnerie.

Les portées des travées métalliques sont respectivement de 45, 55, 66 et 50 mètres; la plus grande correspond à la traversée du Rhône. Les arches qui suivent ont 15 mètres d'ouverture.

La partie métallique, comptée depuis l'extrémité des murs en retour de la culée de rive droite jusqu'à l'axe de la pile-culée, à la suite de laquelle vient la première arche, est en ligne droite sur $179^{m},70$. Les cinq arches sont sur une courbe de 300 mètres de rayon.

La longueur du viaduc, mesurée entre les extrémités des murs, en retour, est de 365 mètres.

La voie est en palier sur 311 mètres et en rampe de $0^{m},018$ par mètre sur le reste du parcours.

La plus grande élévation du rail au-dessus du rocher qui supporte la fondation de la pile centrale de rive droite est de $73^{m},54$.

La hauteur au-dessus de l'étiage du Rhône est de $64^{m},45$.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Viaduc de la Selle (ligne de Grenoble à Gap).

Emplacement et dispositions générales. — Ce viaduc, l'un des plus importants de la ligne de Grenoble à Gap, a été construit sur le ravin de la Selle, à environ 4 kilomètres de distance de Gap, dans une courbe de 350 mètres de rayon et sur une déclivité de $0^m,025$ par mètre. Sa plus grande élévation, depuis le rocher sur lequel reposent les fondations jusqu'au niveau des rails, est de $54^m,98$. Sa longueur, mesurée sur l'axe du chemin de fer, est de $204^m,45$.

Cet ouvrage est tout entier en maçonnerie et se compose de dix piliers (dont les deux extrêmes forment culées), qui portent neuf voûtes en plein cintre de 16 mètres d'ouverture ayant, d'une tête à l'autre, $4^m,70$ de largeur. Les piliers du milieu, c'est-à-dire les plus élevés, sont en outre reliés, dans le bas, par d'autres voûtes également en plein cintre de 3 mètres de largeur entre les têtes, au-dessus desquelles a été établie une banquette pavée à 33 mètres en contre-bas des rails. Des passages cintrés de $0^m,80$ d'ouverture et de $2^m,55$ de hauteur sous clef ont été percés à travers les piliers au niveau de cette banquette.

Les piliers ont au sommet $2^m,80$ d'épaisseur, suivant l'axe du chemin de fer, et $5^m,50$ de longueur. Ils sont par suite en saillie de $0^m,40$ sur les tympans des arches supérieures, ce qui a permis de ménager un refuge, des deux côtés, sur chacun d'eux. Cette saillie, qui existe sur toute la largeur des piliers, va en augmentant avec le fruit des faces de tête et joue le rôle des contre-forts ordinairement adoptés pour les piles des viaducs d'une grande hauteur. Les arêtes des contre-forts sont ainsi supprimées, ainsi que les angles des contre-forts avec les piles, et il résulte de là une grande simplification dans l'appareil.

Les faces latérales du pilier du milieu, qui a le plus d'élévation, présentent trois retraites de $0^m,25$ de largeur, établies : la première à 26 mètres au-dessous du couronnement, la deuxième à 7 mètres plus bas, et la troisième à 13 mètres en contre-bas de celle-ci; le fruit est uniforme et de $0^m,025$ par mètre d'un redan à l'autre. Les faces de tête présentent, en coupe, des retraites correspondantes et les fruits ci-après : du sommet à la première retraite, $0^m,06$ par mètre; de la première retraite à la seconde, $0^m,07$; de la seconde à la troisième, $0^m,10$; de la troisième à la base, $0^m,10$.

Ces dispositions ont été appliquées aux autres piliers, autant que la forme du terrain s'y est prêtée; elles sont telles, que la pression des maçonneries par centimètre carré ne dépasse pas $7^k,40$.

Les pressions, pour le pilier le plus élevé, sont représentées par les chiffres suivants :

$5^k,49$ aux naissances des voûtes supérieures;

$6^k,93$ au-dessus de la première retraite à partir du sommet;

$7^k,08$ au-dessus de la deuxième;

$7^k,40$ au-dessus de la troisième;

$7^k,38$ à la base.

Quoique le viaduc soit en courbe, on a voulu, pour plus de simplicité dans la construction, faire des voûtes cylindriques, ce qui a conduit à donner aux supports la forme d'un trapèze en section horizontale.

Les tympans sont évidés au moyen de voûtes longitudinales de $2^m,10$ de diamètre, qui traversent les piliers. Une chape en béton recouvre ces voûtes et permet aux eaux pluviales de s'écouler suivant la pente du chemin de fer, sans le secours de gargouilles.

L'épaisseur du ballast sur le viaduc est de $1^m,25$.

L'ouvrage a pour couronnement un garde-corps en fer, rattaché à des dés en pierre de taille qui sont posés sur les culées et dans les angles des piliers.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les voies de communication de la France.

(Documents généraux).

Les voies de communication de la France se divisent en voies terrestres, voies fluviales et voies maritimes.

Les voies terrestres comprennent les routes et les chemins de fer.

Les routes se divisent elles-mêmes en routes nationales et en routes départementales.

Les voies fluviales embrassent les rivières et les canaux.

Ces différents modes de communication se distinguent sur la carte qui était exposée au Champ-de-Mars de la manière suivante :

Les routes nationales sont représentées par un trait brun foncé.

Les routes départementales sont figurées par un trait de même couleur, mais d'une moindre largeur.

Les chemins de fer sont indiqués par un trait blanc.

Les rivières navigables et les canaux sont caractérisés par un trait bleu.

Une représentation conventionnelle des montagnes fait ressortir les faîtes de partage des eaux, et montre les grands fleuves occupant les thalwegs des vallées intermédiaires.

Les principales lignes de navigation maritime sont indiquées par des traits d'or.

Des traits rouge limitent les fonds de 100, 200, 500 et 1,000 mètres.

L'éclairage des côtes est marqué par des cercles blancs donnant la portée lumineuse des phares.

La carte comprend en outre les principales villes qui se distinguent de la manière suivante :

Les chefs-lieux de département sont indiqués par des boutons dorés creusés en écuelle.

Les chefs-lieux d'arrondissement sont représentés par des points noirs.

Les ports de mer sont figurés par des boutons dorés et plats de deux dimensions : les boutons du plus grand diamètre signalent particulièrement les grands ports.

Le texte relatif aux voies de communication se divise en routes et ponts, chemins de fer, rivières et canaux, ports de mer, phares et balises.

Chacune de ces divisions fait l'objet d'un chapitre spécial dans lequel on résume, d'après des documents officiels, les principaux faits historiques, techniques, administratifs et commerciaux qui s'y rattachent.

La carte a été dressée et peinte par M. l'ingénieur DE DARTEIN, professeur à l'École des Ponts et chaussées, avec le concours de MM. BOULARD et CIESIELSKI.

Le texte a été rédigé par M. Félix LUCAS, ingénieur des Ponts et chaussées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LA MARINE MARCHANDE

ET LES

PORTS DE COMMERCE

PAR HECTOR DUFRÉNÉ, INGÉNIEUR CIVIL

RÉSUME HISTORIQUE.

Les navires de commerce des Phéniciens et des Grecs parcouraient la Méditerranée à une époque où nulle embarcation ne s'était encore aventurée sur l'Atlantique; mais, si nos souvenirs classiques attribuent aux Phéniciens des côtes de l'Asie occidentale, l'honneur d'avoir les premiers confié aux flots et aux vents leur fortune et leurs existences, nous savons, par des documents plus récemment interrogés, que les débuts de la navigation maritime ont eu pour théâtre des mers plus lointaines, et que les premiers matelots appartenaient à des races plus antiques.

Il est à peu près incontestable en effet, que les premiers navires de commerce ont été lancés sur la côte de la mer des Indes à une époque à laquelle les Phéniciens n'avaient pas encore pris possession des côtes de la Syrie, et avant le temps où les Aryas descendirent le long de l'Indus. Les côtes du golfe Persique et de la mer Rouge, le sud de la péninsule Arabique et la pointe orientale du continent Africain, le pays de *Poun* des documents égyptiens, étaient alors, ainsi que les rivages occidentaux de l'Hindoustan actuel, peuplés par différentes populations appartenant à la race Kouschite. C'est à cette race qu'on rapporte généralement les premiers essais de navigation et, dans tous les cas, les plus anciennes traditions s'accordent sur l'étendue et sur la prospérité de son commerce. D'ailleurs, à une époque où toute la civilisation était concentrée dans l'Asie du sud-ouest et dans l'Égypte, la partie occidentale de la mer des Indes, était naturellement désignée pour servir de route à l'exportation des riches marchandises de l'Inde, de l'Arabie et de l'Afrique. Le golfe Persique et la mer Rouge en constituent des prolongements merveilleusement disposés pour conduire ces produits d'un côté à l'Assyrie et de l'autre à l'Égypte, les deux plus grands centres de consommation de la haute antiquité.

Le golfe Persique était particulièrement fréquenté : un fleuve profond et arrosant des villes importantes y débouche au nord, et, sur ses côtes, se trouvaient des ports sûrs et commodes, tels qu'Ormuz et les havres des anciens Phéniciens du Bahareïn remplacés plus tard par Gerrha, colonie des Babyloniens.

Les navires indiens faisaient un large trafic avec les ports arabes du Yémen, Mauschid, Aden, Cane, Sephar, Mascate, tandis que les Sabéens se rendaient par la mer Rouge sur les côtes d'Afrique, et en rapportaient l'ébène, l'ivoire, les plumes d'autruche et les esclaves noirs.

Un des plus grands faits de l'histoire de la navigation dans la haute antiquité, c'est l'établissement des Phéniciens sur les côtes de Syrie; leur exode coïncide avec l'invasion des pasteurs en Égypte et peut être fixé un peu avant le XX^e^ siècle, avant J.-C. Ils apportèrent sur la Méditerranée leur expé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rience des choses de la mer et en prirent bientôt possession, franchissant le Bosphore, établissant leurs comptoirs de la Colchilde à la Syrie et se faisant pirates ou commerçants, suivant les occasions ou la puissance des peuplades avec lesquelles les vents et la mer les mettaient en contact. Après avoir installé des comptoirs, ils fondèrent des villes et des ports, comme Utique, Gadès, Malaga, Abdère et enfin Carthage où se transporta la puissance phénicienne quand les affaires commerciales devinrent difficiles en Orient.

On pourrait s'étonner de ne pas voir, dès les temps les plus anciens, les flottes égyptiennes s'emparer des côtes de la Méditerranée, et transporter au loin la puissance des Pharaons; mais d'abord les Égyptiens eurent toujours pour la mer une invincible répugnance, et ensuite leur esprit de conquête ne se développa qu'à une époque relativement récente et aux temps où l'hégémonie phénicienne était déjà fortement établie. Les monuments nous montrent, sous le règne des Pharaons de l'ancien empire, une navigation très-active installée sur le Nil depuis Thèbes jusqu'aux rives du Delta; ils nous ont conservé la forme des embarcations, la disposition de leurs agrès, les fonctions des chefs et des matelots. Les barques sacrées figuraient dans les cérémonies prescrites par la religion et Moïse y puisa l'idée et la forme de l'arche d'alliance. Le port de Kosseir sur la mer Rouge paraît avoir été la seule station maritime qui eût quelque importance. Il est mentionné dès la Ve dynastie; mais il nous paraît probable qu'il était desservi par des embarcations étrangères, plutôt que par des navires nationaux. D'ailleurs l'Égypte n'est pas placée pour devenir une nation maritime : elle est constituée par une longue et étroite vallée en contact avec la Méditerranée par un espace relativement étroit et séparée de la mer Rouge par le désert.

A l'époque où les conquêtes étrangères commencèrent à la tenter, ce furent les Phéniciens qui eurent l'entreprise et le monopole de ses transports et les trophées apportés du pays de Poun, au temps de Toutmès III, aussi bien que les dépouilles des peuples de Chypre et de Crète, auraient dû orner le temple de Melkart à Tyr, au même titre qu'ils allèrent grossir les trésors du sanctuaire d'Ammon à Thèbes.

Le Pharaons ne restèrent pas longtemps maîtres absolus de la Méditerranée : dès le xve siècle, les Pelasges se lancèrent à leur tour sur la mer et vinrent les battre sur un élément où ils avaient été jusqu'alors les maîtres incontestés. La marine grecque devint bientôt maîtresse de la mer Egée et de l'Hellespont : alliée aux Sicules, aux Tyrrhéniens, aux Lybiens, elle n'hésita pas, vers le temps de l'Exode, à se jeter sur l'Égypte même, tandis que certaines populations de la Crète, sous le nom de Philistins, allaient s'établir sur les côtes de la Syrie.

I. — Ainsi, le mouvement maritime s'étendait peu à peu vers l'Occident, les échanges devenaient plus réguliers et les villes maritimes de l'ouest, Carthage, Syracuse, Marseille et tant d'autres, s'élevaient peu à peu, procurant au commerce de la mer, à cause de leur puissance même et de la diversité de leurs intérêts, une partie de la stabilité et de la sécurité qui lui avaient jusqu'alors totalement manqué.

La protection des routes maritimes et la lutte pour la possession des ports d'échange ne purent avoir lieu sans hostilités, et les Carthaginois eurent à guerroyer en Sicile, pendant que les Étrusques battaient les Massaliotes, pour être ensuite eux-mêmes vaincus par les Syracusains.

Le commerce était la grande affaire des Carthaginois et peu de nations ont autant fait dans l'antiquité, pour le développement des échanges et pour l'exploitation des régions inconnues. Ainsi Hannon s'avança au sud, le long des côtes d'Afrique, jusqu'au 8e degré de latitude nord, Himilcon monta vers le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nord et découvrit les Cassitérides et les rivages de la Grande-Bretagne où du reste les Tyriens l'avaient précédé. Carthage envoya des flottes aux îles Canaries et on pense même que ses marins s'avancèrent jusqu'à la mer des Sargasses.

Pendant ce temps Rome s'était développée. A peine sortie des guerres Italiotes, elle voulut dominer sur la mer comme elle régnait sur la terre ferme, et les guerres puniques, en ruinant Carthage, anéantirent la seule puissance qui fût capable de disputer aux Romains la souveraineté de la Méditerranée : au début de l'ère chrétienne, la conquête en était achevée.

L'empire ne négligea rien pour maintenir la marine marchande à un haut point de prospérité et les navires de guerre des Romains étaient assez nombreux et assez puissants pour anéantir, ou au moins pour intimider les pirates : rien que dans le port de Ravenne, Auguste entretenait deux cent cinquante trirèmes. Des flottes nombreuses amenaient à Ostie les blés de l'Afrique et de la Sicile, la vieille activité Grecque et Syrienne ne sommeillait pas encore, et Marseille était la rivale d'Alexandrie devenue l'entrepôt de marchandises de l'Arabie, de l'Afrique orientale et de l'Inde.

Déjà, au temps d'Antoine et de Cléopâtre, des comptoirs romains s'étaient installés dans les Indes, des compagnies de marchands s'étaient organisées, un grand nombre de voyageurs allaient d'Égypte au Malabar, en Éthiopie et en Arabie où le luxe des Sabéens était devenu proverbial. Sous le règne de Claude, Pline constate que les navires chinois fréquentaient Ceylan, et Marc-Aurèle, envoya, dit-on, une ambassade romaine à Canton. D'ailleurs les Chinois étaient depuis bien longtemps en rapport par mer aussi bien que par terre avec le monde occidental et nous savons par le *Mahawanso*, chronique Singhalaise, que de nombreux naufrages de jonques chinoises avaient eu lieu sur les côtes de l'île au moins 600 ans avant Jésus-Christ; il est probable que le lien maritime entre l'Inde et la Chine remontait beaucoup plus haut.

L'Éthiopie envoyait dans l'occident, l'ivoire, les tortues, les parfums; l'Arabie, les gommes, l'encens, l'aloës; l'Inde les épices de la Malaisie, les soies de la Chine, l'indigo, l'acier, la mousseline, les perles de Ceylan, les cotonnades, etc.

Les navires romains portaient en Orient du corail, de l'étain, du bronze, du vin, mais les exportations de l'Occident étaient bien loin d'égaler les importations et Pline évalue à plus de 100 millions de francs, valeur actuelle, le numéraire nécessaire pour solder la balance.

II. — Outre Marseille, la Gaule avait sur la Méditerranée plusieurs villes telles que Arles, Montpellier, Narbonne qui, sans être positivement sur la mer, n'en faisaient pas moins un grand commerce maritime avec les pays étrangers. Narbonne avait acquis une grande importance, Ausone et Sidoine Apollinaire nous donnent un tableau intéressant des relations suivies qu'elle entretenait avec la Sicile, l'Égypte, l'Afrique et l'Espagne, Théodose favorisa plus spécialement Arles et Marseille.

Sur l'Océan, Bordeaux faisait déjà un grand commerce, les vaisseaux pénétraient jusque dans ses murs, ou s'arrêtaient à *Condat*, qui lui servait d'avant-port. La cire, le papier d'Égypte, le vin, le suif étaient, suivant Ausone, les principaux éléments de l'exportation et de l'importation.

La chute de l'Empire enleva toute sécurité à la navigation commerciale et, en laissant se manifester les rivalités longtemps contenues des villes maritimes, elle détermina pour plusieurs siècles l'anéantissement de toute initiative et de toute entreprise vraiment sérieuse. Il ne faut donc pas s'étonner si au IX^e^ siècle nous voyons si facilement réussir les audacieuses expéditions des *Northmen* et leurs incursions se répéter avec tant de succès sur les côtes et dans l'intérieur même de la France.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au sud, quand les Arabes eurent mis, après Mahomet, la haute main sur la civilisation, les choses changèrent de face, et, quoiqu'elle fut non-seulement dans sa raison d'être, désastreuse pour nos pays, mais encore bien opposée aux idées dominantes dans l'occident, une prospérité aussi brillante que fugitive, fut la conséquence de la conquête musulmane. C'est ainsi que tout le commerce de l'Orient tomba aux mains des Arabes et ne put se faire que suivant leur bon plaisir et conformément à leurs intérêts. Dans l'ouest même les Aglabites de Tunisie soumirent la Sicile, le sud de l'Italie, Tarente et Brindes; ils s'avancèrent jusqu'aux faubourgs de Rome, et pillèrent Arles et Marseille en 889.

C'est vers cette époque que voyageait dans la mer des Indes, le marchand *Soleyman*. La relation qui nous a été conservée de son voyage nous montre de ce côté une grande activité commerciale entre les ports de l'Arabie, de l'Inde, de la Chine, en même temps qu'une sécurité relative contrastant avec la situation troublée de l'Occident.

Les grandes opérations militaires qui eurent lieu sous le nom de croisades d'Europe en Asie, eurent pour conséquence la reprise des relations commerciales avec le Levant. D'audacieux aventuriers s'installèrent sur les côtes de la Syrie, de l'Asie-Mineure, du Bosphore et des Etats Barbaresques et contribuèrent à l'établissement d'échanges commerciaux avec les côtes de l'Italie, de l'Espagne et de la France; Narbonne équipa des flottes; Montpellier devint florissante et le disputa même à Marseille. C'est l'époque où la boussole, probablement venue de Chine en Europe par l'intermédiaire des navires arabes, vint compléter l'outillage du navire marchand et lui permettre de se ancer sans crainte en pleine mer.

Les ports italiens furent ceux pour lesquels les croisades eurent les plus heureuses conséquences. Amalfi, la première, commerça d'une manière régulière avec le levant, Smyrne et Constantinople étaient les points où débarquaient plus volontiers les marins de l'Adriatique, et, dès le XI^e^ siècle, Amalfi libre et prospère avait établi un code remarquable de prescriptions maritimes qui passèrent plus tard dans les lois d'autres villes plus modernes. Les croisades détournèrent au profit de Pise, de Gènes et de Venise, le courant commercial qu'Amalfi avait établi avec l'Orient.

Pise avait au XII^e^ siècle de nombreux établissements en Syrie, à Tyr, à Tripoli, à Saint-Jean-d'Acre; elle s'enrichit à transporter les croisées, et acquit ainsi des richesses considérables. Comme sa rivale, Gènes faisait un grand commerce avec l'Orient, surtout avec le Bosphore et la mer Noire dont elle ne tarda pas à accaparer le trafic. Caffa était son principal comptoir. Les Génois apportaient à Constantinople les poissons, les peaux, les grains de la mer Noire, le sucre de Trébizonde et de l'Égypte, les savons, les soieries de Brousse et de la Grèce. Ils allaient chercher à Trébizonde, la soie, le Kermès, les perles, le chanvre, le miel. Comme les Pisans, ils avaient des comptoirs importants à Saint-Jean-d'Acre. On cite des navires génois, dont les cargaisons valaient 1,500,000 ducats. Outre ses relations avec le levant, Gènes avait aussi d'importants rapports commerciaux avec les Baléares, Nice, Marseille, mais sa splendeur n'égala jamais celle de Venise.

Les navires vénitiens, comme ceux de Gènes, allaient au Levant et dans la mer Noire. Azof y était leur point principal de relâche, ils y échangeaient le vin, le fer, la safran, les tissus de l'Europe et de l'Asie antérieure, contre les pelleteries, les esclaves et les céréales. Le transport des croisées et plus tard celui des pélerins se rendant en Terre-Sainte, leur procurèrent d'immenses bénéfices. Au XIII^e^ siècle, quinze navires de Venise suffirent pour transporter 4,000 chevaux et 10,000 hommes; le plus grand d'entre eux avait une longueur de 108 pieds et 110 hommes d'équipage. Tout l'or du monde affluait à Venise :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les Allemands, les Turcs, les Arméniens, les Maures y avaient des établissements de commerce, les célèbres verreries de Murano fabriquaient, non loin de la cité, leurs admirables produits, de puissantes banques facilitaient les échanges en menageant le crédit. Au commencement du XVe siècle, on comptait à Venise 25,000 matelots, 3,000 navires de 10 à 100 tonneaux et 300 de 6 à 700 tonneaux. Le doge Macenigo disait que le commerce de la mer faisait gagner aux marchands vénitiens plus de 600,000 ducats.

Comme l'aristocratie vénitienne, la noblesse de Barcelone se livrait au commerce; beaucoup d'ordre, un bon système de construction des navires, une grande liberté, tels étaient les éléments qui valurent à la cité espagnole un des premiers rangs parmi les grands ports du moyen âge; son tribunal consulaire date de 1347. Dès le XIIIe siècle, ses navires commerçaient avec la Sicile, Beaucaire, les ports barbaresques, l'Égypte, la Syrie, Rhodes, Candie, Chypre où ils rencontrèrent les Génois, leurs rivaux. Ils eurent longtemps le monopole presque exclusif du commerce avec l'Égypte et la Tunisie.

Marseille avait une origine plus antique que toutes ces villes, elle devait rivaliser longtemps avec elles et devenir, dans des temps plus modernes, la reine de la Méditerranée. Après la chute de l'Empire Romain, elle eut à subir la domination des Francs qui ne lui apportèrent aucun élément de prospérité. Au VIe siècle, ses marchands commerçaient avec le Levant et surtout avec l'Égypte. Les croisades l'enrichirent aussi bien que les cités italiennes, mais elle conserva encore longtemps après le privilége du transport des nombreux pélerins qui entreprenaient le voyage de la Palestine. Son code de commerce date du XIIIe siècle : les droits de douane habituellement perçus sur les marchandises introduites par les navires étrangers étaient de 1 denier par livre, mais les bâtiments marseillais en étaient exempts. Les Juifs et les Sarrasins pouvant avoir leur résidence dans la ville et y trafiquer librement. Le commerce marseillais avait surtout lieu avec la Syrie, il avait à Saint-Jean-d'Acre, un établissement considérable et très-prospère qui fut ruiné au XVe siècle.

Sur l'Atlantique, les plus grands ports de commerce français étaient Bordeaux, la Rochelle et Nantes. La domination anglaise avait donné beaucoup d'annimation à Bordeaux; la ville était devenue l'entrepôt des marchandises de l'Orient à destination d'Angleterre, pays auquel elle expédiait beaucoup de vins, le droit d'entrée de la barrique n'y était que de deux sous. Au nord Harfleur et *Aneth*, aujourd'hui Saint-Servan, faisaient un grand commerce.

C'est au milieu du XIVe siècle que se fonda la ligue hanséatique, elle avait des comptoirs à Bruges, à Bergen, à Novgorod, à Londres, à Dordrecht, à Anvers; son centre était à Lubeck. Elle fut pendant longtemps prospère, mais elle se montra peu libérale; toute la pêche de hareng était concentrée dans ses mains.

III. — Nous voici arrivés à l'époque de ces grandes découvertes géographiques qui devaient ouvrir des voies si fécondes et faire sortir de la Méditerranée les navires qui y trafiquaient presque exclusivement depuis tant de siècles.

En 1417, Henri de Portugal découvre Madère, en 1450 le Cap-Vert est doublé, les Açores sont reconnues, en 1497, Vasco de Gama trouve la route de l'Inde par le cap de Bonne-Espérance et Cabral fonde le premier comptoir européen à Calicut. En 1507 Albuquerque prend Socotora, Ormuzd, puis Goa; en 1511 il reconnaît les Moluques, en 1518 le Malabar et Ceylan sont conquis et les Portugais sont bientôt les maîtres absolus du commerce de l'Inde et de celui de la Malaisie, Venise si longtemps en possession du trafic des Indes par Alexandrie se trouve ainsi ruinée, et Lisbonne devient l'entrepôt des denrées de l'Orient.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En 1492 Christophe-Colomb aborde au Nouveau Monde; en 1513, Balboa découvre le Pacifique; en 1519, Cortez fait la conquête du Mexique. Magellan accomplit en 1521, le premier voyage autour du monde, et aborde aux Philippines. Pizarre s'empare du Pérou en 1535, et Jacques-Cartier reconnaît en 1534, les côtes du Canada.

Ainsi, en un demi-siècle, des routes immenses avaient été ouvertes aux navires, des mers nouvelles découvertes, d'immenses regions inexplorées livrées à l'esprit d'aventure, des richesses considérables mises à la disposition du commerce. Aussi, au trafic par voie de terre succéda le commerce de mer, les métaux précieux devinrent d'une extrême abondance, et un changement considérable se fit dans leur valeur d'échange. Le taux des salaires monta dans une proportion inouie; des besoins nouveaux furent créés et les valeurs mobilières se constituèrent peu à peu, donnant aux classes inférieures de la société une puissance rivale de celle que procurait à la noblesse la richesse territoriale. Les expéditions maritimes se multiplièrent et prirent au XVI^e^ et au XVII^e^ siècle une importance qu'elles n'avaient encore jamais atteinte.

L'Espagne, après la découverte de l'Amérique, se lança à son tour dans l'Atlantique, et réalisa en peu d'années le plus vaste empire colonial qui fût jamais. Le Portugal avait semé ses comptoirs sur une immense surface et ne possédait en réalité qu'un territoire peu étendu; ses marchands ne rapportaient en Europe que des matières de grande valeur et d'un faible volume qui ne nécessitaient pas l'emploi d'une marine marchande considérable. L'Espagne au contraire acquit un territoire immense et ses colons ne s'attaquèrent d'abord qu'aux métaux précieux. Mais quand on en vint à l'exploitation des produits végétaux, il fallut de nombreux navires pour importer les bois de teinture, l'acajou, le cacao, le tabac, l'indigo, etc. Séville eut pendant de longues années le monopole du commerce avec les Indes occidentales.

Les Hollandais étaient alors les entrepreneurs des transports maritimes dans l'Europe occidentale; leurs navires allaient dans les ports du Portugal et de l'Espagne, chercher les denrées de l'Inde et du Nouveau-Monde, pour les répartir ensuite sur toutes les côtes de l'Europe du Nord-Ouest.

Ainsi, les Portugais s'étaient faits marchands, les Espagnols mineurs et les Hollandais rouliers. Les Français et les Anglais s'inspirèrent du véritable esprit de colonisation et se firent planteurs. Le Canada, la Louisiane, les Antilles et la Guyane furent plus particulièrement colonisés par les Français. Champlain fonda Québec en 1608 et à cette époque plus de 150 navires français fréquentaient les abords de Terre-Neuve. Les Anglais n'étaient pas pendant ce temps restés inactifs et, de 1618 à 1635, ils colonisèrent les côtes de l'Amérique du Nord depuis la Virginie jusqu'au Saint-Laurent.

C'est le moment de la plus grande prospérité de la Hollande. Au commencement du XVII^e^ siècle, les Pays-Bas occupaient plus de 70,000 matelots; l'impôt sur la pêche produisait 5 millions de florins. En 1602 se fonda la compagnie des Grandes-Indes qui devint par la suite si prospère à Java, à Amboine, à Formose, à Ceylan, à Malacca. Batavia fut fondée en 1519 et, peu d'années après, les Portugais perdaient pour toujours la suprématie dont ils avaient joui jusqu'alors sur les mers de l'Inde et de la Chine.

Ce n'est que sous le ministère de Colbert que la marine française pu rivaliser avec celle de la Hollande. Sous sa main habile et puissante, les affaires maritimes prirent un essor merveilleux : Dunkerque, Bayonne, Marseille, furent déclarés ports francs. Cette fut construite et le canal du Languedoc exécuté par Riquet sur les plans d'Andréossy.

Pour chasser les navires hollandais qui avaient accaparé tout le cabotage des côtes de France, on établit un droit d'ancrage de 50 sous par tonneau, et on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

accorda des primes à l'exportation, à l'importation et à la construction des navires. La compagnie des Indes orientales fut fondée en 1664 et son capital fixé à 15 millions de livres avec un privilége de 40 ans. La propriété des îles et pays où elle s'établirait depuis le cap de Bonne-Espérance, jusqu'au détroit de Magellan, une prime de 60 livres par tonne exportée et de 75 livres par tonne importée, le monopole du commerce entre les Indes et la France : tels furent les avantages qu'on lui concéda. Une autre compagnie, celle des Indes occidentales, eut le Canada, l'Acadie, les Antilles, le Guyane, la côte d'Afrique, 30 livres de prime par tonne importée, 100 livres par tonne exportée. Elle liquida en 1672, celle des Indes occidentales un peu plus tard et le commerce des Indes fut déclaré libre en 1682.

L'inscription maritime fut établie; on acquit la Martinique, le Guadeloupe, une partie de Saint-Domingue, Terre-Neuve, Gorée, Madagascar. Des établissements furent fondés à Surate, Chandernagor et Pondichéry.

Le XVII^e^ siècle marqua pour l'Angleterre, l'aurore de sa puissance colonisatrice; cependant l'exemple du Portugal, de l'Espagne, de la Hollande, et de la France ne lui avait pas suffit : il fallut les guerres religieuses pour favoriser l'émigration et l'établissement dans les terres nouvelles de ce noyau de puritains, origine de la grande République Américaine.

La puissance hollandaise que les Anglais regardaient d'un œil de jalousie, fut frappée d'un grand coup par le célèbre *acte de navigation* décrété par Cromwell et qui a tant contribué à favoriser l'essor de la puissance navale de l'Angleterre. Par cet acte (1651), l'entrée des ports était interdite à tout vaisseau chargé de marchandises, qui n'étaient pas le produit du sol ou du travail national du peuple dont le navire portait le pavillon. Aucune marchandise provenant d'Asie, d'Afrique ou d'Amérique ne pouvait pénétrer en Angleterre, si elle n'était portée par les vaisseaux anglais.

Dès 1600, la compagnie anglaise des Indes fut fondée au capital de moins de 2 millions de francs. Après bien des efforts infructueux, elle acquit Bombay en 1688, elle fonda Calcutta en 1690, et s'unit en 1702 avec une compagnie rivale, constituant définitivement cette grande association plus riche et plus puissante que bien des monarques. Dès ses débuts dans l'Hindoustan, elle rencontra, la rivalité des Français et peut être que la Compagnie fondée par Colbert l'eut emporté sur elle, sans les stériles dissensions de Dupleix et de la Bourdonnais.

Malheureusement Dupleix ne fut pas soutenu par Louis XIV et son successeur, le comte de Lally fut odieusement condamné tandis que lord Clive, l'heureux rival de Dupleix et de Lally lui-même, accusé de concussion, se donnait volontairement la mort.

La conquête de l'Inde entière n'était plus pour la Compagnie qu'une question de temps et d'argent et, malgré Suffren, Hayder-Ali et Tippoo-Saïb, l'Angleterre était, à la fin du XVIII^e^ siècle, la maîtresse de l'Inde entière, où elle règne aujourd'hui sur 240 millions d'habitants.

On sait comment l'Amérique du nord lui échappa, et comment nous perdîmes nous-mêmes le Canada et la Louisiane.

IV. — Nous donnons ici le tableau du commerce extérieur de la France au commencement et à la fin du XVIII^e^ siècle. En 1669, Colbert estimait à 600 le nombre de nos bâtiments marchands; en 1715, il était monté à 800 et en 1789 à 1000.

Au commencement du XVIII^e^ siècle, le produit des pêcheries françaises était estimé à 1 million de livres; à la révolution il était de 1,570,000 se divisant entre les pêcheries de Saint-Pierre, celles d'Islande et celles de Terre-Neuve.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

COMMERCE AVEC		SOUS LOUIS XIV.	A LA RÉVOLUTION	OBJETS PRINCIPAUX DE CE COMMERCE.
Pays du Nord, Hambourg, Suède, etc.	Importation.	2.300,000	31.600,000	Cuivre, plomb, bois de construction.
	Exportation.	6.800,000	80.000,000	Comestibles, sucre, café, vins.
États-Unis.	Importation.	»	9.600,000	Tabacs, etc.
	Exportation.	»	1.800,000	Vins, marchandises fabriquées.
Levant.	Importation.	»	37.000,000	Matières brutes, soie, laine, cuir.
	Exportation.	»	25.000,000	Drap, bonneterie, soiries, café, sucre.
Espagne.	Importation.	17.600,000	33.300,000	Laine, soude, mules, matières alimentaires, vins, piastres.
	Exportation.	20.000,000	44.000,000	Articles manufacturés, métaux bruts, bestiaux, comestibles, boissons.
Portugal.	mportation.	340,000	10.400,000	Cuirs, tabac, huiles, épices, coton, bois exotiques, fruits secs.
	Exportation.	740,000	4.000,000	Lainages, toiles, papier, quincaillerie, comestibles.
Suisse et Italie.	Importation.	10.700,000	82.000,000	Soie, velours, cotons manufacturés, métaux bruts, comestibles.
	Exportation.	23.0000.00	78.000,000	Produits manufacturés, comestibles, boissons, denrées coloniales.
Iles britannique.	Importation.	13.876,000	58.500,000	Lainages, cotons, peaux, chevaux, comestibles, métaux bruts, objets manufacturés.
	Exportation.	24.000,000	38.000,000	Vins, bois, comestibles, matières brutes et manufacturées.
Allemagne, Autriche, Pologne, Flandre.	Importation.	9.000,000	64.000,000	Dentelles, rubans, quincaillerie, charbon, lin, chanvre.
	Exportation.	14.700,000	95.000,000	Soieries, lainages, matières brutes, boissons denrées coloniales.
Hollande.	Importation.	12.000,000	93.000,000	Marchandises manufacturées, matières brutes, comestibles.
	Exportation.	30.700,000	46.000,000	Boissons, sucre, café, denrées coloniales, comestibles, marchandises manufacturées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A la fin du règne de Louis XIV, on armait encore 12 à 15 navires pour la pêche de la baleine, cette pêche était depuis longtemps entre les mains des Basques, mais elle passa aux Dunkerquois qui, à la révolution armaient 65 bâtiments. Une pêche plus importante était celle du hareng et du maquereau, elle produisait en 1715 près de 3 millions de livres et en 1789 plus de 13 millions.

V. L'alliance de la science et de la pratique qui caractérise à un si haut degré, l'industrie du XIXe siècle a été une nécessité pour la marine, bien avant l'époque où elle s'est imposée aux arts en général. L'astronomie, les effets du magnétisme, les lois de l'équilibre, celles de la résistance des fluides, ont dû être étudiés et appliqués à une époque déjà reculée : avant les industries de la terre ferme, la mer a eu ses ingénieurs.

Les études scientifiques ont amené la marine au point de prospérité où nous la voyons de nos jours. Les vents réguliers, les courants ont été étudiés et la durée des voyages a pu être notablement diminuée en même temps que les bâtiments navigaient avec plus de sécurité. Les ports ont été améliorés; des travaux gigantesques ont créé les uns, aprofondi et régularisé les autres. On a imaginé de creuser des bassins artificiels, où la mer demeure après que le flot s'est retiré, de sorte que le navire reste constamment dans ses conditions normales d'équilibre. Des moyens de chargement et de déchargement mécaniques, ont été installés partout; aujourd'hui quelques heures suffisent pour remplir et vider de charbon ou de blé un navire de 15 ou 1800 tonneaux. Mais de tous les perfectionnements apportés à la navigation, le plus important est l'application de la machine à vapeur, dont il serait superflu d'énumérer ici les avantages. On a supprimé les obstacles qui nuisaient à la rapidité des communications : l'isthme de Suez a été percé, l'isthme de Panama va l'être bientôt, et peut-être allons-nous inonder le Sahara.

Nous avons donné plus haut les chiffres approximatifs du commerce de la France vers la fin du règne de Louis XIV et à l'époque de la révolution; voici, comme point de comparaison, un tableau résumant la statistique du commerce français avec les principales nations étrangères en 1875, époque à laquelle la somme des importations et des exportations, s'élevait à la somme de 7 milliards 209 millions de francs.

Tableau du commerce français avec les principales nations.

PAYS.	IMPORTATIONS EN FRANCE.	EXPORTATIONS DE FRANCE.	TOTAUX.
Angleterre	595,788 fr.	992,398 fr.	1.588,186 fr.
Belgique	409,333	523,608	932,941
Allemagne	315,543	413,616	729,159
Italie	288,917	204,191	493,108
Espagne	129,923	139,156	269,079
États-Unis	241,576	296,416	537,992

Angleterre. — L'Angleterre a importé en France des matières brutes pour 342 millions, des matières alimentaires pour 39 millions, des matières manufacturées pour 244 millions.

Nous avons exporté de France en Angleterre, pour 480 millions de produits bruts et alimentaires et pour 497 millions de produits manufacturés.

L'Angleterre nous a envoyé principalement : coton, 29 millions; houille, 53 millions; laine, 91 millions; soie, 38 millions; cuivre, 30 millions, tissus de laine, 54 millions; tissus de coton, 25 millions.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les principales marchandises exportées de France en Angleterre sont : aliments, 394 millions parmi lesquels, vins, 50 millions; beurre, 66 millions; spiritueux, 35 millions; fruits, 17 millions; œufs, 35 millions; sucre, 102 millions. mercerie, 25 millions; modes, 29 millions; ouvrages en cuir, 66 millions; tissus de laine, 79 millions: tissus de soie, 172 millions.

Belgique. — La Belgique nous a envoyé des produits bruts et alimentaires pour 323 millions, et des produits manufacturés pour 66 millions.

Elle a reçu de nous ; produits naturels ou alimentaires 273 millions; objets manufacturés, 224 millions.

La Belgique nous a envoyé surtout : coke, 15 millions; houille, 91 millions; laine, 64 millions; lin, 18 millions; bestiaux, 20 millions ; sucre, 18 millions.

Nous avons expédié en Belgique : bois, 15 millions; laine, 71 millions; lin, 14 millions; bestiaux, 10 millions; fruits, 17 millions; sucre, 14 millions; fils de lin, 25 millions; mercure, 25 millions; tissus de soie, 14 millions; tissus de laine, 38 millions.

Allemagne. — Importations d'Allemagne en France : produits bruts et alimentaires 172 millions; produits manufacturés, 131 millions. Exportations de France en Allemagne : produits bruts et alimentaires, 213 millions; produits manufacturés, 181 millions.

Les principaux objets importés d'Allemagne en France sont : le bois, 11 millions; la houille, 20 millions; les peaux, 26 millions; les bestiaux, 36 millions; le fer, 16 millions; les tissus de coton, 26 millions.

Les principaux produits exportés de France en Allemagne sont : bois, 12 millions; coton 23 millions; laine, 14 millions; peaux, 12 millions; bestiaux, 13 millions; sucre, 10 millions; vins, 27 millions; fils, 11 millions; mercerie, 22 millions; ouvrages en métaux, 14 millions; tissus de laine, 27 millions.

Italie. — Importation d'Italie en France : produits bruts et alimentaires, 233 millions; produits manufacturés, 40 millions. Exportation de France en Italie produits bruts et alimentaires, 72 millions; produits manufacturés, 114 millions.

Les principaux produits importés d'Italie en France sont : la soie brut, 116 millions; les bestiaux, 18 millions. Nous envoyons surtout en Italie : soieries, 24 millions: sucre, 12 millions; ouvrages en métaux, 10 millions; tissus de laine, 23 millions.

Espagne. — Importations d'Espagne en France : produits bruts et alimentaires, 105 millions; produits manufacturés, 21 millions. Exportations de France en Espagne : produits bruts ou alimentaires, 50 millions; produits manufacturés, 21 millions.

Les principaux objets que nous recevons d'Espagne sont : fruits, 11 millions vins, 23 millions; huile d'olives, 6 millions; plomb, 16 millions. Nous expédions surtout en Espagne : chevaux, 7 millions; coton, 8 millions; laine, 6 millions; mercerie, 8 millions; tissus de laine, 19 millions; tissus de soie, 8 millions.

États-Unis. — Importations des États-Unis en France : objets bruts ou alimentaires, 234 millions; produits manufacturés, 3 millions. Nous expédions aux États-Unis : matières brutes ou alimentaires, 45 millions; produits manufacturés, 240 millions.

Les principaux produits que nous recevons des États-Unis sont : coton, 132 millions; graisses, 12 millions; huile de baleine, 10 millions; pétrole, 10 millions; tabac, 18 millions. Nous envoyons surtout aux États-Unis: vins et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

esprits, 16 millions; mercerie, 10 millions; peaux ouvrées, 37 millions; tissus de laine, 55 millions; tissus de soie, 50 millions.

Voici maintenant à côté de ces chiffres qui montrent l'étendue du commerce d'importation et d'exportation de la France, le tableau de l'industrie de la pêche en 1876. La valeur totale n'est pas moindre que 90 millions de francs; elle se répartit ainsi :

Morue. . . . Terre-Neuve.	16.297.000	kilogrammes.
Morue. . . . Islande.	11.589.000	—
Harengs	26.061.000	—
Maquereaux	11.863.000	—
Sardines	1.198.000	—
Anchois.	1.167.000	—
Divers	42.577.000	—

Pour cette pêche ont été employés :

Pêche de la morue à Terre-Neuve.	168	bateaux jaugeant	29.000	tonneaux.	
Pêche de la morue à Islande. . . .	228	—	22.000	—	
Pêche cotière.	20.662	—	10.200	—	
Pêche de la morue à Terre-Neuve.	7.417	hommes.			
Pêche de la morue à Islande. . . .	3.942	—			
Pêche cotière.	68.417	—			

Nous avons donné plus haut le tableau détaillé du commerce de la France en 1875. Nous ne pouvons revenir sur ce détail pour l'année qui vient de s'écouler, mais nous donnerons les résultats généraux en faisant remarquer que de 1874 à 1878, la valeur totale s'est élevée de 7 milliards 200 millons à 7 milliards 800 millions, c'est-à-dire de 600 millions.

Commerce général de la France en 1878.

Importation. .	Objets d'alimentation	1.543.000.000
	Produits naturels et matières premières.	2.252.000.000
	Objets fabriqués	447.000.000
	Divers	218.000.000
Exportation. .	Objets fabriqués.	1.867.000.000
	Produits naturels, objets d'alimentation et matières premières.	1.321.000.000
	Divers	182.000.000

Voici pour terminer cet exposé, l'état du nombre des navires à voile et à vapeur des principales marines du monde en 1878.

Navires à voiles.

	Nombre de navires.	Tonnage.
Angleterre	17.765	5.526.930 t.
États-Unis	6.307	2.146.730
Norwége	4.135	1.352.950
Italie	4.402	1.296.985
Allemagne	3.140	875.844
France	3.300	666.767
Espagne	2.744	550.552
Grèce	2.024	419.478
Russie.	1.802	417.973
Suède.	1.941	402.248
Hollande	1.258	366.284
Autriche	652	253.730
Danemark	1.203	182.870
Portugal.	441	106.215

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Navires à vapeur.

	Nombre de navires.	Tonnage.
Angleterre	3.183	3.283.910
États-Unis	542	674.036
France	272	319.179
Allemagne	220	259.785
Espagne	224	176.310
Hollande	110	112.879
Russie	145	105.140
Italie	110	95.309
Suède	210	87.287
Autriche	74	83.545
Danemark	96	61.671
Norwége	122	54.449
Portugal	26	22.480
Grèce	12	7.621

LA MARINE MARCHANDE ET LES PORTS FRANÇAIS.

En 1606, *Laffemas* écrivait ceci : « Remettons hardiment nos ports et que » tant de beaux fleuves qui serpentent la terre de France soient rendus navi- » gables partout. Or puisque la mer nous est bonne et que nos pilotes sont ex- » pers, il faut voir de quoy nous voulons charger nos vaisseaux. »

La question se pose aujourd'hui dans les mêmes termes : il nous faut de bons ports bien outillés, des navires et du fret. La décadence de la marine marchande française ne saurait être niée; c'est un fait douloureux dont nous devons rechercher les causes et auquel il est nécessaire d'apporter un remède immédiat. Par le nombre de nos navires, nous n'occupons plus que le sixième rang et nous avons avant nous, l'Angleterre, les États-Unis, la Norwége, l'Italie et l'Allemagne. Il y a quelque chose de plus grave encore peut-être, c'est que notre matériel est vieux et qu'on ne construit plus, de sorte que si nulle mesure n est prise, nous devons même perdre ce sixième rang. On admet généralement que nos navires en bois ont en moyenne seize ans d'âge, aussi dans les sinistres maritimes nous passons au 3e rang : en 1877, l'Angleterre perdit 559 navires, l'Amérique 200, la France 172, il serait difficile de citer un chiffre plus fatalement éloquent. Pour que notre matériel se maintînt stationnaire malgré sa vétusté, il faudrait construire par an 63,000 tonneaux et on en a construit en 1877 seulement 9,136, encore ce sont de bien faibles embarcations, car la moyenne de ces constructions n'est que de 20 tonneaux lorsque la moyenne de la construction anglaise est de 569 tonneaux. Ainsi nous ne construisons plus de navires, et, comme par la force des choses, nos chantiers s'appauvrissent d'hommes et d'outils, il en résulte que les grosses réparations de nos steamers vont se faire dans les ports anglais. Il nous faudrait augmenter le tonnage de nos navires et donner la préférence aux coques en fer dont, à jauge égale, le volume utile est le plus grand, qui se réparent plus facilement et ne sont pas sujets aux dévastations des tarets et autres destructeurs des carènes en bois.

Nous avons fait, il est vrai, d'assez notables progrès dans notre matériel naval à vapeur, et personne n'ignore que le steamer est incontestablement supérieur au voilier. On estime que dans la Méditerranée un navire à vapeur fait 4 ou 5 voyages pendant que le voilier en fait un; dans les autres mers cette proportion se réduit à 3 pour un. Néanmoins, cette supériorité n'est pas sans désavantage suivant les cas, et aujourd'hui il se fait en faveur des navires à voiles un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

certain revirement d'opinion. L'Angleterre, les États-Unis, la Norwége se son mis, depuis quelques années, à construire de grands voiliers en fer qui, pour certains voyages, donnent d'excellents résultats. Ils naviguent à bon compte, n'ont pas besoin de houille et peuvent aller de marché en marché suivant les époques et les occasions, ce que ne peuvent pas toujours faire les steamers. Quoi qu'il en soit, notre commerce maritime est en grande partie aux mains des étrangers; en 1867, les navires français ont transpporté 4,146,000 tonnes de marchandises, et les navires étrangers 6,346,000 tonnnes; en 1877, les chiffres sont respectivement 5,354,000 tonnes et 9,052,000 francs. Ainsi en dix ans l'écart s'est augmenté en faveur des étrangers d'un million et demi de tonnes.

Notre sol ni notre industrie ne fournissent de produits lourds et encombrants comparables aux grains et au coton des États-Unis, ou à la houille et aux métaux de l'Angleterre; nous ne sommes donc pas favorisés de ce côté. A d'autres points de vue, les navires français ont certaines dépenses qui n'atteignent pas les bâtiments étrangers, ou bien ces derniers jouissent dans nos ports d'avantages que nous ne rencontrons pas dans les leurs. Ainsi l'armateur français est forcé de composer son équipage de manière que les trois quarts au minimum soient des inscrits maritimes; c'est un grave inconvénient que n'éprouvent ni les anglais ni les américains. Le navire français qui, pour une cause ou pour une autre, est obligé de relâcher plusieurs mois à l'étranger : et cela est encore assez fréquent, est obligé de garder son équipage ; le navire étranger le débarque et le licencie. En Angleterre où les phares sont construits par des sociétés commerciales, on paye un droit de feux qui ne rapporte pas moins de 110 millions de francs par an; en France cet éclairage est gratuit pour tout le monde.

Il y a encore bien des causes qui amènent pour nous une regrettable infériorité, mais ces causes sont du domaine de celles qu'on ne modifie pas par des lois : ainsi, en Angleterre, où l'argent est à bas prix, on se contente d'un intérêt de 3 % pour les fonds placés dans la marine, et ce taux est regardé chez nous comme tout à fait insuffisant. En outre, nous n'avons pas le goût des entreprises maritimes; notre population n'est pas massée le long des côtes comme en Amérique; les mers qui nous entourent ne pénètrent pas aussi profondément dans nos terres que dans les Iles Britanniques; le rapport entre la longueur du littoral et la surface du territoire est bien plus petit en France qu'en Italie, en Scandinavie, en Grèce. Sauf Marseille, le Havre, Bordeaux, Nantes, toutes nos grandes villes d'industrie, c'est-à-dire les banques, les financiers, les gens d'affaires sont loin de la mer et n'en connaissent ni les attraits ni les profits. C'est ainsi que l'argent nous fait défaut, non-seulement pour l'armement, mais encore pour le commerce maritime ; c'est ainsi que non-seulement nos capitaines au long cours ne trouvent pas au bout de leur voyage les comptoirs installés et les relations établies des anglo-américains et des scandinaves, mais encore, qu'ils n'y apportent pas avec eux le crédit ouvert par l'armateur au moyen duquel ils pourraient exécuter de fructueuses expéditions commerciales e transformer en une source de profits une expédition quelquefois mal engagée ou insuffisamment rémunérée. C'est là, à notre avis, une des grandes causes de notre infériorité en fait d'armements maritimes.

Mais ce n'est pas une raison pour délaisser ce qui nous reste de notre flotte marchande, confier aux navires étrangers les marchandises que nous avons à expédier et leur demander les produits exotiques qui sont nécessaires à nos besoins. N'y eut-il pas d'autres motifs pour chercher à relever le niveau de nos entreprises par mer qu'il faudrait s'inspirer des nécessités de la défense nationale pour constituer une puissante réserve en cas de guerre. Il nous faut, en effet, pour remplir les cadres de nos équipages militaires, des marins exercés au long cours, sachant leur métier à fond, connaissant la manœuvre des grandes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

voiles, celle des ancres; il nous faut des timoniers, des gabiers, des patrons de canot. En temps de guerre, ce n'est plus le moment d'apprendre aux marins leur état; si on se procure alors d'une manière relativement facile des canonniers, des mécaniciens déjà exercés, où trouvera-t-on sans navire au long cours ces hommes rompus à la mer, faits aux privations, pleins d'initiative, dans lesquels les officiers, au moment difficile, doivent trouver des auxiliaires dévoués et non des élèves dociles? Nous avons l'inscription maritime qui nous donne les hommes, il nous faut la marine marchande qui en fait des matelots afin que, vienne la guerre, nous trouvions en eux des soldats. Les événements de 1870 ont montré que ces hommes, ces marins, ces soldats peuvent devenir des héros.

L'Angleterre, si puissante, qui n'a pas l'inscription et ne veut plus de ses lois barbares sur la *presse*, a adopté un système de réserve dont les dépenses s'élèvent à plus de huit millions de francs par an pour solder 17,000 marins qui puissent lui servir en cas de guerre pour compléter ses cadres.

Il faut donc que notre marine marchande vive et il est nécessaire que le remède qui doit lui rendre la santé et la vie soit aussi prompt qu'efficace; mais quel sera ce remède? On a aboli la surtaxe de pavillon qui était peut-être le moyen de subvention le plus simple et le plus logique; nous devons convenir qu'il est impossible de la rétablir sans s'exposer à des représailles, lesquelles venant de concurrents plus forts que nous, pourraient facilement nous terrasser. Le mot de subvention qui alarme à un si haut degré les partisans du libre-échange doit donc être prononcé quand même, et en cela nous ne ferons qu'imiter d'autres pays. L'Angleterre subventionne comme nous ses lignes postales, cela lui coûte 23 millions de francs par an; l'Amérique donne à ses constructeurs de navires une prime qui, pour les grands bâtiments, atteint la moitié du montant de la dépense totale.

Les différents projets de loi qui ont été proposés pour venir au secours de notre marine défaillante ne font qu'hésiter entre la prime à l'armement et la prime à la construction. Toutes deux ont leurs avantages et leurs inconvénients, mais qu'on adopte l'une ou l'autre ou l'une et l'autre, il faut que le sacrifice profite à tous, et que le secours accordé ne soit pas enfoui dans un vieux matériel hors d'usage ni réparti sur des bâtiments qui ne naviguent pas effectivement. Il faut bien remarquer que l'augmentation du nombre des navires ne peut à elle seule sauver la situation. Si la réforme n'est pas accompagnée de l'établissement d'un ensemble de conditions permettant à tous les navires français d'abaisser le prix du fret, sans que cet abaissement soit motivé par la concurrence de nouveaux privilégiés, nous aurons mis, comme on le dit vulgairement, quelques chevaux de plus à l'écurie, et le remède deviendra pire que le mal. Dans cet ordre d'idées, la prime à la construction ne peut être d'un secours efficace que si elle est équitablement répartie; on a proposé de donner 12 francs par 100 kil. des machines motrices placées à bord, 60 francs par tonne de jauge brute des bâtiments en fer et en acier, 20 francs par tonne de jauge brute des navires en bois.

Qu'elle soit indépendante de la prime à la construction, ou combinée avec elle, la prime à l'armement a, ce nous semble, l'avantage d'encourager l'industrie maritime dans ses effets mêmes, c'est-à-dire dans la navigation effective. Le projet de loi accorde un encouragement de huit millions par an pour les armements, et nous avons vu plus haut que c'est cette somme que sacrifie l'Angleterre pour avoir, au jour du danger, une réserve de marins disponibles. Les conditions de la répartition de ce crédit doivent avoir pour objet l'unité de jauge nette et son mouvement effectif par mois de navigation avec échelle décroissante en raison inverse de l'âge du navire, c'est-à-dire 2f,50 pour les navires de 1 à 6 ans, 2 francs pour ceux de 6 à 12 ans, 1f,50 pour ceux de 12 à 18 ans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et enfin 1 franc pour ceux de plus de 18 ans. Si, en y ajoutant une surtaxe d'entrepôt modérée, la franchise du pilotage pour les embarcations de moins de 100 tonneaux, le dégrèvement partiel de la patente d'armateur, la suppression de quelques obligations pénibles ou vexatoires, les chambres consentent à voter les encouragements dont nous venons de parler, nul doute que le remède soit efficace pourvu qu'il soit prompt.

Il ne suffit pas d'avoir de bons navires, des équipages exercés, des armateurs entreprenants, d'habiles capitaines et un large crédit, il faut encore de bons ports, faciles d'entrée, sûrs de séjour, dans lesquels les manœuvres de chargement et de déchargement puissent se faire avec autant de célérité que d'économie. Quiconque a vu les grands établissements maritimes de la Tamise, de la Mersey et de l'Escaut peut se convaincre, en parcourant nos ports, combien nous avons encore à faire pour atteindre leur niveau. Nous avons des passes difficiles à élargir ou à creuser, des bassins à flot à établir, des grues à vapeur à placer; nous avons aussi à amener jusqu'aux docks et jusqu'aux bassins le canal et le chemin de fer. Tout le monde connaît la puissante initiative de M. de Freycinet et les vastes projets qu'il a conçus : si rien ne vient se mettre à la traverse, si l'argent et la persévérance ne manquent pas, dans dix ans nous aurons ce qui nous fait aujourd'hui défaut. Ces améliorations ne sauraient manquer de profiter à notre commerce, à notre industrie, et en définitive au plus grand nombre des consommateurs; nous voudrions être également persuadé qu'elles seront aussi profitables aux navires français, et que, dans dix ans, les bâtiments étrangers ne seront pas les seuls à pénétrer dans nos ports et à s'amarrer à nos quais.

Nous allons passer en revue nos principales villes maritimes en indiquant pour chacune d'elles les éléments de son commerce et les améliorations projetées, puis nous terminerons cet exposé en indiquant sommairement la situation et l'importance des ports étrangers les plus habituellement fréquentés.

LES PORTS DE LA MER DU NORD ET DE LA MANCHE.

Dunkerque. — *Dunkerque* est notre seul port sur la mer du Nord. Dans une position excellente, adossé à une région entièrement industrielle, bien placé pour faire le transit, Dunkerque a pour rival heureux Anvers, grâce aux immenses travaux qui y ont été faits. Depuis 1854, le gouvernement belge a dépensé plus de 60 millions pour l'amélioration du port d'Anvers et cette somme sera prochainement doublée. Nous devons faire pour Dunkerque de grands travaux pour ramener à ce point de nos côtes le commerce dont profite le grand port belge. Dunkerque a une excellente rade foraine où les plus grands navires, abrités par les bancs du large, peuvent mouiller dans un calme relatif par des fonds de 12 à 15 mètres. L'entrée du port est dangereuse, elle n'a que 5,50 en morte-eau ordinaire et 6,50 en vive-eau, et son approfondissement est l'un des plus urgents travaux qu'on se propose d'y faire. Ce port ne possède que 3 bassins, d'une superficie totale de 11 hectares, tandis qu'Anvers et le Havre en ont chacun 8. Aussi doit-on étendre le bassin de l'Ouest de manière à mettre à la disposition du commerce un développement total de 7 à 8,000 mètres de quais à flot, au lieu des 2,600 mètres actuels. Le bassin du commerce doit être achevé, l'avant-port et le port d'échouage élargis, l'écluse de la cunette reconstruite. La ville demande en plus la création d'un autre bassin à l'est et un meilleur outillage pour le port. Quand toutes ces dépenses auront été faites, Dunkerque deviendra le 2e port de France.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La flotte de commerce du port se décompose ainsi :

Navires au long cours.	31	jaugeant	12.174	tonneaux.
— pour la pêche de la morue (Islande).	119	—	11.691	—
Cabotage, vapeurs.	11	—	4.931	—
— voiliers.	33	—	5.084	—
Pêche cotière	54	—	447	—
TOTAL.	248	jaugeant	34.327	—

En 1877, les entrées et sorties du port se montaient à 6,205 navires jaugeant 1,456,104 tonneaux, tonnage moyen 234 tonneaux.

Les relations du port de Dunkerque ont lieu principalement avec les ports de la Méditerrannée et de la mer Noire, New-York, New-Orléans, le Canada, les Antilles, les îles Chinchas, Iquique, Méjillones, Valparaiso, le Sénégal, la Gambie, Benin, Bilbao, etc.

Voici maintenant le tableau des marchandises importées et exportées en 1877.

Importations.

		Navigation avec l'étranger.		Cabotage.	
Matières animales.	Produits et dépouilles d'animaux, pêche, etc.	58.131 tonnes.		1.718 tonnes.	
Matières végétales.	Farines, grains, fruits, denrées coloniales, bois, etc.	359.920	—	45.371	—
Matières minérales.	Combustibles minéraux, métaux, pierres.	333.783	—	12.587	—
Produits fabriqués.	Produits chimiques, fils, tissus, etc.	70.783	—	8.888	—
	TOTAUX	824.569	—	68.573	—
	TOTAL GÉNÉRAL	893.339			

Exportations.

		Navigation avec l'étranger.		Cabotage.	
Matières animales.	Produits et dépouilles d'animaux, etc.	3.950 tonnes.		18.145 tonnes.	
Matières végétales.	Grains, denrées coloniales, bois, etc.	76.663	—	4.664	—
Matières minérales.	Combustibles, pierres, etc. . . .	16.334	—	89.300	—
Produits fabriqués	Produits chimiques, boissons, verreries, etc.	21.170	—	9.506	—
	TOTAUX	118.120	—	121.721	—
	TOTAL GÉNÉRAL	239.842			

Boulogne-sur-mer. — *Boulogne* est situé à l'embouchure de la Liane, à 28 milles seulement des côtes d'Angleterre; l'entrée en est assez facile et le port est sûr. La mer y reste étale 52 minutes et la marée y atteint $7^m,30$ dans les vives-eaux et $5^m,45$ dans les mortes-eaux; les navires de 800 tonneaux y entrent facilement à toutes les marées, mais ce n'est qu'à l'époque des vives-eaux que ceux de 1000 tonneaux peuvent y pénétrer. On y trouve un port d'échouage de 900 mètres de long, avec des quais commodes principalement utilisés par les paquebots qui font le service de Douvres et de Folkestone, un bassin de retenue pour les chasses, un bassin à flot de plus de 6 hectares et d'une profondeur de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

10m,75; le développement de ses quais est de 1,043 mètres, une cale au bois pour les navires scandinaves, un gril de carénage de 55 mètres sur 8m,30 et un second de 19 mètres, sur 6m,35, des grues à bras et à vapeur et une gare maritime.

Tel qu'il est aujourd'hui, le port de Boulogne ne répond ni à sa situation ni à l'étendue du commerce qu'il pourrait faire; aussi a-t-on décidé la création d'un port en eau profonde dont les travaux sont commencés. Ils consistent en deux jetées s'avançant l'une à 1,550 mètres l'autre à 1,440 mètres en mer; entre elles et parallèlement à la côte on construira la digue du large composée d'un môle de 500 mètres et d'une digue de 600 mètres; deux passes, l'une de 150 mètres et l'autre de 250 mètres laisseront le passage aux navires: le port ainsi créé aura une profondeur de 5 à 8 mètres et une surface de 137 hectares. Dans une région où nous n'avons jusqu'à Cherbourg aucun port de refuge où les navires puissent entrer à toute heure, la création du nouveau port en eau profonde sera un grand bienfait et ne pourra manquer d'accroître considérablement le transit des marchandises que les compagnies belges et allemandes cherchent à nous enlever. Les travaux coûteront 17 millions.

Il est entré à Boulogne, en 1877, 2,397 navires jaugeant 482,913 tonneaux.

Voici le mouvement du cabotage en 1877:

Navires entrés.	393	jaugeant	27.322 tonneaux.
— sorties.	489	—	34.067 —

Un fait qui permet de juger combien les travaux utiles dans les ports augmentent le mouvement des navires, c'est l'accroissement du nombre des bâtiments entrés dans le bassin à flot depuis sa construction. En 1869 il y est entré 765 navires jaugeant 100,181 tonnes et en 1877, 1,521 navires jaugeant 229,524 tonneaux.

En 1876, l'importance des exportations et des importations du port de Boulogne a été évaluée à 647,300,000 francs ; il occupe le troisième rang pour la valeur des marchandises, bien qu'il ne soit que le huitième pour le tonnage.

Les pêcheurs de Boulogne ont rapporté en 1877, 23,686,600 kilog. de poissons vendus 9,890,998 francs. Le nombre de voyageurs en provenance ou à des tination d'Angleterre passant par Boulogne s'est élevé en 1877 à 132,387.

Boulogne importe principalement d'Angleterre la houille, les fers, la laine, le coton; de Suède et de Norwége les bois, les minerais de fer, les harengs salés, la glace; d'Espagne, des minerais; de Russie, des bois, des avoines; de Hollande et d'Allemagne des céréales, des avoines et des bois.

Les exportations consistent principalement pour l'Angleterre en produits du pays: phosphates, bétail, œufs, beurre, tissus fins, modes ; pour l'Allemagne en ciments, phosphates, fontes moulées. Les ciments et les plumes métalliques de Boulogne s'exportent presque dans le monde entier.

Dieppe. — La rade de *Dieppe* présente une bonne tenue, sur une profondeur de 6 à 8 mètres à basse mer, mais elle est mal abritée. L'entrée du port est assez facile, sauf une barre de galets; la haute mer y varie de 7 à 10 mètres. Le port d'échouage a une surface de 6 hectares et une longueur de quais de 787 mètres. Dieppe possède 3 bassins à flot présentant 1,900 mètres de quais. L'outillage du port se compose d'une grue de 30 tonnes, de 15 grues à vapeur de forces variables et de 5 grues à bras; le gril de carénage a 50 mètres de longueur sur 11,50 de largeur.

Voici le mouvement du port pendant l'année 1877:

Il est entré 1,599 navires dont 1,185 vapeurs jaugeant ensemble 408,000 ton-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

neaux et contenant 461,300 tonnes de marchandises. Il en est sorti 1,579 navires dont 1,173 vapeurs jaugeant ensemble 404,000 tonneaux et contenant 84,409 tonnes de marchandises. Les principaux objets de commerce sont, pour l'importation : la houille, les bois du Nord et les fontes ; pour l'exportation : les silex, la craie, les farineux alimentaires et les denrées coloniales. La grande pêche a employé en 1877, 11 navires jaugeant en moyenne 150 tonneaux dont 10 pour Terre-Neuve et 1 pour l'Islande ; la petite pêche a employé 103 bateaux. Le produit de la grande pêche a été de 571,000 fr., et celui de la pêche cotière (poissons frais, harengs et maquereaux frais et salés) de 2,651,664 fr.

Les projets d'amélioration du port de Dieppe comprennent : la construction d'un brise-lames en arrière de la jetée ; l'élargissement du chenal, la création d'un nouvel avant-port, l'établissement d'un pont tournant et d'un bassin de mi-marée, la construction d'une forme de radoub et d'une amorce d'un nouveau bassin à flot.

Fécamp. — Les navires qui vont à *Fécamp* peuvent mouiller en face de la plage quand le vent souffle du S. au N.-O, la profondeur de 10 mètres au-dessous des basses mer commence à 500 mètres de la côte. L'entrée du port est facile. Un chenal de 320 mètres conduit à l'avant-port de 340 mètres sur 150 en moyenne, le fond en est au zéro des cartes marines. Il communique avec un bassin à flot de 380 mètres sur 100, bordé de quais verticaux en maçonnerie ; les navires, principalement ceux qui font la pêche à Terre-Neuve, y peuvent entrer en tous temps, la profondeur y est de 6 mètres. L'outillage du port comprend une machine à mâter et une grue fixe.

La grande pêche a toujours été pratiquée à Fécamp, principalement la pêche de la morue à Terre-Neuve, en Islande et en Norwége, celle du hareng sur le Dogger-bank et celle du maquereau sur la côte Sud de l'Islande.

En 1876, Fécamp a armé 36 navires jaugeant 5,918 tonneaux et montés par 740 hommes d'équipage pour la pêche de la morue et 221 navires jaugeant 2,980 tonneaux et portant 1,247 hommes d'équipage pour les pêches côtières.

Le produit des diverses pêches atteint 4 millions de francs annuellement. Les types des bâtiments de pêche construits à Fécamp sont renommés pour leur élégance et leur solidité.

Le port reçoit des navires de 500 à 600 tonneaux ; on y apporte principalement les bois du Nord et ceux du Canada, les goudrons de Suède, les grains, les cuirs. Les Terreneuviens vont porter la morue à Bordeaux ou à Cette et en ramènent à peu de frais de grandes quantités de vins. Les *saurisseries* de Fécamp sont nombreuses et les marques des *saleurs* de ce port sont universellement estimées. On a pu voir à l'Exposition de 1878 une cheminée de saurissage et le joli modèle d'une chaloupe tout armée pour la pêche de la morue.

Les projets pour le port de Fécamp comprennent : l'amélioration du chenal, la création d'un avant-port, la construction d'un bassin de mi-marée et l'exécution de l'amorce d'un bassin à flot.

Le Havre. — Le *Havre* est le premier port de la France du Nord ; il est précédé par une rade un peu trop ouverte sur laquelle mouillent les navires qui attendent la marée. L'entrée du port est difficile, surtout pour les grands navires qui sont obligés de se faire remorquer au moins pour la sortie. On est forcé aussi de lutter péniblement contre l'envasement et l'ensablement à grand renfort de chasses et de draguages. Un avantage particulier dont nul port peut-être ne jouit au même degré que le Havre, c'est que la mer y reste sensiblement étale pendant plusieurs heures, de sorte que les portes des écluses y peuvent rester longtemps ouvertes aux navires qui arrivent aux bassins ou qui veulent gagner

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le large. Le Havre possède un avant-port de 11 hectares, où la profondeur d'eau atteint au minimum 8 mètres, la surface totale des bassins à flot est de 53 hectares et le développement des quais atteint 8 kilom., 200 mètres.

Les docks qui entourent les bassins occupent une surface de 22 hectares et peuvent contenir plus de 150,000 tonnes de marchandises.

Malheureusement, le Havre manque de fret de sortie ; outre les causes générales indiquées plus haut, il y a plusieurs autres raisons spéciales qui expliquent ce manque de fret. Le Havre n'a pas une industrie productive en rapport avec l'importance de son commerce maritime et de plus la Seine qui pourrait lui apporter les marchandises lourdes et encombrantes de l'intérieur de la France est, vers son embouchure, d'une navigation difficile à cause des bancs et surtout du mascaret. C'est pour faciliter aux chalands venant de la haute Seine l'approche du Havre qu'on a projeté le canal de Tancarville. Il doit avoir 25 kil., de longueur, 43 mètres de largeur à niveau, 25 mètres au fond et une profondeur de 3m,50. Du Havre à Harfleur on lui donnera une profondeur suffisante pour admettre les navires de mer. La dépense dépassera 20 millions.

Le mouvement du port du Havre en 1876 a été:

Pour les entrées.	5.979	navires	jaugeant	1.848.588	tonneaux.
— sorties	6.183	—	—	1.820.008	—
TOTAL. . . .	12.162	—	—	3.668.588	—

Pour la même année, le poids total des marchandises entrées et sorties a été de 1,800,000 tonnes dont 1,300,000 tonnes entrées et 500,000 tonnes sorties. On voit quelle énorme différence il y a entre le fret d'entrée et le fret de sortie.

Les principaux pays qui sont en rapport par steamers avec le Havre sont: la Colombie britannique, San-Francisco, Panama, Guayaquil, Lima, Valparaiso, Buenos-Ayres, Montevideo, Rio, Bahia, Pernambuco, les Antilles, Vera-Cruz, Tampico, New-Orléans, Charlestown, New-York, Boston, Terre-Neuve, le Saint-Laurent, les ports de l'Angleterre, de la Méditerranée et de la mer Noire, la Suède, la Norwége, le golfe de Finlande, Riga, Hambourg, Suez, Bombay, Ceylan, Pondichéry, Calcutta, Singapore, Saïgon, Hong-Kong, Shang-haï, Yeddo, Batavia, Melbourne, Sidney, Nouméa.

Les principales marchandises qui font l'objet du commerce maritime du port du Havre sont:

Les bois exotiques pour l'ébénisterie et la teinture venant du Mexique, de Cuba, du centre-Amérique, importation de 83,000 tonnes d'une valeur de 15,500,000 francs.

Le caoutchouc du Para, de Java, du Mexique, de Costa-Rica; la gomme laque du Malabar et de l'Afrique; le nitrate de soude du Pérou; le poivre de l'Inde et de Penang ; le girofle de Cayenne ; la vanille de Bourbon, du Mexique, de la Martinique; le thé de Chine ; le cacao de la Martinique, des Antilles, de Guayaquil, de Bahia, de Caracas, de la Bolivie; le café des Antilles, de Bourbon, de Rio, de Bahia, du Mexique. Le sucre de toute provenance, importation 12,710 tonnes d'une valeur de 7,332,000 francs. Le poids du café importé a été de 44,232 tonnes, d'une valeur de près de 90 millions de francs.

Le sésame de l'Inde; le riz de Java, de Cochinchine, du Bengale; le rhum, le tafia, le tapioca, de Rio et de Bahia ; l'arrow-voot des Bermudes; le quinquina de la Nouvelle-Grenade ; les galles d'Alep ; le sumac de Sicile ; le curcuma du Bengale; l'orseille de Californie; la cochenille de Teneriffe, de Lima, du Mexique; le rocou des Antilles.

Les bois d'Amérique; les planches de chêne de Prusse ; le sapin de Norwége,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de Suède, de Russie. L'indigo de Java, de Madras, de Siam, de Manille, du Bengale, dont il a été importé en 1876 : 627,000 kilog., d'une valeur de 11 millions de francs.

Les graisses, suifs, huile de poisson d'Amérique; les fers de Suède; les minerais de cuivre du Chili; l'étain des détroits ; le zinc de Belgique; le plomb d'Espagne; la houille de Newcastle et de Cardif. Houille, importation 560,000 tonnes. Le tabac d'Amérique, importation 9,800,000 kil., valeur, 11,700,000 francs.

Les cotons du Levant, de l'Équateur, du Pérou, d'Haïti, d'Égypte, de Chypre, des États-Unis, de l'Inde, importation en 1876 : 136,529 tonnes d'une valeur de 197 milllons de francs. Les céréales des États-Unis, de la mer Noire; le borate de chaux et le guano du Pérou; les plumes de paon de l'Inde; les plumes d'autruche de Buenos-Ayres ; le crin de la Plata ; l'ivoire d'Alexandrie, du Gabon, l'écaille de l'Inde, de la Havane, de Saint-Domingue, d'Australie, de Panama.

Les laines de la Plata, du Chili, d'Australie, le zostère du Mexique ; le jute de l'Inde; le suif de Buenos-Ayres; la cire et le miel du Chili, du Brésil, de Benguela; l'huile de phoque, les fanons, les peaux de la Plata; les cuirs salés de Valparaiso, les cuirs secs du Mexique; les cornes de buffle de la côte de Coromandel, de Siam et de Manille; les lataniers de Cuba ; les rotins de l'Inde, etc.

Les travaux à exécuter au Havre comprennent la construction de deux nouvelles formes de radoub, l'une de 135 mètres, l'autre de 100 mètres et dans le creusement d'un neuvième bassin à flot.

Rouen. — Le port de *Rouen* si bien placé sur la Seine entre Paris et le Havre ne peut naturellement penser disputer à ce dernier la prééminence, mais il occupe un bon rang sur la liste de nos ports de commerce et sa prospérité va sans cesse croissant.

Malgré son éloignement de la mer et les nombreux détours que trace la Seine avant d'aller se jeter dans la Manche, la marée est forte à Rouen et l'eau suffisamment profonde pour y recevoir des navires de 1,200 et 1,500 tonneaux tirant 5m,50 et même 6 mètres d'eau. Ainsi est entré en 1877, le *Tyro* de 1,300 tonneaux et d'un tirant d'eau de 6m,25 et cette année même le *Saint-Aubin* de 1,558 tonneaux et de 5m,60 de tirant d'eau. Aussi, Rouen est en rapport par mer avec un grand nombre de ports de pays étrangers. Terre-Neuve, le Canada, New-York, Charleston, New-Orléans, Haïti, Rio, la Plata, Vera-Cruz, le Maroc, le Sénégal, Sierra Leone, le Gabon, Madras, Pondichéry, Calcutta, etc. Parmi les pays d'Europe, les relations maritimes de Rouen ont surtout lieu avec l'Angleterre, la Suède, la Norwége, la Russie nord-ouest, la mer Noire et en général les côtes de la Méditerranée, particulièrement l'Asie-Mineure, l'Italie, la Sicile, l'Espagne et l'Algérie.

Les importations consistent surtout en vins, morue, figues, biscuits, poivre des Indes, cacao de Guayaquil, du Para, de Bahia, fer du Lancashire, écorce de tan d'Algérie, briques réfractaires anglaises, café de toutes provenances, coton de la Louisiane et de la Géorgie, goudron de Suède, houille de Cardif et de Newcastle.

Sapin de Norwége, chêne de Prusse, jute de Calcutta, cotonnades et velours d'Angleterre, gomme du Sénégal, arachides de la côte d'Afrique, colza et lin de l'Inde, huiles minérales d'Amérique, huile d'olives de Nice et d'Italie, avoine de Suède, maïs de la Louisiane, riz de l'Inde, huile de palme, bois de teinture de Cuba, Campêche, Haïti, Santal d'Afrique, rocou de Cayenne, produits chimiques anglais, plomb d'Espagne, zinc de Silésie, fontes d'Angleterre, potasse de Russie, curcuma du Bengale.

Les exportations portent principalement sur les fruits, les meules, les farines, les tourteaux, l'huile de colza, la gaude, le plâtre, le verre à vitre, les bois de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

carosserie, les produits chimiques, le sucre, les vins, le beurre salé, les poteries, les cordages, les chiffons, le chanvre de l'Anjou, etc.

Le mouvement général du port de Rouen n'a cessé de s'accroître depuis plusieurs années ; le tonnage total était en 1868, de 522,000 tonneaux, en 1873 de 625,000 et en 1878 de plus de 1 million ; voici comment il se répartit dans cette dernière année :

Nombre de navires français et étrangers.	4.871	
Navigation de concurrence avec l'étranger.	586.586	tonnes.
— avec les colonies françaises	1.841	—
Cabotage sur la Méditerranée.	3.640	—
— sur l'Océan.	223.320	—
Navires sur lest	225.192	—

Voici la comparaison du mouvement maritime avec le mouvement fluvial en 1878.

		ENTRÉES.		SORTIES.		TOTAUX.	
		Nombre	Tonnage.	Nombre	Tonnage.	Nombre	Tonnage.
Bassin maritime.	Navires français. . . .	777	106.049	788	65.337	1.565	171.386
	— étrangers . . .	1.259	583.789	1,221	133.710	2.479	717.499
	TOTAUX. . .	2,035	689.838	2.002	199.047	4.044	888.885
Bassin fluvial.	Steamers et chalands.	»	»	»	»	5.586	905.168

LES PORTS DE L'OCÉAN.

Brest. — Le port de *Brest* est une création récente ; ce n'est qu'en 1859 que le gouvernement s'est décidé à former à côté de nos grands établissements militaires et de cette magnifique rade un port où le commerce pût prendre librement son essor. Jusqu'ici l'essai n'a pas très-bien réussi, mais il ne faut pas désespérer ; du jour où on aura achevé les travaux nécessaires, le port de Brest prendra parmi nos grands établissements maritimes le rang auquel sa situation et ses conditions exceptionnelles lui donnent un droit incontestable. C'est en effet le seul port de l'Océan qui soit accessible aux grands navires à toutes les heures de la marée ; il présente 7m,50 d'eau au-dessous des plus basses mers. Le mouillage en rade y est d'une parfaite sécurité et cette rade, comme le port, est à l'abri de tous les vents. La surface du port est de 38 hectares ; il comporte 590 mètres pour le quai d'échouage et 1,710 mètres pour les quais à grande profondeur desservis par une voie ferrée, une grue de 20 tonnes, une grue à vapeur de 1,500 kil., et deux grues à bras.

Les projets pour le port de Brest consistent dans l'achèvement du port à marée.

Nantes et Saint-Nazaire. — Nous avons trouvé à l'embouchure de la Seine un grand port : **le Havre**, et sur la Seine même un port plus modeste quoique fort important : **Rouen**. Sur la Loire nous trouvons *Saint-Nazaire* et *Nantes* ; malheureusement la Loire n'est pas aussi accessible que la Seine, et si elle se

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

développe dans sa partie moyenne sur une plus grande étendue, elle ne recèle pas une profondeur aussi grande que la Seine dans sa partie maritime et ne jette pas autant d'eau à la mer.

De Nantes à Saint-Nazaire la profondeur de la Loire maritime ne dépasse pas 3 mètres ; à certains endroits c'est une profondeur inférieure à celle que les travaux projetés assureront à la Seine de Rouen à Paris. La grande question à l'étude serait de porter cette profondeur à 7 mètres de manière à permettre aux grands navires l'accès des quais de Nantes. Quelques personnes seraient d'avis de creuser un canal latéral maritime, mais, quoiqu'il en soit c'est une grosse question et une grosse dépense et pour le moment on se contente de draguage dans le port. Cependant il n'est pas possible de laisser dépérir Nantes quoiqu'on ait accusé ses négociants d'un peu de torpeur et il est probable qu'on se décidera à construire ce canal, au moins latéralement à la portion du trajet où sont concentrés les hauts-fonds les plus dangereux.

Presqu'entièrement artificiel, le port de Saint-Nazaire ne date que de 1842 : son bassin à flot a 10 hectares de surface et un développement de quai de 1700 mètres. La profondeur de l'eau y varie de 6 mètres à $6^{m},50$; la rade est excellente et le mouillage parfaitement sûr. On construit actuellement un second bassin de 20 hectares de surface. Le port est destiné au plus grand avenir et il a complétement détrôné Paimbœuf où les gros navires d'autrefois venaient s'alléger pour atteindre les quais de Nantes.

Les grands navires transatlantiques peuvent aujourd'hui y aborder, mais on peut dire que Saint-Nazaire n'est qu'un bassin à flot du port de Nantes, car toute la vie commerciale est au chef-lieu.

Les ports de la Loire maritime représentent un mouvement de 8,000 navires, jaugeant 900,000 tonneaux et la somme des importations et des exportations est un peu supérieure à 1,100,000 tonneaux dont la valeur est d'environ 265 millions de francs. La flottille commerciale qui a pour ports d'attache Nantes et Saint-Nazaire est de 775 navires jaugeant 163,000 tonneaux dont les neuf dixièmes environ appartiennent à Nantes.

Le commerce des sucres est à Nantes en première ligne; le sucre brut provient de Bourbon et des colonies anglaises, ainsi que du Brésil, il en entre à Nantes 55 à 60,000 tonnes par an. Nantes importe d'Angleterre un million de tonnes de houille et 12,000 tonnes de fer, de Norwége et de Russie 50,000 tonnes de bois, du Pérou 28,000 tonnes de guano, en outre du riz de l'Inde, des arachides d'Afrique, des goudrons du Nord, des minerais de plomb d'Espagne, etc.

Le commerce d'exportation consiste en sucre pour l'Angleterre, blés et farines, ardoises, conserves alimentaires, une des grandes industries de la ville, vins, tissus, huiles, etc.

Bordeaux. — Le phare de Cordouan signale l'embouchure de la Gironde et laisse de chaque côté des passes d'une profondeur de plus de 20 mètres par lesquelles les plus grands navires peuvent pénétrer dans l'estuaire de la Garonne et de la Dordogne. Pauillac est l'avant-port de *Bordeaux* comme Saint-Nazaire est celui de Nantes, mais sans avoir son importance. C'est là que s'arrêtent les grands navires, les paquebots transatlantiques. Les bâtiments qui ne dépassent pas 2,000 tonneaux peuvent aller s'amarrer le long des quais de Bordeaux où ils trouvent, au moins dans le chenal de la rivière, sinon absolument sur sa rive, des profondeurs d'eau de 5 à 6 mètres. La vie maritime est concentrée presque toute entière sur la rive gauche de la Garonne, où se trouvent la gare d'un côté et de l'autre la cale de Bacalan où s'amarrent les grands navires. Le port est fort étendu et présente un développement de plus de six kilomètres; il pourrait donner asile à 1,000 ou 1,100 navires.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le port de Bordeaux est classé au 3e rang des ports français ; il n'a avant lui que Marseille et le Havre; cependant, il manque d'un bon outillage, les chargements et déchargements y sont lents. Les projets nouveaux portent comme améliorations urgentes le draguage du lit de la Garonne, la construction de digues et de cales, la consolidation des quais actuels et la construction de quais nouveaux et de débarcadères. Il avait été question de creuser un port à Arcachon pour compléter celui de Bordeaux, mais on en a reconnu la difficulté, ou tout au moins l'inopportunité; de ce côté, on se contentera d'améliorer le port de la Teste. On doit par contre créer à Royan, bien protégé et facilement accessible, un port de refuge qui se trouvera ainsi à l'embouchure même de la Gironde.

Les principaux pays en relation avec Bordeaux, sont : la Plata, l'Uruguay, le Chili, le Pérou, le Mexique, Vénézuéla, les colonies françaises principalement la Réunion et les Antilles, les États-Unis, le Sénégal, Terre-Neuve, Riga, Saint-Pétersbourg, Dantzick, Lubeck, Hambourg, Porto, Rotterdam, les ports anglais, etc.

Le mouvement général du port en 1876, a été de 24,700 navires jaugeant ensemble plus de 2 millions de tonneaux; la valeur totale des marchandises d'importation et d'exportation a dépassé dans la même année la somme de 550 millions de francs.

Les marchandises d'exportation comprennent surtout, le lard et les jambons d'Amérique, l'indigo, le chanvre de l'Inde, les cordages; le poivre de Saigon, de Singapore, du Malabar; le café d'Haïti, de la Guadeloupe, de Costa-Rica, de Guatémala, de Rio, de la Réunion, le cacao, les cornes et les cuirs du Chili, le rocou, l'huile d'Arachides; le sucre brut de la Réunion, de Maurice, de Java, des Antilles, les gommes du Gabon, le sésame du Levant, le tabac, le nitrate de soude, le tafia, les bois de teinture, le merrain de Bosnie, la houille anglaise, etc.

Les marchandises d'exportation sont principalement le vin, la térébenthine, le goudron, le brai, la colophane, les produits chimiques, les tourteaux, le sucre pilé, le sucre raffiné, les acides gras, les conserves, les spiritueux, le mercure d'Amérique.

La pêche représente un mouvement de 145 navires portant 13,667 tonnes de poissons d'une valeur de 9 millions de francs.

MARCHANDISES.	IMPORTATION.	EXPORTATION.
Arachides (tonnes)	11.603	50
Bois de teinture (tonnes)	1.039	8
Cacaos (tonnes)	5.000	2.041
Cafés (tonnes)	8.466	1.587
Cuirs (tonnes)	3.360	2.563
Crins (tonnes)	261	»
Sucres (tonnes)	13.712	6.531
Rocou (tonnes	312	322
Riz (tonnes)	7.158	1.782
Bois de pin (stères)	»	10.000
Produits résineux (tonnes)	»	5.871
Cordages (tonnes)	50	341
Houille (tonnes)	292.650	46.241
Vins en bariques (hectolitres)	»	1.160.000
Vins en bouteilles (hectolitres)	»	101.000
Tabacs (kilogs)	7.694.490	333.247
Vanilles (kilogs)	16.018	13.051
Poivre (kilogs)	211.468	43.244
Indigo (kilogs)	119.098	5.007
Gommes (sacs)	34.500	»

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le tableau de la page précédente donne le nombre des importations et des exportations des principales marchandises en 1877.

Cette. — La Seine, la Loire, la Garonne, ont des embouchures maritimes, et des ports ont pu être créés au fond même de leur estuaire; mais, comme les bouches de l'Ebre et du Nil, les embouchures du Rhône ne sont pas navigables, et les besoins commerce ont conduit à fonder des ports latéraux comme Alexandrie et Barcelone. Pour le Rhône, Cette est l'un de ces ports, Marseille est l'autre.

Assise sur le cordon littoral qui sépare l'étang de Thau de la mer, *Cette* a ainsi un double port et communique par le canal de Beaucaire avec le Rhône, et par le canal du Midi avec la Garonne. Les profondeurs d'eau sont: dans la rade $6^{m},50$, dans l'avant-port 6 mètres. Un brise-lames protége l'entrée du port qui contient 3 bassins à flot; on doit y construire des formes de radoub et une grande jetée pour porter la passe dans des fonds de 10 mètres, en outre prolonger le canal maritime jusqu'à l'étang de Thau. Il importe, en effet, au port de Cette de pouvoir offrir, aux grands navires qui amènent en France les produits et les minerais de l'Algérie et de l'Espagne, des profondeurs d'au moins 8 mètres où ils puissent évoluer facilement dans une mer dépourvue de marées.

Le port de Cette est en progrès constant; son mouvement maritime qui n'était en 1870 que de 4,183 navires et de 690,000 tonneaux, a atteint en 1877, 5,660 navires et 1,050,828 tonneaux. Les principaux pays avec lesquels Cette trafique sont les États-Unis, la Nouvelle-Orléans, le Brésil, la Russie méridionale, l'Inde et l'Indo-Chine par Suez.

La Russie lui envoie ses blés et en reçoit des vins; la Scandinavie importe des bois et remporte du sel; l'Angleterre envoie ses houilles, l'Algérie ses minerais, ses céréales, son alfa; les États-Unis échangent leur pétrole, leur bois, leur suif pour du vin, du sel, des liqueurs.

Les principales marchandises importées en 1877, sont :

Les céréales	16.000	tonnes.
Les vins d'Espagne et d'Italie	165.090	hectolitres.
Les oranges	5.000.000	kilogs.
Les figues sèches	1.200.000	—
Le riz	1.328.000	—
La houille	5.500	tonnes.
Les céréales	37.079	—
Les douelles	9	millions de pièces.
Le soufre	24.000	tonnes.
Les bitumes	42.600	—
Les minerais	137,000	—
Les écorces à tan	3.000	

Les principales marchandises exportées, sont :

Les pommes de terre	1.553	tonnes.
Les matériaux	5.247	—
La houille	90.809	—
Le fer en barres	4.736	—
Le sel	8.800	—
Le savon	6.050	—
Les vins	460.000	hectolitres.
Les spiritueux	20.000	—

Le commerce de Cette avec l'Algérie a pris une extension considérable; nous croyons devoir donner le tableau des principales marchandises reçues ou envoyées:

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Importations d'Algérie à Cette.

Grains.	11.450 tonnes.	Textiles	1.800 tonnes.
Huile d'olives . . .	1.000 —	Écorces à tan. . .	2.315 —
Liége	1.470 —	Minerais de fer. .	73.000 —
Joncs et roseaux .	1.235 —	— de zinc. .	1.000 —
Laines.	1.000 —	Poissons secs. . .	600 —

Exportations de Cette en Algérie.

Houille	2.866 tonnes.	Légumes secs . .	410 tonnes.
Fer et aciers . . .	1.300 —	Meubles.	226 —
Savon.	4.400 —	Bouteilles	600.000 (pièces).
Vin.	353.000 hectol.	Papiers	340 tonnes.

Marseille. — *Marseille* est le premier port de France et la plus importante ville maritime de la Méditerranée; elle tient entre ses mains une grande partie du commerce du sud, et remplit au midi de la France le rôle que jouent au nord le Havre et à l'ouest Bordeaux.

Le port est sûr et d'un accès assez facile. Autrefois le vieux port suffisait à tous les besoins, quoique sa surface n'atteigne pas 30 hectares. Depuis 20 ans de grands travaux y ont été faits : on a hardiment conquis sur la mer, au moyen d'une grande digue parallèle au rivage un espace immense et construit les bassins de la Joliette, du lazaret, d'arène, de la gare et le bassin national. L'ensemble de tous ces abris donne une surface de plus de 150 hectares. Le port possède des quais de 12 kilomètres auxquels il faut ajouter près de 20 hectares de docks. Marseille a encore besoin d'un meilleur outillage; ses quais sont devenus insuffisants, ses bassins trop étroits; aussi les projets nouveaux comprennent-ils l'achèvement de l'avant-port du nord, d'un bassin à pétrole, et de la traverse déjà commencée, l'élargissement des quais du vieux port, l'assainissement des bassins, l'amélioration de l'entrée du port, et enfin la création de nouveaux bassins au sud. Marseille a beaucoup gagné depuis la conquête de l'Algérie et le percement de l'isthme de Suez, mais d'autres cités rivales ont aussi progressé, et, si elle veut rester la reine de la Méditerranée, notre grande cité maritime ne doit rien négliger. Les rivales les plus redoutables sont Gênes et Trieste, où de grands travaux ont été accomplis. Pour les devancer et leur barrer résolûment la route, il y a beaucoup à faire : de vieilles habitudes à abandonner, de l'argent à dépenser et de l'initiative à mettre en pratique.

En 1876, le mouvement du port a été le suivant :

Navires entrés.	8.746	jaugeant	2.645.508 tonneaux.
— sortis	8.654	—	2.590.000 —
Entrés et sortis	17.400	—	5.235,500 —

En 1877 le tonnage des navires à voiles entrés était de.		770.000	tonneaux.
— — à vapeur entrés	—	1.820.000	—
— — à voiles sortis	—	810.000	—
— — à vapeur	—	1.800.000	—
TOTAL.		5.200.000	—

Il y a à remarquer dans ces chiffres la part considérable des navires à vapeur, le nombre des steamers est presque égal à celui des voiliers et comme tonnage les voiliers n'atteignent pas la moitié du tonnage des vapeurs. Il faut remarquer aussi à l'avantage des Marseillais que la part du pavillon français dans ce mouvement est considérable; elle est supérieure à celle qui appartientaux pavillons étrangers, et il serait bien désirable qu'il en fût de même pour tous nos ports.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les principales marchandises importées à Marseille sont : la soie, pour une valeur de plus de 300 millions de francs, venant d'Italie, de Sicile, d'Orient ; le blé, venant de la Russie méridionale, de l'Égypte, de l'Algérie, c'est là un des plus grands trafics de Marseille, mais il est variable suivant les récoltes ; en 1876, il en est entré plus de 500 milles tonnes pour une valeur de près de 138 millions de francs ; mais, depuis l'invasion des blés américains, le Havre tend à faire concurrence à Marseille sous ce rapport ; les minerais viennent d'Espagne et d'Algérie ; les graines oléagineuses, principalement le sésame et l'arachide du Sénégal, du Levant, de l'Inde ; le sucre brut de la Réunion, des Antilles ; le café du Brésil, le cacao des Antilles, du Mexique, des républiques de l'Amérique du sud ; la houille d'Angleterre, pour une somme relativement minime, car il existe près de Marseille des mines considérables, Alais, etc., qui alimentent les usines du pays et approvisionnent les steamers ; le bétail d'Algérie, d'Italie, d'Espagne ; les peaux et cuirs d'Amérique ; le riz de l'extrême Orient ; les épices de l'Inde et de l'Indo-Chine ; le soufre de Sicile, etc.

Les principales marchandises exportées de Marseille sont : les farines, les tissus de soie et les autres textiles, la houille dont l'exportation est supérieure à l'importation, les huiles dont Marseille fabrique une grande quantité, surtout les huiles d'arachides, le savon, produit essentiellement marseillais et qui se répand partout, le plomb, le sel envoyé particulièrement dans les pays scandinaves, la soie et les tissus de soie qui figurent dans le commerce d'exportation de Marseille pour une somme de 135 millions de francs.

La population de Marseille dépasse aujourd'hui 320,000 habitants et la somme totale du commerce qu'on y fait doit être évaluée au moins à 2 milliards de francs.

Voici du reste le détail des marchandises principales exportées et importées en 1876 :

Marchandises importées à Marseille en 1876.

Céréales	324.000 tonnes.	Café.	24.500 tonnes.
Minerai de fer. . .	378.500 —	Soufre	22.000 —
Graines oléagineuses	219.500 —	Bois exotiques . . .	21.000 —
Houille	90.000 —	Laines	18.000 —
Bois.	66.000 —	Peaux.	16.000 —
Sucre brut	60.000 —	Pétrole	9.600 —
Légumes secs . . .	44.500 —	Tabac.	9.500 —
Huile	27.000 —	Riz	8.900 —

Marchandises exportées de Marseille en 1876.

Charbon de terre .	198.000 tonnes.	Poterie et verrerie.	16.500 tonnes.
Grains et farines .	60.000 —	Huile	14.300 —
Sucre raffiné. . . .	45.000 —	Café.	13.500 —
Vins.	30.000 —	Ouvrages en métaux	13.500 —
Tourteaux	29.500 —	Dessin	9.900 —
Légumes	23.000 —		

Après avoir présenté le tableau des grands ports de commerce de la France, nous allons donner un résumé succinct des ressources que nous offrent les villes maritimes de second ordre situées sur notre littoral.

Calais, — Le port est assez facile d'entrée sauf quelques bancs de sable ; il peut admettre des navires de 1.500 à 1.800 tonneaux, les profondeurs d'eau y sont d'au moins 6 mètres ; on y trouve un chenal, un avant-port, un port d'échouage et un bassin à flot dont la superficie approche de deux hectares.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La pêche côtière y arme une centaine de bateaux d'un tonnage total de 8.600 tonneaux.

Le mouvement du port représente comme entrées, non compris le cabotage, 402.500 tonnes, et comme sorties 302.500 tonnes, total 705.000 tonnes.

Les importations consistent surtout en bois du nord et en houille anglaise, mais le plus grand mouvement porte sur les passagers allant de France en Angleterre et réciproquement ; leur nombre est environ de 200.000.

Les améliorations projetées pour le port de Calais comprennent : la restauration de la jetée à claire-voie de l'Est, la construction d'une 2me écluse à sas à l'entrée du nouveau bassin à flot et d'une nouvelle écluse de chasse à l'Ouest, l'établissement d'une forme de radoub, la construction de quais dans le nouvel avant-port, dans le canal rectifié et sur la dérivation de ce canal, enfin des travaux complémentaires pour les entreprises en cours d'exécution.

Le Tréport. — C'est un petit port de la Bresle qui offre une grande sécurité et qui s'occupe surtout de la petite pêche ; cependant il importe des bois du Nord, de la houille d'Angleterre, du lin de Russie ; il exporte des graines, de la farine, du biscuit. On doit reconstruire ses jetées, établir un brise-lames, creuser le chenal et enlever le banc de sable qui obstrue le port, enfin, construire des murs de quais.

Honfleur. — Le port est assez bon et prend depuis quelque temps une certaine importance, il possède trois bassins à flot. Son commerce à l'extérieur se fait surtout avec l'Angleterre, la Suède, la Norwége, Riga, les ports de la Baltique, Amsterdam, Livourne et les ports français de Saint-Nazaire, Dunkerque. En 1877, les importations ont été de 158,000 tonnes et les exportations de 108.000 tonnes. Les entrées et les sorties comprennent 2.700 navires jaugeant 34.000 tonneaux.

Les principales marchandises d'exportation sont : les œufs 12 millions de kilog., le beurre 4 millions de kilog., les fruits frais 2 millions de kilog. Ces envois ont presque exclusivement pour destination l'Angleterre.

Les articles d'importation sont surtout les bois du Nord, les fontes et les charbons anglais, les fers de Suède, les graines oléagineuses d'Allemagne.

Les travaux projetés pour l'amélioration du port de Honfleur sont : la construction d'une écluse de communication entre le bassin et la retenue des chasses, le rescindement de l'île Mérie, la construction d'une cale de radoub.

Caen. — Petit port au confluent de l'Orne et de l'Odon ; les navires peuvent trouver 4 à 5 mètres d'eau dans son bassin à flot ; à *Ouistreham* se trouve son avant port qui peut offrir de plus grandes profondeurs. Le mouvement du port est de 200.000 tonnes environ. Caen exporte des œufs, des tourteaux, des fruits ; il importe du sel, des bois, des fers, de la houille ; à Ouistreham on doit prolonger la jetée et établir un quai dans l'avant-port.

Cherbourg. — Grand port militaire et petit port de commerce, ce dernier possède un chenal, un avant-port et un bassin à flot : la profondeur y est de 5m,50. Le mouvement du port dépasse 400.000 tonneaux. Son exportation consiste surtout dans les produits du sol, bétail, œufs, beurre, légumes pour l'Angleterre. On y importe de la houille, du bois. On doit achever de creuser le chenal et le bassin à flot, reconstruire l'écluse de ce bassin, et achever la forme de radoub.

Granville. — Excellent port sur le Boscq, pouvant recevoir de gros navires dans ses bassins ; son principal commerce se fait avec Jersey et Guernesey où il envoie des produits du pays. Constructions de navires, armements pour la pêche

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la morue à Terre-Neuve, cabotage, pêche des huîtres. On va y construire une forme de radoub, approfondir le 2me bassin à flot et construire un pont tournant.

Saint-Malo et Saint-Servan. — Ce sont deux ports situés à une demi-lieue l'un de l'autre; l'accès des ports est difficile; celui de Saint-Malo, le plus fréquenté, est sûr, vaste et commode. Il fait un peu de commerce avec l'Inde et arme pour la baleine et la morue.

En 1875, entrées et sorties de :

Saint-Malo.	4.859	navires jaugeant	424.113 tonnes.
Saint-Servan.	879	—	64.016 —
TOTAL	5.768	—	488.129 —

La flotte de Saint-Malo pour Terre-Neuve comprend 80 navires jaugeant ensemble 13.000 tonneaux.

L'exportation est la même que pour les villes ci-dessus. C'est un des points où la différence est la plus grande entre la basse et la haute mer. Pendant les marées d'équinoxe, elle atteint quelquefois 15 mètres. On doit y construire des bassins à flot.

Saint-Brieuc, sur le Gouet. — Le port est à 1 kilomètre de la ville et se nomme le *Légué*; il est sûr et commode ; il possède un avant-port et un bassin à flot. La profondeur d'eau aux plus basses mers est de 6 mètres ; les navires de 400 à 450 tonneaux y accostent facilement. On y arme pour la pêche de la morue en Islande et à Terre-Neuve. Il s'y fait un certain commerce avec les Antilles et la mer du Sud. On y importe du bois, des fers et on en exporte des produits agricoles, beurre, légumes, œufs, etc.

Tréguier. — Le port est excellent et la profondeur de l'eau y varie de 5m,50 à 9 mètres. Le mouvement commercial y est peu considérable. Il importe des fruits, du sel, de la graine de lin, du tabac; il exporte des produits du pays.

Morlaix. — Entrée difficile, port sûr et commode ayant une profondeur d'eau de 4 à 7 mètres. Les navires de 300 à 400 tonneaux peuvent y pénétrer facilement. Exportation de beurre, bétails, légumes; importation de cuirs, salaisons, charbons, poterie.

Concarneau. — C'est un très-petit port pouvant recevoir seulement des barques de pêche. Il est célèbre par ses pêcheries de sardines et arme chaque année plus de 500 embarcations qui vont pêcher depuis les Sables d'Olonne jusqu'à Douarnenez. La préparation des sardines s'y fait dans 20 usines qui occupent dans l'arrondissement de Quimper 10 à 12.000 ouvriers.

Lorient. — Port militaire et port de commerce. La rade est excellente; le port de commerce possède un avant-port et un bassin à flot; le trafic y est peu considérable et porte, comme le précédent, principalement sur la pêche et la préparation de la sardine et des autres conserves. On doit y approfondir le bassin à flot et reconstruire le débarcadère à l'extrémité de la jetée.

Marans, petit port situé sur la Sèvre-Niortaise et communiquant avec l'anse du *Brault* par un canal maritime. Le port reçoit des navires de 250 tonneaux et les plus gros peuvent mouiller dans le Brault. La rade de l'Aiguillon où aboutit la Sèvre et la Dive sert de port de refuge. C'est dans cette rade que se fait l'élève en grand des moules, dont le produit (40.000.000 de kilogrammes de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moules) donne environ 1.300.000 francs par an. Marans est un des plus grands marchés de grains de la France; il en exporte pour plus de 5 millions de francs.

La Rochelle. — C'est un des meilleurs ports de la côte; il peut recevoir des navires de 8 à 1.200 tonneaux; il se compose d'un avant-port d'échouage, d'un bassin de carénage et d'un bassin à flot. On y voit encore, à la marée basse, les restes de la digue de Richelieu; elle ne laisse pour le passage des navires qu'un goulet d'une centaine de mètres de largeur. La rade est bien abritée et le mouillage en est bon. Les nouveaux projets comprennent la création d'un port en eau profonde à la mare à la *Besse* dans la rade de la Palice. En 1875 le mouvement du port de la Rochelle a été de 320.000 tonnes. Les importations consistent surtout en bois du Nord, poissons salés et conservés, denrées coloniales, houille anglaise. On en exporte principalement du vin, des eaux-de-vie, des sels et des grains.

Rochefort. — Le port de Rochefort relégué sur la Charente et au-delà du grand port militaire, a beaucoup à souffrir des exigences de son voisinage. Le mouillage y est excellent et la profondeur à marée basse atteint près de 6 mètres. Le port comprend un bassin à flot ayant environ 1000 mètres de quai et pouvant recevoir les plus grands navires. La rade protégée par l'île d'Aix, l'île Madame, l'île d'Enet est absolument sûre par les plus grands vents. Malheureusement il existe une barre à l'entrée de la Charente et la navigation y est difficile entre l'embouchure et la ville même. Il y a d'importants chantiers de construction. Un peu plus loin est Tonnay-Charente, excellent port où peuvent s'abriter des navires de plus de 800 tonneaux. Le mouvement des deux ports de l'estuaire de la Charente atteint 400,000 tonnes. Le commerce porte sur le sel, les vins, les eaux-de-vie, les grains, les bois, les chevaux, les poissons salés, etc.

Bayonne. — Le port de Bayonne est très-sûr, mais il ne peut recevoir les navires de plus de 400 à 450 tonneaux. Sa profondeur ne dépasse guère 5 mètres, de plus, la barre de l'Adour rend très-difficile l'entrée de cette rivière. On y trouve de bons chantiers de construction. Les exportations consistent en tissus de laine, de soie et de coton, vins, spiritueux, jambons, produits résineux. Les importations se composent surtout des produits du sol de l'Espagne, de sel, de poissons, de charbon, etc. Son commerce atteint environ 35 millions; le mouvement du port en 1875 a été de 1.450 navires jaugeant 170.000 tonneaux.

Toulon. — Comme dans les autres ports militaires, le commerce y vit étouffé, aussi, malgré ses rades aussi sûres qu'étendues, l'importance du port commercial de Toulon est loin d'être en rapport avec les avantages qu'il présente. Dans la rade même se trouve le petit port de *la Seyne* qui possède d'importants chantiers de construction. Le commerce importe à Toulon les grains de la mer Noire, des bois, de la houille, des salaisons; il en exporte du vin, de l'huile d'olives, des fruits secs, des oranges, des savons, etc.

Nice. — Bon port bien abrité et présentant une importance commerciale plus grande que celle de Toulon. Il a de fréquents et fructueux rapports avec l'Espagne et l'Italie. Ses exportations consistent en huile d'olives, biscuits, parfumeries, oranges; on y importe principalement du blé, des spiritueux, des denrées coloniales, du coton.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LA MARINE MARCHANDE ET LES PORTS ÉTRANGERS.

Angleterre. — En 1876, la marine anglaise employait 20.349 navires dont voici la répartition :

Voiliers. . .	Cabotage . .	11.841	navires jaugeant	892.000	tonneaux.
	Long cours .	5.387	—	3.234.000	—
Steamers. .	Cabotage . .	1.622	—	381.000	—
	Long cours .	1.489	—	1.489.000	—
	Total . . .	20.349	—	5.996.000	—

Ces chiffres ne comprennent pas les navires appartenant aux colonies qui étaient en 1876, au nombre de :

Voiliers	10.797	navires jaugeant	1.465.000	tonneaux.
Steamers	878	—	127.000	—
Total . . .	11.675	—	1.582.000	—

En tout plus de 32.000 navires montés par 280.000 hommes d'équipage.

D'après le bureau *veritas*, le nombre total des sinistres a été en 1877 pour toutes les marines du monde, de 1.798 navires; sur ce chiffre l'Angleterre a perdu 559 voiliers et 68 vapeurs, en tout 627 navires, c'est-à-dire environ le tiers. La même proportion existe entre l'importance de la marine marchande anglaise et celle du monde entier. On compte en effet sur toutes les mers environ 52.000 navires dont 20.000 anglais. On se rendra compte de ce chiffre de naufrages en calculant que l'Angleterre perd un navire toutes les 13 heures et un matelot toutes les 3 heures.

En 1877, l'Angleterre a importé des marchandises pour une somme de 9 milliards 850 millions; elle en a exporté pour 4 milliards 971 millions, total 14 milliards 817 millions de francs ; en dix années (1867-1877) elle a augmenté son trafic de plus de 2 milliards et demi.

Il a été construit en 1877 dans les chantiers anglais 1.129 navires, dont 405 steamers et 724 voiliers représentant ensemble un tonnage de 580.000 tonneaux. Les principaux chantiers de construction sont : *Glascow*, 73 voiliers et 83 vapeurs; *Newcastle*, 45 vapeurs; *Liverpool*, 33 voiliers et 15 vapeurs; puis viennent *Grimsby*, *Hull*, *Plymouth*, *Faversham*, *Sunderland*, *Londres*, etc.

Voici quel a été le mouvement de la navigation dans les ports anglais en 1876 :

Entrées sous pavillon anglais	16.511.951	tonneaux.
— — étranger.	8.555.313	—
Total.	25.067.264	—
Sorties sous pavillon anglais.	16.930.028	—
— — étranger	8.787.610	—
Total.	25.717.630	—

Le total général des entrées et des sorties est donc de 50.784.902 tonneaux.

Nous terminerons ce tableau des forces navales de l'Angleterre commerciale par l'exposé de la part qu'elle a prise en 1877 dans le transit par le canal de *Suez*. Sur 1.566 navires qui ont transité, on compte 1.303 anglais, c'est à-dire à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peu près les $\frac{4}{5}$; la nation la plus favorisée après l'Angleterre est la France, qui a fait passer seulement 88 bâtiments, puis la Hollande dont 63 navires ont traversé le canal de Suez.

Les ports de la Manche. Plymouth. — Quand on pénètre de l'Océan Atlantique dans la Manche et qu'on a dépassé les 4 petits ports du Cornwall, *Penzance*, *Falmouth*, *Truro* et *Fowey*, fréquentés par 6 à 7.000 navires d'un tonnage total de 600.000 tonneaux, on aperçoit le phare d'Eddystone planté sur un écueil à 20 kilomètres du rivage et dont le fanal placé à plus de trente mètres du niveau de l'eau est souvent dépassé par les lames. En face se trouve *Plymouth* qui, avec *Devonport* et *Stonehouse* occupe le fond d'une baie magnifique. L'entrée en est défendue par un immense brise-lames de 1.550 mètres de longueur dont la construction a durée de 1812 à 1846. La rade ainsi constituée comprend plus de 700 hectares et peut recevoir une grande quantité de navires.

Le mouvement du port de Plymouth a été en 1877 :

Entrées.	3.620	navires jaugeant	700.000	tonnes.
Sorties	2.440	—	510.000	—
TOTAL.	6.060	—	1.210.000	—

Le nombre de navires dont Plymouth est le port d'attache est de 375 navires jaugeant 34.000 tonnes. Population (avec Stonehouse et Devonport) 133.000 habitants.

Southampton. — Entre l'île de Wight et la côte de la terre-ferme se trouve un immense estuaire, *Southampton-water*, s'enfonçant dans les terres, à droite duquel est la magnifique rade de *Spithead* où débouche le port de *Portsmouth*, le plus grand arsenal naval de l'Angleterre, dont les bassins à flot occupent un espace de près de 120 hectares.

L'estuaire de Southampton a, comme le Havre, l'avantage considérable de conserver très-longtemps la mer étale. La ville se développe au nord de l'estuaire en communication rapide avec Londres. C'est le point de départ d'un nombre infini de navires emmenant des passagers vers tous les points de l'autre rive de l'Atlantique. Le port est vaste, sûr et commode ; voici quel a été son mouvement en 1877 :

Entrées.	4.800	navires jaugeant	1.100.000	tonnes.
Sorties	4.870	—	3.050.000	—
TOTAL.	9.670	—	3.050.000	—

La flottille de commerce comprend 300 navires jaugeant 70.000 tonnes ; population : 55.000 habitants.

Portsmouth, ville militaire, a un mouvement commercial bien moins considérable ; il n'est évalué qu'à 3.000 navires jaugeant 250.000 tonneaux. La population de Portsmouth est de 125.000 habitants. *Cowes*, dans l'île de Wight et à l'embouchure de la *Médina*, participe à ce grand mouvement des parages de l'île. C'est une ville bien connue des amateurs de régates ; les entrées et les sorties représentent un total de 6.600 navires jaugeant plus de 260.000 tonneaux.

Ainsi, outre le mouvement considérable de la marine militaire, près de 20.000 navires fréquentent la rade de *Spithead* et le *Solent*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Douvres (Dover). — Situé à une très-petite distance du continent, Douvres, un des « cinque » ports, occupe un certain rang parmi les ports de 3e ordre de l'Angleterre; le mouvement des passagers est considérable et ses bassins sont devenus insuffisants. On travaille à agrandir le port au moyen d'une jetée allant atteindre en mer des fonds de 12 à 13 mètres. Le mouvement du port de Douvres représente près de 4.500 navires jaugeant 900.000 tonneaux.

Folkestone, tout près de Douvres, a un excellent port qui peut recevoir les gros navires; il a aussi un grand mouvement de passagers. Plus de 2.000 navires jaugeant 350.000 tonneaux fréquentent ce port, mais tandis que 181.000 voyageurs traversent Douvres, Folkestone n'en voit passer que 130.000.

Les ports de la mer du Nord et de la Tamise. *Faversham.* — Quand on a dépassé le détroit et qu'on a doublé la pointe de l'île *Thanet* où se trouvent *Ramsgate* et *Margate*, on entre dans l'immense embouchure de la Tamise et on rencontre l'île *Sheppey*, barrant l'estuaire de la *Medway*. Sur la côte et assez avant dans les terres, se trouve *Faversham* port d'attache de plus de 300 navires jaugeant 30.000 tonneaux et dans lequel le mouvement des entrées et des sorties s'est élevé en 1877 à 8.7000 navires jaugeant 410 tonneaux. Population : 7.300 habitants.

Chatham, *Rochester*, *Strood*. — En pénétrant dans le Medway, on rencontre ces trois villes qui, en réalité, n'en font qu'une dont l'ensemble comprend 45.000 habitants. Chatham est un port militaire, mais néanmoins le commerce de l'agglomération de l'estuaire de la Medway est considérable. Les entrées et les sorties représentent 8.000 navires et près d'un million de tonneaux.

Londres. — Au-delà de *Sherness* la Tamise se rétrécit et, après avoir dépassé successivement *Gravesend* et *Greenwich*, on atteint *Londres* dans sa partie maritime.

Les bassins à flot contenant à grand peine l'immense flotte commerciale qui vient y prendre ou y apporter des marchandises, se répartissent en cinq groupes qui sont en allant d'aval en amont : 1° les *Victoria docks*, les plus récents; 2° les *East-India-docks*, lesquels, contrairement à ce qu'indique leur nom, étaient dans l'origine destinés aux navires arrivant des Antilles; 3° à la gorge du Méandre qui circonscrit cette portion de l'extrême Est de Londres, nommée Ile des chiens, *Isle of dogs*, se trouvent les *West India docks* placés ainsi entre *Blackwall* et Londres : ce sont les premiers construits, ils datent de 1800; un peu plus loin sont les *Millwall-docks*; 4° la courbe formée par la Tamise, avant de contourner la partie occidentale de l'Ile des chiens est presque entièrement occupée par les *Surrey-commercial-docks*; 5° enfin, sur la rive gauche du fleuve et au sein même de la ville se trouvent les *London-docks* et les *Sainte-Catherine-docks*; c'est dans cette région de Londres, à laquelle le mouvement de la navigation interdit la construction d'un pont, qu'a été construit le fameux tunnel sous la Tamise. Il sert aujourd'hui au chemin de fer qui unit le North-London-Railway, le Great-Eastern et le Blackwall extension Railway, sur la rive gauche avec le South-Eastern-Railway sur la rive droite. Un autre tunnel a été contruit plus haut que la tour de Londres.

Tous ces docks sont entourés de bâtiments et d'entrepôts; leur quais sont parcourus par des lignes de chemins de fer en communication avec l'immense réseau de l'Angleterre.

Dans cette ville colossale dont la population, dans les limites du district postal, atteint 4 millions d'habitants, qui s'accroit de plus d'une maison par heure, et de près de 250 habitants par jour, le commerce doit répondre à l'étendue

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'une pareille agglomération. On l'a dit avec raison : Londres est le point de convergence des régions européennes qui bordent l'Océan du cap nord au détroit de Gibraltar; c'est le centre de gravité de l'hémisphère continental et le rendez-vous des navires qui parcourent les mers de l'ancien et du nouveau monde.

Le commerce extérieur de Londres se traduisait en 1876, par une somme totale de près de 4 milliards 700 millions de francs, et les recettes de la douane se montaient la même année à 260 millions de francs.

La population attachée au commerce et à l'industrie n'y est pas évaluée à moins d'un million de personnes.

Voici le mouvement du port :

Long cours.	Entrées	12.000	navires jaugeant	5.700.000	tonneaux.
	Sorties	9.000	—	4.440.000	—
	TOTAL	21.000	—	10.130.000	—
Cabotage.	Entrées	36.700	—	4.000.000	—
	Sorties	9.600	—	1.360.000	—
	TOTAL	45.000	—	5.360.000	—
	TOTAL GÉNÉRAL	66.000	—	15.490.000	—

Dans ce nombre immense de navires qui dépasse (entrées et sorties) la quantité totale des bâtiments qui parcourent les mers du globe, on distingue 47,000 navires à voile et 19,000 navires à vapeur.

Le port de Londres arme 2,860 navires jaugeant 1,200,000 tonneaux sur lesquels on compte :

Navires à voiles	1.900	navires jaugeant	660.000	tonnes.
— à vapeur	960	—	540.000	—

C'est en cela seulement que Londres est inférieure à Liverpool, car, comme nous le verrons plus loin, Liverpool dont la flotte commerciale est plus considérable, fait un moindre commerce. A l'exception du coton, dont Liverpool a une sorte de monopole, il n'existe peut-être pas de port au monde qui fasse une importation plus considérable d'une quelconque des denrées coloniales. Il serait superflu d'indiquer les objets sur lesquels porte son commerce, ce serait faire une liste inutile de toutes les subsistances connues.

Maldon. — Si, en sortant de Londres, on suit la rive septentrionale de la Tamise pour gagner la mer du Nord, on trouve, à l'embouchure de la *Blackwater*, le port de *Maldon*, assez bien situé par rapport aux campagnes de l'Essex, et dont le mouvement s'élève par an à plus de 4,000 entrées et sorties dont l'importance peut être évaluée à 200,000 tonneaux.

Harwich et *Ipswich*. On atteint ensuite un estuaire où se réunissent les eaux de la *Stour* et de l'*Orwell*. Quoique *Harwich* soit presque sur la mer, il n'a qu'un mouvement de 2,000 navires et de 500,000 tonnes, tandis que *Ipswich*, à 15 kilomètres plus avant dans les terres, fait un commerce beaucoup plus considérable. Le port est sûr mais profond; néanmoins, grâce à l'industrie de la ville qui est considérable, les entrées et les sorties comptent 4,700 navires et 350,000 tonneaux. Population 43,008 habitants.

Hull. Après avoir passé devant *Lowestoft* et *Yarmouth*, petits ports ne faisant pas un très-grand commerce, mais très-importants comme centre des pêcheries

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de harengs, si on se dirige vers le nord-ouest, on arrive à l'embouchure de l'*Humber*, dont l'estuaire a quelque rapport avec celui de le Gironde en France. Il reçoit, en effet, à droite le *Trent*, qui arrose plusieurs comtés, et, à gauche, l'*Ouse* grossie de la *Dervent*, la plus grande rivière du *Yorkshire*.

Hull est le cinquième port de l'Angleterre ; il reçoit les produits de l'industrie des laines du *Yorkshire* et ceux des comtés de *Derby*, *Nottingham* et *Lincoln*; l'aire de ses exportations comprend la Scandinavie, la Russie, l'Allemagne, la Hollande, ses navires en rapportent les grains, les bestiaux, etc.

Le mouvement du principal port de l'Humber peut être évalué ainsi :

Entrées.	4.800	navires jaugeant	1.750.000 tonneaux.
Sorties	4.450	—	1.500.000 —
TOTAL.	9.250	—	3.250.000 —

Le nombre des navires enregistrés au port de Hull, est de près de 800, jaugeant 175,000 tonneaux. La valeur totale de son commerce d'importation et d'exportation est de 980 millions de francs. Population 130,000 habitants.

Grimsby. — Un peu plus loin que Hull et de l'autre côté de l'estuaire, se trouve *Grimsby*, excellent port bien aménagé qui arme près de 600 navires. Son commerce dépasse 300 millions de francs. Le mouvement du port est de 5,300 navires jaugeant un million de tonneaux. Population, 20,000 habitants.

Stockton-Middlesborough. — La *Tees* se jette dans la mer du Nord entre l'Humber et la *Tyne*; elle arrose à peu de distance de son embouchure deux ports : *Stockton* et *Middlesborough* ; ce dernier qui n'a pas 40 ans d'existence possède plus de 40,000 habitants. C'est non loin de là que se trouvent les célèbres mines de fer du *Cleveland*; la métallurgie du fer a pris dans cette région un prodigieux développement.

Le mouvement des ports de la Tees comprend plus de 6,000 navires jaugeant plus de onze cent mille tonneaux, et dans ce nombre Stockton ne compte que pour un sixième.

Hartlepool. — Ce port se trouve à l'entrée même de la Tees, et exporte principalement les houilles tirées du pays qui l'entoure. C'est un très-bon port bien outillé, ayant une profondeur d'eau de près de 8 mètres, mais malheureusement les abords semés d'écueils en sont très-dangereux; son importation consiste en grains, bois du nord et bestiaux. On y construit un grand nombre de bâtiments à vapeur d'un assez fort tonnage.

Le total de ses exportations et de ses importations atteint plus de cent millions de francs. Il arme environ 200 navires jaugeant cent mille tonneaux. Entrées et sorties, 7,300 navires jaugeant un million et demi de tonnes. Population, 35,000 habitants.

Sunderland. — A l'embouchure de la *Wear*, qui tombe dans la mer du Nord à 10 kilomètres seulement de l'estuaire de la Tyne, se trouve le grand port de Sunderland peuplé de près de 15,000 habitants, et un des meilleurs chantiers de construction de l'Angleterre. Aussi sa flotte de commerce est considérable et atteint près de 580 navires d'un tonnage total de 200,000 tonnes. La houille est le principal élément de ses exportations, 3,400,000 tonnes en sortent haque année. Le mouvement du port est de plus de 12,000 navires jaugeant 3 millions de tonnes.

Newcastle. — De la mer de Newcastle, la Tyne offre le spectacle d'une mer-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

veilleuse activité. *Tyne-Mouth*, *South* et *North-Shields*, *Jarrow*, *Howdon Pans*, *Walker*, *Felling*, *Gateshead*, sont autant de ports encombrés de navires et d'usines qui font de la Tyne une véritable rue fluviale où le *King-Coal* règne en souverain. Nul port n'est aussi bien outillé que ceux de la Tyne pour le chargement et le déchargement du charbon; grâce aux *drops*, aux *Lifts* et autres engins mécaniques, les wagons arrivant de la mine, chargés de houille, se déversent directement dans la cale des navires qui doivent la répandre dans tous les ports du monde. Un navire de mille tonneaux s'y emplit en moins de 3 heures $^1/_2$ de temps. Newcastle est le troisième port de l'Angleterre; aucun port du continent n'atteint l'importance de son mouvement; il sort certains jours avec la haute mer près de 300 navires à la fois; son commerce d'exportation de houille dépasse quelquefois cinq millions et demi de tonnes.

La valeur totale du commerce de Newcastle avec les ports étrangers, importation et exportation comprises, est de 290 millions de francs. Les ports de la Tyne arment 1,150 navires jaugeant 380,000 tonneaux, dont 340 steamers.

Les entrées sont de	9.330 navires jaugeant	2.675.000 tonnes.	
Les sorties sont de.	15.300	—	5.000.000 —
TOTAL	24.630	—	7.675.000 —

La population de Newcastle est de	143.000 habitants.
Celle des autres ports de la Tyne	170.000 —
TOTAL.	313.000 —

Leith-Édimbourg. — Sur le golfe de *Forth*, qui reçoit le *Leith*, se trouve le port de *Leith*, lequel n'est qu'un faubourg de la capitale de l'Écosse et dont le mouvement maritime est de plus de 6,000 navires jaugeant 1,600,000 tonneaux. Un peu plus avant, près de l'entrée du canal qui joint le Forth à la Clyde, se trouve *Grandgemouth* fréquenté par plus de 3,000 navires jaugeant 600,000 tonnes. *Kirkcaldy*, vis-à-vis *Leith*, a un mouvement de 3,700 navires, jaugeant plus de 400,000 tonneaux.

Dundee. — A l'embouchure du *Tay* se trouve *Dundee* où est concentrée la fabrication des toiles de jute. C'est surtout un port de pêche et le plus considérable de tous pour les armements des baleiniers qui vont dans les parages du pôle Nord. Le produit des huiles de baleine et de phoque est de 3 millions et demi de francs. Les entrées et les sorties comprennent 2,500 navires jaugeant 700,000 tonneaux.

Aberdeen. — Ce port possède des bassins fort étendus, l'industrie y est considérable et le mouvement du port comprend 3,400 navires jaugeant 800,000 tonneaux.

Ports des côtes occidentales de la Grande-Bretagne. *Glascow.* — Le port le plus important à l'ouest de l'Écosse, c'est *Glascow*, aujourd'hui la seconde ville de l'Angleterre avec 560,000 habitants dont plus de cent mille ouvriers occupés dans 3,100 fabriques. La *Clyde*, sur laquelle Glascow est située, à plus de huit lieues de l'endroit où elle s'élargit, est comme la Tyne, bordée de villes maritimes. La prospérité des ports de la *Clyde* est toute moderne et c'est l'industrie humaine, bien plus que la nature, qui a donné aux eaux de la rivière des profondeurs permettant aux plus grands navires de s'y aventurer.

L'industrie et le commerce de Glascow et des autres ports voisins sont immenses, les importations y sont de 390 millions de francs et les exportations

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de 220 millions, total, plus de 600 millions de francs. La douane y perçoit des droits pour plus de 25 millions.

Le mouvement du port de Glascow dépasse 13,000 navires et 3 millions et demi de tonneaux; sa flotte commerciale est de 1,500 navires dont plus de 500 steamers.

A l'embouchure de la Clyde est *Greenock*, longtemps la rivale de Glascow, aujourd'hui reléguée au second rang. Son commerce en fait néanmoins un port de grande importance, et son mouvement dépasse 7,800 navires et 2 millions de tonneaux. Sur les rives de la Clyde maritime, on rencontre encore *Ardrossan*, *Port-Glascow*, *Dumbarton* et le mouvement total de tous ces ports est supérieur à 6 millions de tonneaux. On y construit par an 130 navires jaugeant 66,000 tonneaux.

Troon-Ayr. Avant de quitter les côtes d'Écosse, on rencontre en allant vers le sud le port de *Troon*, bien abrité et assez actif (3,400 navires et 455,000 tonneaux), enfin celui d'*Ayr* également animé, mais ne recevant que des bâtiments d'un faible tirant d'eau; mouvement en 1877 : 3,200 navires et 320,000 tonneaux.

Liverpool. Situé sur la *Mersey*, Liverpool est après Londres le plus grand port du monde et le tonnage des navires qui y arrivent ou qui en partent est plus considérable que celui de toute la marine marchande française.

Liverpool, placé dans la région la plus féconde en industrie, occupe aussi le centre des îles Britanniques, et appelle ainsi le commerce d'importation tout entier dont il est le plus vaste entrepôt. Les bassins sont en nombre considérable et occupent un espace de près de 420 hectares avec 30 kilomètres de quais. De l'autre côté de la rivière se trouve *Birkenhead* qui possède aussi de vastes docks ayant 70 hectares de superficie et 15 kilomètres de quais. Liverpool peut admettre des navires du plus fort tonnage, la profondeur de l'eau dans ses bassins, atteint 8 mètres. Il existe, au point où débarquent les passagers des grandes lignes transatlantiques qui viennent se croiser à Liverpool, un vaste quai flottant communiquant par des ponts mobiles avec les autres quais, et devant lequel les grands paquebots viennent se ranger.

Parmi toutes les denrées coloniales que Liverpool importe en grandes masses, il faut citer surtout le coton dont cette ville est le grand entrepôt; l'importation de ce textile a atteint en 1876 le chiffre énorme de 625,000 tonnes. L'exportation comprend surtout la houille et les produits de l'immense industrie du *Lancashire*. La construction des navires y est aussi très-active, les chantiers de la Mersey ont livré en 1877, 25 voiliers d'un tonnage de 23,035 tonneaux et 13 steamers jaugeant 14,900 tonneaux.

La flotille de commerce de Liverpool est la plus grande du royaume, elle comprend :

Navires à voiles	1.930	jaugeant	1.100.000	tonneaux.
— à vapeur.	600	—	470.000	—
TOTAL.	2.530	—	1.570.000	—

Voici quel a été 1876 le commerce en dernier de Liverpool :

Importations.	2.480.000,000	francs.
Exportations.	1.755.000,000	—
TOTAL.	4.235.000,000	—

Le mouvement du port est représenté par le tableau suivant qui donne les chiffres de 1877 :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Commerce extérieur.	Entrées. .	5.250	navires jaugeant	4.550.000	tonnes.
	Sorties . .	5.000	—	4.550.000	—
	TOTAL	10.250	—	9.050.000	—
Cabotage.	Entrées. .	9.600	—	2.000.000	—
	Sorties . .	9.200	—	2.100.000	—
	TOTAL	18.800	—	4.100.000	—
	TOTAL GÉNÉRAL . . .	29.050	—	13.150.000	—

Ce total comprend 14,000 navires à vapeur et 15,050 voiliers.

Chester. Port de la *Dee,* rivière ensablée qui ne donne accès qu'aux petits bâtiments. Le sel des salines du *Cheshire* et les fromages renommés forment une grande partie de ses exportations. Le mouvement du port de Chester est assez considérable et atteint 3,600 navires et 240,000 tonneaux.

Beaumaris, très-bon port dans l'île d'Anglesey, bien protégé par des jetées immenses. Mouvement du port 4,700 navires et 1,300,000 tonnes.

Swansea, très-bon port dont l'aménagement et l'outillage sont généralement regardés comme des modèles. C'est le centre du commerce et du traitement des minerais de cuivre. Plus de 130,000 tonnes y ont été importées en 1877. La houille est le plus important des éléments de l'exportation, 800,000 tonnes sont sorties de Swansea en 1877.

Le mouvement du port comprend 12,000 navires jaugeant 1,700,000 tonnes.

Cardiff, excellent port situé presque vis-à-vis Bristol à l'embouchure de la *Severn.* L'exportation de la houille (4,600,000 tonnes en 1877) et celle du fer (80,000 tonnes) sont la base de son commerce.

Le mouvement du port est de 17,700 navires jaugeant 4,600,000 tonnes, l'ensemble de son commerce, exportations et importations, est de près de 100.000.000 de francs.

Newport, situé un peu plus haut que Cardiff sur la Severn, exporte aussi beaucoup de fer et de houille (375,000 tonnes en 1875).

Le mouvement du port est de 13,000 navires jaugeant 1,8000,000 tonnes.

Bristol. Grand port sur l'*Avon* affluent de la Severn. Comme dans l'estuaire de la Severn, la marée monte dans l'*Avon* à une très-grande hauteur et permet aux plus grands navires l'entrée du port de Bristol. Le mouvement commercial y est considérable et porte sur les bois du nord, les grains, le sucre, le tabac. La population est de 182,000 habitants.

Mouvement du port en 1877.	Entrées. .	8.300	navires jaugeant	1.000.000	—
	Sorties . .	4.530	—	1.600.000	—
	TOTAL	12.830	—	1.600.000	—

Bristol arme 280 navires jaugeant 60,000 tonnes. Son commerce extérieur atteint 190,000,000 de francs.

Ports de l'Irlande. — *Dublin.* Au sortir de la capitale de l'Irlande, la *Liffey* forme un excellent port de commerce, où peuvent mouiller en toute sécurité les navires tirant moins de 7 mètres d'eau. Dublin a, du reste, un avant-port, c'est *Kingstown-Harbour* créé à la pointe méridionale des côtes qui circons-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

crivent la baie de Dublin. Le havre et les bassins compris entre le *South Wall* et le *Bull Wall*, constituent un des ports les meilleurs et les plus importants du Royaume-Uni. Ses importations et exportations atteignent la somme de cent millions de francs, mais l'exportation est extrêmement faible et ne porte que sur des denrées agricoles; le mouvement du port en 1877 est le suivant :

Entrées.	7.700	navires jaugeant	1.870.000	tonneaux.
Sorties	4.275	—	1.400.000	—
TOTAL	11.975	—	3.270.000	—

Population, 410,000 habitants.

Belfast. Situé au fond d'un petit golfe, Belfast a un très-bon port qui s'ouvre sur la mer par un chenal entièrement artificiel, donnant accès aux navires de 4 mètres de tirant d'eau. Belfast est la cité du lin, 160 filatures occupant plus de 60,000 ouvriers y filent et y tissent non-seulement la récolte de l'Irlande qui est évaluée à plus de 50 millions de francs, mais encore les fibres que ses navires lui apportent des ports de l'Angleterre et du continent.

Les entrées ont été en 1877 de. .	9.000	navires jaugeant	1.750.000	tonnes.
Les sorties ont été en 1877 de. .	5.600	—	1.360.000	—
TOTAL. . .	14.600	—	3.110.000	—

Population, 175,000 habitants.

Cork, port de relache, situé à l'embouchure de la *Lee*. Cork a sur l'estuaire, à *Queenstown*, un avant-port où s'arrêtent les gros navires, car la profondeur de la Lee est insuffisante pour leur permettre l'accès des quais de Cork. Ce port fait un assez grand commerce avec l'Amérique. Le mouvement de 1877 est représenté comme il suit :

Entrées	2,700	navires jaugeant	700.000	tonnes.
Sorties.	1.700	—	500.000	—
TOTAL.	4.400	—	1.200.000	—

Population de Cork et de Queenston, 90,000 habitants.

Waterford, non loin du précédent, fait son principal commerce avec Liverpool et Bristol; son mouvement total est de 4,200 navires jaugeant plus d'un million de tonneaux.

Les ports de la Scandinavie. — La marine marchande norwégienne comprend 7,814 navires à voile, jaugeant 1,400,000 tonneaux et montés par 60,000 marins. De plus, elle compte 218 navires à vapeur jaugeant 45,000 tonneaux et possédant des machines d'une force totale de 10,000 chevaux.

En 1875, il est entré dans les ports de la Norwége 11,662 navires jaugeant 1,800,000 tonneaux. Le port du pavillon norwégien entre dans ce total pour 6,576 navires et 1,270,000 tonneaux. Il en est sorti 11,900 navires jaugeant 1,800,000 tonneaux dont 6,560 navires et 1,290,000 tonneaux étaient sous pavillon norwégien. Importation 225 millions, exploitation 190 millions de francs.

La marine marchande suédoise comprend 4,357 navires jaugeant 526,800 tonneaux, dont 687 navires à vapeur jaugeant 80,000 tonneaux.

Il est entré en 1875 dans les ports de Suède 8,000 navires jaugeant 1,200,000 tonneaux, dont 4,142 suédois jaugeant 500,000 tonneaux. Il est sorti 14,570 na-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vires jaugeant 2,132,000 tonneaux. Le port du pavillon suédois pour les sorties comprend 8,000 navires et 761,000 tonneaux. Importation 378 millions, exportation 310 millions de francs.

La valeur totale des pêcheries de Norwége dépasse 60 millions de francs, dont 27 millions pour la morue et 17 millions pour le hareng.

Les principaux ports de la Norwége sont *Drontheim* (12,000 habitants), assez bon mouillage, fait un assez grand commerce de bois et de poissons. *Bergen* (25,000 habitants) un des meilleurs ports de la Norwége, l'eau y est profonde, mais l'accès difficile ; les navires y apportent des grains, du sel ; ils en exportent de la morue, des harengs, des huiles de poissons. *Christiania*, les plus grands navires peuvent y mouiller, mais elle est mal placée, au fond d'un fjord profond et fort éloignée de la mer, elle exporte des bois, du goudron, du cuivre, des peaux, du poisson, on y importe du sel, des grains, du coton. Mouvement du port : 3,000 navires jaugeant 700,000 tonnes.

En Suède, les principaux ports sont *Gothembourg* (2,500 habitants) assez bon port, commerce de bois, de goudron, de poissons, importations de grains. Mouvement du port : 3,500 navires et un million de tonneaux. *Malmoe* sur le Sund, vis-à-vis Copenhague, commerce avec l'Allemagne et le Danemarck. Mouvement du port : 6,800 navires jaugeant un million de tonneaux. *Stockholm*, l'entrée en est difficile, mais le port est excellent ; les plus grands navires peuvent y mouiller bord à quai. Les entrées et sorties comptent 3,000 navires et 800,000 tonneaux non compris le cabotage. *Helsingborg*. Mouvement : 6,000 navires jaugeant 500,000 tonneaux. *Calmar*. Mouvement du port : 4,300 navires jaugeant 550,000 tonneaux.

Les ports de la Russie du nord. — L'effectif de la marine marchande russe comprend 1,800 navires à voile jaugeant 400,000 tonneaux et 145 navires à vapeur jaugeant 100,000 tonneaux.

Il est entré en 1876, dans les ports russes 660 navires jaugeant 650,000 lasts dont 410 navires russes proprement dits, 450 navires finlandais et 1,750 navires étrangers. Il en est sorti 6,850 navires jaugeant 752,721 lasts dont 400 russes, 4,580 finlandais, 1,860 étrangers. Importations 1 milliard 800 millions, exportations 1 milliard 460 millions de francs.

Les principaux ports sont *Riga* (50,006 habitants), à l'embouchure de la *Dwina*, bon mouillage, situation avantageuse, le port reçoit plus de 2,000 navires ; les exportations atteignent 100 millions de francs et se composent de chanvre, lin, graine de lin, céréales, bois ; les importations sont beaucoup moins considérables et portent surtout sur le sel, les harengs, les vins, les huiles, les articles manufacturés. *Rével* bon port à l'entrée du golfe de Finlande, ancienne ville hanséatique, commerce de grains, bois, chanvre. *St-Pétersbourg*, à l'embouchure de la *Néva* port vaste mais peu profond dont l'entrée est obstruée par une barre ne permettant pas le passage des grands navires, lesquels sont obligés de s'arrêter à *Kronstadt*, plus de 3,000 navires y entrent et en sortent par an. On va donner beaucoup d'importance au port de la capitale russe en creusant un canal maritime à grande section allant directement rejoindre le golfe de Finlande. Le port de St-Pétersbourg n'est libre de glaces que depuis la deuxième moitié de mai jusqu'à la première quinzaine de novembre. *Helsingfors*, capitale de la Finlande, 23,000 habitants, bon port, grand commerce de bois, planches, etc. *Arkhangel*, sur la mer *Blanche*, 24,000 habitants. Le port est excellent, mais il n'est libre de glaces que pendant trois mois de l'année, le commerce y est considérable ; Arkhangel arme pour la pêche de la baleine.

Les ports du Danemarck. — L'effectif de la marine marchande danoise se

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

compose de 1,200 voiliers jaugeant 180,000 tonneaux et de 90 vapeurs jaugeant 62,000 tonneaux.

Il est entré en 1877 dans les ports danois 21,000 navires au long cours jaugeant 1,070,000 tonneaux, il en est sorti 20,700 navires jaugeant 41,000 tonneaux.

Le total des importations s'est monté à 320 millions de francs, et celui des exportations à 240 millions de francs.

Copenhague. — C'est de beaucoup le plus important des ports danois, et l'entrepôt de tout le commerce du pays, sa flotte commerciale atteint près de 500 bâtiments.

Le mouvement du port a été en 1877 :

Entrées.	5.600	navires jaugeant	360.000	tonneaux.
Sorties	6.600	—	395.000	—
Totaux. . . .	12.200	—	755.000	—

Elseneur. — Sur le *Sund* à un endroit où le détroit n'a pas plus de 4 kilom. de largeur. Plus de 50,000 navires passent par an devant le port, mais bien peu s'y arrêtent depuis que le péage a été supprimé. Cependant le mouvement du port est encore assez important et atteint près de 100,000 tonneaux.

Les ports de l'Allemagne. — La marine allemande compte 3,140 voiliers jaugeant 875,000 tonneaux et 220 steamers jaugeant 260,000 tonneaux.

Il est entré en 1875, 45,750 navires jaugeant 6,500,000 tonneaux dont 8,900 vapeurs d'un tonnage total de 3,600,000 tonnes.

Il en est sorti 44,077 navires jaugeant 6,400,000 tonneaux dont 8,950 vapeurs d'un tonnage total de 3,600,000 tonneaux.

Les principaux ports de l'Allemagne sont :

Kœnigsberg. — Accessible seulement aux navires ne tirant pas plus de 3 mètres d'eau, les gros navires s'arrêtent à *Pillau* sur le *Frische Haff* que les glaces ne bloquent jamais et qui possède de vastes bassins. Exportations de chanvre, lin, bois, ambre jaune.

Mouvement des ports de Kœnigsberg et de Pillau en 1874 :

Entrées	2.000	navires jaugeant	360.000	tonnes.
Sorties.	1.800	—	350.000	—
Totaa.	3.800	—	710.000	—

L'importance des importations et exportations atteint 600 millions de francs; population 125,000 habitants.

Dantzig. — Le cinquième port de l'Allemagne, bon port très-commerçant, c'est un grand entrepôt pour les céréales du nord, le trafic des bois y est considérable. Les importations et exportations réunies atteignent une somme de 350 millions de francs. Voici le mouvement du port :

Entrées	2.300	navires jaugeant	600.000	tonnes.
Sorties.	2.200	—	590.000	—
Total.	6.500	—	1.190.000	—

Stettin. — Grand port sur l'*Oder* pouvant recevoir des navires ayant un tirant d'eau de 5 mètres, son avant-port est à *Swinemunde* où s'arrêtent les grands bâtiments. Population 80,000 habitants.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mouvement du port de Stettin :

Entrées	2.850 navires jaugeant	700.000 tonnes.	
Sorties	2.900	—	680.000 —
TOTAL.	5.760	—	1.380.000 —

Mouvement du port de Swinemunde :

Entrées	4.200	—	900.000 tonnes.
Sorties	4.100	—	925.000 —
TOTAL	8.300	—	6.825.000 —

Lubeck. — Ancien port bien déchu de son importance, il reçoit des bâtiments tirant 5 mètres d'eau au moyen d'un canal récemment creusé le long de la *Trave*; *Travemunde* est son avant-port. Population 45,000 habitants.

Son mouvement (entrées et sorties) comprend 3,800 navires et 500,000 tonnes.

Kiel. — Excellent port bien abrité, ayant une profondeur d'eau de 12 à 17 mètres; population 40,000 habitants. Kiel fait maintenant un commerce considérable qui ne peut que s'accroître.

Mouvement du port :

Entrées.	3.900	navires jaugeant	313.000 tonnes.
Sorties	3.910	—	315.000 —
TOTAL.	7.810	—	628.000 —

Kiel arme une centaine de navires jaugeant 12,000 tonneaux.

Hambourg sur l'*Elbe*, c'est le premier port du continent européen; de grands travaux y ont été faits et d'autres sont projetés pour améliorer ce port déjà excellent, pourvu de bassins nombreux et de tout l'outillage moderne. Hambourg fait un immense commerce avec tous les pays, principalement avec l'extrême Orient. C'est la tête de ligne d'un grand nombre de services de transports de passagers et d'émigrants.

En 1875 le total des exportations s'est élevé à. .			2.125.000.000 francs.
— des importations	—	. .	1.125.000.000 —
TOTAL.			3.250.000.000 —

Mouvement du port :

Entrées. . .	Navires à voile . . .	2.700	jaugeant	500.000 tonnes.
	— à vapeur . .	2.900	—	1.700.000 —
	TOTAL.	5.600	—	3.200.000 —
Sorties. . .	Navires à voile . . .	2.570	—	540.000 —
	— à vapeur . .	2.900	—	1.730.000 —
	TOTAL.	5.470	—	2.270.000 —
	TOTAL GÉNÉRAL.	11.070	—	5.470.000 —

Dans ce nombre le pavillon anglais entre pour 4,480 navires et 2,200,000 tonneaux; le pavillon hambourgeois pour 1,730 navires et 1 million de tonnes; le pavillon français pour 225 navires et 9,000 tonneaux.

La flotte commerciale de Hambourg se compose de :

Voiliers	345	navires jaugeant	135.000 tonneaux.
Vapeurs.	96	—	85.000 —
TOTAL. . .	441	—	220.000 —

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les ports des Pays-Bas. — La marine marchande hollandaise compte 1,260 navires à voile jaugeant 370,000 tonnes et 110 navires à vapeur jaugeant 113,000 tonnes.

Les entrées se montent à . .	7.090 navires	jaugeant	4.668.214 tonnes.
Les sorties se montent à . .	7.230	—	5.000.000 —

Les importations atteignent 1 milliard 400 millions de francs et les exportations 1,120,000,000.

Amsterdam, capitale de tout le pays avec 320,000 habitants. Les navires jaugeant plus de 4 mètres d'eau ne peuvent arriver jusqu'à Amsterdam même, ils vont s'abriter à l'entrée du golfe de l'Y d'où part un magnifique canal qui va rejoindre la mer du Nord. Un autre canal traverse la péninsule de la Nord-Hollande et épargne ainsi aux navires la navigation du Zuiderzée et le passage des bancs.

Le mouvement total du port comprend 2,300 navires et 800,000 tonneaux. Le commerce d'importation et d'exportation est de 140,000 tonneaux.

Rotterdam, sur la *Meuse*, est le plus grand port de la Hollande. Il s'y fait un très-grand commerce avec l'Angleterre. On y importe beaucoup de denrées coloniales; outre les importations des Indes néerlandaises, il y arrive beaucoup de produits de la côte d'Afrique, huile de palme, caoutchouc, café, etc.; population 135,000 habitants.

Mouvement du port :

Entrées	3.670	—	1.900.000 tonnes.
Sorties	3.690	—	1.100.000 —
TOTAL	7.360	—	3.000.000 —

Flessingue, sur l'*Escaut*. — Ce port est placé à l'embouchure même de l'Escaut et bien avant Anvers. On y a fait d'immenses travaux, bassins, docks, chemins de fer, etc.; mais ces avances faites aux navires qui passent au large pour gagner Anvers n'en ont encore attiré qu'une bien faible partie.

Les ports de la Belgique. — La marine belge est insignifiante, mais le mouvement de ses ports n'en est pas moins considérable.

Ostende, commerce avec l'Angleterre et service des passagers qui vont d'Angleterre en Belgique et en Allemagne. Le mouvement est de 1,300 navires jaugeant 400,000 tonnes. La pêche y produit 1,300,000 francs.

Anvers. Le plus grand port de Belgique et le troisième du continent européen; il est admirablement aménagé et contient des bassins qui ont une étendue de plus de 40 hectares. C'est le plus redoutable concurrent de Dunkerque et du Havre. Population 150,000 habitants.

Le mouvement est de 12,000 navires et de 5 millions de tonneaux; ce sont les 9 dixièmes du commerce total de la Belgique.

Les ports de l'Espagne. — La marine marchande espagnole compte 2744 navires à voile jaugeant 550,000 tonnes et 224 navires à vapeur jaugeant 176,000 tonnes.

Les importations sont en moyenne de 380 millions de francs et les exportations de 400 millions, soit un total de 780 millions de francs.

Les ports principaux sont :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Bilbao. — C'est sur l'Atlantique le plus grand port de l'Espagne, il doit sa fortune actuelle aux mines de fer de son voisinage dont il exporte par an près de 450,000 tonnes ; le mouvement du port dépasse 4,000 navires, population 30,000 habitants.

Santander. — Très-bon mouillage, port bien aménagé, on en tire les produits des Castilles, Santander importe des denrées coloniales d'Amérique principalement de Cuba et de Porto-Rico. Les importations et exportations peuvent être évaluées à 70 millions de francs, population 22,000 habitants.

Cadix. — En Espagne *Cadiz* est un des plus vieux ports de l'Europe, à l'entrée d'une rade magnifique où se trouvent des profondeurs de 9 et 10 mètres d'eau et parfaitement abritée par la longue flèche littorale, au nord de laquelle se trouve la ville. La baie et la rade sont entourées de stations maritimes importantes : *Rota, Puerto de Santa Maria, Puerto real, la Carraca, San Fernando.* La population de toute cette ceinture de ports est de près de 200,000 habitants dont 60,000 pour Cadix.

Le commerce général atteint 95 millions de francs et 600,000 tonnes, exportations et importations comprises. La pêche seule produit 900,000 kil. de poissons.

Malaga. — Très-vaste port, mais peu profond, population 93,000 habitants. Très-grande exportation de vins, fruits, surtout les raisins secs, oranges, c'est le seul endroit de l'Europe où il se trouve des fabriques de sucre de canne.

Le total des échanges est évalué à 110 millions de francs.

Valence. — C'est la quatrième ville d'Espagne (110,000 habitants) elle possède à l'embouchure du Guadalaviar un port artificiel entièrement fermé par des digues et muni de deux longues jetées. On y a facilement une profondeur de 5 mètres. Valence fait un très-grand commerce des denrées du pays, fruits, vins, minerais, alfa. Le mouvement des affaires y dépasse 70 millions de francs.

Barcelone. — Port très-important, mais malheureusement très-mal abrité du côté du Sud, profondeur de 5 à 6 mètres ; de grands travaux seraient nécessaires pour en faire un grand port. Malgré ses imperfections, Barcelone est de beaucoup le port le plus commerçant de l'Espagne, le mouvement de l'importation et de l'exportation y dépasse 275 millions de francs, le nombre de navires qui entrent et sortent n'y est pas inférieur à 8,000, la population est de 180,000 habitants.

Gibraltar. — Quoique ce port soit anglais, nous le rangeons parmi les ports de l'Espagne, à laquelle il appartient géographiquement. C'est un très-grand entrepôt de commerce. Près de 10,000 navires jaugeant 3 millions et demi de tonneaux fréquentent le port de Gibraltar, mais beaucoup d'entre eux n'y entrent que pour s'y ravitailler ou attendre des vents favorables, du reste le port est fort peu sûr.

Les ports du Portugal. — L'effectif de la marine marchande portugaise est de 441 navires à voile jaugeant 100,000 tonneaux et de 26 navires à vapeur jaugeant 22,000 tonneaux.

Les entrées et sorties se sont montées en 1874 à 18,000 navires à voile et à 4,400 navires à vapeur. Les importations se sont montées à 175 millions et les exportations à 140 millions de francs.

Lisbonne — Le port de l'embouchure du *Tage* est accessible aux plus grands navires, la profondeur du chenal y est de 30 mètres, son commerce dépasse

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

110 millions de francs, le mouvement des navires y est de 3,300 bâtiments jaugeant 1,250,000 tonneaux. Le commerce extérieur a surtout lieu avec les ports du Brésil.

Porto, port du *Douro*, est la deuxième ville du Portugal, l'entrée en est difficile et n'a pas plus de 4 mètres de profondeur, les navires jaugeant plus de 4 à 500 tonneaux ne peuvent y arriver. Le commerce total du port atteint cependant 90 millions de francs.

Les ports de l'Italie. — L'effectif de la marine marchande italienne comprend 4,400 navires à voile jaugeant 1,300,000 tonneaux et 110 navires à vapeur jaugeant 95,000 tonneaux. Il est entré en 1875 dans les ports italiens 16,800 navires au long cours jaugeant 3,800,000 tonneaux parmi lesquels 3,514 vapeur jaugeant 2,400,000 tonneaux ; il en est sorti 18,200 navires jaugeant 4,250,000 tonneaux dont 3,700 stamers jaugeant 2,500,000 tonneaux.

Les importations se sont montées en 1876 à 1 milliard 300 millions et les exportations à 985 millions de francs.

Gênes. — C'est le plus grand port de l'Italie, sa surface est de 130 hectares, mais les abris en sont insuffisants de même que les voies qui y arrivent. Gênes s'étend le long de la mer et se relie avec d'autres stations maritimes comme *Sampierdarena, Cornigliano* et surtout *Sestri* où sont les meilleurs chantiers de construction de toute l'Italie. Le tout forme une agglomération de plus de 200,000 habitants.

Le mouvement du port de Gênes comprend plus de 16,000 navires jaugeant près de 3 millions de tonneaux, et la valeur totale de ses échanges par mer est de 450 millions de francs.

Livourne. — C'est le troisième port de l'Italie, on y a fait de grands travaux, un brise lame en protége l'entrée dans des fonds de 10 mètres, mais il n'y a pas plus de 5 mètres d'eau dans le port assez bien aménagé. Il est bien placé pour exporter les produits de la Toscane et son mouvement dépasse 10,000 navires et 1,800,000 tonneaux, population 100,000 habitants.

Naples. — Ce port, le second de la péninsule, fait un grand commerce avec l'Angleterre et la France; le cabotage avec les ports italiens est aussi considérable, surtout par suite de l'insuffisance des voies terrestres.

Le mouvement comprend 9,000 navires jaugeant 1,500,000 tonnes. C'est auprès de Naples que se trouve *Torre del Greco* qui arme pour la pêche de corail près de 400 navires rapportant 40,000 kilogs de corail d'une valeur de plus de 4 millions de francs,

Brindisi. — Ce port, situé à l'entrée de l'Adriatique, est un des meilleurs de la Méditerranée, il forme un double bassin naturel ne communiquant avec la rade que par un étroit goulet et accessible aux plus grands bâtiments. C'est de là que partent les navires qui emportent dans les Indes les dépêches et les passagers anglais. Le mouvement commercial ne répond pas au va-et-vient des passagers. Les entrées et les sorties comprennent 1,500 navires et 700,000 tonneaux.

Ancône. — Assez bon port présentant des profondeurs de 4 mètres; il exporte des fruits, des huiles, du soufre, de la soie; le mouvement total atteint 2,200 navires et 750,000 tonneaux.

Venise. — La reine de l'Adriatique est bien déchue de son antique spendeur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et ne peut plus rivaliser avec Trieste; cependant elle a conservé un trafic assez important, le mouvement du port peut être évalué à 5,000 navires jaugeant 800,000 tonneaux, population 130,000 habitants.

Sicile. — Les deux principaux ports de la Sicile sont *Messine* et *Palerme.*

Messine est le plus grand port de la Sicile. La rade est excellente et les plus grands bâtiments peuvent y mouiller avec sécurité. Le port est très-bon, quoique exposé au vent du Nord. Un grand nombre de navires traversent le détroit et cherchent un refuge, soit dans la rade, soit dans le port; aussi le mouvement y est-il considérable, il est de près de 11,000 navires jaugeant ensemble 1,700,000 tonnes; population 112,000 habitants.

Palerme a un mouvement de navigation à peu près aussi considérable; c'est une très-grande ville, la quatrième de l'Italie, avec 220,000 habitants.

Catane et *Trapani* sont les deux autres ports de la Sicile qni font le plus grand commerce après Palerme et Messine, leur mouvement atteint environ 6,000 navires chacun. Il faut ajouter à la suite de la liste des ports d'Italie, l'immense et excellent port de Malte. *La Valette* dont le mouvement est de 4,400 navires jaugeant 4 millions 340,000 tonneaux.

Les ports de l'Autriche. — La marine marchande de l'Autriche possède 652 navires à voile jaugeant 253,000 tonneaux et 75 vapeurs jaugeant 83;500 tonneaux.

Il est entré en 1875 dans les ports autrichiens 51,000 navires de tous rangs jaugeant 4,800,000 tonneaux; il en est sorti 50,700 navires jaugeant 4,800,000 tonneaux.

Trieste. — Ce port est le premier de l'Adriatique, quoiqu'il soit exposé aux vents venant de la mer et n'ait pas de voies de communications suffisantes. Il est le point de départ de nombreuses lignes de bateaux à vapeur, population 126,000 habitants. Le total de ses exportations et de ses importations maritimes est de 550 millions de francs. Le mouvement des navires dépasse 15,000 jaugeant prés de 2 millions de tonneaux.

Fiume (mouvement 2,700 navires), *Pola* et *Lussin* sont les seuls ports à mentionner sur le littoral autrichien de l'Adriatique.

Les ports de l'Orient, Grèce, Turquie, Égypte, mer Noire. — *Grèce.* Les navires grecs sont au nombre de 2,000 voiliers jaugeant 400,000 tonneaux et de 12 vapeurs jaugeant 76 tonneaux. Le mouvement total des ports de la Grèce comprend 21,000 navires et 3,500,000 tonneaux. Le total des importations et des exportations peut être évalué à environ 200,000,000 francs.

Les navires grecs sont occupés à commercer dans les divers pays de la Méditerranée plutôt qu'en Grèce même et le trafic réel des ports helleniques est peu important. On peut citer cependant *Le Pirée* qui est encore le port d'*Athènes* et dont la profondeur est considérable, *Patras* où est concentré tour le commerce du Péloponèse et enfin *Syra,* que sa position centrale dans la mer Egée a rendu le rendez-vous des lignes de bateaux à vapeur.

Turquie. — La Turquie possède 300 navires à voile jaugeant 50,000 tonneaux et 25 navires à vapeur jaugeant 18,000 tonneaux. Son commerce ne dépasse guère 1 milliard de francs.

Les principaux ports sont : *Constantinople,* un des plus beaux ports du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

monde. Les plus grands navires peuvent pénétrer dans la *Corne d'or*. Le mouvement représente plus de 20,000,000 navires et plus de 4 millions de tonneaux; *Salonique*, c'est la troisième ville de la Turquie d'Europe, elle fait un très-grand commerce et sa prospérité augmentera beaucoup quand un chemin de fer la reliera aux voies européennes; *Smyrne*, le port est étroit, mais assez profond, le commerce est important et atteint 125 millions de francs. On en exporte des fruits secs, du coton, des grains, des tapis, de la cire, etc.; *Beyrouth*, quoique commerçant, le port de Beyrouth est fort mauvais, les abords en sont dangereux et les navires exposés aux vents du Nord, on en tire du coton, de la soie, des sésames, mouvement 3,500 navires et 400,000 tonnes; *Jaffa*, le seul port de la Palestine et le jardin de la Syrie, on en exporte des olives, des sésames, du coton, du blé dur, etc; *Sinope* sur la mer Noire, le meilleur port de la côte par des fonds de 7 à 8 brasses, importations: objets manufacturés, farines, houille; exportations : bétail, bois, etc.

Les ports de la mer Noire sont, outre Sinope, *Sulina* à l'embouchure de la seule branche du *Danube* qui soit accessible, port de refuge fort important et fréquenté par 1,900 navires jaugeant 550,000 tonnes Il s'y fait un grand commerce de céréales qu'on peut évaluer à environ 125 millions de francs.

Odessa. — La rade offre des profondeurs de 6 à 7 mètres, mais le port est mal défendu, il gêle souvent plusieurs semaines de suite, le mouvement y dépasse 2,000 navires, mais il est très-variable suivant la situation du commerce des céréales. Le port d'Odessa est l'entrepôt de la Russie méridionale ; outre le blé, il exporte des peaux, du suif, de la graine de lin; on y apporte du café, du tabac, des vins, des tissus.

L'*Égypte*. — Le premier port de l'Égypte est *Alexandrie* qui est en même temps le meilleur de la côte Nord de l'Afrique, il existe devant le port une passe où la profondeur est de 6 mètres, les échanges atteignent 250 millions de francs, le mouvement du port atteint 2,000 navires et 1 million de tonnes. C'est l'entrepôt des produits si précieux de la vallée du Nil : grains, coton, sucre, etc. *Damiette*. Quoiqu'il n'y ait pas de port proprement dit, les navires y sont suffisamment abrités, les gros navires ne peuvent s'en approcher à cause de la barre du Nil, le commerce se fait surtout avec la Syrie. *Suez* et *Port Saïd*. Le commerce n'y est pas très-important, sauf le transit du canal qui s'est composé en 1877 de 1666 navires dont le droit de passage s'est élevé à plus de 32 millions de francs.

Les ports des mers des Indes et de Chine. — *Les Indes Britanniques*. Pour expliquer l'immense importance de la possession des Indes pour l'Angleterre, il suffira d'examiner les chiffres qui expriment l'importance du commerce et de la population.

L'Inde ne renferme pas moins de 240 millions d'habitants. On en tire du coton brut pour 332 millions de francs, de l'opium pour 277 millions, du riz pour 132 millions, des peaux pour 72 millions, du jute pour 7 millions, du café, des grains, de la laine, etc. On y porte du coton tissé pour 41 millions de francs, du coton filé pour 7 millions, des métaux pour 80 millions, des boissons, des machines, des lainages, du sucre, du sel, des soieries, etc. Les importations sont de 950 millions de francs, et les exportations de 1 milliard 450 millions, total 2 milliards 400 millions.

Les principaux ports de mer sont : *Bombay* sur la mer d'*Oman* dans une situation très-bien choisie. Le port est sûr, commode et vaste, le chenal y a 12 à 13 mètres de profondeur et la marée y monte de 5 mètres. C'est l'entrepôt

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des marchandises de la Perse, de l'Arabie et de la Chine; exportation de coton, soie, épices, café, sésame, gomme, laque, etc.

Pointe de Galles à l'extrémité de l'île de Ceylan, port vaste et sûr mais d'un accès difficile, il reçoit des bâtiments de 16 à 1,800 tonneaux et est très-fréquenté. C'est principalement un port d'approvisionnement et de relâche.

Madras. — Ce n'est pas un très-bon port, sa rade offre des fonds de 8 à 9 brasses, mais elle est dangereuse en octobre, novembre et décembre, même aux autres époques de l'année les navires y sont extrêmement fatigués par la houle ; le mouvement y est de plus de 5,000 navires et de près de 5 millions de tonneaux.

Calcutta. — Sur l'Hougly, un des bras du Gange et à 16 kilomètres de la mer, la navigation des bouches du fleuve est difficile malgré les travaux accomplis. Les navires au-dessous de 400 tonneaux peuvent seuls aborder aux quais, les autres allégent ou s'arrêtent à *Diamond-harbour* qui est l'avant port de Calcutta. Néanmoins plus de 2,000 navires y jettent l'ancre et le commerce total dépasse 800 millions de francs.

En suivant, après l'embouchure du Gange, les côtes orientales de l'Asie, on ne trouve pas de grand port de commerce avant *Singapore*, le « Gibraltar » de la mer de Chine, c'est un immense entrepôt et le lieu de ravitaillement de tous les navires qui ont la Chine et le Japon pour provenance ou pour destination. Le tonnage du port est de 3,235,000 tonneaux. Ensuite on rencontre *Bangkok* le port principal du royaume de *Siam*, où l'on va chercher les produis de la vallée du *Menam*, puis *Saïgon* la capitale de notre colonie de *Cochinchine*, assez bon port à l'embouchure du *Mékong* dans lequel, outre les échanges avec la métropole, se fait un très-grand commerce de riz pour la Chine.

Les ports de la Chine et du Japon. — Le commerçe entre la Chine et les sciences maritimes est fort considérable ; le total des importations est de 1 milliard 140 millions de francs et celui des exportations forme une somme à peu près égale. Le commerce anglais entre dans le total pour 1 milliard 150 millions.

Les principales marchandises importées en Chine sont : l'opium pour 150 millions; les cotonnades pour 144 millions; les lainages pour 27 millions; les métaux, etc.

Les principales marchandises tirées de Chine sont : la soie et les soieries pour 156 millions de francs; le thé pour 95 millions; le sucre, etc. Les plus grands ports sont : Les ports de l'embouchure du *Chi-Kiang : Canton, Hong-Kong, Macao.* On en exporte de la soie renommée et du sucre ; le coton et le riz sont la base des importations. Le mouvement des ports atteint 1,940 navires et 820,000 tonneaux.

Swa-tou. — Mouvement, 1,266 navires et 600,000 tonneaux.

Amoy. — Un des plus sûrs et des plus accessibles parmi les ports de la Chine, population 350,000 habitants, deux grands bassins de carérage sont à la disposition des navires, exportation de thé et de sucre, mouvement du port : 1,000 navires jaugeant 500,000 tonnes.

Fou-Tcheou. — Le plus grand arsenal de la Chine maritime, très-bon port, exportation de thé, de laque, de bois, mouvement du port : 665 navires et 400,000 tonneaux.

Ning-Po. — Population 125,000 personnes, exportation de thé, soie, coton, droguerie. Mouvement : 1,000 navires jaugeant 430,000 tonneaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Shang-haï. — Un des plus riches marchés du monde, très-bon port, pourvu de 4 bassins de carénage. La soie, le thé, l'opium et le riz, les cotons, les modes sont les principaux articles de commerce. Le mouvement du port est fort considérable et atteint 4,200 navires jaugeant 2,300,000 tonneaux.

Le commerce du *Japon* est bien moins important que celui de la Chine, mais l'ouverture de ses ports aux navires européens est aussi beaucoup plus récente. On distingue principalement parmi ses stations maritimes : *Nangasaki*, bon ancrage, port assez profond et bien abrité; importations : laines, cotons, bois, épices. Exportations : soieries, porcelaine.

Osaka, principale ville commerciale, port peu profond, commerce de poissons secs, riz, tissus, bronzes. La baie de *Yeddo* contient, outre le port de cette ville, celui de *Yokohama*, plus facile que le premier dont l'entrée est obstruée.

Entre le Japon et l'Amérique du Nord sont les îles *Hawaï* dont le principal port *Honolulu* a acquis une extrême importance depuis quelques années. C'est un point de relâche et de ravitaillement fort bien placé, 4 ou 500 baleiniers s'y abritent tous les ans. Le fond en est excellent par 4 à 7 brasses d'eau et le commerce y est considérable. On en importe du suif, des bestiaux, du sucre, du sel, des cuirs. Huit ou neuf cents navires fréquentent ce havre.

LES PORTS DE L'OCÉANIE.

Les Indes néerlandaises et les Philippines. — *Java*, la reine des colonies hollandaises, outre *Batavia*, possède deux bons ports, *Samarang* et *Sourabaya* où se trouve l'arsenal de la marine militaire. On importe dans les ports de Java des marchandises d'Europe et on en exporte le riz, le cacao, le café, le sucre, les épices, l'étain.

Le meilleur port des Philippines est *Manille*; il y a 7 mètres d'eau dans la baie, mais les navires s'arrêtent à *Cavite* à 4 kilomètres de Manille, c'est un bon refuge pendant les tempêtes qui surviennent dans ces parages aux changements de mousson.

On en exporte du sucre, des bois, des cirages, des cuirs, de l'indigo, du cacao, du riz, de l'abaca, etc. On y importe des meubles, du papier, des vins, des cotonnades, etc.

Les ports de l'Australie. — Les trois principales colonies de l'Australie sont : *Victoria*, importations 417 millions de francs, exportations 370 millions; *New South Wales*, importations 360 millions de francs, exportations 325 millions; et *Queensland*, importations 75 millions de francs, exportations 90 millions.

Les meilleurs ports sont :

Melbourne excellent abri aussi vaste que sûr.

Le commerce d'exportation porte surtout sur les laines, les cuirs, le bétail. En 1875, l'exportation des laines a été de 85 millions de kilog., valant 152 millions de francs. Flotte commerciale de Melbourne : 317 navires jaugeant 62,000 tonnes.

Sydney, port Jackson. — Un des plus beaux et des plus vastes ports du monde, il abriterait des flottes entières, presque tout le commerce des *Nouvelles Galles du Sud* se fait par ce port, cependant il existe sur la côte d'autres bons havres comme *Twofold-bay* et l'anse de *Lady Robinson*. Il est entré en 1876 dans les ports de la colonie 2,313 navires jaugeant 1,074,000 tonneaux; l'expor-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tation annuelle des laines atteint 125 millions de francs et celle des cuirs, os, viandes, etc., 12 millions et demi de francs. Flotte commerciale de Sydney : 540 navires jaugeant 71,000 tonneaux.

LES PORTS DE COMMERCE DE L'AMÉRIQUE.

Les Etats-Unis. — L'effectif de la marine marchande des États-Unis compte 6,300 navires à voiles jaugeant 2,145,000 tonneaux et 542 navires à vapeur jaugeant 675,000 tonneaux.

Il est entré en 1876 dans les ports des États-Unis 31,000 navires jaugeant 17 millions de tonnes, il en est sorti 31,300 jaugeant 17 millions de tonnes. Le total des entrées et des sorties est ainsi de 62,300 navires jaugeant 34,000,000 de tonneaux. On y a construit en 1876, 1,112 bâtiments jaugeant 203,000 tonneaux.

Les principales stations maritimes sont:

New-York sur l'*Hudson*. — Un des meilleurs, des plus sûrs et des plus vastes ports du monde. Il est parfaitement abrité et accessible aux bâtiments du plus fort tonnage. Des travaux gigantesques y ont été accomplis et ont favorisé l'immense mouvement qui s'y fait et qui est presque la moitié du mouvement total du pays.

Les navires venus de l'étranger et entrés dans le port de New-York ont été en 1876 au nombre de 6,700 parmi lesquels 1,150 vapeurs, plus d'un tiers sous pavillon américain ; les sorties ont été de près de 7,000 navires sans compter le cabotage. Le commerce du port dépasse 2 milliards de francs. Nous en tirons principalement des bois, du tabac, des grains, du coton, des viandes salées, nous y portons des soieries, des lainages, des peaux, des vins, des articles de Paris, modes, mercerie, etc.

New-haven. — Sur le détroit de *Long-Island* port peu profond et ensablé, commerce avec les Antilles. — *New-Bedford* à l'embouchure de l'*Ausnhet*, port vaste, sûr et profond, vastes chantiers de construction, plus de 200 baleiniers en partent chaque année. — *Boston*. Port magnifique, quais et bassins accessibles aux plus grands navires. Le mouvement dépasse 8,000 navires et 2 millions de tonnes.—*Philadelphie*. Son port admet les bâtiments du plus fort tonnage, grand commerce. Le pays est renommé pour son industrie métallurgique. — *Baltimore*, un des meilleurs ports des États-Unis, la profondeur y varie de 5 à 6 mètres, les gros bâtiments s'arrêtent à *Fells-point*, le mouvement dépasse 3,000 navires. — *Richmont*. Ce port, assez bon, fait un grand commerce maritime, il exporte du tabac, des grains, des viandes salées, il importe du café, du sucre, des objets manufacturés. — *Charlestown*. Vaste baie obstruée par des bancs de sable, passes de 5 mètres de profondeur, exportation de coton, riz, bois, céréales. — *New-Orléans*, port profond sur le *Mississipi*, mais les embouchures du fleuve sont obstruées par des barres, les grands navires s'arrêtent à *Balize*, le mouvement du port dépasse 4,000 et 2,000,000 de tonneaux. *Galveston*, le port du *Texas*, ne peut recevoir les grands navires, on en exporte du bétail, du coton, du sucre.

San-Francisco, sur le Pacifique, port aussi vaste que sûr placé au fond d'une baie admirable, les navires du plus fort tonnage peuvent accoster ses *Wharfs* ; il fait un très-grand commerce avec la Chine, on en exporte des farines, des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grains, des bois, des cuirs, des métaux précieux, on y importe du café, du sucre, du tabac, des épices, des vins.

Les principaux ports du *Canada* sont: *Québec*, port très-étendu sur le *Saint-Laurent*, mais de novembre en avril, les glaçons charriés par le fleuve gênent la navigation; on y importe du sucre, du thé, du tabac, du coton, des lainages, des métaux; on en exporte des bois, dont le commerce est immense, des denrées agricoles, des pelleteries, etc. — *Montréal* sur le Saint-Laurent, port sûr et commode ayant 5 mètres d'eau à quai. C'est l'entrepôt du commerce entre le haut et le bas Canada, les importations et exportations atteignent 200 millions de francs.

Le Mexique et les Antilles. — Le Mexique ne fait pas un commerce en rapport avec les immenses ressources de son sol, ses principales exportations sont : la vanille, le caoutchouc, le copal, l'indigo, le cochenille, le rocou, le jalap, la salsepareille, le coton, l'acajou, le campêche, les fibres d'aloès et de bananier, les métaux précieux, le cacao, le café, etc. Les importations consistent surtout en produits manufacturés de l'Europe et des États-Unis. Les plus fréquentés de ses ports sont, sur le Pacifique: *Acapulco*, magnifique abri aussi vaste que sûr, son commerce se fait surtout avec les Philippines, l'ouverture du canal de Panama pourrait donner une grande importance à ce port. *Tampico*, assez bon port, grand commerce de fibres dites « crin de Tampico. » *Vera-Cruz*, rade foraine, d'une entrée difficile, peu sûre et située dans un climat malsain. Malgré ces circonstances, son voisinage de *Mexico* fait que presque tout le commerce de ce pays avec l'Europe et les États-Unis est obligé de passer par cet endroit de la côte. Les importations et exportations varient de 150 à 180 millions de francs.

Le meilleur port des Antilles est *la Havane*, baie magnifique où les navires du plus fort tonnage peuvent mouiller en toute sûreté par des fonds de 7 à 10 mètres. Le mouvement commercial y a atteint 400 millions de francs; exportation de café, 15 millions de kilog., acajou, écaille, tapioca, cacao, sucre tabac, rhum, minerai de cuivre, etc. Importations : farine, houille, vins, tissus, meubles, métaux. Les autres ports sont: *Port-au-Prince* dans *Haïti*, assez bon abri, grand commerce de café. *Kingston (Jamaïque)*, belle rade avec des profondeurs de 6 brasses, mouillage insuffisant pour les grands navires. Le commerce de la Jamaïque a pour principaux objets le sucre, le rhum et le café ; le total des importations et des exportations atteint 80 millions de francs. *Saint-Thomas*, port de relâche pour les transatlantiques. La *Pointe-à-Pitre* capitale de la *Guadeloupe*, bon port mais difficile d'accès et *Fort-Royal (Martinique)* excellent port placé au fond d'une baie assez spacieuse, sont les meilleurs abris de nos Antilles françaises.

Les ports de l'Amérique du Sud. — Sur le Pacifique on rencontre d'abord *Guayaquil*, dans l'*Équateur*, au fond du golfe du même nom; bien qu'il y ait un banc de sable à l'entrée, le mouillage y est excellent et la profondeur atteint presque partout 10 à 12 mètres. Tout le commerce du pays passe par ce port. Il exporte du cacao, des chapeaux de paille, du caoutchouc; il reçoit du coton, de la soie, de la mercerie, de la quincaillerie, des vins, des meubles, etc.

Le *Callao (Pérou)*. — C'est le port de Lima à laquelle il est relié par un chemin de fer. Une des rades les plus sûres du monde, port bien abrité, mais les petits navires seuls peuvent avoir accès dans la darse. Les importations et exportations peuvent se monter à environ 250 millions de francs. Il exporte du guano, du nitrate de soude et les productions ordinaires des tropiques. *Iquique* sur la partie méridionale du Pérou, assez bon port, commerce de nitrate de soude.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Valparaiso (Chili). — C'est le port de *Santiago*, la rade est assez bonne, mais elle est exposée à certains vents. Les importations sont de 35 à 40 millions de francs ; les exportations sont très-faibles. On y porte des tissus, des meubles, des modes, de la mercerie, etc.

Sur l'Atlantique on trouve au Nord *Caracas (Venezuela)*, port de la *Guayra*, commerce important de café et surtout de cacao, le meilleur du monde. *Georgetown* port de la *Guyane* anglaise, bon abri ; les importations et exportations de la Guyane anglaise dépassent 100 millions de francs. *Paramaribo* (*Guyane* hollandaise), excellent port où peuvent aborder des navires d'un assez fort tonnage ; grand commerce avec les Pays-Bas. *Cayenne*, port peu profond, situation malsaine, commerce de bois, rocou, girofles, muscades, etc.

Empire du *Brésil.* — Le Brésil a une marine d'une certaine importance et son commerce en est considérable comme le prouvent les chiffres suivants, pris sur la période quinquennale 1869-1874. Les importations se sont élevées à la somme de 220,279,000 francs et les exportations à 272,858,000 francs. Sur ce total, le commerce avec l'Angleterre compte pour 51 % et celui avec la France pour 20 %. Le café compte pour près de la moitié des exportations, on évalue dans la période ci-dessus indiquée, la quantité sortie à près de 200 millions de kilog., d'une valeur de 350 millions de francs. Les principaux ports sont : *Para* près de l'embouchure de l'*Amazone*, entrée facile, abordable seulement pour les navires au-dessous de 350 tonneaux. On en exporte le meilleur caoutchouc du monde, du cacao, des cuirs, du coton, du rocou, du café, etc. *Pernambuco* le deuxième port du Brésil, bâti comme Venise sur des lagunes, bon port pouvant recevoir des bâtiments de 700 tonneaux ; on y importe de la morue, des vins, des soieries, des cotonnades, des lainages ; on en tire du rhum, du coton, du sucre, du cuir. *Bahia* vaste ancrage pouvant abriter des flottes nombreuses, c'est le troisième port de l'Empire ; des travaux y sont en cours d'exécution pour en faire un havre commode et sûr, le mouvement y est de plus de 1,100 navires. *Rio Janeiro*, sur une baie magnifique, rade aussi vaste que sûre. Le mouvement des importations et des exportations réunies y dépasse 600 millions de francs. Exportation de cafés, sucres, bois, rhum, tapioca, etc. Une Compagnie, fondée au capital de 29 millions de francs, s'est chargée des travaux nécessaires pour garnir le port des bassins, docks, grues etc., qui lui manquaient.

L'estuaire de la *Plata* comprend deux ports importants : *Montevideo* port mal abrité des vents d'ouest fait néanmoins un très-grand commerce de cuirs, bétail, viandes, conserves, etc. Un peu plus avant dans les terres et sur l'autre rive se trouve *Buenos-Ayres*, la navigation du fleuve y est difficile à cause des bancs de sable et des coups de vents ; la Plata a devant Buenos-Ayres une largeur de 36 kilom., mais les rives ont peu de profondeur, de sorte que les gros navires sont obligés de mouiller à une grande distance de la ville. Le commerce entre *Buenos-Ayres* et les ports de France est très-considérable et évalué à 135 millions de francs. Nous y portons des soieries, des draps, des vins, des tapis ; nous en tirons des laines, des cornes, des cuirs, des viandes. L'exportation des laines pour l'Europe a beaucoup augmenté depuis un certain nombre d'années. Plus de 2,500 navires fréquentent annuellement l'estuaire du *Rio de la Plata*. Les importations se montent à une moyenne de 368 millions et les exportations à celle de 287 millions de francs.

H. Dufrêné.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOTES COMPLÉMENTAIRES

FRANCE

LE GÉNIE CIVIL.

NOTE I.

Les matériaux de construction.

L Exposition était très-riche en matériaux de construction; on a pu remarquer surtout le pavillon de la Belgique, mais nous pouvons dire que l'Exposition de 1867 avait déjà fourni les spécimens provenant de toutes les parties du monde et M. DELESSE dans son rapport disait que nombre de ces matériaux figuraient aux Expositions de 1855 et de 1862.

Nous ne relaterons donc ici pour l'instruction de nos lecteurs que les principes généraux décrits par M. DELESSE, ces principes n'ayant pas varié.

Propriétés générales.

Résistance des matériaux de construction. — La résistance des matériaux joue un rôle prépondérant dans la construction, aussi nombre d'ingénieurs se sont-ils livrés à des recherches du plus haut intérêt.

Celles du capitaine Fowke, qui ont été le résultat d'études qui ont porté sur plus de 3.000 échantillons *de bois* provenant detoutes les parties du monde, doivent être citées en première ligne.

Il a déterminé d'abord leur pesanteur spécifique, puis leur résistance à la rupture et leur flexion lorsqu'ils étaient soumis à un effort transverse; ensuite il a mesuré leur résistance à l'écrasement en les comprimant tantôt dans le sens des fibres, tantôt perpendiculairement aux fibres; enfin il a encore mesuré leur élasticité.

Les fortes pressions qu'il fallait exercer s'obtenaient à l'aide d'une petite presse hydraulique qui sortait des ateliers de MM. Hayward Tyler. La manœuvre en était très-facile, et elle donnait des résultats qui étaient précis et toujours bien comparables. Elle portait deux cadrans dont le premier servait à indiquer la pression supportée par la pièce de bois, tandis que le second marquait, pour chaque demi-tonne, la flexion exprimée en millièmes de pouce.

Tous les matériaux de construction de l'Opéra ont été choisis avec beaucoup de soin, comme le prouve le chiffre élevé de leur résistance à l'écrasement.

Matériaux naturels

Les matériaux naturels peuvent se diviser en trois classes :

Dans la première, on range les matières de nature pierreuse ou minérale, telles que les pierres de toutes espèces, les sables, les argiles et leurs produits, le bitume minéral, etc. Dans la seconde, les matières ligneuses et végétales

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

comme les bois de toute espèce, la paille, les roseaux, les cordages, le bitume végétal, etc. Dans la troisième enfin, les subtances métalliques, comme le fer, le plomb, le cuivre, le zinc et les alliages.

La première classe comprend une grande variété de roches qui sont employées tantôt à la construction, tantôt à la décoration. Ces roches peuvent être siliceuses comme les grès, les meulières, ou bien silicatées, comme les granites les porphyres, les trachytes, les serpentines, les ardoises ; le plus souvent elles sont calcaires.

Nous dirons quelques mots de celles qui par leur nouveauté et leurs qualités exceptionnelles présentent quelque intérêt.

Jaspes de Saint-Gervais. — Étudions particulièrement les jaspes de Saint-Gervais, près du mont Blanc, qui, par leur beauté, méritent une mention toute spéciale. Leur gisement est sur la rive droite du Bonnant, route du Faye à Saint-Gervais, dans la Haute-Savoie ; ils s'y trouvent en quantité pour ainsi dire indéfinie, et de plus en blocs de toutes les dimensions. On peut d'ailleurs les exploiter facilement et à ciel ouvert.

D'après les recherches de M. Lory, ces jaspes proviennent d'un métamorphisme subi par une couche de grès appartenant à l'étage du trias. Ils paraissent reposer sur des schistes cristallins, et, au-dessus d'eux, l'on rencontre successivement un grès feldspathique (arkose), puis des dolomies. Leur état originaire était celui des grès quartzeux, plus ou moins mélangés de mica gris ou verdâtre ; ensuite ils ont été traversés par des sources minérales qui les ont imprégnés de silice et d'oxyde de fer produisant les veines de jaspe. Ultérieurement leurs retraits ont été remplis par des carbonates mixtes de chaux, de magnésie et de fer, qui forment un ciment spathique, blanc, ayant l'inconvénient de brunir et de s'altérer par l'action de l'air. Leur structure, qui est à la fois jaspée et bréchiforme, leur donne un aspect exceptionnel et très-remarquable.

Leur prix de revient était en 1868 de 1,500 francs sur la carrière et 2,000 francs pour le mètre cube rendu à Paris. Le mètre cube en tranches ne dépasse pas 100 francs et l'on estime qu'il atteint 200 francs, c'est-à-dire qu'il double de valeur par le polissage.

Des colonnes de ce jaspe ont été employées dans la construction du nouvel Opéra de Paris.

Marbres. — Un grand nombre de calcaires jouissent d'une finesse de grain, d'une cohésion et d'une dureté telles qu'ils sont susceptibles de recevoir le poli ; ils offrent, en outre, soit par l'effet de corps étrangers engagés dans la pâte, soit par celui des matières colorantes de diverses natures, des effets de lumière ou des assortiments de couleurs agréables à l'œil, qui les rendent propres à la décoration des édifices. Ils prennent alors le nom de *marbres*. Les marbres calcaires sont très-abondamment répandus dans la nature, et leurs variétés sont fort multipliées. On en trouve une nomenclature très-étendue dans Rondelet (*Art de bâtir*, t. 1er, p. 35 et suivantes).

L'exposition française renfermait plusieurs spécimens remarquables provenant de Sarrancolin (Hautes-Pyrénées), de Saint-Béat (Haute-Garonne), de Félines (Hérault), de Saint-Antonin (Bouches-du-Rhône), de Pourcieux (Var), de Jeumont (Nord).

Marbres d'Algérie.

Ils étaient largement représentés à l'Exposition ; mentionnons les plus remarquables.

Marbres onyx. — Dans la province d'Oran, à Aïn-Tekbalet, sur les bords de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'Isser, l'on trouve un marbre très-rare et d'une grande beauté; on lui a donné le nom d'onyx, à cause de sa transparence et de sa structure veinée, qui le fait ressembler à cette variété d'agate.

Le marbre d'Aïn-Tekbalet est un dépôt récent formé par des sources plus ou moins thermales, aujourd'hui éteintes. Il se compose de couches régulières, presque horizontales, présentant chacune une nuance particulière, d'où résulte cette variété que l'on admire dans l'onyx. Le gîte de marbre a une épaisseur totale de 6 à 10 mètres, et couvre une superficie de plus de 100 hectares.

Marbres divers. — Dans la province d'Alger, le marbre de la pointe Pescade est en couches lenticulaires composées de brèches à couleurs variées. Il est enclavé dans les terrains cristallophylliens de la Bouzareah dans les environs d'Alger.

Le marbre du Chenouah se trouve à 10 kilomètres E. de Cherchel. Par l'abondance de ses produits, la beauté de ses brèches, la proximité de la mer et les facilités qu'il présente pour l'embarquement, ce marbre paraît appelé à un bel avenir industriel. La mer est profonde au pied même du gîte, et de plus, elle est complétement abritée des vents d'ouest qui règnent si fréquemment pendant l'hiver sur les côtes de l'Algérie.

Dans la province de Constantine, on doit signaler d'abord le marbre du Felfela, l'un des plus importants de l'Algérie. Il est situé près de Philippeville, sur le bord de la mer. C'est un calcaire saccharoïde qui se rapproche beaucoup du marbre de Carrare. Poli, il devient un peu translucide. Généralement d'une belle couleur blanche, il est associé à du marbre bleu turquin, bleu fleuri, noir veiné de blanc, ainsi qu'à du marbre jaune et rouge.

Les marbres de l'Oued-el-Aneb forment des couches réparties en trois massifs différents, à 28 kilomètres O. de Bone; ce sont des calcaires saccharoïdes, tantôt blancs, tantôt gris blanchâtres; quelquefois, ils sont blancs veinés de jaune et de bleu très-pâle.

Le marbre du fort Génois est sur le bord de la mer, à 8,500 mètres de Bone. Ce marbre est très-résistant, et se polit parfaitement. Sa couleur est le blanc grisâtre avec des veines noires, le gris clair homogène ou légèrement moucheté. L'exploitation est ouverte sur les anciens travaux romains; elle se fait à la poudre et au coin, avec descente des blocs sur un plan incliné jusqu'à la mer. Le gîte est enclavé dans le terrain cristallophyllien du massif de l'Adough.

Par cette courte énumération, nous indiquons suffisamment que les marbres peuvent devenir une grande source de richesses pour l'Algérie.

Matériaux artificiels.

Les matériaux artificiels étaient représentés à l'Exposition de 1878 comme en 1867 par des chaux, des ciments, des plâtres et leurs dérivés, des produits divers, des pierres fabriquées, soit par voie sèche, soit par voie humide; il y avait aussi des bitumes et des composés bitumineux.

Ciment Portland.

La grande importance prise par le ciment Portland est un fait qui mérite l'attention de tous les constructeurs. D'Angleterre, où il a été inventé, et pendant longtemps gardé secret, l'usage de ce ciment s'est répandu sur le continent, grâce surtout aux chemins de fer et aux ingénieurs qui les ont construits. Dès maintenant, l'Angleterre n'en a plus le monopole; et de vastes usines le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fabriquent en grande quantité et avec toute la perfection possible, en France, en Prusse, dans le Mecklembourg, dans le Wurtemberg, en Allemagne, dans le Tyrol, en Autriche, en Pologne, en Russie et dans l'Amérique du Nord (1).

M. le docteur Zuirek, de Berlin, a fait quelques analyses du ciment de Portland dont nous donnons les résultats dans le tableau ci-dessous. Les échantillons étaient attaqués par un acide; les trois premiers provenaient des principales usines de l'Angleterre, et avaient été livrés par le commerce; le quatrième sortait de la fabrique des frères Meukow, à Schwérin.

	ROBINS.		WHITE FRÈRES.		KNIGHT, BEVANS et Sturge.		MEUKOW à Schwérin.	
Silice	22,74		22,59		22,30		24,01	X
Alumine	7,74		6,43		3,31		5,73	
Oxyde de fer	3,70		4,03		9,75		2,39	
Chaux	56,68	92,08	57,87	92,56	58,17	95,02	63,77	97,68 A
Magnésie	0,57		0,55		0,91		0,96	
Potasse	0,46		0,74		0,41		0,49	
Soude	0,49		0,35		0,17		0,33	
Sulfate de chaux	1,66		2,67		1,17		0,24	
Carbonate de chaux	3,50	7,59	0,84	6,51	1,34	5,02	0,67	2,11 B
Résidu inattaquable	0,50		0,77		1,06		0,93	
Eau hygrométrique	1,90		2,23		1,47		0,27	

Dans ces analyses du ciment Portland, on retrouve bien les mêmes substances; mais leurs proportions sont en définitive assez variables, ce qui explique les différences notables qu'il présente dans sa qualité.

Ciment Vicat.

Un ancien élève de l'École polytechnique, M. Joseph Vicat, le fils de l'ingénieur célèbre auquel on doit tant de découvertes importantes sur les produits hydrauliques, fabrique sur une grande échelle un ciment auquel il a donné le nom de son père, qui en est l'inventeur.

Le ciment Vicat, fabriqué à Grenoble, se distingue d'abord par une homogénéité parfaite; ses éléments se sont entièrement combinés, et son argile s'est transformée en un silicate, qui est complétement attaquable par l'acide faible, et qui ne laisse aucun résidu. Sa prise est lente et ne commence que plusieurs heures après le gâchage. Le poids de ce ciment pulvérisé et non tassé varie de 1,300 à 1,400 kilogrammes au mètre cube; par suite, il est considérable, ce qui est d'ailleurs une qualité. Sa contraction par le gâchage dépend en partie du degré de finesse de sa mouture; elle est en moyenne le cinquième du volume du ciment employé.

Depuis quelques années, le ciment Vicat s'est beaucoup répandu; on l'utilise pour daller des églises, des gares de chemin de fer, pour faire des trottoirs, des cuves à vin, des réservoirs, et surtout pour la construction de ponts et d'autres grands ouvrages d'art.

(1) Voir Lipowitz, *Fabrication de ciment de Portland*, 1 vol. grand in-8°. Paris, E. Lacroix, éditeur. Prix 5 fr.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Chaux hydraulique.

Chaux du Theil. — Les calcaires qui la fournissent contiennent de nombreux fossiles, et particulièrement des criocères, montrant qu'ils appartiennent aux marnes néocomiennes inférieures; ils se développent sur une grande étendue et s'exploitent, non-seulement dans l'Ardèche, mais encore dans la Drôme et à l'est du cours du Rhône; au Theil, leur épaisseur atteint 100 mètres. Par la cuisson, ils se convertissent en une chaux renfermant près d'un cinquième de son poids de silice attaquable par les acides, silice à laquelle elle doit sa vertu éminemment hydraulique. Son prix est de 15 francs la tonne. Blutée, elle pèse 700 kilogrammes le mètre cube. Des essais ont fait voir qu'un mortier formé de 300 kilogrammes de chaux avec 1 mètre cube de sable donnait par centimètre carré une résistance à l'arrachement de 1 kil. 54 au bout de quarante-cinq jours et de 8 kil. 63 au bout de deux ans. De même on a constaté que la résistance à l'écrasement atteint 9 kil. 81 après quarante-cinq jours d'immersion et près de 40 kilogrammes après une année.

La chaux du Theil est surtout extrêmement précieuse, parce qu'elle possède la propriété exceptionnelle de résister à l'action décomposante des sels contenus dans l'eau de la mer; les expériences faites, soit dans la Méditerranée, soit dans l'Océan, ont toujours donné les résultats les plus satisfaisants. On peut aussi la gâcher indifféremment avec de l'eau douce ou bien avec de l'eau salée. L'expérience a montré que si l'on veut composer un mortier devant simplement rester à l'air, il suffit de 250 kilogrammes de chaux du Theil par mètre cube de sable; si le mortier baigne dans l'eau douce, la dose de cette chaux doit être portée à 300 kilogrammes; et, enfin, dans l'eau de mer, on l'élève à 350 kilogrammes. Lorsqu'on emploie du ciment Portland pour les mêmes usages, il en faut un poids beaucoup plus considérable et qui dépasse même 600 kilogrammes.

Béton aggloméré.

M. F. Coignet fabrique le béton aggloméré en mélangeant d'une manière très-intime de la chaux avec du sable ou avec du gravier. Dans certaines circonstances, on ajoute d'ailleurs un peu de ciment à la chaux. Le tout est ensuite tassé dans des moules en planches auxquels on a donné la forme voulue. Il importe de bien veiller à ce que la quantité d'eau introduite soit aussi faible que possible, c'est-à-dire réduite à celle qui est nécessaire pour lubréfier le béton et pour l'amener à l'état grenu. Comme ce béton est pilonné par couches successives, on conçoit, en effet, que pour cimenter les couches entre elles, il faut éviter tout excès d'eau qui, étant incompréhensible et remplissant les interstices, empêcherait le tassement et la pénétration mutuelle des matières. D'un autre côté, le temps assez long réclamé par l'opération du pilonnage exige que le ciment duquel on se sert soit à prise lente.

Quelques perfectionnements ont été apportés par M. F. Coignet dans la construction des appareils broyeurs et malaxeurs qui sont destinés à préparer le béton et à le rendre bien homogène. De même que pour le mortier ordinaire, il est obligatoire de se servir de sable de rivière, et l'expérience a montré que les sables fins exploités aux environs de Paris dans les étages de Beauchamp ou de Fontainebleau ne donnent jamais des résultats satisfaisants. Il faut aussi

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

veiller à la qualité de la chaux et éviter les incuits qui donnent lieu à des exfoliations. L'introduction de la brique pilée et même celle de la pouzzolane dans le béton aggloméré ne sont pas à recommander, parce que ces matériaux le rendent plus poreux et plus hygrométrique. Le sable de mer et tout sable imprégné de la plus minime partie de sel doit à plus forte raison être exclu.

Mais la partie délicate de l'emploi du béton aggloméré tient toujours à la difficulté de bien cimenter entre elles les couches successives et superposées qui le composent. Dans le béton ordinaire, qui est fabriqué avec excès d'eau, on y arrive assez facilement; tandis que dans le béton aggloméré, dans lequel il y a au contraire très-peu d'eau, la surface supérieure de la couche ne tarde pas à se lisser et elle fait souvent prise avant d'être recouverte par une couche nouvelle. C'est même ce qui a lieu chaque fois que le travail se trouve interrompu. Aussi est-il nécessaire de râcler fréquemment à vif la surface supérieure, de l'arroser avec un lait de chaux, de procéder par couches minces et de ne confier cette partie du travail qu'à des ouvriers bien expérimentés et surtout très-consciencieux. A défaut de ces précautions, il peut arriver que le béton aggloméré se délite en feuillets parallèles ; d'un autre côté, lorsqu'on les observe, ce béton devient d'autant plus dur que le pilonnage a été fait avec plus de soin.

Les ingénieurs du service municipal ont surtout employé le béton aggloméré sur une très-grande échelle pour la construction des égouts de Paris. D'après M. l'inspecteur général Belgrand, le béton aggloméré avec lequel ces égouts sont construits présente la composition suivante :

Ciment Portland.	250 kilogrammes.
Chaux hydraulique éteinte.	1 mètre cube.
Sable de rivière.	5 —

Au bout d'un mois, le béton aggloméré prend la dureté d'une maçonnerie de meulière à mortier de ciment et paraît devoir durer aussi longtemps. Il est bien vrai que cette maçonnerie revient seulement à 35 francs le mètre cube, tandis que le béton aggloméré coûte, au contraire, 40 francs; mais, comme, d'un autre côté, l'emploi du béton aggloméré dispense d'enduit, de chape, de cintre, M. Belgrand admet qu'il donne cependant lieu à une économie définitive de 20 pour 100.

Ciment d'oxychlorure de magnésium.

M. Sorel, l'ingénieux inventeur d'un ciment formé d'oxychlorure de zinc, a fait des essais très-intéressants sur un ciment analogue dans lequel le zinc se trouve remplacé par le magnésium.

La fabrication de ce ciment d'oxychlorure de magnésium est très-simple : elle consiste à gâcher de la magnésie avec du chlorure de magnésium d'une densité qui varie, suivant l'emploi que l'on veut faire du ciment, de 15° à 30° de l'aréomètre de Baumé. Le ciment devient d'autant plus dur que le chlorure est plus concentré ; mais, d'un autre côté, il résiste d'autant mieux à l'eau, que le chlorure est plus étendu. L'addition de certaines matières dans le liquide modifie notablement les propriétés du ciment magnésien; par exemple, 1 de chaux vive ou 2 de carbonate de magnésie pour 100 de chlorure à 25° augmentent l'hydraulicité du ciment. On donne aussi une dureté plus grande à ce ciment en saturant le chlorure de magnésium avec du chlorure de baryum ou bien avec du sulfate de magnésie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Voici quel serait le prix de revient des matières premières dans le ciment magnésien propre à bâtir, contenant 1 trentième de magnésie ou plus exactement à 1/33,8, en ayant égard au poids du chlorure :

Magnésie	4k	à 30f	les 100k. . . .	2f,20
Calcaire en poudre fine	24	à 26	—	0 08
Sable de rivière.	92	à 25	—	0 23
Chlorure de magnésium 25 degrés.	14 50	à 7	—	1 02
Total	134k,50	coûtent.		2f,53

En évaluant le poids du mètre cube à 2,300 kilogrammes, on a environ 43 francs pour le prix du mètre cube de ciment magnésien à 1/33,8 de magnésie.

Similipierre, similimarbre.

Le similipierre est un produit assez complexe, qui s'est montré pour la première fois à l'Exposition universelle de Londres en 1862, et que nous voyons reparaître à chaque exposition nouvelle.

Son invention est due à MM. Lippmann et Schneckenburger. Il est destiné à remplacer la pierre; mais il peut surtout imiter très-bien le marbre (similimarbre); de plus il se laisse facilement recouvrir d'une couche de métal ou de bronze (similibronze). Sa composition varie avec les usages auxquels on le destine, avec l'aspect et avec les couleurs qu'on veut lui donner. Il se fabrique au moyen de ciment ou bien de chaux, qui sont d'ailleurs accompagnés de diverses substances minérales réduites en poudre, comme l'albâtre, le marbre, le sable, la brique pilée. On y ajoute des matières végétales filamenteuses et hachées menues, telles que le chanvre, l'étoupe, le crin végétal. Ce mélange, réuni à une partie d'eau sulfatée et d'huile, est battu et pilonné fortement, jusqu'à ce que les fibres végétales soient bien réduites en pâte. On procède ensuite au moulage, et l'on peut régler la prise, la rendre plus ou moins lente, à l'aide d'agents chimiques; on emploie particulièrement une dissolution plus ou moins étendue de sulfate de potasse.

Le produit qu'on obtient ainsi présente quelques propriétés qu'il est utile de signaler. Il est compacte, léger et cependant tenace; il n'éprouve pas de retrait en se solidifiant; de sorte qu'il reproduit les détails du moule avec une grande perfection. Il peut d'ailleurs se travailler et se sculpter comme la pierre; de plus, il se prête très-bien au poli et alors son aspect est très-agréable. Aussi convient-il tout particulièrement aux statues, aux œuvres d'art et à la reproduction de toutes les moulures, même des plus délicates.

Pierres fabriquées par voie humide.

Pierre artificielle de Ransome. — Les expositions antérieures ont déjà fait connaître la pierre artificielle de Ransome, et l'on sait qu'elle se fabrique de toute pièce, par voie humide. Le procédé qui est suivi consiste à mélanger du sable, de la craie et au besoin d'autres substances minérales avec un peu d'hydrosilicate de soude. Cette première opération se fait dans un malaxeur ordinaire, et le mélange obtenu, qui est de consistance plastique, est d'abord pressé dans des moules où il prend la forme que la pierre doit recevoir. Ensuite on le trempe dans une dissolution de chlorure de calcium, ce qui donne lieu à une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

double décomposition ; il se produit en effet de l'hydrosilicate de chaux qui, à l'instant même, cimente fortement le sable ainsi que les substances minérales introduites dans la pierre artificielle, tandis que le chlorure de sodium qui s'est formé peut être enlevé par des lavages.

NOTE II.

Matériel et procédés du génie civil, des travaux publics et de l'architecture.

La classe 66 comprenait les matériaux divers, naturels ou artificiels, et l'outillage employés par l'ingénieur ou l'architecte dans les travaux publics ou privés.

Cet ensemble peut se grouper de la manière suivante : 1° matériaux de construction naturels et artificiels; 2° emploi du bois et du fer; 3° engins et outillage des chantiers de construction; 4° procédés divers de fondations et travaux hydrauliques; 5° alimentation, assainissement des villes et architecture civile.

Matériaux de construction

Matériaux minéraux naturels. — Le sol de la France fournit en abondance les matériaux les plus variés : plâtre, chaux, pavés, ardoises, meulières, pierres de taille en granit, grés ou calcaire, la plupart d'excellente qualité.

D'importantes carrières sont ouvertes sur un grand nombre de points du territoire, notamment aux abords de Paris, dans les vallées de l'Oise et du Rhône, dans les départements de la Vienne, de la Meuse, de l'Aisne, des Ardennes, dans les Vosges, le Jura, l'Ardèche, etc.

L'importance des extractions n'est limitée que par les besoins de la consommation et se développe rapidement à mesure qu'augmente la facilité des transports.

Les bonnes pierres de taille françaises sont fort recherchées à l'étranger et peuvent devenir la base d'un commerce très-étendu. En 1876, on en a exporté 109,250 tonnes représentant une valeur de près de 2 millions.

Les montagnes des Pyrénées, du Jura, des Cévennes fournissent des marbres fort estimés auxquels il n'a manqué jusqu'à ce jour, pour entrer dans la grande consommation, que des voies de transport plus puissantes et plus économiques.

Matériaux artificiels; plâtre. — Le plâtre est surtout en usage dans le bassin de Paris, où il se trouve en grande abondance et de très-bonne qualité. Par les chemins de fer et les canaux, il se transporte aujourd'hui à d'assez grandes distances; cependant, pour les constructions civiles un peu importantes, on tend à le remplacer par les chaux hydrauliques.

Chaux hydrauliques. — Les chaux naturelles ou artificielles sont aujourd'hui l'objet d'une fabrication très-étendue, et donnent lieu à des exportations considérables. Si dans les constructions ordinaires on emploie assez volontiers les chaux hydrauliques de moyenne qualité, pour les travaux publics, on recherche de préférence les chaux très-énergiques et on les fait venir souvent d'assez loin. Il existe heureusement dans presque toutes les parties de la France des usines importantes qui peuvent largement suffire à la consommation. Le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

progrès dans la fabrication des chaux hydrauliques a amené une notable amélioration dans les constructions elles-mêmes, auxquelles on peut donner, sans très-grand accroissement de dépenses, toute la solidité désirable.

Ciments. — Rarement et exceptionnellement employés au commencement du siècle, les ciments entrent de plus en plus dans la construction courante. On recherche aujourd'hui de préférence les ciments à prise lente dont l'emploi n'exige pas d'ouvriers spéciaux.

Avec ces ciments on fabrique aussi des pierres artificielles très-résistantes, pour dallages, revêtements, etc.

Par suite de la facilité des communications, l'emploi des bons ciments se généralisera. On peut même remarquer dès à présent une certaine tendance à les substituer à la chaux hydraulique.

On a fréquemment essayé, depuis quelques années, des ciments à base d'oxyde de zinc ou de magnésie pour la fabrication des marbres artificiels ou d'ornements moulés. Cette industrie est nécessairement restreinte. Avec les laitiers des hauts fourneaux, on fabrique aujourd'hui des pierres artificielles à structure cristalline qui sont d'un bon usage pour le pavage des cours et des chemins d'accès d'usine.

La fabrication des tuiles plates ou cannelées, des briques pleines ou creuses, des carreaux de dallage, des tuyaux de cheminée, de drainage et des diverses poteries se répand dans un grand nombre de localités où elle n'existait pas il y a quelques années. Les produits en général s'améliorent.

La poterie fine fournit aujourd'hui à des prix très-modérés des terres cuites et des faïences émaillées qui figurent avantageusement dans la décoration des édifices.

Emploi du bois et du fer

Bois. — Les essences de bois les plus employées dans la charpente et la menuiserie sont : le chêne, le sapin, le pin, le hêtre, le peuplier, le frêne, l'orme et l'acacia, qui sont généralement livrés en pièces équarries aux entrepreneurs. Les forêts des Vosges et du Jura, de Fontainebleau, de Compiègne, de Villers-Cotterets, d'Orléans, de Châteauroux, etc., en produisent d'assez grandes quantités, insuffisantes néanmoins pour les besoins de la consommation. La valeur des importations des bois de chêne bruts, équarris ou sciés a atteint, en 1876, 7,282,722 francs, et celle des autres bois bruts, équarris ou sciés s'est élevée à 119,683,146 francs. C'est principalement à la Suède, à la Norwége, à l'Allemagne, à l'Italie et à la Belgique que la France paye ce tribut toujours croissant.

Aussi le prix des bois de construction tend-il sans cesse à s'élever, et a-t-on recours à divers procédés de conservation pour en augmenter la durée.

Ces procédés artificiels sont surtout appliqués dans les ports de mer, dans les arsenaux de l'État et dans les ateliers des compagnies de chemins de fer, pour la préparation des pièces de charpente des navires, des mâts, des traverses et des poteaux télégraphiques. Ils consistent à injecter dans les pièces de bois des liquides spéciaux, des substances anti-septiques : goudrons, huiles grasses, créosote, dissolutions de sels de cuivre, de zinc ou de plomb, fumées chargées de goudron et d'acide pyroligneux, produites dans une étuve. Ces préparations, très-répandues aujourd'hui, constituent une véritable industrie.

Les tentatives récentes faites en vue de colorer et de veiner par injections les bois destinés à la fabrication des meubles ne paraissent pas avoir encore

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fourni des résultats industriels importants; mais elles peuvent devenir la source de progrès intéressants pour l'ébénisterie.

L'élévation toujours croissante du prix des bois et les progrès considérables réalisés depuis une vingtaine d'années dans la métallurgie du fer ont déterminé les ingénieurs et les architectes à substituer le fer au bois dans un assez grand nombre de circonstances.

Néanmoins la charpente en bois, en dehors de la confection des pilotis, des batardeaux, des ponts de service, des cintres, des machines de levage, des échafaudages de toute espèce à laquelle elle est exclusivement employée, trouve encore de larges applications dans les constructions civiles; à aucune autre époque il n'en a été fait un plus judicieux usage. Sauf l'emploi des scies mécaniques et de quelques machines à raboter et à mortaiser, les procédés de la charpente ont peu varié, et présentent toujours dans leur application certaines difficultés qui exigent de l'ouvrier une intelligence et une pratique professionnelle spéciales.

La menuiserie a plus particulièrement profité des progrès de l'outillage mécanique.

Les scies circulaires et à ruban, les machines à raboter, à bouveter, les polisseurs, les outils à rainer, à fraiser, à sculpter, etc., ont permis d'obtenir dans l'exécution une rapidité et une précision remarquables, en même temps qu'une grande économie de main-d'œuvre, On peut constater depuis quelques années un emploi de plus en plus fréquent des bois découpés, et signaler les tentatives intéressantes faites pour introduire l'usage du fer et de la tôle dans les divers assemblages des panneaux et de certaines pièces de menuiserie.

Fer et tôle. — Les constructions en fer ont définitivement pris une place très-importante dans les grands travaux d'art modernes. Nos usines ont construit en très-grand nombre des ponts et viaducs métalliques pour les chemins de fer français et étrangers. Elles fabriquent des colonnes tubulaires, des batardeaux en tôle, des estacades, des grues, des dragues, des chalands pour les travaux hydrauliques et fournissent de grandes charpentes pour halles, marchés et théâtres qui s'exportent dans diverses contrées de l'Europe et même jusqu'en Amérique. Les divers types de charpente exécutés pour les installations du Champ de Mars et du Trocadéro permettent d'apprécier le développement de l'industrie des fers et des tôles ouvrées en France.

La serrurerie ordinaire comprend la façon des fers et tôles de forge pour les charpentes, grilles, balcons, rampes, escaliers, croisées, etc., la fabrication des pièces de quincaillerie, des coffre-forts, des serrures, et la serrurerie d'art. Depuis quelques années il s'est créé de nombreux établissements de serrurerie en France, notamment à Paris et dans les départements de la Somme, des Ardennes et de la Loire.

La serrurerie fine, un peu abandonnée depuis la Renaissance, s'est relevée depuis une vingtaine d'années, par suite de la restauration des monuments anciens et d'un retour vers les bonnes traditions artistiques.

Terrassements et outillage des chantiers.

On peut signaler dans l'industrie des terrassements une tendance marquée à substituer aux brouettes et camions attelés, des wagonnets à traction de machines ou de câbles sur voies ferrées. Ce système a permis, dans beaucoup de cas, d'appliquer avec économie, pour l'élévation ou le transport des matériaux de nouveaux moyens mécaniques, tels que plans inclinés automoteurs, eau ou air comprimé, etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On s'est quelquefois servi, pour l'exécution des grands déblais dans les terrains facilement attaquables, d'*excavateurs* ou dragues à sec, à l'aide desquels la terre déblayée est enlevée par une chaîne à godets. En terrain humide ou vaseux, on a employé aussi des pompes aspirantes spécialement fabriquées dans ce but.

Enfin on peut constater sur les grands chantiers de terrassements une ordonnance plus rationnelle et plus économique du travail, ainsi qu'un meilleur emploi du personnel, de l'outillage et des forces mécaniques.

Les améliorations apportées à l'exécution des travaux de terrassements, se manifestent également dans l'outillage et dans la disposition des échafaudages dressés sur les chantiers de construction d'une certaine importance.

A Paris, la grande élévation des bâtiments et le peu d'espace dont on dispose sur la rue pendant les travaux ont conduit les entrepreneurs à des systèmes d'échafaudages simples et ingénieux. Des monte-charges installés dans d'étroites cages verticales, de petites chèvres à chariots, mus par des locomobiles, élèvent et distribuent le long de la façade et dans l'intérieur de l'édifice les matériaux et les pièces les plus considérables, sans perte de temps et sans gêner la circulation.

Parmi les moyens nouveaux qui permettent d'exécuter les grands travaux dans un temps minimum, nous devons signaler l'emploi tout récent des puissants appareils d'éclairage électrique, à l'aide desquels l'activité des chantiers se trouve considérablement accrue.

Procédés divers de fondations et travaux hydrauliques.

Les travaux hydrauliques comprennent les divers systèmes de fondations sous l'eau, les draguages, les écluses, les quais et les constructions à la mer.

L'application du système de fondations dites pneumatiques s'est universellement répandue et a été l'objet d'intéressants perfectionnements. Ce procédé, limité d'abord à l'exécution de piles tubulaires à enveloppes métalliques (comme au pont de Bordeaux), s'est étendu à la confection de caissons cloisonnés en tôle embrassant tout le massif de la fondation; on peut ainsi exécuter les fondations des grands barrages, des écluses, des murs de quai et des bassins de radoub.

Les dispositions relatives au passage des ouvriers dans les chambres à air comprimé, ainsi qu'au sassement des bennes contenant les déblais ou les matériaux, ont été simplifiées et améliorées de telle sorte que ce système de fondations peut être considéré maintenant comme entré dans la pratique usuelle de l'art de l'ingénieur.

Parmi les procédés relatifs à l'exécution des fondations récemment améliorés, on peut citer : l'emploi des moutons à vapeur pour le battage des pilotis; l'application des colonnes en fonte dites à vis comme supports dans les fonds sablonneux; les perfectionnements apportés aux grands appareils de dragage à vapeur dont la puissance et le rendement mécaniques ont été augmentés.

Dans la construction des écluses établies depuis 1867 il n'y a aucune amélioration importante à signaler.

La question des barrages mobiles n'a pas reçu encore de solution complétement satisfaisante; divers systèmes ont été essayés, mais l'emploi d'aucun d'eux ne s'est généralisé.

La navigation à vapeur ayant à peu près complétement remplacé la naviga-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion à voiles, on a dû exécuter dans tous les pays commerçants des travaux considérables pour améliorer les quais, agrandir les bassins, approfondir les ports et rendre leur accès plus facile.

Parmi les travaux accomplis dans les ports de mer, figure au premier rang l'amélioration des bassins par les dragages. Cette opération, qui s'exécute depuis plusieurs années sur une vaste échelle en Angleterre, commence à s'appliquer en France, où la question de l'aménagement des ports et des voies navigables préoccupe sérieusement nos ingénieurs et l'opinion publique.

Depuis une quinzaine d'années, la construction des tours de phares a été très-améliorée par l'emploi de la maçonnerie en petits matériaux reliés au ciment de Portland. Parmi les principaux ouvrages de ce genre, on peut citer les phares de Saint-Pierre de Royan; celui de Grand-Jardin, près Saint-Mâlo; ceux du Four et de Pierres-Noires, sur les côtes du Finistère, et celui actuellement en construction, dont les fondations ont donné lieu à des difficultés exceptionnelles.

Deux phares métalliques, celui de Palmyre et celui des Roches, ont été établis dans un nouveau système qui consiste en une tour centrale en tôle de faible diamètre, soutenue par trois contre-forts en tôle; au sommet de cette espèce de colonne s'élève la chambre de l'appareil, dont le diamètre est notablement plus grand.

Il résulte des renseignements fournis par la Direction des phares que le nombre de phares ou feux de port existant en France était de 198 en 1855, 291 en 1867 et de 367 en 1878, pour un développement total de côtes de 3,806 kilomètres; de telle sorte que l'espacement moyen des feux, qui en 1855 était encore de 19^{k},200, a été réduit en 1878 à 10^{k},400.

Les mêmes progrès sont à signaler sur la côte d'Algérie, si redoutée des navigateurs avant 1830, et qui maintenant possède 42 phares échelonnés sur un littoral de 1,128 kilomètres.

Sur les 453 phares construits par les ingénieurs français en France, en Algérie et aux colonies, 314 sont en maçonnerie, 79 en tôle et 49 en bois.

Alimentation des villes et travaux d'architecture civile.

Les travaux d'alimentation en eau des villes ont pour objet la captation des eaux potables de sources ou de rivières, leur adduction à l'aide d'aqueducs à écoulement naturel, ou leur élévation avec des machines et leur distribution régulière aux habitants.

Les principales villes de France alimentées par des eaux de sources sont actuellement : le Havre, Rouen, Auxerre, Dijon, Lille, Cambrai, Amiens, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Orléans, Montpellier.

Angers, Nantes, Blois, Tours, Lyon, Marseille, Carcassonne, Troyes, Versailles, Meaux, le Mans, Toulouse, sont alimentés par des eaux de rivières.

A Paris, on a dû recourir à l'emploi des deux systèmes : les sources de la Dhuys et de la Vanne, qui donnent ensemble 120,000 mètres cubes et fourniront bientôt 140,000 mètres cubes par 24 heures, sont destinées à l'alimentation privée. Les services publics sont alimentés par des eaux de rivière simplement dérivées, ou bien élevées au moyen de pompes hydrauliques ou à vapeur. Ce système a l'inconvénient d'exiger deux canalisations distinctes.

Voici un tableau comparatif des quantités d'eau d'alimentation par jour et par habitant pour quelques grandes villes :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

EN FRANCE.		A L'ÉTRANGER.	
Bordeaux	170 lit.	Bruxelles	80 lit.
Marseille	85 »	Glascow	560 »
Nantes	80 »	Hambourg	125 »
Paris	200 »	Rome	300 »
Saint-Étienne	170 »		

L'alimentation d'une grande ville ne peut être considérée comme complète, tant qu'elle n'atteint pas 100 litres d'eau par jour et par habitant.

Il s'est accompli depuis vingt ans, à Paris, de grands progrès dans la distribution des eaux et dans la canalisation des égouts.

En 1857, pour une population de 1,200,000 habitants, la capitale n'avait qu'une alimentation de 60 litres par tête. En 1877 l'Administration a pu fournir une moyenne de 200 litres à une population de 2 millions d'âmes; aujourd'hui le mètre cube d'eau distribuée revient à peine à 10 centimes et les dépenses d'adduction sont presque amorties par les recettes.

Un dixième seulement de la fourniture journalière d'eau est élevé à l'aide de machines dont l'ensemble représente une force de 1,400 chevaux.

En 1856, la capacité des réservoirs de Paris n'était que de 40,000 mètres cubes; aujourd'hui elle est environ 13 fois plus grande, puisqu'elle atteint 502,000 mètres cubes. Depuis vingt ans on a construit 442 kilomètres d'égouts; en tenant compte des branchements de voirie et des égouts particuliers, on arrive à prouver que la canalisation souterraine des égouts de la capitale a un développement de 807 kilomètres; 403 kilomètres de galeries sont en projet et entraîneront une dépense de 33 millions. Cette canalisation une fois terminée représentera une immobilisalion de capital supérieure à 120 millions.

En résumé, on doit constater en France, depuis l'Exposition de 1855, une extension générale dans les services urbains d'assainissement et de voirie, dont la conséquence a été une amélioration réelle dans l'hygiène publique. Les routes et accès des villes ont été multipliés et mieux distribués; les rues, les places publiques, les marchés ont été élargis et assainis par des constructions bien entendues, des fontaines abondantes et de nombreuses plantations.

Sans parler des percements des tunnels du Mont-Cenis et du Saint-Gothard, ni du projet gigantesque de passage sous-marin qui doit relier la France et l'Angleterre, on doit constater que l'art de l'ingénieur en France a étendu ses moyens d'action et amélioré les procédés de presque toutes les industries dont il emprunte le concours.

Quant à l'architecture proprement dite, elle est en possession de tous les éléments et procédés nouveaux qui assurent la repidité, la solidité de la construction et la commodité de tous les aménagements intérieurs, tels que : alimentation d'eau, chauffage et éclairage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOTE III.

Matériel des chemins de fer (1).
(*Classe* 64.)

Le matériel fixe et roulant de nos voies ferrées s'est considérablemert augmenté pendant la période des onze dernières années.

Le tableau ci-après donne, au 1er janvier des années 1866 et 1877 : 1° les longueurs kilométriques concédées; 2° les longueurs kilométriques exploitées; 3° le nombre des locomotives; 4° le nombre des voitures à voyageurs: 5° le nombre des fourgons et wagons composant le matériel des compagnies de chemins de fer français.

Dans cette période de onze années, traversée par la guerre de 1870-1871, le réseau général des chemins de fer français, malgré la perte des lignes d'Alsace-Lorraine, s'est accru de 47 1/2 %, pour les lignes concédées; 65 4/5 % pour les lignes exploitées. Pour le nombre des locomotives, l'accroissement a été de 53 5/6 %: pour le nombre des fourgons et wagons, l'accroissement a été de 69 %.

En examinant successivement chacune des branches de l'exploitation technique, on peut signaler des transformations très-importartes, les unes généralement adoptées par toutes les compagnies françaises, les autres encore à l'état d'expérimentation plus ou moins générale sur les divers réseaux.

Statistique des chemins de fer au 1er janvier 1866 et au 1er janvier 1877.

NOMS DES COMPAGNIES.	KILOMÈTRES concédés.		KILOMÈTRES exploités.		LOCOMOTIVES.		VOITURES.		FOURGONS et wagons.	
	1866.	1877.	1866.	1877.	1866.	1877.	1866.	1877.	1866.	1877.
Nord	1,613	2,161	1,197	1,884	549	1,081	1,032	1,672	13,123	30,484
Est	3,088	3,146	2,512	2,276	762	878	1,962	2,380	16,316	21,657
Ouest	2,520	3,233	1,857	2,255	514	829	1,770	2,484	10,160	14,428
Orléans	4,199	4,356	3,067	4,259	690	863	1,945	2,040	12,299	18,918
Paris-Lyon-Méditerranée	5,817	7,082	3,198	5,308	1,262	1,889	2,408	2,915	35,659	56,823
Midi	2,252	3,007	1,496	2,061	287	476	878	1,329	9,092	14,445
Charentes	446	717	»	500	»	83	»	292	»	1,869
Vendée	120	498	»	247	»	33	»	132	»	1,092
Orléans-Châlons	247	293	»	293	»	26	»	143	»	747
Nord-Est	»	294	»	172	»	»	»	»	»	»
Compagnies diverses	698	1,570	243	790	»	95	»	321	»	2,849
TOTAUX pour les chemins de fer d'intérêt général	21,000	26,357	13,570	20,345	4,064	6,253	9,695	13,706	96,649	163,342
Chemins de fer d'intérêt local	»	4,620	»	2,153						
TOTAL GÉNÉRAL	21,000	30,977	13,570	22,498						

Au 25 février 1878, la longueur totale exploitee était de 23,895 kilomètres, c'est-à-dire 10,000 kilomètres de plus qu'au 1er janvier 1866.

(1) Le réseau de la compagnie de l'Est a été complétement modifié par la perte des lignes d'Alsace-Lorraine.
(2) Le matériel est compté dans le matériel de la compagnie du Nord, qui exploite provisoirement ces lignes.

(1) Voir l'article *Chemins de fer*, t. Ier, pages 99 et 378.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les principales améliorations introduites dans le matériel fixe sont : la substitution de l'acier au fer dans la fabrication des rails; le rapprochement des traverses; la généralisation de l'emploi des éclisses, et les indications fournies par les expériences sur l'emploi des traverses en métal.

On doit encore signaler : L'application du *block system* ou de systèmes équivalents sur des sections à grande fréquentation, ou à la traversée des souterrains; les expériences entreprises sur la conjugaison des signaux et des aiguilles, sur la concentration de la manœuvre des aiguilles; l'emploi de l'électricité pour la manœuvre de divers signaux, sonneries allemandes, mâts, etc.

Pour les machines locomotives, les progrès portent principalement sur l'emploi plus étendu des machines à quatre roues couplées, de grand diamètre, pour le remorquage à grande vitesse de trains plus lourds que les trains anciens.

Si nous entrons dans le détail de la construction des machines, nous signalerons : 1° La substitution de l'acier au fer dans un grand nombre de pièces de l'organisme des machines; 2° la substitution du changement de marche à vis au changement de marche à levier: 3° l'emploi de la contre-vapeur; 4° les roues forgées en fer estampées d'une seule pièce; 5° enfin l'appropriation des foyers à la consommation du combustible tout venant.

Plusieurs compagnies poursuivent les études relatives à l'emploi des freins continus. Les voitures à voyageurs nouvellement construites ont été étudiées en vue d'augmenter à la fois les dimensions dans tous les sens de la place offerte à chaque personne et le confort dans le siége; les garnitures, le mode de suspension sur le châssis d'attelage ont été l'objet de perfectionnements sérieux. Des voitures à quatre compartiments reposant sur un châssis très-long sont déjà en circulation sur un grand réseau; d'autres lignes ont adopté les voitures-dortoir dites *sleeping car*. Enfin nous devons signaler un progrès considérable : le chauffage des voitures de toutes classes : cette innovation a été inaugurée sur toutes les lignes au commencement du dernier hiver. La substitution du fer au bois a fait de nouveaux progrès dans la construction des wagons à marchandises.

Dans le service des gares, on a introduit l'usage de chariots tarés pour le transport jusqu'au wagon, sans manutention, des bagages des voyageurs, et celui de chariots transbordeurs à vapeur pour le mouvement des wagons. Les renseignements qui précèdent s'appliquent aux chemins de fer à voie ordinaire; dans cette même période, de 1866 à 1877, on a poursuivi les études relatives aux *chemins de fer à voie étroite* et aux *tramways*. Un matériel nouveau de locomotives, de wagons et de voitures à voyageurs s'est créé avec des types spéciaux pour l'exploitation de ces deux espèces de lignes ferrées.

FIN DU TOME PREMIER.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires