

Titre général : Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale

Titre du volume : 1903. 1er semestre

Mots-clés : Progrès scientifique et technique ; Innovations * France * 1900-1945

Description : 936 p. : ill. ; 26 cm

Adresse : Paris : Société d'encouragement pour le développement de l'industrie nationale, 1903

Cote de l'exemplaire : BSPI.105

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?BSPI.105>

S. E. I. N.
Bibliothèque

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR
L'INDUSTRIE NATIONALE

PSI - 105

PUBLIÉ
SOUS LA DIRECTION DU SECRÉTAIRE DE LA SOCIÉTÉ
M. ED. COLLIGNON

1903 (1^{er} Semestre)

Pour faire partie de la Société, il faut être présenté par un membre et être nommé par le Conseil d'administration.

(Extrait du Règlement.)



PARIS

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ, RUE DE RENNES, 44

1903

SECRETARIAT DE LA SOCIÉTÉ

RÉDACTION DU BULLETIN

Communications, dépôts, renseignements, abonnements au *Bulletin*
tous les jours, de 2 à 4 heures.

BULLETIN
DE
LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

CONSEIL D'ADMINISTRATION

LISTE DES MEMBRES TITULAIRES, DES MEMBRES HONORAIRES DU CONSEIL
ET DES MEMBRES CORRESPONDANTS, ARRÊTÉE DANS LA SÉANCE DES ÉLECTIONS
DU 9 JANVIER 1903 POUR L'ANNÉE 1903

BUREAU

Année
de l'entrée
au Conseil.

Président.

1894. — LINDER (C. *), inspecteur général des mines, en retraite, 38, rue du Luxembourg (VI^e arr^t).

Vice-présidents.

1885. — LE CHATELIER (Henri) (*), ingénieur en chef des mines, professeur au Collège de France, rue Notre-Dame-des-Champs, 73 (VI^e arr^t).

1896. — LINDET (*), professeur à l'Institut national agronomique, 108, boulevard Saint-Germain (VI^e arr^t).

1893. — VIOLLE (O. *), membre de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers, 89, boulevard Saint-Michel (V^e arr^t).

1879. — VOISIN BEY (O. *), inspecteur général des ponts et chaussées, en retraite, rue Scribe, 3 (IX^e arr^t).

Secrétaire.

1876. — COLLIGNON (Ed.) (O. *), inspecteur général des ponts et chaussées en retraite, 6, rue de Seine (VI^e arr^t).

Trésorier.

1868. — GOUPIL DE PRÉFELN (*), boulevard Haussmann, 77 (VIII^e arr^t).

Année
de l'entrée
au Conseil.

Censeurs.

1881. — SIMON (E.) (*), ingénieur, boulevard du Montparnasse, 89 (VI^e arr^t).
1884. — BORDET (*), ancien inspecteur des finances, administrateur de la Compagnie de Châtillon et Commentry, boulevard Saint-Germain, 181 (VII^e arr^t).

Commission des Fonds.

1884. — BORDET (*), ancien inspecteur des finances, administrateur de la Compagnie de Châtillon et Commentry, boulevard Saint-Germain, 181, *Président* (VII^e arr^t).
1868. — GOUPIL DE PRÉFELN (*), boulevard Haussmann, 77 (VIII^e arr^t).
1876. — PÉREIRE (Henry), ingénieur des arts et manufactures, boulevard de Courcelles, 33 (VIII^e arr^t).
1887. — FOURET (*), examinateur d'admission à l'École polytechnique, avenue Carnot, 4 (XVII^e arr^t).
1888. — D'EICHTHAL (Eug.), administrateur de la Compagnie du chemin de fer du Midi, boulevard Malesherbes, 144 (XVII^e arr^t).
1891. — HEURTEAU (O. *), ingénieur en chef des mines, directeur de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, rue de Clichy, 17 (IX^e arr^t).
1893. — DAUBRÉE (Lucien) (O. *), directeur général des eaux et forêts, 78, rue de Varenne (VII^e arr^t).
1899. — DUMONT (O. *), administrateur de la Compagnie des glaces et produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey, 44, rue des Mathurins (VIII^e arr^t).
1900. — LAVOLLÉE (J.), avocat à la Cour d'appel, 3, avenue du Coq (IX^e arr^t).
1902. — HONORÉ (Frédéric) (*), ingénieur des arts et manufactures, administrateur délégué de la société du Louvre, 75, rue de Lille (VII^e arr^t).

Comité des Arts mécaniques.

1869. — HATON DE LA GOUPILLIÈRE (G. O. *), membre de l'Institut, vice-président du Conseil général des mines, rue de Vaugirard, 56, *Président* (VI^e arr^t).
1876. — COLLIGNON (Ed.) (O. *), inspecteur général des ponts et chaussées, en retraite, rue de Seine, 6 (VI^e arr^t).
1881. — SIMON (E.) (*), ingénieur, boulevard du Montparnasse, 89 (VI^e arr^t).
1884. — BRÜLL (*), ingénieur, ancien élève de l'École polytechnique, boulevard Malesherbes, 117 (VIII^e arr^t).
1890. — BIENAYMÉ (C. *), directeur des constructions navales, en retraite, correspondant de l'Institut, 14, rue Revel, à Toulon (Var).
1891. — IMBS (*), professeur au Conservatoire des arts et métiers, rue Greuze, 20 (XVI^e arr^t).
1891. — SAUVAGE (O. *), ingénieur en chef des mines, professeur à l'École supérieure des mines, rue Eugène-Flachat, 14 (XVII^e arr^t).
1893. — FLAMANT (O. *), inspecteur général des ponts et chaussées, 11, grande rue, à Bourg-la-Reine.

Année
de l'entrée
au Conseil.

1894. — LINDER (C. ✱), inspecteur général des mines, en retraite, 38, rue du Luxembourg (VI^e arr^t).
 1895. — BOURDON (Édouard) (O. ✱), constructeur-mécanicien, rue du Faubourg du Temple, 74 (XI^e arr^t).
 1895. — ROZÉ (✱), répétiteur d'astronomie à l'École polytechnique, 62, rue du Cardinal-Lemoine (V^e arr^t).
 1897. — BARBET, ingénieur, 53, avenue de Paris, à Versailles (Seine-et-Oise).
 1897. — DILIGEON, constructeur-mécanicien, 23 bis, avenue Niel (XVII^e arr^t).
 1898. — MASSON (O. ✱), ingénieur civil, directeur en congé hors cadre au Conservatoire des arts et métiers, 22, rue Alphonse de Neuville (XVII^e arr^t).
 1900. — WALCKENAER (O. ✱), ingénieur en chef des mines, 218, boulevard Saint-Germain (VII^e arr^t).
 1901. — RATEAU (✱), professeur à l'École des mines, 105, quai d'Orsay (VII^e arr^t).

Comité des Arts chimiques.

1872. — TROOST (C. ✱), membre de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences, rue Bonaparte, 84, *Président* (VI^e arr^t).
 1862. — DE LUYNES (Victor) (O. ✱), professeur au Conservatoire des arts et métiers, rue de Bagnoux, 16 (VI^e arr^t).
 1877. — BÉRARD (P.) (O. ✱), membre du Comité consultatif des arts et manufactures, rue Casimir-Delavigne, 2 (VI^e arr^t).
 1880. — VINCENT (C.) (✱), ingénieur, professeur à l'École centrale des arts et manufactures, boulevard Saint-Germain, 28 (V^e arr^t).
 1880. — JUNGLEISCH (✱), professeur au Conservatoire des arts et métiers et à l'École de pharmacie, membre de l'Académie de médecine, rue du Cherche-Midi, 74 (VI^e arr^t).
 1883. — CARNOT (Adolphe) (C. ✱), membre de l'Institut, inspecteur général des mines, directeur de l'École nationale supérieure des mines, boulevard Saint-Michel, 60 (VI^e arr^t).
 1884. — CAILLETET (O. ✱), membre de l'Institut, boulevard Saint-Michel, 75 (V^e arr^t).
 1885. — LE CHATELIER (Henri) (✱), ingénieur en chef des mines, professeur au Collège de France, rue Notre-Dame-des-Champs, 73 (VI^e arr^t).
 1885. — BIVER (Hector) (✱), administrateur de la Compagnie de Saint-Gobain, rue Meissonier, 8 (XVII^e arr^t).
 1885. — APPERT (Léon) (O. ✱), ingénieur manufacturier, 50, rue de Londres (VIII^e arr^t).
 1889. — VIELLE (O. ✱), ingénieur en chef des poudres et salpêtres, 12, quai Henri IV (IV^e arr^t).
 1895. — DUCLAUX (O. ✱), membre de l'Institut, directeur de l'Institut Pasteur, avenue de Breteuil, 39 (VII^e arr^t).
 1895. — BUQUET (O. ✱), directeur de l'École centrale des arts et manufactures, 1, rue Montgolfier (III^e arr^t).
 1898. — LIVACHE, ingénieur civil des mines, 24, rue de Grenelle (VII^e arr^t).

Année
de l'entrée
au Conseil.

1898. — MOISSAN (C. ✱), membre de l'Institut, professeur à l'École de pharmacie, 7, rue Vauquelin (V^e arr^t).
1900. — BACLÉ (✱), ingénieur civil des mines, 57, rue de Châteaudun (IX^e arr^t).

Comité des Arts économiques.

1876. — SEBERT (H.) (général) (C. ✱), membre de l'Institut, rue Brémontier, 14, *Président* (XVII^e arr^t).
1866. — BOUILHET (Henri) (O. ✱), ingénieur-manufacturier, rue de Bondy, 56 (X^e arr^t).
1876. — FERNET (E.) (O. ✱), inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire (VI^e arr^t).
1883. — BARDY (O. ✱), directeur honoraire du service scientifique des contributions indirectes, rue du Général-Foy, 32 (VIII^e arr^t).
1883. — MASCART (G. O. ✱), membre de l'Institut, professeur au Collège de France, directeur du Bureau central météorologique, rue de l'Université, 176 (VII^e arr^t).
1883. — LAUSSEDAT (G. O. ✱), colonel du génie en retraite, membre de l'Institut, directeur honoraire du Conservatoire des arts et métiers, 3, av. de Messine (VIII^e arr^t).
1885. — PRUNIER (L.) (✱), professeur à l'École supérieure de pharmacie, membre de l'Académie de médecine, 47, quai de la Tournelle (V^e arr^t).
1886. — BECQUEREL (Henri) (O. ✱), membre de l'Institut, 6, rue Dumont-d'Urville (XVI^e arr^t).
1887. — CARPENTIER (O. ✱), ingénieur, ancien élève de l'École polytechnique, rue du Luxembourg, 34 (VI^e arr^t).
1888. — RAYMOND (C. ✱), administrateur honoraire des Postes et des Télégraphes, 36, rue Washington (VIII^e arr^t).
1893. — FONTAINE (O. ✱), ingénieur civil, 58, rue Notre-Dame-des-Champs (VI^e arr^t).
1893. — VIOLLE (O. ✱), membre de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers, boulevard Saint-Michel, 89 (V^e arr^t).
1897. — LYON (O. ✱), directeur de la fabrique de pianos Pleyel et Wolf, 22, rue Rochecouart (IX^e arr^t).
1900. — TOULON (Paul) (✱), ingénieur en chef des ponts et chaussées, attaché à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, 75, rue Madame (VI^e arr^t).
1902. — HARLÉ (✱), ingénieur des ponts et chaussées de la maison Sautter-Harlé et C^{ie}, 12, rue Pierre-Charron (XVI^e arr^t).
1902. — HILLAIRET (✱), ingénieur, constructeur, 22, rue Vicq d'Azir (X^e arr^t).

Comité d'Agriculture.

1866. — TISSERAND (Eug.) (G. O. ✱), conseiller maître à la Cour des Comptes, rue du Cirque, 17, *Président* (VIII^e arr^t).
1866. — HEUZÉ (G.) (O. ✱), inspecteur général honoraire de l'agriculture, rue Berthier, 41, à Versailles (Seine-et-Oise).

Année
de l'entrée
au Conseil.

1879. — RISLER (C. ✱), directeur honoraire de l'Institut national agronomique, rue de Rennes, 106 bis (VI^e arr^t).
1881. — LAVALARD (Ed.) (O. ✱), membre du Conseil supérieur de l'agriculture, maître de conférences à l'Institut national agronomique, 54 bis, rue Cardinet (XVII^e arr^t).
1882. — MÜNTZ (Achille) (O. ✱), membre de l'Institut, professeur à l'Institut national agronomique, rue de Condé, 14 (VI^e arr^t).
1882. — PRILLIEUX (E.) (O. ✱), membre de l'Institut, rue Cambacérès, 14 (VIII^e arr^t).
1884. — MURET (✱), membre de la Société nationale d'agriculture de France, place du Théâtre-Français, 4 (I^{er} arr^t).
1885. — Le baron THÉNARD (Arnould) (O. ✱), membre de la Société d'agriculture de France, place Saint-Sulpice, 6 (VI^e arr^t).
1888. — LIÉBAUT (O. ✱), président honoraire de la Chambre syndicale des ingénieurs-constructeurs-mécaniciens, avenue Marceau, 72 (VIII^e arr^t).
1896. — LINDET (✱), professeur à l'Institut national agronomique, 108, boulevard Saint-Germain VI^e arr^t).
1897. — GRANDEAU (C. ✱), inspecteur général des Stations agronomiques, 4, avenue La Bourdonnais (VII^e arr^t).
1899. — BÉNARD (O. ✱), président de la Société d'agriculture de Meaux, 81, rue de Maubeuge (X^e arr^t).
1901. — RINGELMANN (✱), directeur de la station d'essais de machines, 47, rue Jenner (XIII^e arr^t).
1901. — TÉTARD (S.) (✱), ancien président du Syndicat des fabricants de sucre, boulevard Magenta, 91 (X^e arr^t).
1901. — HITIER (Henri), ingénieur agronome, maître de conférences à l'Institut national agronomique, 23, rue du Cherche-Midi (VI^e arr^t).
- N...

Comité des Constructions et des Beaux-Arts.

1876. — ROSSIGNEUX (Ch.) (✱), architecte, quai d'Anjou, 23, *Président* (IV^e arr^t).
1876. — BUNEL (H.) (O. ✱), ingénieur, architecte en chef de la Préfecture de police, rue du Rocher, 67 (VIII^e arr^t).
1876. — DAVANNE (O. ✱), président du comité d'administration de la Société française de photographie, rue des Petits-Champs, 82 (II^e arr^t).
1876. — Le comte DUFRESNE DE SAINT-LÉON (O. ✱), inspecteur général de l'Université, rue Pierre-Charron, 61 (VIII^e arr^t).
1876. — GUILLAUME (Eug.) (C. ✱), membre de l'Institut, directeur de l'Académie de France, à Rome.
1879. — HUET (E.) (O. ✱), inspecteur général des ponts et chaussées, boulevard Raspail, 12 (VII^e arr^t).
1879. — VOISIN BEY (O. ✱), inspecteur général des ponts et chaussées, en retraite, rue Scribe, 3 (IX^e arr^t).

Année
de l'entrée
du Conseil.

1885. — ROMILLY (Félix de), ancien président de la Société française de physique, avenue Montaigne, 25 (VIII^e arr^t).
1892. — FROMENT-MEURICE (*), fabricant d'orfèvrerie, 46, rue d'Anjou (VIII^e arr^t).
1894. — PECTOR (Sosthènes), membre du conseil d'administration de la Société française de photographie, 9, rue Lincoln (VIII^e arr^t).
1895. — BOUGUEREAU (C. *), artiste peintre, membre de l'Institut, rue Notre-Dame-des-Champs, 75 (VI^e arr^t).
1895. — BELIN (H.) (*), éditeur, 52, rue de Vaugirard (VI^e arr^t).
1898. — BONAPARTE (prince Roland), 10, avenue d'Iéna (XVI^e arr^t).
1899. — LARIVIÈRE (Pierre) (*), ingénieur civil des mines, 164, quai Jemmapes (X^e arr^t).
1899. — PILLET (J.) (*), professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, 18, rue Saint-Sulpice (VI^e arr^t).
- N...

Comité du Commerce.

1864. — LAVOLLÉE (Ch.) (*), ancien préfet, vice-président honoraire de la Société, 79, rue de la Tour (XVI^e arr^t). *Président.*
1869. — ROY (Gustave) (C. *), ancien président de la Chambre de commerce de Paris, membre du Comité consultatif des arts et manufactures, rue de Tilsitt, 12 (VIII^e arr^t).
1887. — CHEYSSON (O. *), membre de l'Institut, inspecteur général des ponts et chaussées, 4, rue Adolphe-Yvon (XVI^e arr^t).
1892. — GRUNER (E.) (O. *), ingénieur civil des mines, secrétaire du Comité central des houillères de France, rue Férou, 6 (VI^e arr^t).
1896. — LEVASSEUR (O. *), membre de l'Institut, 26, rue Monsieur-le-Prince (VI^e arr^t).
1897. — PAULET (O. *), directeur au Ministère du Commerce, 49, rue Vineuse (XVI^e arr^t).
1897. — DUPUIS (*), ingénieur civil des mines, 18, avenue Jules-Janin (XVI^e arr^t).
1899. — LALANCE (Auguste) (*), 195, boulevard Malesherbes (XVII^e arr^t).
1899. — LÉVY (Raphaël-Georges) (*), 80, boulevard de Courcelles (XVII^e arr^t).
1901. — LEGRAND (Victor) (O. *), ancien président du Tribunal de commerce de la Seine, 115, rue Lafayette (X^e arr^t).

Agent général de la Société.

- M. RICHARD (Gustave) (*), ingénieur civil des mines, rue de Rennes, 44 (VI^e arr^t),
Téléph. 270.28.

Commission du Bulletin.

- MM. COLLIGNON, secrétaire; DAUBRÉE, FOURET, HATON DE LA GOUPILLIÈRE, IMBS, BÉRARD, LE CHATELIER, SEBERT, BARDY, GRANDEAU, LINDET, BELIN, HUET, GRUNER, Ch. LAVOLLÉE.

Année
de l'entrée
au Conseil.

MEMBRES HONORAIRES DU CONSEIL

Vice-Présidents.

1864. — LAVOLLÉE (Ch.) (*), président du Comité du commerce, rue de la Tour, 79.

Comité des Arts mécaniques

1884. — LÉVY (Maurice) (O. *), membre de l'Institut, professeur au Collège de France, avenue du Trocadéro, 15.

1891. — RICHARD (Gustave) (*), ingénieur civil des mines, agent général de la Société.

1898. — BOUTILIER (*), inspecteur général des ponts et chaussées, 24, rue de Madrid.

Comité d'Agriculture.

1901. — M. SCHLÖESING (O. *), membre de l'Institut, 67, quai d'Orsay.

Comité du Commerce.

1869. — CHRISTOFLE (Paul) (O. *), manufacturier, rue de Bondy, 56.

1873. — MAGNIER (E.) (*), négociant, rue de l'Arcade, 16.

Comité des Arts économiques.

1891. — ROUART (Henri) (O. *), ingénieur-constructeur, 34, rue de Lisbonne (VIII^e arr^t).

1861. — LE ROUX (F.-P.) (O. *), professeur à l'École de pharmacie, boulevard du Montparnasse, 120 (XIV^e arr^t).

MEMBRES CORRESPONDANTS

Comité des Arts mécaniques.

Correspondants français.

BIETRIX, directeur de l'usine de la Chaléassière, à Saint-Étienne (Loire).

BUXTORF, mécanicien, à Troyes (Aube).

CURIÈRES DE CASTELNAU (de), ingénieur en chef des mines, 15, avenue Bosquet.

Correspondants étrangers.

CHAPMAN (Henry), ingénieur-conseil, à Londres.

DWELSHAUVERS-DERY, ingénieur, professeur à l'Université de Liège.

SELLERS (W.), constructeur-mécanicien, à Philadelphie (États-Unis).

HABICH, directeur de l'École des mines, à Lima.

THURSTON, professeur à la Cornell University d'Ithaca (État de New-York).

WALTHER-MEUNIER, ingénieur en chef de l'Association des propriétaires de machines à vapeur, à Mulhouse.

Comité des Arts chimiques.*Correspondants français.*

GUIMET fils, manufacturier, à Lyon.
PECHINEY, directeur de la Société des produits chimiques d'Alais.
MANHÈS, directeur de la Société métallurgique du cuivre, à Lyon.
KESSLER, fabricant de produits chimiques, à Clermont-Ferrand.
DARBLAY, manufacturier, à Essonnes (Seine-et-Oise).
BOIRE (Émile), administrateur des sucreries de Bourdon (Puy-de-Dôme).
PETITPONT (Gustave), manufacturier, à Choisy-le-Roi.
BRUSTLEIN, directeur des usines Jacob Holtzer et C^{ie}, à Unieux (Loire).
HALLER, membre de l'Institut, professeur à la Sorbonne.

Correspondants étrangers.

ABEL (Frédéric-Auguste), président de la commission gouvernementale des explosifs,
2, Whitehall Court S. W., à Londres.
LOWTHIAN BELL, chimiste-manufacturier, à Rounton-Grange, Northallerton (Angleterre).
CANIZZARO, professeur à l'Université de Rome.
MENDELEEF, professeur de l'Université de Saint-Petersbourg.
ROSCOE (Henry), Enfield 10, Bramham garden's, South-Kensington (S.-W.). Londres.
SOLVAY, fabricant de produits chimiques, à Bruxelles.

Comité des Arts économiques.*Correspondants français.*

LOREAU, manufacturier, à Briare.
CHARDONNET (comte de), ancien élève de l'École polytechnique.

Correspondants étrangers.

FRANKLAND, professeur de chimie à l'École royale des mines, correspondant de l'Académie des sciences, 14, Lancastergate, Hyde Park, à Londres.
CROOKES (William), directeur du journal *The Chemical News*, à Londres.
PREECE, ingénieur consultant des télégraphes de l'État, à Londres.
ELIHU-THOMSON, électricien en chef de la Société *Thomson-Houston*, à Lynn, Mass. (E. U. A.).
STEINLEN, ingénieur-constructeur, à Mulhouse.

Comité d'Agriculture.*Correspondants français.*

LE CLER, ingénieur des polders de la Vendée.
MARÈS (Henri), correspondant de l'Académie des sciences, à Montpellier.

COCHARD, président de la Société d'agriculture de Montmédy.
MILLIAU (Ernest), chimiste, à Marseille.
BRIOT, inspecteur des forêts, à Chambéry (Savoie).

Correspondants étrangers.

JUHLIN-DANNFELT, Sibyllegatan, 43, Stockholm.
GILBERT (D^r), membre de la Société royale de Londres, à Rothamstead (Angleterre).

Comité du Commerce.

Correspondants français.

WALBAUM, président de la Chambre de commerce de Reims.
BESSONNEAU, manufacturier, consul de Belgique, à Angers.

Correspondants étrangers.

HEMPTINE (comte Paul de), à Gand (Belgique).
MEVISSSEN, conseiller intime du commerce, ancien président de la Chambre de commerce de Cologne.
DALTON (Esq.), directeur du Patent-Office, à Londres.
AURELIO CAPELLO, capitaine d'artillerie, ingénieur géographe, Calle de Jorge Juan, à Madrid.
BODIO (le commandeur), directeur général de la statistique du royaume d'Italie, à Rome.
GIFFIN, directeur de la statistique du Board of Trade, à Londres.
CARROLL (D. Wright), commissaire du département du travail, à Washington (États-Unis).

Comité des Constructions et des Beaux-Arts.

Correspondant étranger.

CARLOS RELVAS, à Collega (Portugal).

AGRICULTURE

RAPPORT présenté, au nom du *Comité d'Agriculture*, par **M. Prillieux**, sur l'ouvrage de **MM. Denaiffe et Sirodot**, intitulé « *l'Avoine* ».

L'ouvrage considérable publié par MM. Denaiffe et Sirodot sur l'avoine fournit sur la plante et ses variétés, sa culture et son emploi les renseignements les plus intéressants et les plus complets. C'est une œuvre énorme une sorte de bibliothèque spéciale consacrée exclusivement à l'avoine.

L'histoire naturelle de l'avoine, l'étude, la classification de ses variétés, leurs caractères distinctifs mis en lumière par d'excellentes figures, la discussion des mérites relatifs de chacune d'elles au point de vue cultural constituent un livre complet des plus instructifs, fait dans des conditions exceptionnelles par des auteurs disposant de vastes champs d'expériences dans lesquels ils ont pu étudier de très près toutes les variétés connues.

Cette partie excellente et tout à fait originale est suivie d'un très bon traité général de la culture de l'avoine, très complet, très documenté et illustré de figures où sont étudiés le sol et sa préparation, les fumures, la préparation des semences, les semis, la moisson, l'emmagasinement des gerbes, le battage et les rendements.

Puis vient une étude fort importante sur l'examen et le contrôle de la qualité des grains et leur emmagasinage agricole, commercial et industriel. Docks et entrepôts.

Les maladies de l'avoine, les insectes qui l'attaquent, l'emploi de l'avoine pour l'alimentation des animaux sont traités très complètement dans des chapitres spéciaux.

Enfin, une dernière partie fort étendue est consacrée au commerce de l'avoine, commerce intérieur et extérieur, commerce dans les ports français et étrangers, contrats et marchés de ventes, commissionnaires, courtiers, warrants, etc.

Dans cet immense livre de 850 pages, toutes les parties sont bien ordonnées, traitées avec une extrême conscience et remplies de documents impor-

tants et bien choisis. En bien des points c'est une œuvre originale. Telle est l'étude comparée des variétés d'avoine et l'appréciation de la valeur particulière de chacune d'elles au point de vue de la culture, étude faite de première main par des auteurs ayant sur ce sujet une compétence exceptionnelle et une longue expérience.

L'excellent livre de MM. Denaille et Sirodot mérite d'être signalé aux agriculteurs; en conséquence, votre Comité d'Agriculture vous propose de remercier ces messieurs de leur intéressante communication et d'insérer le présent rapport au *Bulletin*.

Signé : PRILLIEUX, rapporteur.

Lu et approuvé en séance le 9 janvier 1903.

ARTS CHIMIQUES

RAPPORT présenté par **M. Ach. Livache**, au nom du *Comité des Arts chimiques*, sur le procédé de **M. Coinon** pour le *blanchiment de l'ivoire et de l'os*.

Dans ces dernières années, la fabrication de l'eau oxygénée a pris un très grand développement; c'est ainsi que dans une communication faite à la Société, M. Bloche montrait qu'il existait, en 1880, deux usines fabriquant 600 000 kilogrammes par an, tandis qu'en 1900, il en existait dix, fabriquant 6 500 000 kilogrammes; en même temps, le prix du kilogramme, qui variait de 1 fr. 50 à 3 francs, s'abaissait entre 0 fr. 50 et 0 fr. 25.

Au nombre des emplois de l'eau oxygénée, un des plus importants concerne le blanchiment des matières organiques : la soie, la laine, le coton, les plumes, les crins, l'os et l'ivoire, etc. Mais si l'on sait qu'il suffit de mettre en contact ces substances avec de l'eau oxygénée pour obtenir un blanchiment rapide, par contre on manque de renseignements sur les conditions dans lesquelles il faut se placer pour obtenir des résultats tout à fait satisfaisants; lorsque, en effet, on ne prend pas certaines précautions, l'action est tellement énergique qu'il en résulte une altération profonde de la matière organique. C'est donc avec grand intérêt que nous avons étudié le procédé de blanchiment de l'ivoire et de l'os que soumet à l'examen de la Société M. Coinon, un des industriels français qui pratique le blanchiment avec une incontestable supériorité.

M. Coinon blanchit l'ivoire et l'os en vue de leur emploi dans les claviers des pianos et des orgues; d'après les renseignements qu'il nous a fournis, sa fabrication annuelle atteint 13 à 14 000 jeux, chaque jeu constituant un clavier complet, dont deux tiers en ivoire et un tiers en os; il fournit plus de la moitié de la consommation française, et satisfait, en outre, à de nombreuses commandes venant de l'étranger.

L'ivoire employé fut acheté sur les marchés de Londres et d'Anvers. Sur le premier de ces marchés, on trouve les défenses d'éléphant provenant

d'Égypte, de Mozambique, de Zanzibar et des Indes, constituant les ivoires *doux* qui donnent des plaquettes d'un ton plus mat que les défenses achetées sur le marché d'Anvers, provenant du Gabon, du Congo et du Sénégal et constituant les ivoires *durs* dont les plaquettes sont plus transparentes, ce qui est une cause d'infériorité parce qu'elles laissent voir les taches ou les défauts du bois sur lequel on les applique.

On n'achète que les défenses de grandeur moyenne, pesant au maximum 40 kilogrammes et se vendant environ 30 à 35 francs le kilogramme pour les ivoires doux, et 25 francs pour les ivoires durs. Au-dessus de 40 kilogrammes le prix des défenses s'élève beaucoup et l'on n'aurait aucun avantage à les employer dans une fabrication où il suffit d'avoir des plaquettes de petites dimensions.

Les défenses d'éléphant ne sont pas recouvertes d'émail, mais seulement d'une couche de ciment nommée *croûte* ou *écorce*; le milieu ou *cœur* est occupé par un canal médullaire. C'est la partie intermédiaire, constituée par une variété spéciale de dentine, formant des couches concentriques, qui est seule employée pour la fabrication des touches de clavier; la croûte est laissée pour la coutellerie et la partie du cœur est inutilisable.

L'os employé provient uniquement du fémur de bœuf, préalablement bien dégraissé.

Le travail commence par le passage à la scie circulaire des os ou des défenses découpées en tronçons de 20 centimètres environ, afin d'en obtenir des plaquettes très minces que l'on recoupe suivant les dimensions voulues. La scie circulaire, animée d'un mouvement très rapide, a une épaisseur qui ne dépasse pas 0^{mm},2; un jet d'eau arrive d'une manière continue sur la pièce à découper et, dans ces conditions, on obtient des plaquettes dont la surface, parfaitement lisse, n'a besoin d'aucun polissage ultérieur.

Ce sont ces plaquettes d'ivoire ou d'os qu'il s'agit de blanchir, car elles présentent une teinte jaunâtre qui se fonce avec le temps, sauf pour l'ivoire le plus estimé, celui de Guinée, qui, au contraire, devient blanc et opaque.

Autrefois, d'après les indications de Spengler, de Copenhague, on se contentait, après avoir brossé les plaquettes avec de la pierre ponce calcinée et délayée dans un peu d'eau, de les exposer à l'action de la lumière solaire, sous une cloche de verre; mais le procédé était très lent et nécessitait un stock énorme de marchandises.

Plus tard, Cloez avait indiqué un mode de blanchiment plus complet et plus rapide; après une immersion suffisante dans l'essence de térébenthine

ou de citron, on exposait les plaquettes à la lumière solaire, en évitant tout contact d'un excès d'essence, sinon la matière était promptement attaquée par l'essence oxydée. C'est le procédé qui fut d'abord employé, vers 1867, par M. Ch. Grandon, prédécesseur de M. Coinon; il donnait un blanchiment rapide, mais l'ivoire ou l'os ainsi blanchis reprenaient assez vite la couleur jaune primitive.

C'est en 1882 que notre collègue, M. Lyon, obtint des résultats, déjà très satisfaisants, à l'usine Pleyel-Wolff, en remplaçant l'essence de térébenthine par l'eau oxygénée dont l'emploi comme agent de blanchiment s'était introduit dans l'industrie vers 1879.

Enfin, M. Coinon songea à combiner l'exposition à la lumière solaire et l'action de l'eau oxygénée.

Les plaquettes d'ivoire ou d'os, encore humides, au sortir du découpage, sont placées sur des canevas occupant la partie médiane de boîtes en bois; ces boîtes, dont le couvercle supérieur est formé par une plaque de verre, sont disposées en plein air, de manière à bien recevoir la lumière solaire. Après un séjour variant de 30 jours en hiver à 20 jours en été, les plaquettes, que l'on a eu le soin de retourner plusieurs fois, sont sèches et déjà sensiblement décolorées.

C'est seulement alors qu'elles sont introduites dans de grands bocaux en verre, placés dans un atelier à toiture vitrée pour profiter encore de la lumière solaire, et recouvertes d'eau oxygénée faible, à 6 volumes; la température est maintenue à 30-35° C. L'os et l'ivoire continuent à se blanchir, en même temps que ce dernier prend de la transparence. La durée de ce traitement est de 6 jours environ.

On reporte les plaquettes à la lumière solaire, dans les boîtes vitrées, où on les laisse sécher pendant 6 à 7 jours, et on leur fait subir un second traitement dans de l'eau oxygénée plus énergique, à 12 ou 14 volumes, à 35° C., pendant un temps très variable, un à trois jours au plus, pour éviter l'action corrosive d'une eau aussi concentrée; elles se décolorent alors dans toute leur masse.

Enfin, on les reporte dans les boîtes vitrées et on les laisse se sécher complètement à la lumière solaire pendant 3 ou 4 jours.

En somme, toutes ces opérations ont demandé près de deux mois, mais on obtient ainsi des plaquettes d'os ou d'ivoire parfaitement décolorées dans toute leur masse et qui ont le grand avantage de ne pas reprendre, avec le temps, une teinte jaune. Les plaquettes d'os d'une épaisseur ne dépassant

pas 2 millimètres, sont opaques et d'un blanc légèrement crémeux ; celles en ivoire, moins épaisses par raison d'économie, ont plus de transparence, ce qui donne un blanc un peu bleuté.

Un jeu de plaquettes en os se vend 10 francs ; au contraire, un jeu de plaquettes en ivoire varie de 10 à 44 francs suivant que l'ivoire est plus *graineux* ou plus rapproché de la croûte, aussi n'en compte-t-on pas moins de trente qualités différentes.

M. Coinon nous a donné les renseignements les plus complets sur ce procédé de blanchiment ; il a seulement gardé le silence sur la nature de l'eau oxygénée qu'il emploie et à laquelle sont dues, en particulier, la perfection et la stabilité du blanchiment. Certes, la fabrication de l'eau oxygénée est simple ; elle consiste à décomposer le bioxyde de baryum par un acide que l'on neutralise ensuite. Mais si beaucoup d'acides, chlorhydrique, fluorhydrique, oxalique, phosphorique et même carbonique, peuvent être employés dans la préparation de l'eau oxygénée, le choix de cet acide a une grande importance suivant les diverses matières sur lesquelles on la fera agir ; c'est ainsi, dit-on, que pour l'ivoire il est essentiel d'éviter la présence de l'acide chlorhydrique. De même, l'agent employé pour neutraliser l'excès d'acide n'a pas moins d'importance ; avec le silicate de soude, par exemple, on obtient des blancs beaucoup plus brillants qu'avec l'ammoniaque ou la soude. Enfin, le degré de neutralisation a une influence tant sur l'attaque de la matière organique que sur la rapidité d'action de l'eau oxygénée. Il y a là un problème complexe, variable suivant les matières que l'on se propose de décolorer, dont la solution constitue précisément la supériorité du travail d'un industriel et qui est, à juste titre, son secret.

Mais ce qui nous a semblé particulièrement intéressant, c'est la combinaison judicieuse de deux procédés très différents : action de la lumière solaire et action d'un agent chimique. Ce mode de travail pourra peut-être suggérer des applications dans d'autres industries de blanchiment, et c'est à ce titre que votre Comité des Arts chimiques a l'honneur de vous proposer de remercier M. Coinon de toutes les explications qu'il a bien voulu fournir à la Société d'Encouragement et de décider l'insertion du présent rapport dans le *Bulletin* de la Société.

Signé : A. LIVACHE, rapporteur.

Lu et approuvé en séance le 9 janvier 1903.

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT fait par **M. E. Bourdon**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*,
sur un appareil à mandriner les tubes, imaginé par **M. L. Jannin**,
Ingénieur à la *Société anonyme des chaudières et appareils économiques*.

La construction des chaudières à tubes comporte une opération spéciale ayant pour but de réunir les tubes aux plaques tubulaires et, qu'en termes de chaudronnerie, on appelle le mandrinage. Ce travail doit non seulement assurer l'étanchéité du tube sur la plaque, mais encore offrir une résistance suffisante aux efforts divers qui tendent à produire la séparation de ces deux pièces; c'est assez dire qu'il doit être exécuté avec les plus grands soins.

Suivant les différents dispositifs de chaudières, les tubes ont une tendance soit à rentrer à l'intérieur de la plaque tubulaire, soit à sortir à l'extérieur; le plus généralement même, sous l'influence des efforts des pressions et des effets de dilatation combinés, les tubes sont soumis à ces deux mouvements de sens contraires, qui produisent l'ébranlement des tubes et conséquemment un défaut d'étanchéité. On voit qu'il est indispensable de prendre certaines précautions pour que les tubes soient reliés à la plaque d'une façon aussi rigide que possible.

Le procédé le plus simple, et qui conserve au mandrinage sa facilité d'exécution, consiste à emprisonner la plaque tubulaire entre un évasement du tube à l'extérieur, et un renflement à l'intérieur (voir fig. 1).

Dans les chaudières, comme celles des locomotives, où les flammes viennent frapper les bouts des tubes dans le foyer, il est bon de remplacer l'évasement par un rabattement complet de l'extrémité du tube qui, grâce à ce contact plus intime avec la plaque tubulaire, se brûle moins rapidement (fig. 2).

Pendant longtemps, le mandrinage des tubes de chaudières s'est fait au moyen d'une tige en acier légèrement conique, que l'on introduisait dans le tube, et sur laquelle on frappait à coups de marteau; on produisait ainsi

une extension du diamètre du tube qui assurait un serrage énergétique contre la plaque.

En 1867, M. Dudgeon imagina un appareil qui porte son nom, et qui est aujourd'hui universellement en usage dans les ateliers de chaudronnerie.

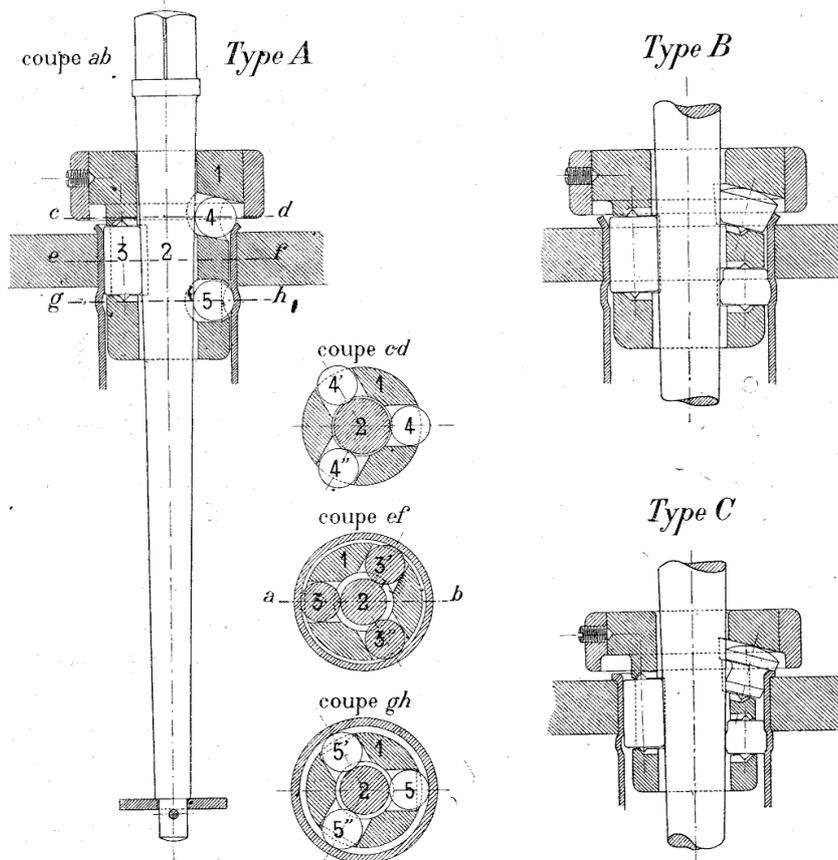


Fig. 1 et 2. — Mandrins Jannin.

Le principe sur lequel il repose consiste à produire l'extension du tube au moyen de cylindres de friction animés d'un mouvement de rotation, et le travail exécuté avec cet appareil s'appelle *dudgeonnage*. Le mandrin conique, ainsi que le Dudgeon ne font que l'application du tube sur la plaque tubulaire, l'évasement et le renflement doivent être faits après coup.

M. Jannin, Ingénieur à la Société anonyme des chaudières et appareils économiques, a pensé qu'on pouvait faire le travail complet en une seule opération, et, dans ce but, il a imaginé un nouveau dispositif de mandrin.

Son appareil comporte trois dispositions différentes, suivant l'usage auquel il est destiné.

Type A. — Cet appareil s'applique au mandrinage des tubes dont le diamètre ne dépasse pas 40 millimètres; il se compose d'une boîte 1 en acier cémentée et trempée de forme cylindrique, pouvant s'introduire dans le tube à mandriner. Cette boîte est percée d'un trou central permettant le passage de la broche 2, et porte, en outre, trois séries de logements destinés à recevoir les différents jeux de galets devant produire le travail.

Les trois logements situés au milieu de l'appareil reçoivent les galets cylindriques 3, 3', 3'', destinés à appliquer le tube contre la plaque. Ces galets sont légèrement inclinés, afin de provoquer l'avancement automatique de la broche.

En dessus et en dessous de ces trois logements, et dans leurs intervalles, sont pratiquées deux séries de trois autres logements.

La première série, qui porte les galets 4, 4', 4'', est destinée à produire l'évasement de l'extrémité du tube.

La deuxième série qui porte les galets 5, 5', 5'', est destinée à produire, à l'intérieur de la plaque tubulaire, le renflement du tube qui complète sa fixation.

La distance entre ces deux séries de galets varie avec l'épaisseur de la plaque tubulaire.

Les galets 4, 4', 4'' et 5, 5', 5'' sont ici simplement constitués par des billes en acier trempé, telles que celles dont on fait usage dans les coussinets pour diminuer le frottement; leur diamètre est un peu plus grand que celui des galets cylindriques, afin de produire l'évasement et le renflement désirables.

La broche en acier trempé vient actionner à la fois ces trois jeux de galets, et le mandrinage complet se fait en une seule opération.

Type B. — L'appareil type B est destiné au mandrinage des chaudières multitubulaires dans lesquelles le diamètre des tubes est supérieur à 40 millimètres.

Il est constitué en principe de la même façon que l'appareil type A, sauf que les billes produisant l'évasement et le renflement sont remplacées par des galets de forme spéciale.

Les galets d'évasement ont la forme d'un tronc de cône butant par sa grande base sur la partie supérieure de son logement dans la boîte.

Les galets de renflement sont constitués par une portion de cylindre arrondie à ses extrémités et surmontée d'une autre partie cylindrique d'un diamètre plus faible.

Cette disposition a pour but de pouvoir mandriner sur différentes épaisseurs de plaques tubulaires avec le même appareil. Il est facile, en effet, de se rendre compte, qu'en retournant les 3 galets de renflement, la partie renflée de ces galets se rapproche de l'extrémité supérieure de l'outil et que ce montage correspond à une plaque de plus faible épaisseur.

On peut en outre, par des jeux de galets de renflement spéciaux, mandriner sur toutes les plaques tubulaires d'épaisseurs intermédiaires.

Type C. — L'appareil type C est destiné au mandrinage des chaudières à tubes de fumée.

Il ne diffère du précédent que par la forme des galets d'évasement, qui sont évidés pour produire un rabattement complet de l'extrémité du tube sur la plaque tubulaire. Ainsi que nous l'avons déjà dit, ce rabattement a pour but d'empêcher l'extrémité du tube soumis à l'action des flammes de se brûler parce que, de cette façon, elle se rafraîchit au contact de la plaque tubulaire.

Pour nous résumer, nous dirons que l'avantage de ces appareils est d'effectuer le mandrinage complet en une seule opération et sans exiger plus de temps qu'avec les appareils similaires.

En conséquence, le Comité des Arts mécaniques vous propose, Messieurs, de remercier M. L. Jannin, de son intéressante communication et d'insérer le présent rapport au *Bulletin*, avec les figures explicatives.

Signé : E. BOURDON, rapporteur.

Lu et approuvé en séance le 9 janvier 1903.

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT fait par **M. C. Rozé**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*, sur une *pendule à remontage automatique* présentée par **M. Ch. Hour**.

Bien des tentatives plus ou moins heureuses ont été faites pour augmenter la période de marche des instruments horaires comprise entre deux montages consécutifs; on a aussi cherché la solution plus complète, qui consiste à utiliser la répétition incessante de quelque phénomène naturel pour régénérer l'action motrice et obtenir une marche spontanément prolongée durant un certain nombre d'années, c'est-à-dire jusqu'à la limite résultant de l'usure des organes ou des modifications que le rouage et l'échappement subissent fatalement avec le temps.

C'est à cette dernière catégorie que se rattache la pendule présentée par M. Hour, propriétaire et directeur de l'un des importants établissements de construction de pendules à Paris.

M. Hour proclame que l'idée première appartient à M. Gillot (Beaulieu, Indre-et-Loire) qui, ne pouvant en poursuivre lui-même la réalisation, l'abandonna à M. Hour. Elle consiste à utiliser l'effet des petites variations journalières de la température, dans la pièce où se trouve la pendule, sur un assez grand volume d'alcool, et ceci n'est peut-être pas très nouveau.

Dans la pendule présentée par M. Hour, le liquide est (fig. 1 à 6) contenu dans trois grands cylindres, dont deux rigides servent de support à la pendule et concourent à la décoration, tandis que le troisième est un cylindre à surface profondément plissée sur environ quinze centimètres de longueur, de manière que son volume est variable avec celui du liquide enfermé dans l'ensemble. On utilise les très petits changements de la longueur du tube déformable pour le remontage, qui doit être assuré par le minimum de la variation de température du jour à la nuit, dans l'intérieur de l'appartement, et ceci indépendamment de la grandeur de la température moyenne, assez différente d'une saison à une autre; d'autre part, un changement

brusque et notable de la température doit n'entraîner aucune exagération dans l'action du remontage.

Il pouvait paraître difficile *a priori* de satisfaire à ces diverses condi-

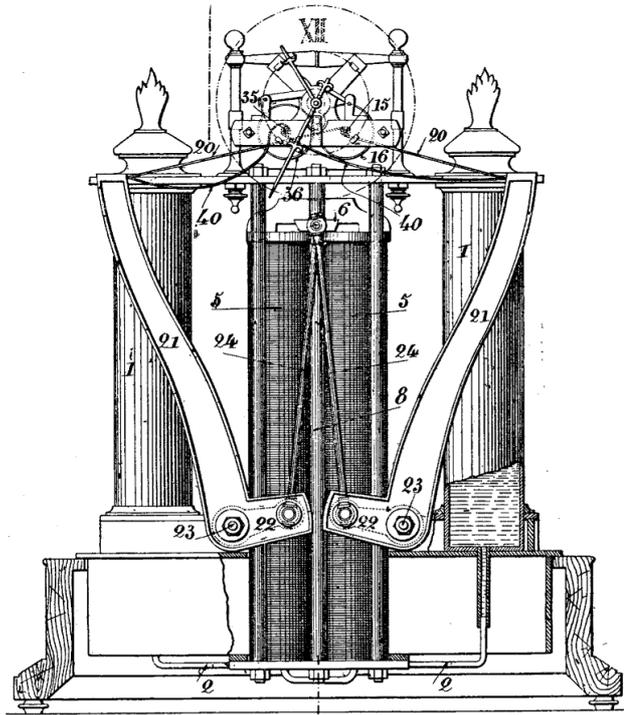


Fig. 1. — Horloge Hour. Élévation.

1. 1. Récipients remplis d'alcool, hermétiquement fermés à la partie supérieure, fixés au socle, reliés par le tube 2 aux tubes plissés 5 (fig. 6), également remplis d'alcool, et dont la traverse 6 commande, par les renvois symétriques 24, 22, 23, 21, les rubans d'acier 20 et 40, fixés aux leviers 21, et enroulés sur les axes 15 et 35 des barillets fixes 16 et 36 (fig. 3) à ressorts en spirale 17. Suivant que l'alcool se dilate ou se contracte en 1, 2 et 5, les leviers 21 s'écartent ou se rapprochent, tendent ou laissent détendre les ressorts 17. Dans le prolongement des axes 15 et 35, et indépendants d'eux, se trouvent (fig. 3) ceux 11 des barillets 9 moteurs du mouvement d'horlogerie qui actionnent les aiguilles du cadran 41, avec, chacun, un rochet 10, à cliquet de retenue 46 (fig. 4) et cliquet d'entraînement 12, en prise avec le rochet 14, solidaire du barillet remonteur correspondant 16 ou 36. Quand les leviers 21 s'écartent, les rochets 14 passent sous leurs cliquets 12 sans affecter le rochet 10; quand ces leviers se rapprochent, les rochets 14, tournant dans le sens de la flèche, entraînent, au contraire, chacun leur rochet correspondant 10, avec son arbre 13, dès que le couple résistant de son ressort 9 est inférieur à celui du ressort remonteur correspondant.

tions. M. Hour confia l'étude et l'exécution du mécanisme approprié à l'un des habiles ouvriers attachés à son établissement, M. Portebois, et il se

plait à reconnaître que les dispositions imaginées par cet ingénieux artiste constituent une solution dont la valeur est affirmée par les résultats obtenus. Une pendule placée chez M. Hour, à l'intérieur de son bureau, est en fonction ininterrompue depuis une année.

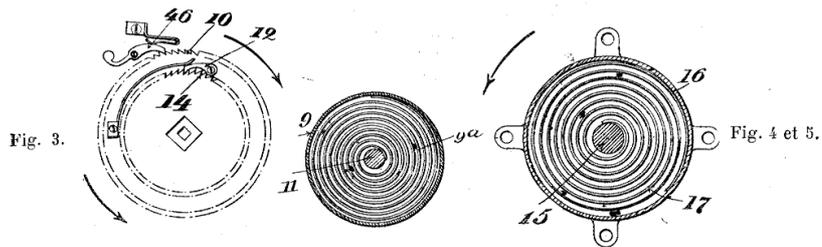
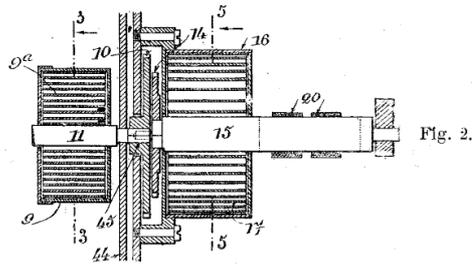


Fig. 6.

Fig. 2 à 6. — Horloge Hour. Détail des barillets et d'un tube plissé.

M. Hour construit actuellement une horloge publique de ce système, et compte obtenir des résultats non moins satisfaisants.

Outre l'intérêt commercial d'un instrument horaire à marche permanente, on peut concevoir des circonstances dans lesquelles l'utilisation de tels instruments pourrait présenter un intérêt réel.

En conséquence, le Comité des Arts mécaniques a l'honneur de vous proposer de remercier M. Hour de son intéressante communication, et de décider l'insertion du présent rapport au *Bulletin* avec les figures et le texte explicatif y annexé.

Signé : C. Rozé, rapporteur.

Lu et approuvé en séance le 9 janvier 1903.

ARTS MÉCANIQUES

NOTE SUR L'UNIFICATION DES CALIBRES présentée par **M. E. Sauvage**,
au nom du *Comité des Arts mécaniques*.

Les *jauges* ou *calibres*, représentant les dimensions qu'on veut donner aux pièces de machines, sont aujourd'hui d'un usage courant dans la bonne construction mécanique. Ces instruments de mesure sont souvent exécutés avec une très grande précision : en remontant aux calibres prototypes conservés dans les magasins d'outillage pour la vérification des calibres d'emploi courant, il n'est pas rare de trouver, dans la pratique industrielle actuelle, une approximation bien supérieure au centième de millimètre, parfois même de l'ordre du micron.

De plus en plus, on demande que les pièces mécaniques soient interchangeables, même si elles sont construites à des époques différentes, et par des ateliers différents. De plus en plus, on crée des types de pièces, comme les types de filetage, dont les dimensions doivent être universellement observées.

Dans ces conditions, il est clair qu'il y a intérêt à ce que les calibres usités par les différents industriels soient aussi identiques que possible, quels que soient le lieu et l'époque de leur construction. Or, une condition indispensable, et d'ailleurs très simple, de cette uniformité est que la température à laquelle le calibre représente une dimension soit déterminée. Sinon, la dilatation du métal peut être une cause d'erreurs. Avec un coefficient de dilatation de 0,000 013, qu'ont certains aciers, deux calibres qui représenteraient une longueur de 50 millimètres, l'un à 0°, l'autre à 15°, différeraient en réalité d'environ 0^{mm},01, tandis qu'un écart d'un micron est fort appréciable, par exemple lorsqu'on compare entre eux deux jeux de calibres, nominalement égaux, formés chacun d'une bague ajustée sur un tampon.

Or cette considération si simple et si importante est généralement laissée dans le vague. En consultant les catalogues des constructeurs de ces calibres, on ne trouve guère d'indication relative à la température. Lorsqu'il s'agit des instruments de mesure qu'on peut appeler scientifiques,

et notamment des étalons prototypes du mètre, le doute n'existe pas : l'étalon doit être à la température de 0° pour avoir réellement la longueur du mètre, ou toute autre qu'il représente. Mais, pour les étalons industriels, on ne sait généralement pas à quelle température ils doivent être portés pour avoir effectivement les dimensions qu'ils sont censés représenter. Au point de vue de la comparaison avec les étalons prototypes, il serait plus commode d'adopter la température de 0° pour tous les calibres; mais cette comparaison n'est faite que très rarement, et par des spécialistes, tandis qu'au point de vue de la confection industrielle des calibres, une température de 15°, différant peu de celle qui règne en général dans les ateliers, est préférable.

Il est d'ailleurs intéressant que l'on se serve des calibres à la température où ils donnent des mesures exactes : cette concordance n'aurait aucun intérêt si les pièces mesurées avaient le même coefficient de dilatation que le calibre; mais en général il n'en est pas ainsi; même les aciers n'ont pas tous même coefficient de dilatation, et on mesure d'autres métaux que l'acier. A ce point de vue, la température de 15° est bien plus commode que celle de 0° (1).

Si on adopte la température de 15°, on voit que les constructeurs d'outillage de mesure devront par des opérations spéciales (mais très rarement répétées) comparer les étalons qui représentent le mètre ou les fractions du mètre quand ils sont à la température de 0°, avec d'autres étalons qui, pour représenter les mêmes mesures absolues, devront être à 15°; cette comparaison exigera la connaissance du coefficient de dilatation du métal employé. Mais une fois en possession d'étalons qui, pour donner les longueurs qu'ils sont censés représenter, doivent être à 15°, on n'aura plus, dans les comparaisons ultérieures, à tenir compte des effets de la dilatation, pourvu qu'on opère toujours à 15°.

La Société d'Encouragement est bien placée pour fixer d'une manière nette ce point très important, de manière à éviter dans l'avenir des divergences extrêmement regrettables. Mais sa proposition, pour avoir un poids suffisant, doit être précédée d'une enquête auprès des principaux intéressés. Par sa nature, cette enquête doit être internationale. Si importante qu'elle soit, la question est d'ailleurs simple et pourra sans doute être assez facilement résolue.

(1) Cette température de 15° est recommandée par M. le commandant Hartmann (unification des mesures industrielles, p. 35).

Voici comment on pourrait formuler la proposition de la Société :

« Il est indispensable que l'on fixe d'une manière uniforme la température à laquelle doivent être placés les calibres, jauges et appareils de mesure de précision employés dans l'industrie pour donner le plus exactement possible les dimensions qu'ils indiquent. »

Cette proposition, avec note explicative, ferait l'objet d'une circulaire envoyée aux constructeurs d'outillage de mesure, aux principaux constructeurs mécaniciens et aux sociétés techniques. A l'étranger, on s'adresserait principalement aux sociétés techniques. On pourrait demander les réponses pour le 1^{er} juin prochain. Ces réponses seraient coordonnées et discutées, et serviraient de base à la proposition définitive de la Société.

Cette extrême recherche de la précision peut paraître excessive et peu utile à ceux qui, par la nature des travaux qu'ils exécutent, n'ont besoin que de calibres assez grossiers; mais il convient de remarquer que les étalons de mesure doivent toujours être établis avec une précision aussi grande que possible, et, en tout cas, avec une précision notablement supérieure à celle qui est demandée pour les objets qu'ils contrôlent. La précision obtenue en pratique dans un grand nombre de fabrications va d'ailleurs toujours en augmentant.

Signé : E. SAUVAGE, rapporteur.

Lu et approuvé en séance le 14 novembre 1902.

ARTS MÉCANIQUES

EXPÉRIENCES SUR LE TRAVAIL DES MACHINES-OUTILS

Par **M. Codron**, *lauréat de la Société d'Encouragement* (Suite) (1).

Forage

Le forage, ou perçage proprement dit, consiste à effectuer les trous en pleine masse avec l'outil appelé *foret*, qui présente des formes assez variées selon les cas d'application. Le foret F et la pièce M (fig. 586-587) possèdent généralement un mouvement relatif hélicoïdal dont la composante dans le sens de l'axe de l'outil, dite *avance*, est toujours petite par rapport à la composante circulaire.

L'avance longitudinale nécessite une pression de pénétration ; la coupe dans le sens rotatif correspond à un moment tournant.

Le plus souvent la pièce est fixe, l'outil reçoit l'action motrice.

Parfois, la pièce est soumise à l'avance sans tourner ; ou bien, encore, la pièce tourne et c'est le foret qui possède le mouvement longitudinal. La combinaison de ces deux déplacements entre la pièce et le foret a pour effet de produire un trou cylindrique. Le métal est enlevé sous forme de copeaux ou de parcelles, selon sa ductilité.

Plus facilement que le poinçonnage, le foret permet d'obtenir des trous de grande profondeur relativement au diamètre.

Ainsi, un trou de 10 millimètres de diamètre est aisément foré sur une profondeur de 100 millimètres et même de 200 millimètres ; il l'est plus difficilement sur 1 mètre de profondeur, mais sans impossibilité cependant.

On conçoit qu'il y ait une limite pratique pour laquelle le rapport de la profondeur au diamètre ne permet plus d'opérer. Par exemple, on ne saurait pratiquement obtenir un trou de 2 millimètres de diamètre à travers une pièce de 1 mètre d'épaisseur ; le foret fléchirait, se tordrait ; les parcelles de métal se dégageraient avec grande difficulté. En tout cas, le forage d'un trou dont le

(1) *Bulletin* de janvier, mars, avril, juillet, août 1901, et janvier, mai 1902.

diamètre est petit relativement à la longueur constitue l'une des opérations les plus délicates de la construction mécanique si le trou doit être exactement calibré et percé dans une direction bien déterminée.

Le forage est l'une des opérations d'ajustage qui se répètent le plus; il est à présumer que cette opération a donné, la première, l'idée de combiner une machine-outil.

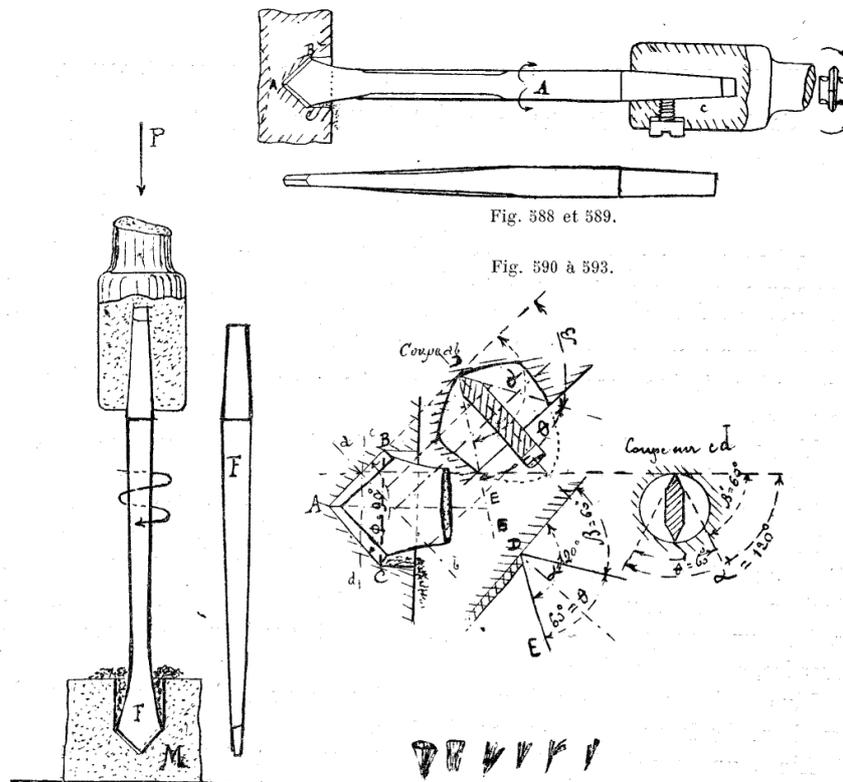


Fig. 586 et 587.

Fig. 588 et 589.

Fig. 590 à 593.

Fig. 594. — Copeau de laiton.

Forets divers. — Les forets affectent diverses formes justifiées par des raisons particulières. Nous n'avons à considérer ici que les formes principales données aux tranchants et qui servent à caractériser l'outil.

On distingue le *foret à langue de vipère* (fig. 588-589), dont les arêtes de coupe AB, AC sont droites et sont obtenues par un double biseau, condition motivée par le mouvement de rotation alternatif que possède ce genre de foret.

Il ne s'emploie d'ailleurs que pour les petits diamètres, au-dessous de 10 millimètres; on le monte sur un porte-foret actionné à la main.

L'angle θ des deux chanfreins (fig. 590-593), coupe ab , ne doit pas accuser une valeur inférieure à 45° , sinon l'outil s'ébrèche pour peu que le métal soit dur; l'angle Φ des deux tranchants droits AB et AC varie entre 75° et 100° . Ces tranchants doivent être symétriques par rapport à l'axe de rotation.

Ce foret opère en grattant la matière plutôt qu'en la coupant; car, si l'on considère une section ab , normale à l'une des lignes tranchantes (fig. 591), on voit que l'angle dit de coupe α , qui correspond à la face avant DE, est plus grand que 90° et cette dernière valeur est celle que l'on peut admettre comme déterminant un arrachement sans coupe proprement dite.

De même, considérons la section sur cd (fig. 593), qui contient le point de coupe dans son mouvement circulaire; on voit, qu'avec la forme admise, on a : $\alpha' > 90^\circ$. Les valeurs des angles sont : $\alpha' = 120^\circ$, $\beta' = 60^\circ$, $\theta' = \alpha' - \beta' = 60^\circ$.

La grande valeur de l'angle de dépouille β' de ce foret est imposée par la symétrie des biseaux; elle a pour avantage de réduire l'effort de pénétration.

Les métaux tels que le laiton, le bronze, le fer doux donnent, en très mince épaisseur, des copeaux parcheminés; si l'épaisseur s'accroît, on obtient des fragments séparés en aiguilles (fig. 594); la fonte donne de la poussière.

Les essais signalés plus loin montrent que ce foret exige des efforts unitaires de coupe très grands comparativement à ceux des autres forets.

Foret à pointe ordinaire. — Ce foret, dit aussi à *langue d'aspic* (fig. 595 à 601), comporte deux tranchants droits proprement dits, AC et BD, formés chacun par un seul biseau; l'intersection des deux biseaux donne une troisième arête AD, normale à l'axe du foret, et dont il importe de réduire la longueur au minimum, car elle gratte le métal, tandis que les deux tranchants principaux le coupent en donnant des copeaux fragmentés ou en hélicoïde si le métal est ductile. Cette forme des copeaux (fig. 602) correspond au débit proportionnel à la distance à l'axe de rotation des divers points du tranchant, débit qui se développe normalement à la coupe du tranchant (fig. 603-604).

La longueur de l'arête extrême AD se limite par l'épaisseur donnée au foret vers la pointe.

Le foret à langue d'aspic est le plus employé; c'est l'un des plus simples, le moins difficile à affûter et à réparer. Il importe que les deux tranchants enlèvent une même quantité de métal, forment des copeaux égaux, ce qui est assez difficile à obtenir. Il faut essayer l'outil, régler par l'affûtage la symétrie des tranchants.

La rotation est continue; elle se fait dans le sens de la flèche, sinon l'outil gratte et s'ébrèche.

L'angle Φ des deux tranchants varie de 90° à 120° selon que le métal est

moins ou plus dur. Plus aigu, la pointe s'ébrèche ou s'émousse; il faut réaffûter souvent; plus obtus, le foret dévie s'il n'est pas bien maintenu.

En faisant une section cd (fig. 600), on constate, avec les dimensions admises, que l'angle de coupe $\alpha = 150^\circ$. Si on considère la section ab , cet angle se

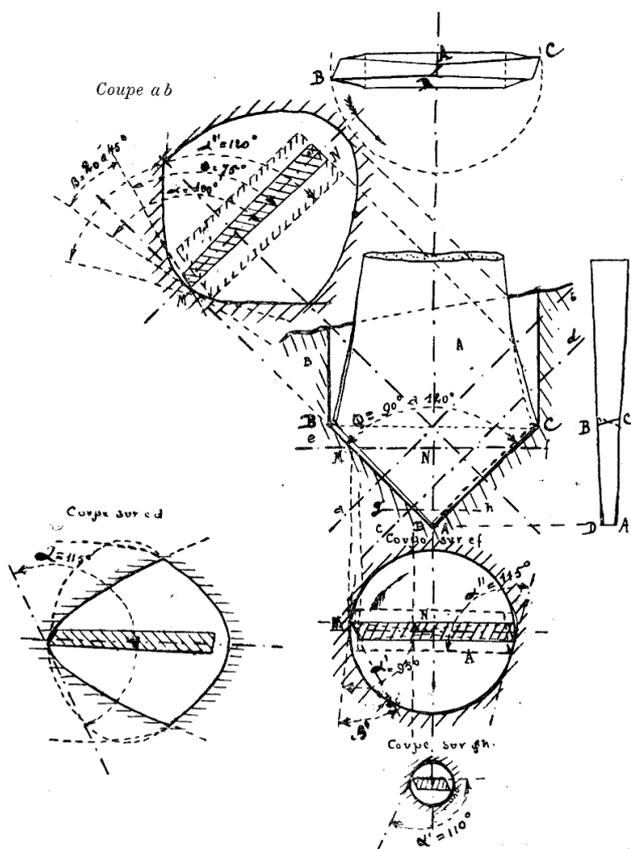


Fig. 595 à 604. — Forêt à langue d'aspic.

réduit à 100° , ce qui montre que la coupe se fait plus difficilement vers la pointe que vers le plus grand diamètre du cône, vers un plus petit rayon de courbure que vers un plus grand.

Considérant la section sur ef , la face avant est le plan MN (fig. 598), l'angle de coupe $\alpha = 95^\circ$. Cet angle augmente avec l'épaisseur du foret et avec la rédu-

tion de diamètre de l'élément qui travaille, ainsi que le montrent en α'' la section pointillée et la section gh qui accuse une valeur de $\alpha' = 110^\circ$.

C'est pour réduire α que l'on amincit la pointe davantage que les côtés, et d'autant plus que le trou est plus petit. Cela conduit à adopter le foret (fig. 605 à 607) à pointe amincie par deux chanfreins qui atténuent l'inconvénient d'une épaisseur trop forte.

La face de chaque biseau doit être assez dégagée pour ne pas frotter à

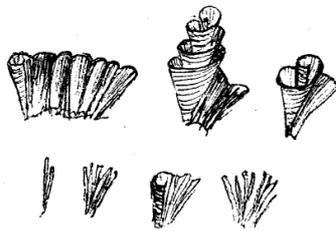


Fig. 602.

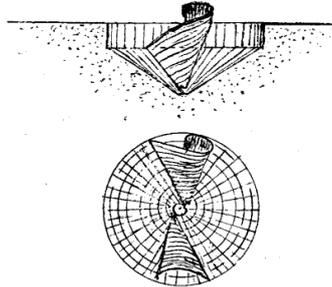


Fig. 603 et 604.

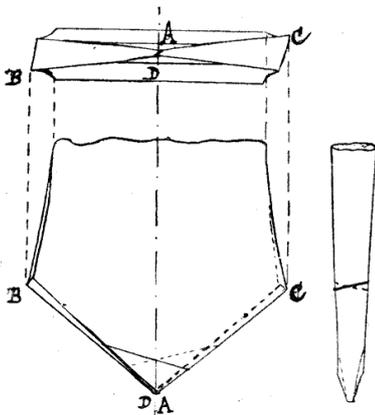


Fig. 605 à 607. — Foret à pointe amincie.

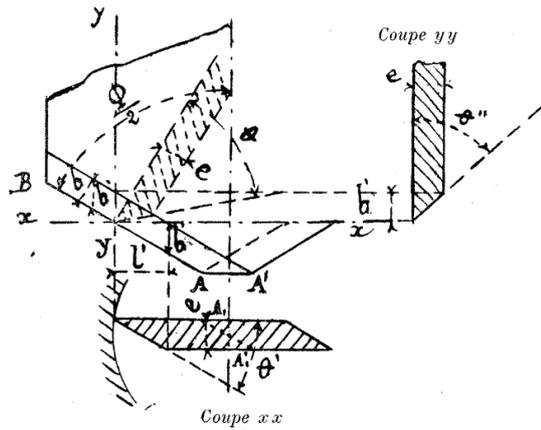


Fig. 608 à 610.

l'arrière du tranchant; elle fait un angle β (fig. 599-600 sections ab et cd), qui varie de 20 à 45° . C'est l'angle du *talon* de l'outil avec la surface de coupe; on le désigne sous le nom d'*angle de dépouille*, de *dégagement* ou de *position*. Dans les forets ordinaires, cet angle prend une grande valeur afin que l'*angle d'acuité* de l'outil $\theta = (\alpha - \beta)$ ne s'écarte pas de 70° , et que le foret ne nécessite pas une trop grande pression quand les tranchants pénètrent dans le métal.

Un angle d'acuité plus faible encore permettrait de réduire la pression; mais donnerait lieu à des ruptures et à des affûtages répétés.

Il ne faut non plus tremper trop fort les tranchants; on fait ordinairement revenir le recuit entre le violet et le jaune foncé, selon la qualité de l'acier, selon la dureté du métal, la vitesse de rotation et celle de pénétration de l'outil.

Notons que l'angle de coupe α , ainsi caractérisé, ne donne lieu à aucune équivoque; sa valeur est indépendante de l'angle de dépouille β . De même, ce dernier est aussi bien déterminé par la position relative de l'outil et de la pièce; il s'ensuit que pour un même angle d'acuité $\theta = \alpha - \beta$, les angles α et β varient selon cette position.

Quand l'angle Φ des deux tranchants augmente, il importe de diminuer l'inclinaison du biseau afin de ne pas trop réduire l'angle d'acuité θ' relatif aux sections perpendiculaires à l'axe de rotation.

En effet, considérons le tranchant AB (fig. 608 à 640) qui fait un angle $\frac{\Phi}{2}$ avec l'axe de l'outil; e étant l'épaisseur, b la hauteur normale et b' la hauteur verticale du biseau; θ l'angle d'acuité dans une section normale à AB; θ' l'angle d'acuité dans une section xx perpendiculaire à l'axe, on a les relations suivantes avec les autres données des figures :

$$e = b \operatorname{tg} \theta \quad l = b' \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} \quad \frac{b}{b'} = \sin \frac{\Phi}{2}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{e}{l} = \frac{b \operatorname{tg} \theta}{b' \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}} = \frac{\sin \frac{\Phi}{2} \operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}} = \cos \frac{\Phi}{2} \operatorname{tg} \theta$$

d'où

$$\frac{\operatorname{tg} \theta'}{\operatorname{tg} \theta} = \cos \frac{\Phi}{2},$$

pour $\frac{\Phi}{2} = 90^\circ$, $\theta' = \theta$, la section se réduit à une droite qui est le tranchant lui-

même; pour $\frac{\Phi}{2} = 0$, soit le cas d'un tranchant parallèle à l'axe de rotation, $\theta' = \theta$

Entre ces limites, θ peut prendre des valeurs intermédiaires qui varient avec l'importance du chanfrein ou de l'angle θ . L'inclinaison de l'arête A_1A' , mesure aussi l'angle θ' , de sorte qu'elle permet d'apprécier les valeurs de l'angle d'acuité. De même, si l'on considère l'angle d'acuité θ'' se rapportant à une section yy , parallèle à l'axe et normale à la face avant du tranchant AB, on pourra poser :

$$\operatorname{tg} \theta'' = \frac{e}{b'}; \quad \operatorname{tg} \theta = \frac{e}{b}; \quad \frac{\operatorname{tg} \theta''}{\operatorname{tg} \theta} = \frac{b}{b'} = \sin \frac{\Phi}{2},$$

pour $\frac{\Phi}{2} = 90^\circ$, $\theta'' = \theta$; pour $\frac{\Phi}{2} = 0$, tranchant parallèle à l'axe : $\theta'' = \theta$.

Pour $\frac{\Phi}{2} = 45^\circ$ $\frac{\operatorname{tg} \theta''}{\operatorname{tg} \theta'} = \frac{\sin \frac{\Phi}{2}}{\cos \frac{\Phi}{2}} = 1.$

c'est-à-dire que $\theta'' = \theta'$, condition que réalise le plus souvent la pratique en adoptant $\Phi = 90^\circ$.

Les valeurs de θ'' varient donc en sens inverse de celles de θ' .

On conçoit bien que, pour la spécification des angles α , β , $\theta = \alpha - \beta$, il

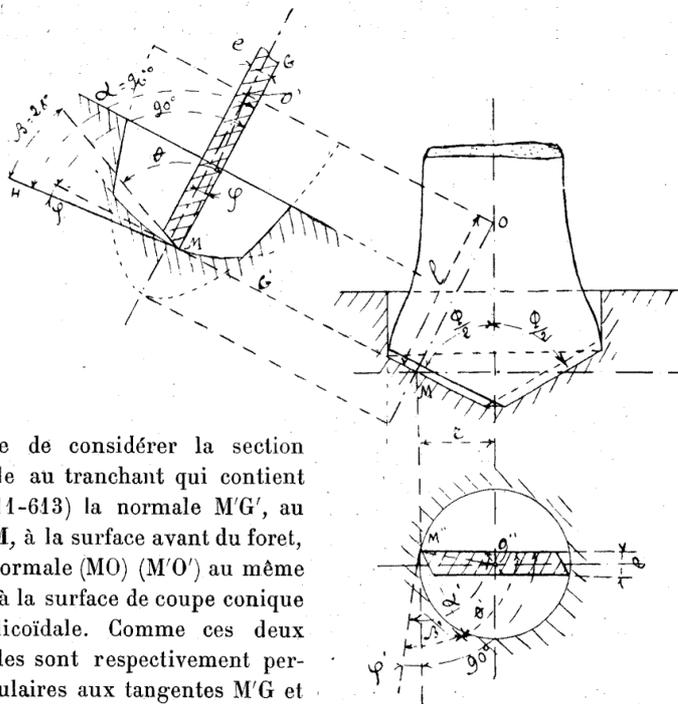


Fig. 611 à 613.

importe de considérer la section normale au tranchant qui contient (fig. 611-613) la normale $M'G'$, au point M , à la surface avant du foret, et la normale (MO) ($M'O'$) au même point, à la surface de coupe conique ou hélicoïdale. Comme ces deux normales sont respectivement perpendiculaires aux tangentes $M'G$ et $M'H$, dont l'angle est α , on voit que

ce dernier est aussi mesuré par l'angle $O'M'G'$ des deux normales. Cette considération s'applique, d'ailleurs, à tous les outils coupants.

L'angle de coupe φ , considéré dans le plan OM , qui contient la normale à la surface au point (MM') , est égal à $90^\circ + \varphi$.

or $\operatorname{tg} \varphi = \frac{r e}{2 l}; \quad l = \frac{r}{\cos \frac{\Phi}{2}}$

d'où : $\operatorname{tg} \varphi = \frac{e \cos \frac{\Phi}{2}}{2 r}$

Dans les limites pratiques, l'angle φ varie donc proportionnellement avec l'épaisseur e du foret et avec le cosinus de la moitié de l'angle des tranchants; il est inversement proportionnel au diamètre du cercle qui correspond au point de coupe.

Par suite, une meilleure coupe de l'outil est favorisée avec un angle Φ plus grand, et l'on voit que pour $\Phi = 180^\circ$, $\varphi = \theta$.

C'est avec raison que l'angle Φ doit être tenu supérieur à 90° .

En déduisant des angles α la valeur constante θ de l'angle d'acuité, on obtient les angles β . Les valeurs de φ , de α et de β , dans un foret de 3 millimètres d'épaisseur uniforme, avec des angles Φ de 60° , de 90° de 120° , et d'un angle $\theta = 75^\circ$, sont, pour les diamètres :

	$2r = 3$	5	10	20	40 mm.
$\Phi = 60^\circ$	$\text{tg } \varphi = 0,866$	0,52	0,26	0,13	0,065
	$\varphi = 41^\circ$	27°30'	14°40'	7°20'	3°40'
	$\alpha = 131^\circ$	117°30'	104°40'	97°20'	93°40'
	$\beta = 56^\circ$	42°30'	29°40'	22°20'	18°40'
$\Phi = 90^\circ$	$\varphi = 35^\circ 20'$	23°	12°	6°	3°
	$\alpha = 125^\circ 20'$	113°	102°	96°	93°
	$\beta = 50^\circ 20'$	38°	27°	21°	18°
$\Phi = 120^\circ$	$\varphi = 26^\circ 30'$	17°	8°30'	4°20'	2°10'
	$\alpha = 116^\circ 30'$	107°	98°30'	94°20'	92° 10'
	$\beta = 41^\circ 30'$	32°	23°30'	19°20'	17°10'

On constate que les angles β décroissent avec le diamètre et qu'ils ont de grandes valeurs au voisinage de l'axe de rotation, ce qui favorise la pénétration, mais aussi l'éroussement des tranchants.

Les figures 614-616 se rapportent aux valeurs de α et montrent, mieux que les nombres ci-dessus, les variations de cet angle avec les diamètres.

Les grandes valeurs de α au voisinage de l'axe de rotation, valeurs d'autant plus grandes que Φ diminue, augmentent les efforts de coupe, déterminent aussi l'éroussement des tranchants vers la pointe, et mettent rapidement l'outil hors d'usage.

C'est l'une des raisons qui font rejeter les valeurs de Φ inférieures à 90° .

Si l'on considère la section horizontale (fig. 617) et les angles α' et φ' qui y correspondent, on a :

$$\alpha' = 90^\circ + \varphi'; \quad \sin \varphi' = \frac{e}{2r}$$

valeur indépendante de Φ .

Comparant φ et φ' , on peut poser :

$$\frac{\text{tg } \Phi}{\sin \varphi'} = \frac{e \cos \frac{\Phi}{2}}{2r} = \cos \frac{\Phi}{2}.$$

Comme les angles φ et φ' sont petits, on peut écrire :

$$\frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{\operatorname{tg} \varphi} = \cos \frac{\Phi}{2}.$$

Ce rapport montre que l'angle φ est toujours plus petit que φ' ; par suite, α est plus petit que α' .

D'autre part, nous avons vu que :

$$\frac{\operatorname{tg} \theta'}{\operatorname{tg} \theta} = \cos \frac{\Phi}{2},$$

soit :

$$\operatorname{tg} \theta' = \operatorname{tg} \theta \cos \frac{\Phi}{2}$$

c'est-à-dire que θ' est aussi toujours plus petit que θ .

Les valeurs de $\operatorname{tg} \theta'$ pour $\Phi = 60^\circ$, 90° et 120° sont respectivement, avec $\theta = 75^\circ$.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \theta' &= \operatorname{tg} 75^\circ \times \cos 30^\circ = 3,73 \times 0,866 = 3,23 & \text{soit : } \theta' &= 72^\circ \\ \operatorname{tg} \theta' &= \operatorname{tg} 75^\circ \times \cos 45^\circ = 3,73 \times 0,707 = 2,637 & \text{soit : } \theta' &= 68^\circ \\ \operatorname{tg} \theta' &= \operatorname{tg} 75^\circ \times \cos 60^\circ = 3,73 \times 0,50 = 1,86 & \text{soit : } \theta' &= 60^\circ 50' \end{aligned}$$

On peut encore rechercher la valeur de l'angle Φ' des deux biseaux. Elle se déduit aisément en se rapportant à l'épure (fig. 618) dont la section xy , normale à AA_1 donne Φ' .

On voit que :

$$\operatorname{tg} \frac{\Phi'}{2} = \frac{l'}{h} \quad \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} = \frac{l}{h} \quad l \sin \theta' = l'$$

d'où :

$$\operatorname{tg} \frac{\Phi'}{2} = \frac{l \sin \theta'}{h}$$

et

$$\frac{\operatorname{tg} \frac{\Phi'}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}} = \sin \theta'.$$

De plus :

$$\sin \theta' = \frac{e}{AA_1} = \frac{b \operatorname{tg} \theta}{AA_1}.$$

Pour

$$\theta' = 60^\circ \quad \text{soit : } \sin \theta' = 0,866$$

et

$$\frac{\Phi}{2} = 50^\circ \quad \text{soit : } \operatorname{tg} 50^\circ = 1,19,$$

$$\operatorname{tg} \frac{\Phi'}{2} = 0,866 \times 1,19 = 1,03 \quad \frac{\Phi'}{2} = 43^\circ 50',$$

c'est-à-dire que $\Phi' = 91^\circ 40'$ alors que $\Phi = 100^\circ$.

Le foret à pointe comporte ordinairement une face avant oblique par rapport à l'axe de rotation; il s'ensuit que les angles α sont un peu plus grands que ceux calculés ci-dessus en admettant une face parallèle à l'axe. De plus, l'épaisseur n'est pas constante; elle diminue vers la pointe, ce qui est favorable à la coupe. Il

s'ensuit que les angles α , β et θ , pour un même angle Φ , varient assez arbitrairement; par exemple, les sections fig. 619 à 623 montrent que l'angle α a une valeur qui s'écarte peu de 100° , que l'angle β varie de 23° à 33° ; l'angle d'acuité θ varie de 76° à 67° .

Au-dessus de 20 millimètres de diamètre, on augmente la puissance de coupe de l'outil en dégageant la face avant en creux (fig. 624-626), ce qui permet

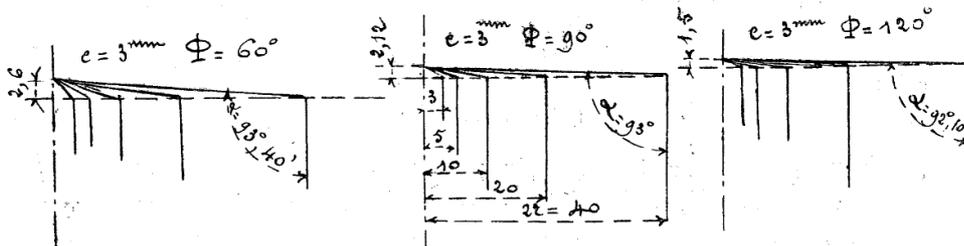


Fig. 614 à 616.

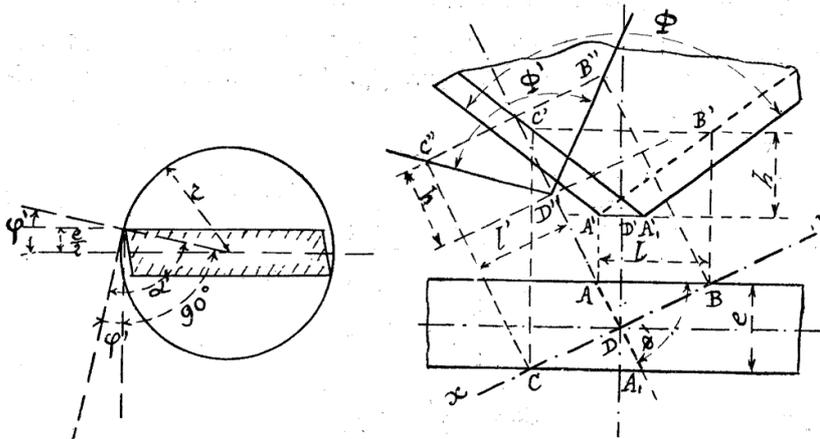


Fig. 617.

Fig. 618.

d'obtenir un angle de coupe α inférieur à 90° ; dans ce cas, l'angle β du talon doit être tenu plus petit, soit de 15° , afin que l'angle d'acuité θ ne soit pas trop faible.

On obtient, avec ce modèle, des copeaux en forme d'hélicoïde qui se dégagent bien du trou s'il n'est pas profond, et s'il s'agit de fer ou d'acier doux: celui fig. 627 correspond au début de l'opération, alors que le foret n'est pas en pleine prise.

Une variante, dont l'affûtage est plus difficile, comporte une ligne tranchante

arrondie à la pointe (fig. 628 à 630). Ce foret se guide moins bien que le précédent; il a plus tendance à former un cône saillant au centre du trou, et si l'avance est trop poussée, le cône s'amplifie, le foret se coince, l'extrémité se brise.

Les figures 631-632, relatives à un trou de 25 millimètres de diamètre dans du laiton, indiquent la position que prend le foret; la ligne ABC est la trace du tranchant.

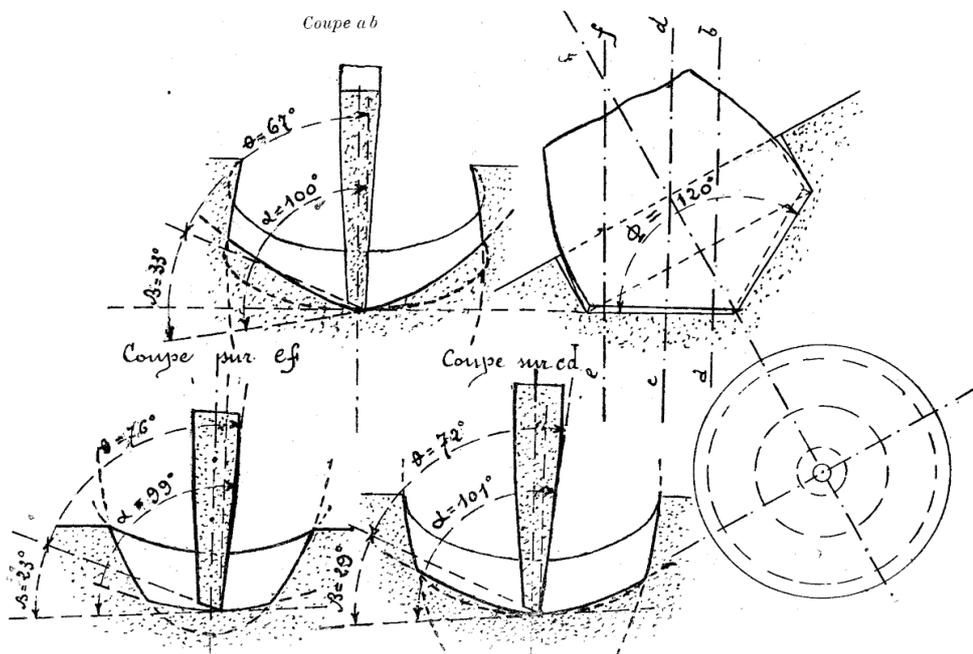


Fig. 619 à 623. — Foret à pointe ordinaire variation des angles α , β et θ .

On reproche au foret à pointe ordinaire de *courir*, c'est-à-dire de se déplacer latéralement. Il faut qu'il soit bien tenu sur le nez de l'arbre, que la pointe se trouve exactement au milieu; sinon, les deux lignes tranchantes étant inégales, les pressions et les efforts de coupe ne se font pas équilibre; le foret est reporté en dehors de l'axe du trou, qui accuse un diamètre plus grand que celui prévu. Ainsi, un foret de 30 millimètres peut produire un trou de 31 millimètres de diamètre.

Afin que le foret se guide mieux, que les trous soient plus lisses, il convient de ménager, pour les forets de diamètre supérieur à 20 millimètres, sur une certaine hauteur (fig. 624), des parties droites à tranchants latéraux parallèles à l'axe.

Un autre modèle est le foret dit à ailes (fig. 633-635). La tête est courbée en *s*; on obtient ainsi, pour des points assez éloignés de l'axe de rotation, des angles de coupe de 67° à 70° ; l'affûtage peut encore être plan pour chaque biseau.

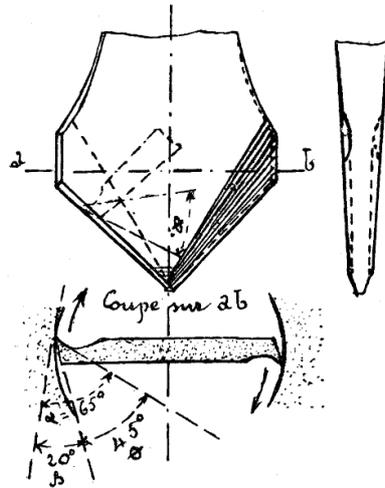


Fig. 624 à 626.



Fig. 627.

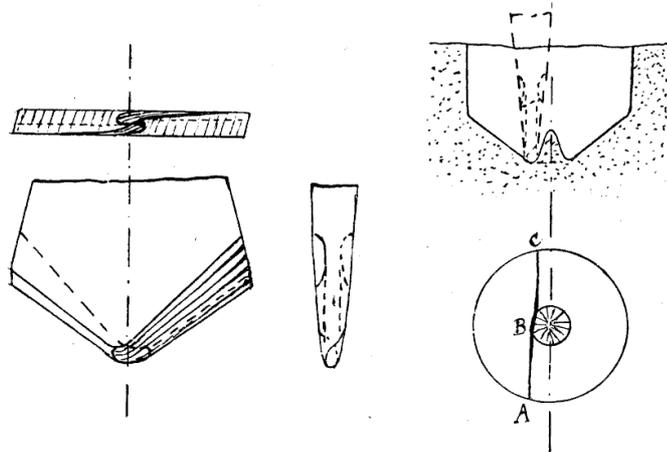


Fig. 628 à 632.

Notons que, quand la tangente en A à la courbe fig. 636 passe par le centre, l'angle de coupe, estimé dans une section horizontale, est égal à 90° . Si la tangente passe en arrière du centre, l'angle $\alpha' = 90^\circ - \varphi'$; si elle passe en avant du

centre, $\alpha' = 90 + \varphi'$. On peut déduire les valeurs de l'angle de coupe dans la section normale au tranchant en posant, comme nous l'avons vu ci-avant :

$$\alpha = 90^\circ + \varphi \quad \text{tg } \varphi = \cos \frac{\Phi}{2} \text{tg } \varphi'.$$

Ce modèle de foret est adopté pour les grands diamètres, particulièrement

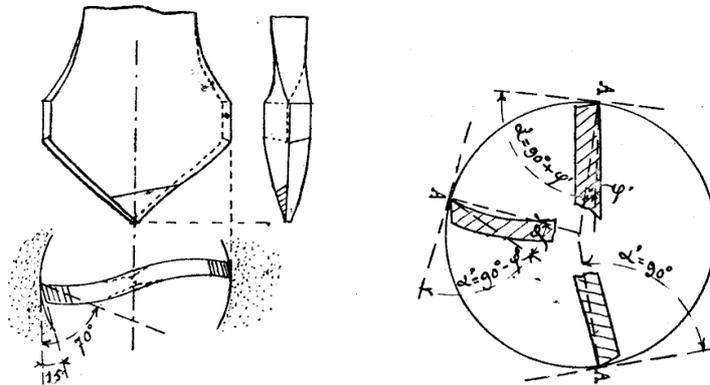


Fig. 633 à 636. — Foret à ailes.

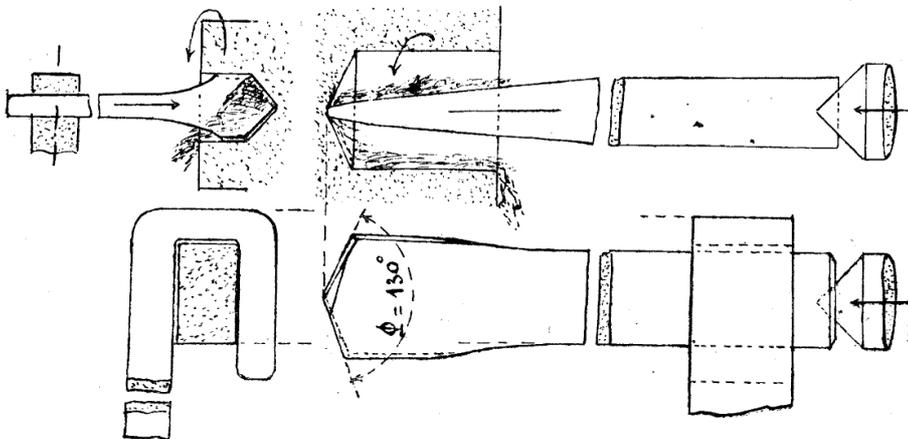


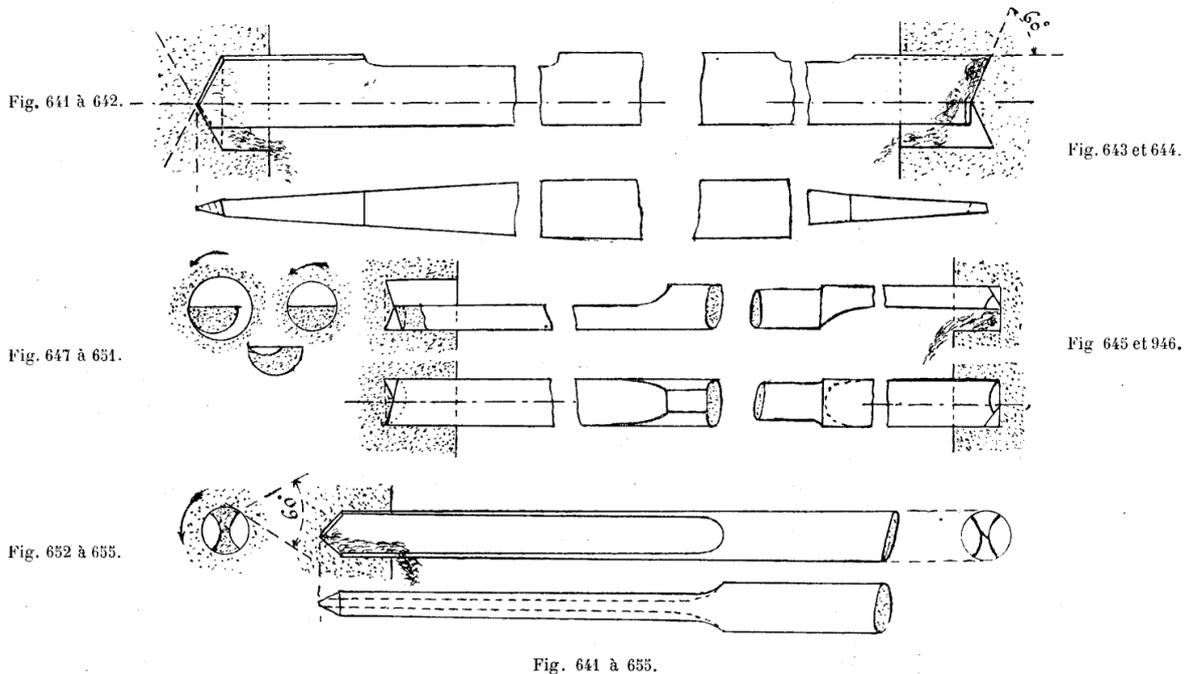
Fig. 637 à 640.

pour le forage au tour ou à la machine à forer horizontale, pour le fraisage des trous de rivets des tôles de bateaux.

Dans le cas du forage au tour, l'outil est dégagé dans une barre d'acier carrée

ou méplate maintenue par un chariot porte-outil : c'est la pièce qui tourne (fig. 637); le foret possède le déplacement longitudinal. On utilise encore souvent le modèle ordinaire (fig. 638-640) en adoptant un angle Φ de 130° .

Si le diamètre est petit, le dégagement des copeaux est facilité en adoptant deux tranchants inégaux (fig. 641-642). Dans ce cas, le foret est toujours solidement maintenu et bien guidé par le chariot du tour, avec faculté de pouvoir fréquemment retirer le foret pour dégager les copeaux.



Comme variantes (fig. 643-644), l'un des tranchants est oblique en sens inverse, l'autre est normal à l'axe; l'affûtage est plus difficile; ou bien, encore, le foret de tour n'a qu'un seul tranchant oblique à l'axe (fig. 645-646).

Pour obtenir des trous lisses, le foret affecte les formes fig. 647-651 dites à canon ou à cuiller, et (fig. 652 à 655) à tige cylindrique cannelée de manière à présenter des génératrices tranchantes.

Lorsque le trou est d'assez grand diamètre (40 à 130mm), la tête du foret a la forme fig. 656-658, qui laisse beaucoup de dégagement aux copeaux; ceux-ci se roulent comme en fig. 658. Une moitié du tranchant travaille; on peut percer des trous de diamètre double de la largeur de l'outil; l'affûtage est facile. On a

la possibilité de placer la ligne tranchante exactement suivant une génératrice du cône de fond du trou (fig. 659-660), ce qui assure aux angles de coupe α et aux angles de dépouille β des valeurs constantes en chaque point. Ces valeurs sont : pour α , de 80° à 90° et, pour β , de 10° à 15° . L'angle $\frac{\Phi}{2}$ varie de 90° à 110° .

L'angle α pourrait être réduit à volonté en creusant la face supérieure; on le tient voisin de 90° afin que l'outil n'ait pas tendance à plonger, à s'engager pour prendre une épaisseur plus forte. Cependant, lorsque la rigidité de la pièce

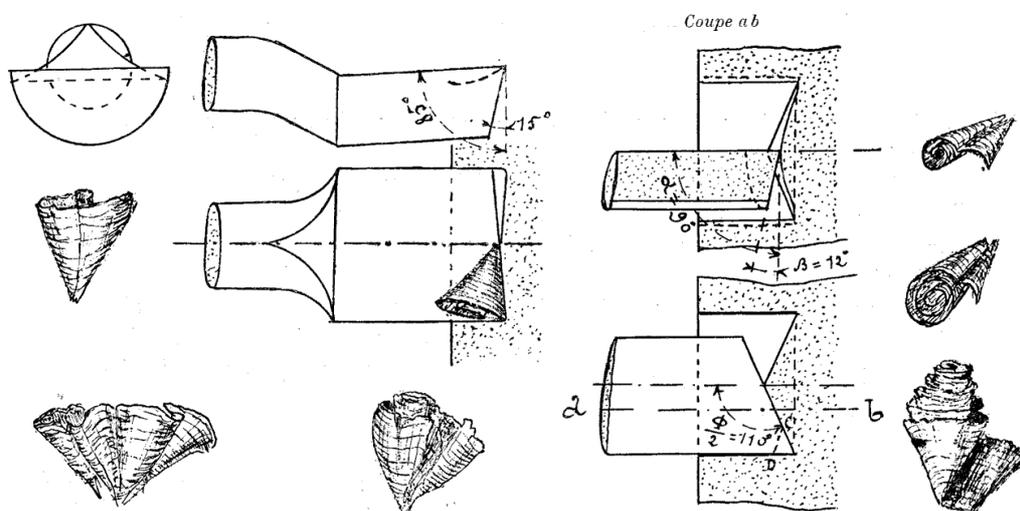


Fig. 656 à 661.

et celle de l'outil sont bien assurées, il convient de réduire α à 70° pour faciliter la coupe et obtenir, avec de l'acier doux, des copeaux roulés tels que ceux fig. 661. En outre, on préconise, pour les forts diamètres, de briser la ligne tranchante suivant CD (fig. 660), pour partager le copeau en deux parties plus faciles à expulser par un jet sous pression d'eau de savon employée pour la lubrification. Malgré l'abondance de l'eau amenée par un petit tube au fond du trou, trop souvent les copeaux bourrent lorsque le trou est profond (au-dessus de 200^{mm}); il faut retirer l'outil pour enlever les copeaux. L'avance est aussi limitée; elle est ordinairement de $0^{\text{mm}},1$ par tour. On a soin encore de refroidir la pièce en laissant couler extérieurement un jet d'eau à l'endroit où l'outil attaque.

Le modèle fig. 652 à 655 comprend une barre cylindrique dans laquelle on a creusé deux cannelures ménageant ainsi quatre arêtes longitudinales, dont deux peuvent être affûtées à la meule d'émeri pour couper et lisser la surface du trou.

Les portions de surface cylindrique qui restent intactes assurent un bon

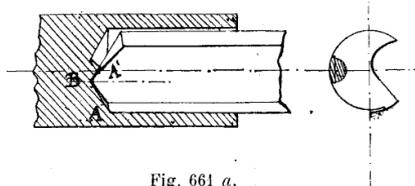


Fig. 661 a.

guidage, particulièrement pour les trous de grande profondeur par rapport au diamètre.

Si le foret est maintenu d'une façon rigide, son axe peut ne pas correspondre avec celui du trou (fig. 661 a), tout en restant parallèle. Dans ce cas, un des tranchants A B enlève à lui seul la presque-totalité du métal; l'autre, A'B, n'enlève que le petit cône central. L'emboîtement partiel de la pointe vers A a pour effet de maintenir latéralement le foret, mais le petit cône central a l'inconvénient de tendre à monter sur le foret, à faire fléchir celui-ci, qui doit être appuyé dans le trou. Pour favoriser l'évacuation des copeaux, particuliè-

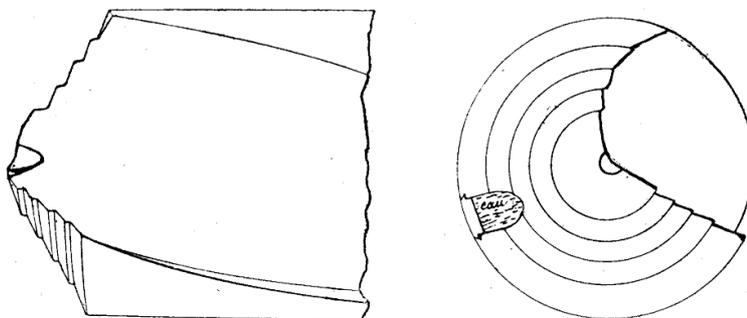


Fig. 661 b.

rement lorsque le trou dépasse 50 millimètres de diamètre, le tranchant A B est étagé comme en fig. 661 b. La pointe est abattue, la partie centrale se trouve brisée par son contact avec l'outil. Le lubrifiant est amené sous pression par une rainure opposée à la gorge qui reçoit les copeaux. L'affûtage d'un tel foret n'est pas facile, il exige une meule appropriée, à arête vive pour bien dégager les angles, sinon le copeau ne se brise pas; l'affûtage peut aussi se faire sur la

face de dessus, soit sur la surface de la gorge, de forme hélicoïdale pour favoriser le dégagement des copeaux.

Foret hélicoïdal. — En dégageant dans une tige cylindrique deux cannelures opposées hélicoïdales (fig. 662), on obtient, à la tête de l'outil (fig. 663-664) deux tranchants AB et A'B', qui diffèrent peu de lignes droites; une arête AA', intersection des surfaces d'affûtage; deux courbes AC, A'C', dites lignes d'arrière des tranchants, en dépouille sur ces derniers; enfin, deux lignes B'C, BC', à la naissance de la tête; ces courbes sont les intersections des surfaces de dépouille avec la surface cylindrique de la tige d'acier.



Fig. 662.

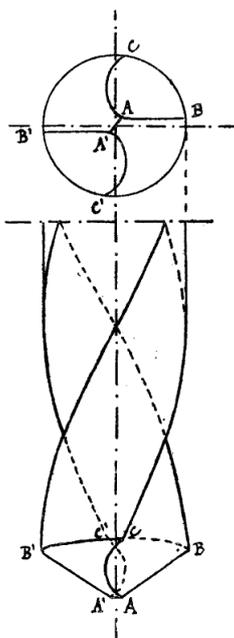


Fig. 663 et 664.

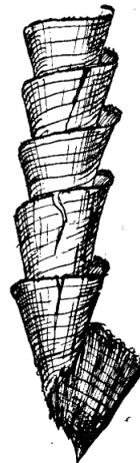
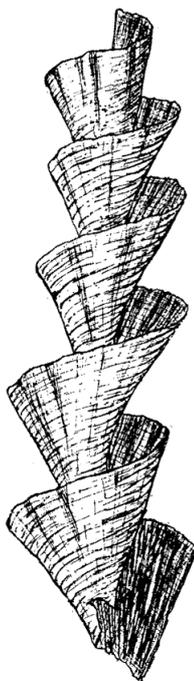


Fig. 665 à 667.

Les hélices de coupe latérale assurent une surface de trou parfaite, sans crainte de broutement; de plus, la forme des cannelures détermine le contournement des copeaux

(fig. 665-667), ce qui leur donne une rigidité qui facilite leur dégagement par les cannelures du foret, dont l'inclinaison des hélices est dirigée de manière à favoriser l'expulsion des copeaux, la composante longitudinale du frottement au contact ayant le sens de la sortie du trou.

On préconise le modèle fig. 668, dont la surface cylindrique est en dépouille sur les hélices de coupe latérale.

Ce foret, dit *américain*, s'est répandu dans tous les ateliers où la précision et la rapidité du travail s'imposent.

Le foret à pointe ordinaire n'a pas été supplanté d'une façon générale par

le foret hélicoïdal, parce que c'est le propre de tout outil simple de coexister avec l'outil complexe. C'est aussi parce que ce dernier exige, pour son affûtage, des moyens spéciaux; sa plus grande fragilité oblige à employer des foreuses précises, sans jeu dans les organes et à le traiter avec



Fig. 668.

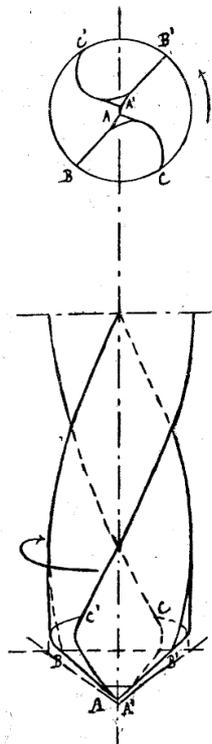


Fig. 669 et 670.



Fig. 671 et 672.

plus de ménagement; sinon, les frais d'entretien sont onéreux et le font abandonner pour les travaux ordinaires. Le foret hélicoïdal a encore le grand avantage de dispenser des réparations par forgeage; sa remise en bon état ne nécessite que des affûtages répétés: c'est la caractéristique d'un bon outil.

Les deux tranchants de tête AB et A'B' (fig. 663-664) correspondent chacun à l'intersection d'un cône avec la cannelure afférente. Les deux cônes se coupent suivant l'arête AA', qu'il importe de réduire le plus possible, en n'exagérant pas l'épaisseur du noyau de l'outil, en chanfreinant la pointe comme en fig. 669-670, ou mieux en l'appointant (fig. 671-672), ce qui se fait avec une petite meule appropriée.

La réduction de l'arête AA' assure l'obtention de trous plus réguliers, facilite la pénétration sous un moindre effort; le cylindre refoulé ou enlevé par grattage est de moindre volume; en outre, lorsque la pointe est prononcée, le foret dévie au début de l'opération, même avec un coup de pointe prononcé; l'arête AA' tend à se déplacer latéralement.

Il importe aussi de réduire à une très faible valeur la pression sur le foret lorsque le trou débouche; sinon, on court grand risque de briser l'outil, parce que la pénétration s'accroît par la tendance du foret à faire office de vrille, phénomène analogue à celui d'une vis qui avance dans son écrou, ce dernier représenté par la pièce.

Cette tendance à l'enfoncement rapide a pour effet de réduire l'effort de poussée qu'exerce le monte-et-baisse de la foreuse; elle a lieu aussi lorsque, vers la fin de l'opération, les extrémités des hélices latérales sont engagées dans le métal et ne peuvent l'enlever, ou quand elles coupent un métal mou, tel que du plomb, sur une certaine longueur; ces arêtes s'engagent, elles déterminent un moment de rotation de plus grande valeur que celle du moment de coupe de la tête; l'outil est alors soumis à de grands efforts de torsion, qui peuvent en amener la rupture. Ce phénomène se constate aisément en perçant un morceau de bois, ou en emmanchant avec frottement sur le foret un morceau de caoutchouc percé au préalable.

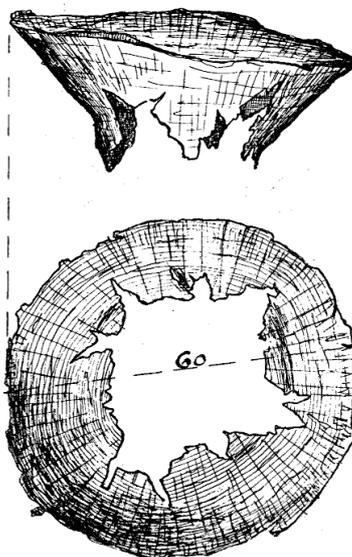


Fig. 672 a.

Avec des métaux grenus durs : fonte, bronze, l'attaque latérale est moins grande qu'avec les métaux mous : plomb, cuivre, aluminium. La non-expulsion des copeaux favorise aussi la tendance à la pénétration, ainsi que le frottement latéral, qui augmente avec la profondeur du trou : la pièce et le foret forment écrou et vis. Pour prévenir ou atténuer cette action qui fatigue l'outil, on recommande, par exemple, pour les travaux de tôlerie, de charpenterie, d'excentrer un peu la pointe du foret, de manière à produire un trou de diamètre légèrement plus grand que celui de l'outil; en outre, il importe que l'arbre porte-foret soit équilibré et n'ait pas de jeu longitudinal dans sa liaison avec le monte-et-baisse.

Dans ce cas, le foret attaque d'une façon normale, en détachant, à la fin de

l'opération, cas de l'acier demi-dur, une partie de faible épaisseur qui s'em-
boutit comme en fig. 672.

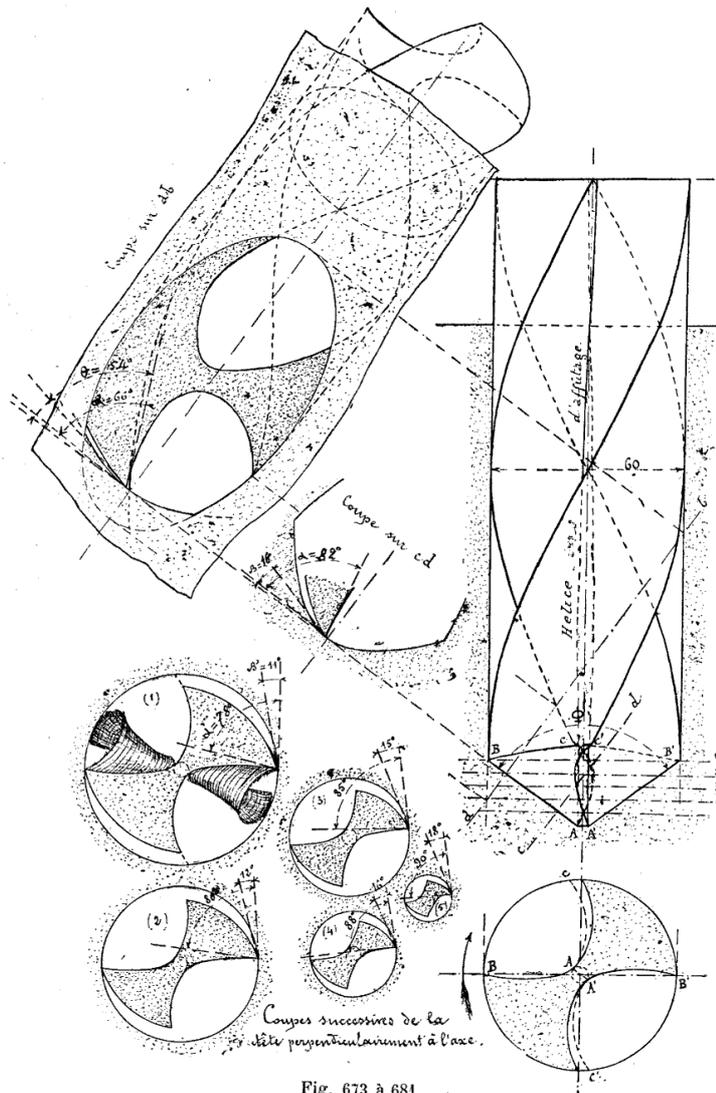


Fig. 673 à 681

Les cannelures ont une forme telle que les lignes tranchantes AB et $A'B'$ sont presque droites pour un angle Φ donné, dont la valeur ne s'écarte guère de 120° .

Par suite de la courbure donnée à la surface des cannelures, les angles α varient de 65° à 80° de B vers A, ainsi que l'indiquent les coupes ab et cd (fig. 675-676).

Cependant, au voisinage de la pointe, ils atteignent 90° , ou sont même supérieurs à cette valeur.

Les angles β varient de 10 à 15° . Les coupes perpendiculaires à l'axe (fig. 677-681) montrent la variation des angles α' : de 78° à 90° , et β' : de 12° à 18° , pour le modèle de foret considéré.

La valeur des angles de coupe α , en chaque point d'un tranchant AB, dépend de l'inclinaison de la surface hélicoïdale, inclinaison variable avec le pas des hélices et avec le diamètre. Dans un même foret (fig. 682), le pas de toutes les hélices est constant ; il doit être déterminé de manière à ne pas donner une valeur trop petite à l'angle d'acuité θ vers le point B, tout en ménageant un angle de dépouille β suffisant.

La longueur du pas varie entre 5 et 8 fois le diamètre ; il s'ensuit que la tangente à l'hélice extérieure, soit celle au point B (fig. 683), est comprise entre

$$\frac{5}{3,14} = 1,6 \quad \text{et} \quad \frac{8}{3,14} = 2,54,$$

ce qui correspond à des angles α'' variant de 58° à $68^\circ 30'$, soit de 60° à 70° pratiquement.

Pour $\beta'' = 10^\circ$, θ' varierait de 50 à 60° .

La première valeur est faible ; il est préférable d'adopter la seconde si l'on considère qu'un même foret doit travailler les divers métaux durs ou mous, tenaces ou non.

Le pas des hélices étant arrêté, il est facile de calculer les angles α'' en chaque point du tranchant, si on suppose que celui-ci (fig. 683) se confond sur la plus grande partie de sa longueur avec une droite qui coupe l'axe du foret, condition que nous avons trouvée des plus avantageuses au foret à pointe ordinaire, puisque cela revient à admettre une épaisseur nulle à l'extrémité dudit foret. Il importe de rejeter (fig. 687) la direction de AB au delà de la projection o de l'axe de rotation. D'ailleurs, tout ce qui a été exposé pour la détermination des angles de coupe et de dépouille du foret ordinaire s'applique au foret hélicoïdal quand on décompose le tranchant en petits éléments.

Néanmoins, recherchons ici les rapports entre les angles α'' et α . Considérons l'élément en B (fig. 683) et menons le plan tangent B'M à l'hélice pour caracté-



Fig. 682.

riser l'angle α'' . Le plan BE (fig. 684) normal à AB, contient l'angle α rabattu suivant $D_1 B_1 E_1$ (fig. 686).

On a :

$$\operatorname{tg} \alpha'' = \frac{C'D'}{B'D'} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{D_1 E_1}{B_1 D_1} = \frac{D_1 E_1}{B'D'}$$

soit :

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha''}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{C'D'}{D_1 E_1} = \frac{CD}{EB} = \sin \frac{\Phi}{2}$$

Dans un foret de 60 millimètres de diamètre, dont le pas des hélices est égal

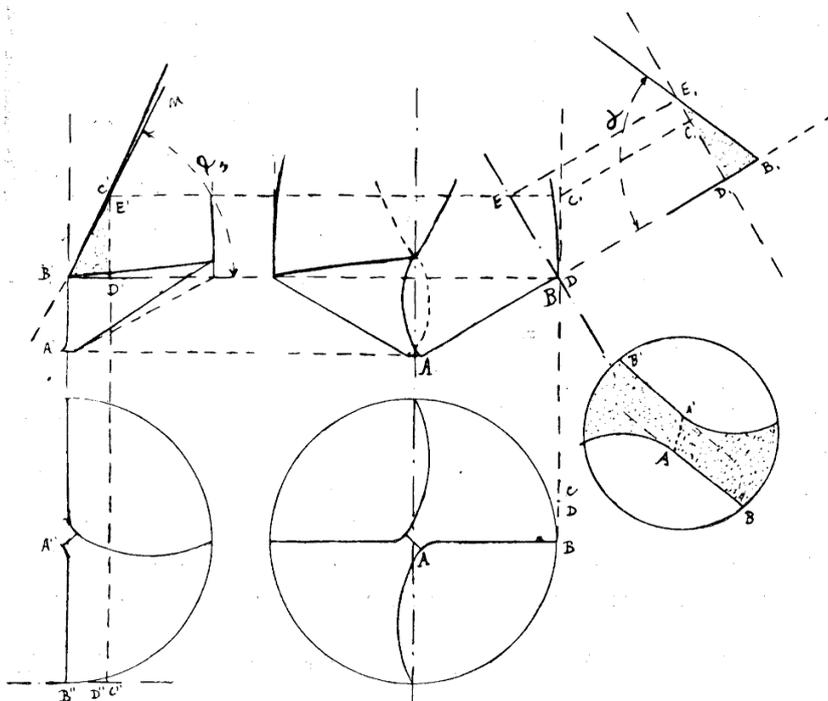


Fig. 683 à 687.

à 6 fois le diamètre, soit 360 millimètres, avec un angle $\Phi = 120^\circ$, on obtient, pour divers diamètres ou divers points du tranchant :

Diamètres.	5	10	20	40	60 millim.
$\operatorname{tg} \alpha''$. . .	22,8	11,4	5,72	2,87	1,91
α''	$87^\circ 30'$	85°	$80^\circ 10'$	$70^\circ 50'$	$62^\circ 20'$
$\operatorname{tg} \alpha$	26,4	13,2	6,6	3,3	2,2
α	$87^\circ 50'$	$85^\circ 40'$	$81^\circ 20'$	$73^\circ 10'$	$65^\circ 40'$

Quant aux angles β , ils varient selon le mode d'affûtage. Par exemple, un foret de 25 millimètres de diamètre accuse les valeurs fig. 688 à 692.

La dépouille du talon peut être obtenue, comme dans le foret ordinaire, par un affûtage plan (fig. 693 à 700). L'inclinaison du plan doit être suffisante pour que les points situés en arrière des tranchants, tels que C et C', ne frottent pas sur la surface de coupe.

Avec un plan tel que celui ABC', qui serait celui d'inclinaison minimum ou de moindre valeur de β , on voit que le point C' se trouve sur la trace du point B, tandis qu'un point tel que E se trouve à une distance ED, dont le point D appartient à la ligne tranchante ramenée dans un plan parallèle à celui de la

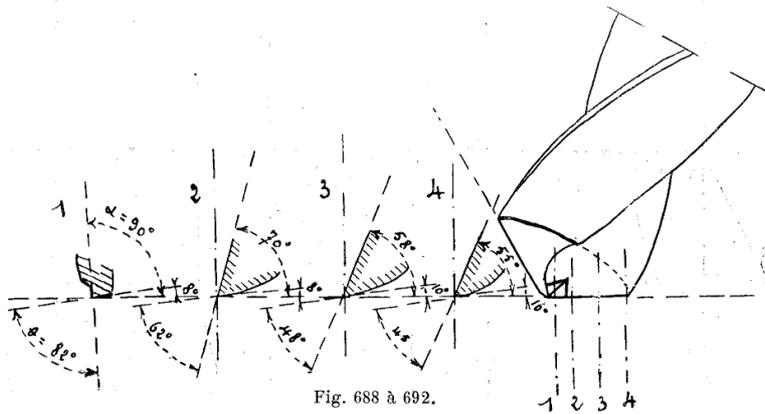


Fig. 688 à 692.

figure 700. Il suffit donc que tous les points tels que E se trouvent à gauche de AC'.

La grande épaisseur de l'outil vers la naissance de la tête, vers la partie cylindrique de pourtour, obligerait à une inclinaison générale trop forte, que l'on évite en abattant (fig. 701-704) la plus grande partie de cette épaisseur par un deuxième plan plus incliné que le premier, ce qui ne présente aucun inconvénient. On réserve ainsi une faible largeur de biseau proprement dit. Cette disposition peut être adoptée lorsqu'on ne possède pas de machine à affûter. Il faut tenir l'angle β assez petit, 10° au plus, afin de ne pas trop affaiblir l'angle d'acuité θ , et par suite conserver une solidité suffisante aux parties qui travaillent.

L'angle θ que fait l'arête AA' avec la projection des tranchants permet de juger si l'angle β a une valeur convenable.

En vue de repérer l'affûtage à la main, le foret présente deux hélices tracées sur le noyau de part et d'autre (fig. 705).

Au lieu de maintenir l'outil parallèlement à lui-même quand on procède à

l'affûtage du biseau ou plan assimilé à une surface cylindrique de rayon infini, on pourrait lui imprimer une rotation autour de son axe, ce qui engendrerait une surface de tête conique ayant même axe que celui du foret.

Il n'y aurait, dans ce cas, aucun dégagement; l'arête AA' se réduirait à un point; il existerait une pointe conique qui ne couperait pas (fig. 706-707).

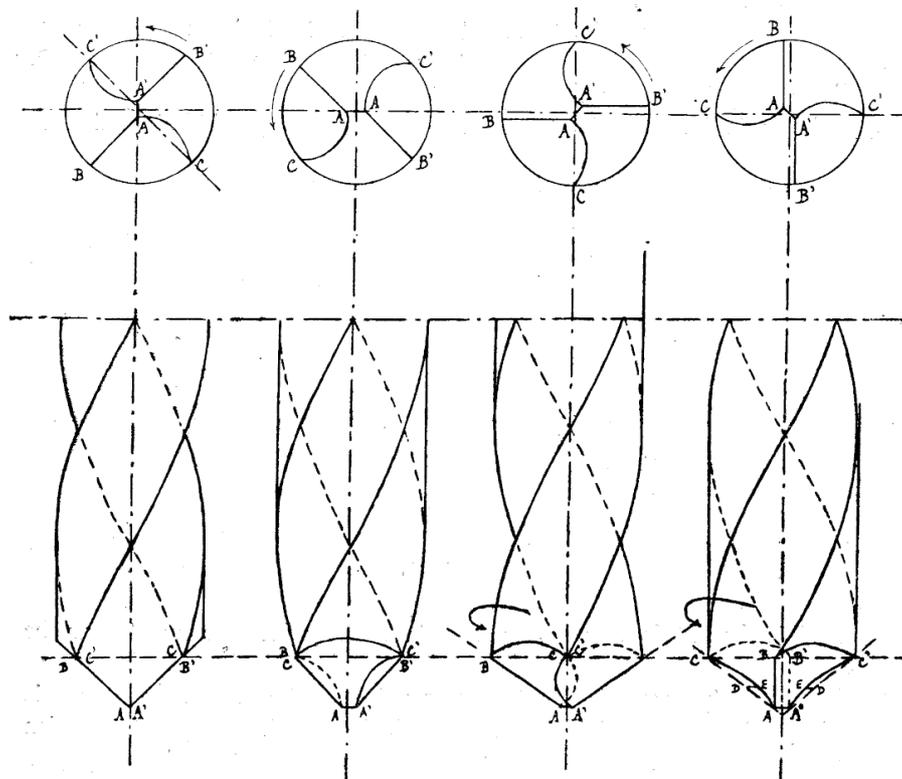


Fig. 693 à 700.

Mais si l'on conduit l'opération de manière à entamer davantage à l'arrière de chaque tranchant, de manière à engendrer une surface cylindrique donnant du dégagement, en relevant les points C et C' en C_1 et C_1' (fig. 708-712), on pourra donner la dépouille nécessaire et produire une arête extrême, telle que AA' , par l'intersection des deux surfaces cylindriques engendrées.

Les axes de ces deux surfaces cylindriques seraient obliques à l'axe du foret (fig. 711); par exemple, ils seraient respectivement parallèles à chacun des tranchants AB et A'B'.

Ainsi, pour le tranchant A'B' (fig. 711) l'axe du cylindre de dépouille est XX, oblique à l'axe du foret YY, et ne le rencontre pas.

Si on projette la tête de l'outil sur un plan perpendiculaire à XX (fig. 712), il faut que le centre X', projection de XX, soit convenablement choisi en position, et que le rayon du cylindre de dépouille soit assez grand.

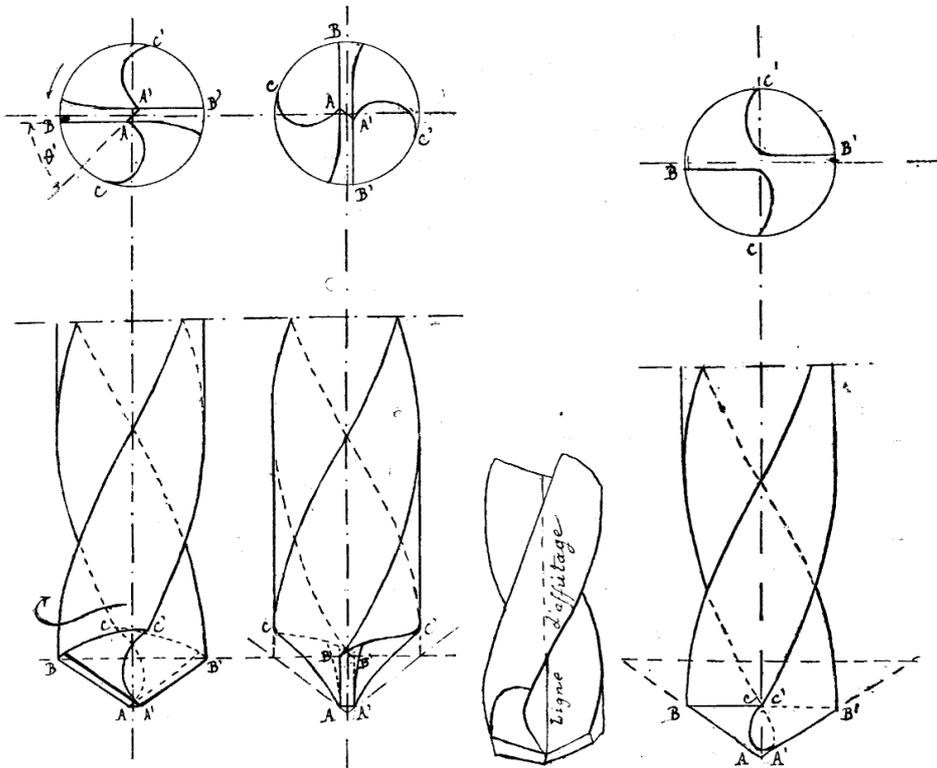


Fig. 701 à 704.

Fig. 705.

Fig. 706 et 707.

Sur la (fig. 712), A'B', AA' et AC se projettent suivant l'arc AB'A'C, attendu qu'elles se trouvent sur le cylindre; les autres A'C', C'B' et BA, ont des projections distinctes.

Dans cette solution, la surface en dépouille est d'une courbure constante qui peut convenir; mais, généralement, l'on utilise, pour l'affûtage, des machines qui engendrent des surfaces de dépouille coniques. Pour chaque surface, l'axe du cône est oblique à l'axe du foret, et l'une des génératrices correspond à très peu près à la ligne tranchante.

C'est ainsi que Sellers a adopté (fig. 713 à 717) un cône dont la génératrice ST correspond au tranchant A'B', tandis que celle opposée SU se trouve en dehors de la tête afin de ne pas atteindre le tranchant AB.

L'axe XX du cône fait un certain angle avec celui YY du foret ; sa projection

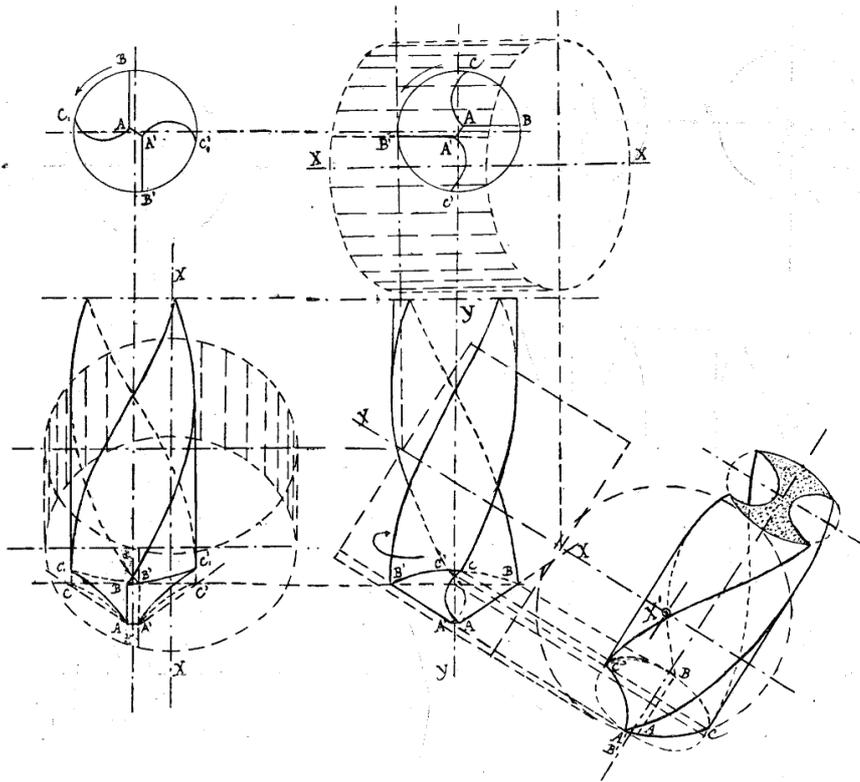


Fig. 708 à 712.

sur un plan orthogonal à celui qui contient la génératrice est parallèle à l'axe YY. L'axe XX passe par la projection du point A.

Un tel cône de dépouille dégage suffisamment le talon sur tous les points en arrière.

Le dégagement linéaire total perpendiculairement à l'axe du foret est mesuré, pour chaque point de AC, par les distances telles que C_1D_1 (fig. 715) qui se rapportent au point B'; la droite AC_1 est la ligne tranchante amenée dans le plan parallèle à celui de la figure 715, c'est-à-dire que AC_1 est la génératrice du cône engendré par A'B'.

Les distances C_1D_1 décroissent de C_1 en A, ce qui se conçoit aisément; néanmoins, à cause de la courbure plus grande du cône en A' qu'en B', la dépouille réelle, mesurée par l'angle β' au point d'attaque, est plus grande en A' qu'en B'.

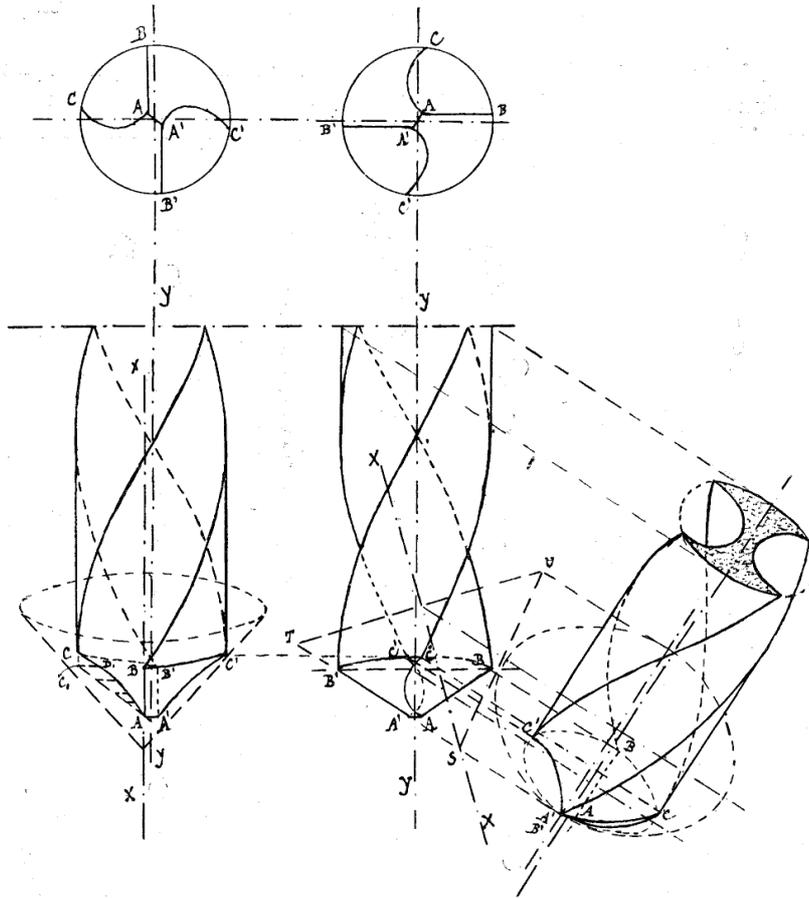


Fig. 713 à 717. — Foret Sellers.

Nous avons vu précédemment que l'angle β' pouvait varier, pour un affûtage donné, de 20° en A' à 10° en B', et que l'angle β variait dans un autre affûtage de 8° à 10° .

Lorsque le foret est d'un diamètre supérieur à 40 millimètres, le pouvoir de coupe peut être augmenté en adoptant des cannelures telles que la ligne tran-

chante AB (fig. 674) se projetant, en plan, en arrière du rayon OB. On réduit les valeurs de α ainsi qu'il a été indiqué au foret à pointe ordinaire.

Les coupes perpendiculaires à l'axe fig. 677 à 681 font ressortir des angles α' qui varient de 70° à 90° . Les angles $\alpha-\beta'$ sont en moyenne de 15° . Les angles α et β , dans les sections normales à la ligne tranchante, ont des valeurs un peu inférieures.

Pour des trous précis, l'affûtage doit donner des tranchants bien symétriques; sinon l'un attaque plus que l'autre, ou fait à lui seul la coupe, ce qui l'émousse plus rapidement et oblige à modérer l'avance, ce qui prolonge la durée de l'opé-

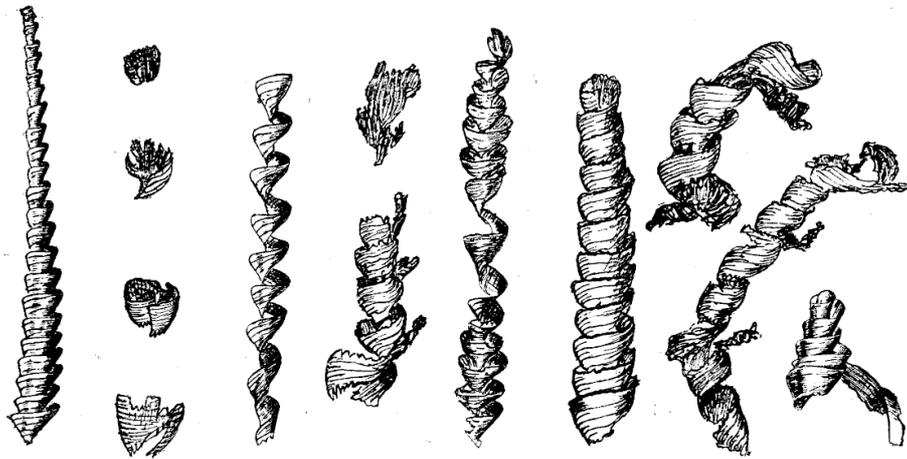


Fig. 718. — Copeaux d'acier doux.

ration. De plus, les réactions n'étant pas équilibrées, le foret perce en déviant; il attaque la paroi latérale, agrandit le trou. Cet agrandissement permet donc de vérifier si l'affûtage est aussi précis qu'on le désire. Avec des tranchants symétriques, le foret doit frotter un peu dans le trou lorsqu'on le retire. L'identité des deux copeaux dénote mieux encore la précision de l'affûtage, l'égalité du travail des deux tranchants. Les copeaux, s'il s'agit d'un métal tel que l'acier doux, doivent se dégager en hélices (fig. 665-667) et présenter une surface de coupe lisse. Le facile dégagement des copeaux devrait faire adopter le foret hélicoïdal tout particulièrement pour les forages profonds qui nécessitent, avec les autres forets, de nombreux déburrages, obligent à ne produire que de faibles avances. Le foret hélicoïdal convient surtout pour le perçage des pièces de fonte ou d'acier coulé, qui, trop souvent, présentent des soufflures; le guidage de l'outil étant mieux assuré, il y a moins de chances de le briser; cependant,

dans ce cas, il faut opérer avec précaution pour prévenir un engagement qui pourrait produire la rupture.

En vue de faciliter la coupe et le dégagement des copeaux, le foret est confectionné avec deux cannelures pour chaque tranchant de manière à ménager une pointe en C (fig. 719-720).

En ce point C, le copeau a tendance à se débiter suivant CD et suivant CE; il forme un pli; puis une déchirure se produit. Les deux parties du copeau se logent dans la cannelure en s'appliquant sur la surface AH; la partie qui correspond à AC trouve un appui immédiat; mais celle qui correspond à CB n'ar-

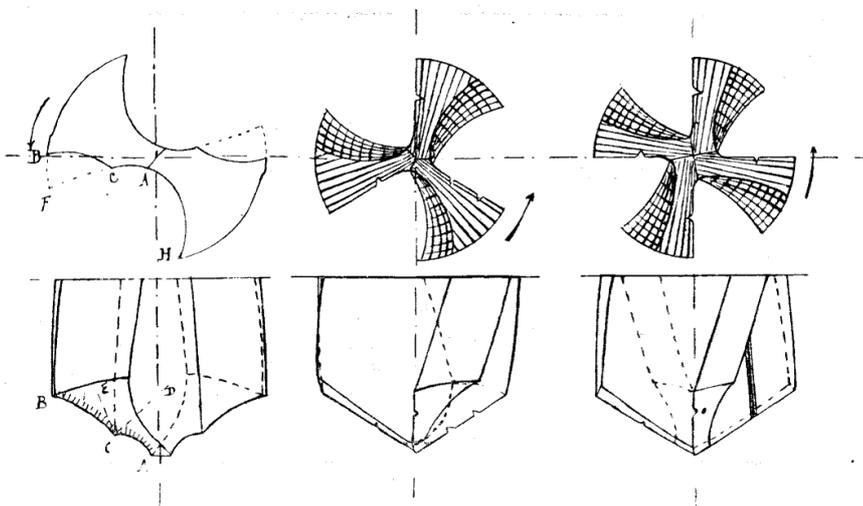


Fig. 719 à 723.

rive à s'appliquer sur AH et à se contourner qu'après avoir frôlé le petit copeau de AC. Les deux parties s'enchevêtrent ou se dégagent séparément. La forme générale des copeaux (fig. 718) est plus bombée que celle qui correspond au foret à tranchant simple.

Appliquée aux diamètres inférieurs à 25 millimètres, cette disposition n'est pas favorable. La pointe est fragile; par suite de l'enlèvement de la partie BCF (fig. 719), l'outil est moins solide, donne lieu à de plus nombreuses ruptures; le trou a davantage tendance à bourrer avec les déchets du petit copeau; les frottements anormaux augmentent; la pièce et l'outil chauffent.

Avec des diamètres supérieurs à 25 millimètres, ce foret peut être adopté pour les divers aciers, les métaux ductiles; il ne présente aucun avantage pour la fonte, le bronze, les métaux dont les copeaux ne se débitent pas en grande

longueur. Les forets de diamètre supérieur à 50 millimètres ont deux arêtes C sur chaque tranchant, pour diviser le copeau en trois parties.

De même, pour les modèles (fig. 721-725) dont les tranchants sont interrompus par de petites entailles non symétriques, ayant pour but de débiter les copeaux en plusieurs parties ; il ne faut les employer que pour les gros diamètres et les fortes avances, en vue de faciliter le contournement des copeaux toujours favorable au dégagement.



Fig. 723 a.



Fig. 723 b.

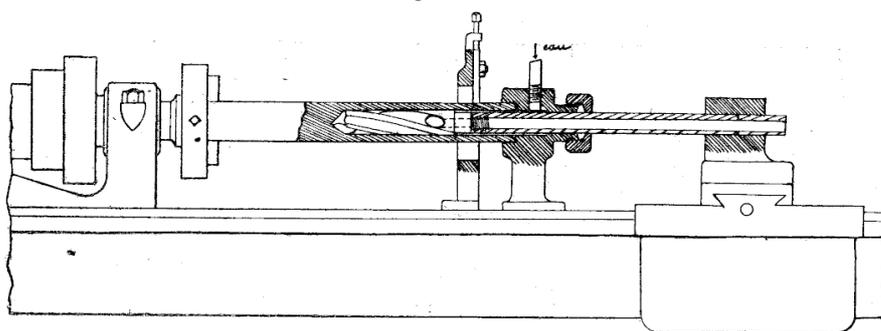


Fig. 723 c.

Chaque entaille des tranchants peut être produite par un petit sillon hélicoïdal pratiqué dans la rainure.

Pour les moyens diamètres, 30 à 50 millimètres, on préconise des forets à trois tranchants (fig. 721-722) ; au-dessus de 50 millimètres, on peut avantageusement adopter quatre tranchants (fig. 723-725). Le foret se guide mieux ; il est plus rigide, plus résistant, se comporte bien pour l'agrandissement des trous.

On est conduit à réduire le plus possible le noyau afin de limiter les arêtes de la pointe, sinon le cylindre à refouler ou à gratter prend trop d'importance. Les angles des faces de la pyramide qui constitue la pointe étant grands, le foret exige une pression considérable, que l'on évite en perçant au préalable un

trou de petit diamètre (10 millimètres). Ce diamètre est augmenté si l'on ne possède pas de foreuse assez robuste, ou si l'on préfère partager le travail dans une proportion meilleure. Ainsi, pour les plaques en cuivre de foyer de locomotives d'environ 30 millimètres d'épaisseur, on fore, pour un trou définitif de 50 millimètres, un avant-trou de 20 millimètres; pour un trou de 72 millimètres, l'avant-trou est de 30 à 40 millimètres. Pour les plaques en acier extra-doux, on fore successivement à trois diamètres : 30, 50, 72. Les opérations se font au foret hélicoïdal ordinaire. Quand le foret est à trois ou à quatre tranchants, l'épaisseur du copeau dans le sens de l'axe est le tiers ou le quart de l'avance par tour; on peut, avec avantage, augmenter cette avance par rapport à celle du foret à deux tranchants, particulièrement s'il existe un avant-trou qui réduit dans une grande proportion la pression longitudinale.

Lorsque le trou est profond, le foret est du modèle figure 725_a, et si le diamètre est supérieur à 30 millimètres, la Compagnie Morse préconise le type figure 725_b, percé d'un trou longitudinal à partir d'une ouverture dans laquelle aboutissent les cannelures hélicoïdales. Les copeaux brisés sont entraînés par l'eau de savon en suivant les cannelures, puis ils pénètrent dans le trou pour être expulsés par la barre creuse ajustée avec le foret. La queue du foret se visse dans la barre comme l'indique la figure 725_c qui donne la disposition générale de la foreuse horizontale (1). Ces forets se construisent jusqu'à 70 millimètres de diamètre. Quand on perce de l'acier fondu au creuset, la vitesse de rotation doit être de 0^m,10 avec une avance de 0,06^{mm} par tour; pour de l'acier machine la vitesse peut être de 0^m,20 et l'avance de 0,08^{mm} par tour.

Foret droit dit à mouche. — Ce foret, dit aussi à pointe de diamant (fig. 726-729) comprend deux lignes tranchantes AB, A'B', faisant un angle $\Phi = 180^\circ$. En outre, au milieu, se trouve une pointe analogue à celle d'un foret ordinaire.

Le foret à mouche se guide moins bien que celui à langue d'aspic; cependant, il est employé de préférence pour les grands diamètres et les faibles épaisseurs. Parfois, l'angle Φ est plus grand que 180° , quand on perce des tôles minces.

En augmentant les dimensions de la pointe (fig. 730-732) on obtient un foret mixte, qui se guide mieux, donne des trous plus corrects.

Les valeurs de α varient de 90° à 95° à cause de l'inclinaison de la face avant; mais, en dégagant cette face comme fig. 731, α peut être inférieur à 90° , sans cependant le réduire au-dessous de 70° , parce que β a toujours une assez grande valeur (10° à 15°).

La coupe est également améliorée en courbant les faces (fig. 733-735).

(1) *American Machinery*, décembre 1901 et G. Richard, *Traité des machines-outils*, vol. 1, p. 494.

Ces modèles ont le grand inconvénient de ne pouvoir être affûtés à la meule ; leur réparation est longue et onéreuse, tandis qu'en raccordant la pointe comme fig. 733-738, l'affûtage ordinaire est possible.

Ce dernier modèle est couramment adopté pour tous diamètres dans le forage à grande vitesse du bronze, du laiton. Le foret droit a aussi donné lieu à la

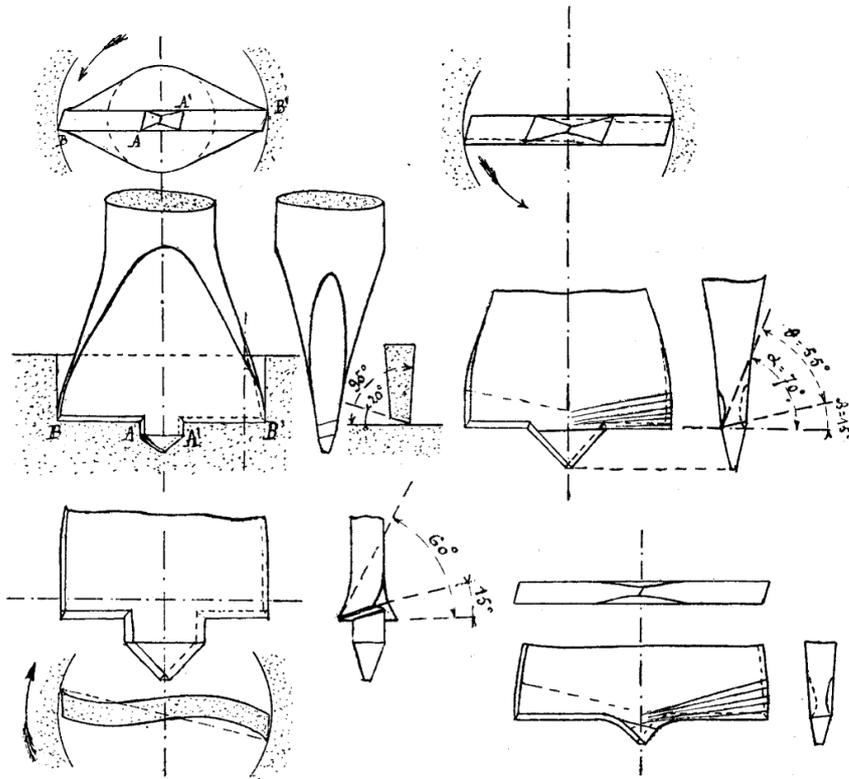


Fig. 726 à 738. — Forets à mouche, mixte et droite.

disposition comportant des gorges de guidage des copeaux ; mais le dégagement se fait moins bien qu'avec le foret à pointe. Le modèle fig. 739 est obtenu par la torsion d'une barre d'acier à section en croix.

Lorsque le trou est de grand diamètre, le foret comprend (fig. 740) une pointe à tranchants obliques et deux tranchants droits de longueur réduite ; ou encore, on perce un trou de petit diamètre et le foret (fig. 741) se trouve guidé par un téton.

Ce foret se prête encore au forage d'un trou et d'une couronne simultanément (fig. 742).

Il existe d'autres modèles du foret droit pour divers cas spéciaux; il n'est pas utile de nous y arrêter.

Lames à forer. — Lorsqu'il faut forer de nombreux trous de diamètre supérieur à 40 millimètres, par exemple ceux des plaques tubulaires, dont les diamètres varient de 40 à 120 millimètres, on opère en découpant une couronne (fig. 743-744) à l'aide de lames simples, outils moins onéreux à établir que les forets qui précèdent.

De même s'il s'agit de trous très profonds, tels que ceux des arbres creux, des lingots pour canons, etc., on



Fig. 739.

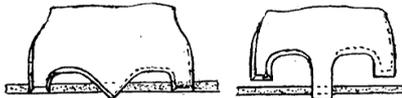


Fig. 740.

Fig. 741.

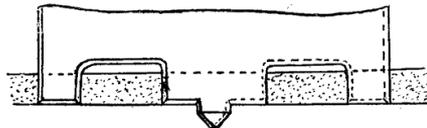


Fig. 742.

dégage une zone annulaire (fig. 743), laissant un cylindre central ou carotte.

On conçoit que le travail est ainsi moins grand, moins dispendieux, et, de plus, on obtient des trous plus réguliers.

Dans le cas de tôles, de pièces de faible épaisseur, on perce ou non un avant-trou de petit diamètre (20 à 25 millimètres), qui doit guider le porte-lame muni d'un téton cylindrique. Dans le cas de découpe de grand diamètre (0,500) telle que celle d'une ouverture dans un corps cylindrique de chaudière, l'avant-trou a un diamètre de 30 à 40 millimètres.

La lame L peut être simple (fig. 746-749). C'est un morceau d'acier recourbé qui présente une partie tranchante un peu surélevée par rapport à l'extrémité du téton du porte-lame A. La lame L est retenue par une cale C. On peut régler à volonté la distance de la lame à l'axe de rotation; par suite, obtenir des trous de divers diamètres.

L'angle α , facile à régler, varie de 50° à 90° , et l'angle β varie de 5° à 10° . La valeur de α , égale à 50° , exige une tenue rigide; sinon, l'outil engage; on a soin

d'ailleurs de faire correspondre les plus petites valeurs de β avec les plus petites valeurs de α afin de ne pas trop réduire l'angle d'acuité $\theta = \alpha - \beta$ et de prévenir, par les petites valeurs de β , la tendance à l'engagemment de l'outil.

L'arbre de la foreuse et le porte-lame doivent être bien guidés, ne présente aucun jeu parce que la réaction verticale qui s'exerce sur le tranchant a un bras

Fig. 743 et 744.

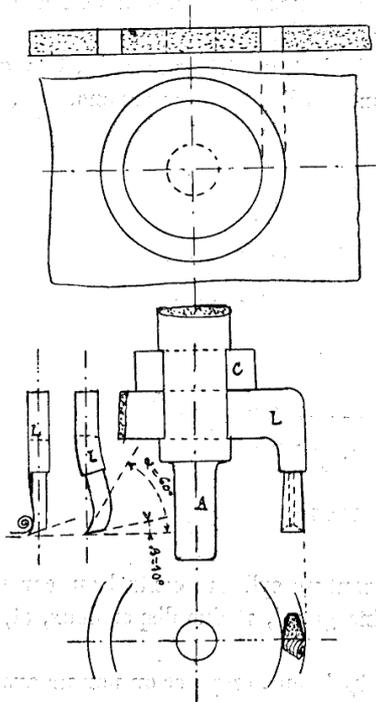


Fig. 746 à 749.

Fig. 745.

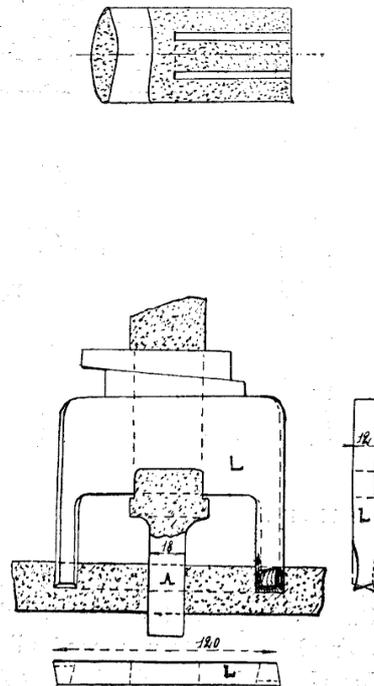


Fig. 750 à 752.

de levier relativement grand et qu'elle n'est pas équilibrée symétriquement, comme dans le modèle fig. 750-752, qui comporte deux tranchants dont il est difficile de bien régler la coupe identique; d'autre part, avec cette lame double on ne peut percer que des trous de même diamètre.

Les fig. 753-757 se rapportent à des lames dégagées dans une douille d'acier; on ménage deux ou trois tranchants. La douille est montée sur un porte-lame spécial dit à pointeau, qui dispense de forer un avant-trou dans la tôle.

Il existe divers modèles très ingénieux de ce porte-lame, à pression réglable

à volonté pour assurer une opération correcte; nous ne pouvons les signaler ici (1).

Ou encore, la bague vissée sur un mandrin (fig. 758) comprend cinq tranchants pour les gros diamètres jusqu'à 100 millimètres. Chaque élément de travail est en dépouille intérieure et extérieure; l'affûtage se fait sur le devant, de manière à conserver invariables les dimensions en diamètre. Il faut, pour cet affûtage, une meule de précision très grande; sinon les lames ne coupent pas également. Leur construction est aussi délicate. Ces raisons font rejeter ces lames pour s'en tenir à des outils plus simples, constitués par des morceaux d'acier prismatiques ou cylindriques à tranchant dégagé (fig. 759-760), que l'on

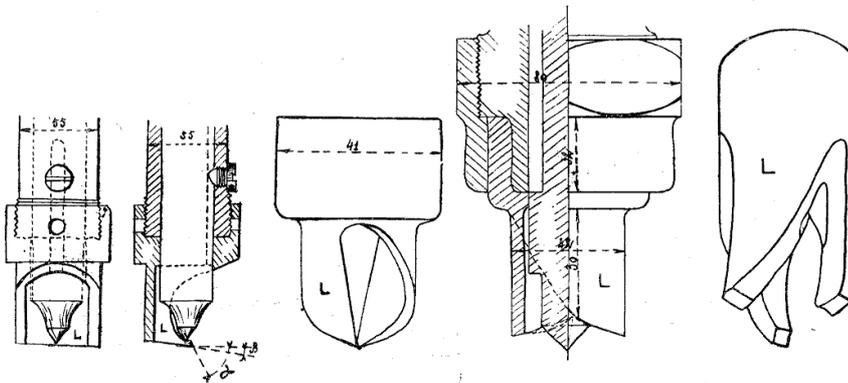


Fig. 753 à 757.

monte deux à deux ou en plus grand nombre sur des manchons qui permettent de varier les diamètres de la couronne enlevée.

La difficulté de bien régler les outils montés sur un même manchon motive le plus souvent l'emploi d'une seule lame dont la tenue est bien assurée par un porte-outil à coulisseau et glissière facilitant le réglage du diamètre; le porte-outil est guidé dans un avant-trou de diamètre suffisant.

C'est ainsi que, chez MM. Meunier et C^{ie}, chaudronniers à Fives-Lille, l'expérience a conduit à adopter le modèle de lame fig. 761-764 pour les trous jusqu'à 120 millimètres de diamètre, que l'on pratique dans les plaques tubulaires en tôle d'acier extra-doux de 20 à 30 millimètres d'épaisseur. Sous l'avance $\alpha = 0^{\text{mm}},14$,

(1) Voir notre *Cours des Machines-outils*. Ces porte-lames à pointe ont été utilisés pendant plusieurs années aux ateliers du chemin de fer du Nord à Hellemmes, pour le forage des plaques tubulaires en cuivre; ils ont été abandonnés pour s'en tenir à l'emploi du foret hélicoïdal. Le travail est plus rapide, le foret est moins onéreux d'entretien que les lames. Nous tenons ce renseignement de M. Anache, chef des ateliers d'Hellemmes.

une telle lame donne des copeaux sans rupture qui se roulent (fig. 765-767) ou se développent comme fig. 768. Le foreur les brise de temps à autre avec un crochet. Le diamètre de découpage est 1 millimètre plus petit que le diamètre définitif obtenu par un alésage finisseur. L'avant-trou est de 25 millimètres, Pour le découpage des ouvertures jusqu'à 0^m,500 de diamètre, dans les corps cylindriques des chaudières de 2 mètres et plus de diamètre, l'outil affecte la forme fig. 769-770. La largeur est de 10 millimètres, reconnue la plus con-

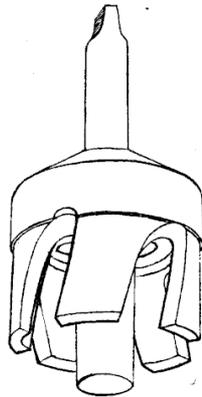


Fig. 758.

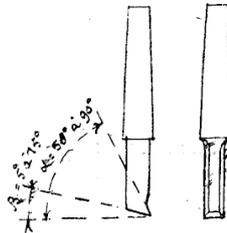


Fig. 759 et 760.

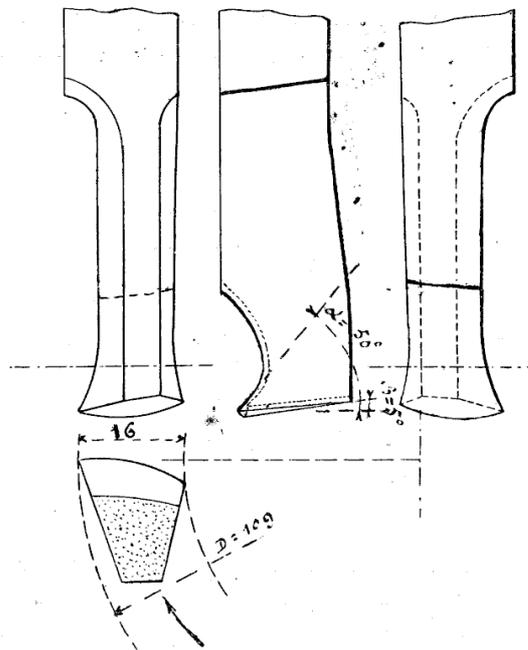


Fig. 761 à 764.

venable. Le bec de l'outil est en retraite à l'arrière de la face d'appui dans le porte-lame afin de prévenir l'engagement lorsque la lame fléchit, ou lorsqu'elle attaque au sortir des solutions de continuité que présente la courbure de la virole (fig. 771) attaquée en premier lieu sur la génératrice C, et en dernier lieu sur les génératrices D et D'. La flexion de l'outil tend à dégager le bec suivant l'arc A B plutôt qu'à l'engager suivant l'arc A'B', comme dans le cas où le tranchant serait à gauche du plan d'appui M N.

Pour le forage des lingots, des arbres, des canons, des pièces en acier dont la longueur atteint parfois plus de 25 mètres, avec trous dont les diamètres varient de 0^m,060 à 0^m,500, en ménageant une carotte dont le diamètre est de

0^m,020 à 0^m,400, les lames et les porte-lames ont des dispositions spéciales

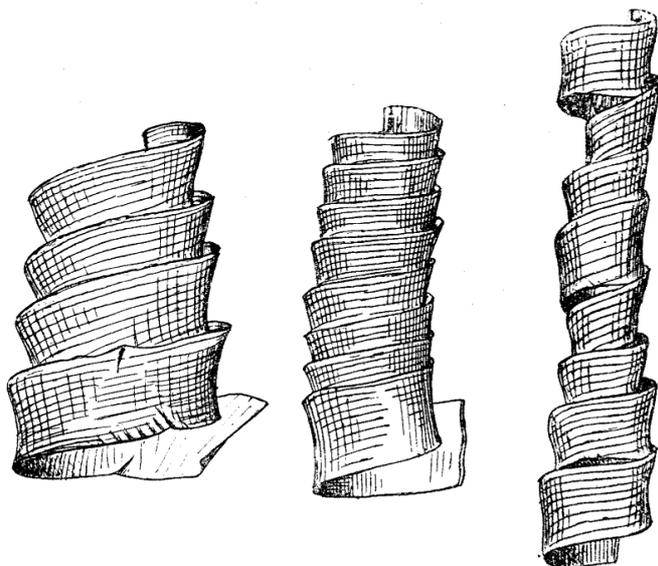


Fig. 765 à 767. — Fer fondu. Coupe à la lame $L = 15$ millimètres $\alpha = 0,14$.

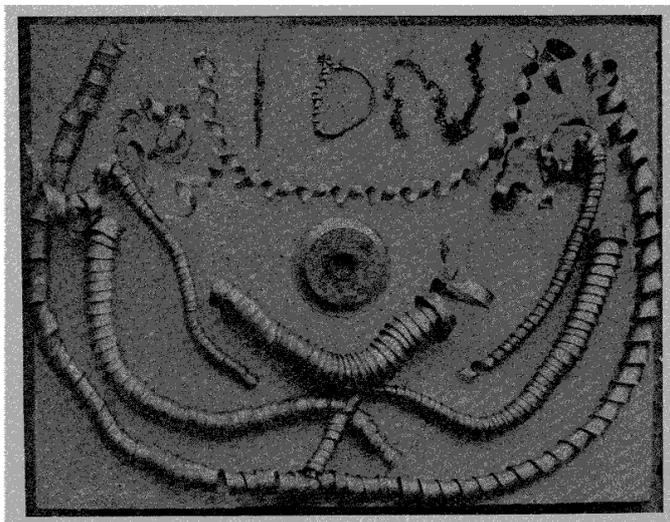


Fig. 768.

Le modèle simple (fig. 772-773) est encore couramment employé pour les troncs

Tome 103. — 1^{er} semestre. — Janvier 1903.

supérieurs à 100 millimètres de diamètre. Il comprend une lame L, fixée par deux vis sur la barre creuse B. Le tranchant d'about est étagé pour diviser le copeau en plusieurs parties en vue de faciliter le dégagement en ce sens qu'elles trouvent à se loger dans le vide ménagé à l'arrière et sur le côté tout autour du porte-lame de longueur appropriée. D'ailleurs, le foreur sollicite les copeaux à l'expulsion par une tige de petit diamètre à crochet qu'il manœuvre pendant le travail des outils.

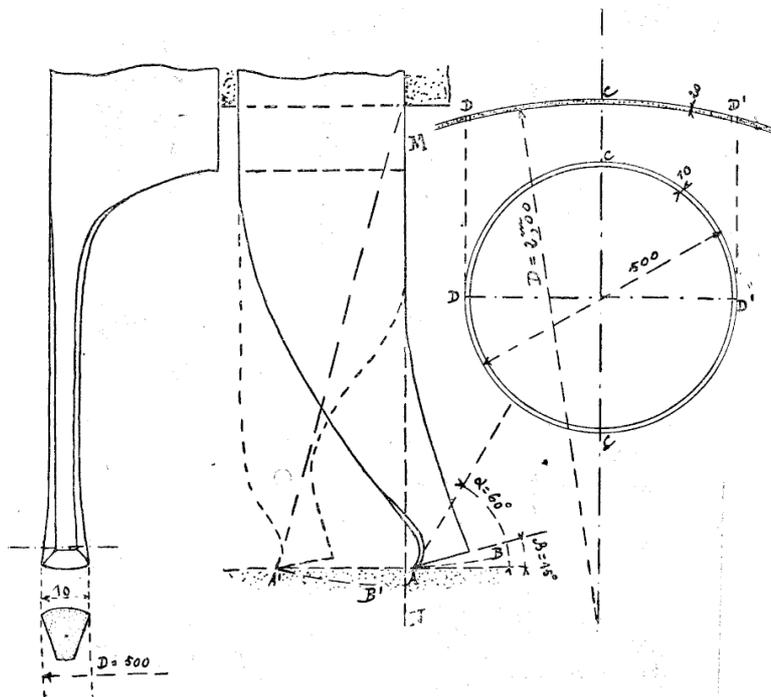


Fig. 769 à 771. — Lame de découpage des ouvertures dans les viroles de chaudières.

La lame présente aussi deux tranchants latéraux qui régularisent la surface du trou dite âme de la pièce, et celle de la carotte. Pour bien guider le porte-lame et soutenir la carotte centrale, la barre B est munie de frotteurs F, en bois dur, à l'extérieur vers l'extrémité, et à l'intérieur de distance en distance. Toutes les parties sont arrosées à l'eau de savon huilée affluent en abondance par la partie centrale, cette eau est refoulée par une pompe centrifuge débitant, par exemple un ou deux litres par seconde, elle favorise l'expulsion des copeaux; elle est recueillie dans une bêche pour servir à nouveau.

La lame est parfois à partie triangulée (fig. 774) à pointe arrondie; le copeau se

divise en deux ou en quatre parties. Ou mieux, quand on emploie deux lames, l'une est à dents triangulaires multiples constituant un peigne (fig. 775-776) qui attaque d'abord en creux, tandis que la deuxième lame, à tranchant droit ordinaire, enlève les parties saillantes. On obtient ainsi de très petits copeaux, que l'eau entraîne plus facilement.

C'est la meilleure solution quand on recherche la division des copeaux, soit lorsque le trou est de diamètre inférieur à 150 millimètres. Un autre modèle de lame est celui (fig. 777-779) à trois tranchants dégagés par des saignées faites à la petite meule d'affûtage; on adopte deux lames dont les saignées ne corres-

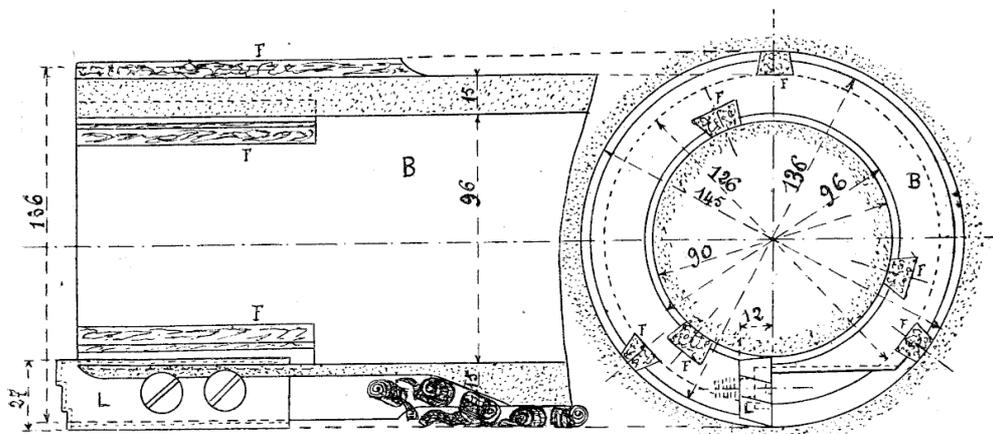


Fig. 772 et 773.

pondent pas; ou bien, la deuxième lame est à tranchant unique, mais l'autre attaque en premier lieu.

Les lames fig. 774, 775 et 779 ont l'avantage d'être maintenues par un emboîtement partiel d'about dans les sillons qu'elles forment; mais elles ont l'inconvénient de donner lieu à des ruptures plus nombreuses qu'avec la lame à tranchant étagé ou unique.

En outre, la division plus grande des copeaux donne lieu à des parcelles multiples qui s'intercalent entre les surfaces mobiles adjacentes; elles déterminent des grippements parfois prononcés dans la tête du porte-outil, et les bourrages qui obligent à interrompre l'opération ont plus de chances de se produire. Ces lames ont des angles de coupe α de 90° afin de prévenir l'engagement et les ruptures; l'angle β de dépouille varie de 10 à 15° . Leur largeur est comprise entre 20 et 50 millimètres selon la grandeur du diamètre du trou, de manière à laisser un vide suffisant pour l'épaisseur de la barre et pour l'espace réservé aux copeaux.

Les fig. 780-782 se rapportent à une disposition pour les trous de diamètre inférieur à 100 millimètres (1). En vue de prévenir tout déplacement latéral, la lame fig. 783-785 est ajustée à rainure et languette dans le porte-outil; une vis en assure la solidarité; de plus, l'extrémité de la lame, à queue arrondie, s'engage dans une entaille correspondante. Les copeaux se dirigent par le dégagement de la tête vers l'espace annulaire ménagé entre les deux douilles extrêmes dont la distance varie avec le diamètre. Ils sont expulsés facilement lorsque la douille de droite n'est pas encore engagée dans le trou; mais quand cette partie a pénétré à son tour, les copeaux sont rete-

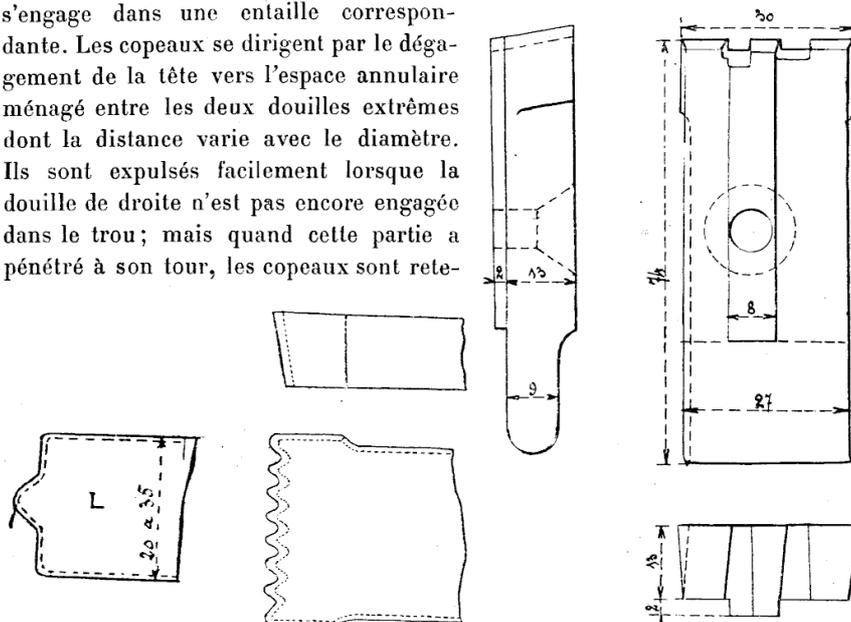


Fig. 774 à 776. —

Fig. 777 à 779.

nus dans la chambre ou intervalle entre les deux douilles; il faut, tous les 80 à 100 millimètres de pénétration, les débarrasser en retirant l'outil. La machine à forer comporte, à cet effet, un retour rapide pour réduire la durée de cette opé-

(1) Modèle adopté après divers essais par la maison Dujardin et C^{ie}, constructeurs de moteurs à vapeur à Lille. L'extrême urbanité de M. Dujardin à notre égard nous a permis de relever, dans ses beaux ateliers, de nombreux éléments que nous signalerons dans cette étude. La grande complaisance de son directeur, M. Dewaleyne, et de MM. Castel et Delchambre, chefs des ateliers, nous a beaucoup facilité notre tâche, de même que l'empressement de tous les collaborateurs ouvriers que nous avons mis à contribution. Nous nous plaignons à le reconnaître ici en adressant à tous nos bien vifs remerciements. Ces Messieurs n'ont jamais hésité un instant à suspendre le travail d'un ouvrier pour permettre de faire nos essais. Nous ne pouvons en dire autant d'autres industriels, assez rares cependant, qui nous répondaient qu'il était de règle absolue, dans l'établissement qu'ils dirigeaient, de ne jamais distraire un travailleur, et encore moins d'arrêter une machine-outil pour quelques instants. C'est une façon élégante d'éconduire les importuns comme nous; elle méritait d'être signalée et d'être mise en parallèle avec celle qui précède.

ration, laquelle exige de cinq à dix minutes, selon l'importance du trou et selon sa profondeur.

La partie formant ainsi la tête de longueur plus ou moins réduite est vissée sur la barre tubulaire; elle est constituée de préférence avec du bon fer soudé; la pièce est cimentée, puis trempée; cependant les grippements s'accusent par des traces qui ont jusqu'à un millimètre de profondeur: elles sont dues aux morceaux d'acier des lames qui se brisent.

De tels porte-lames ont à subir des torsions vives, répétées, provenant des variations des efforts qui se développent pendant la coupe, et l'on sait que l'acier

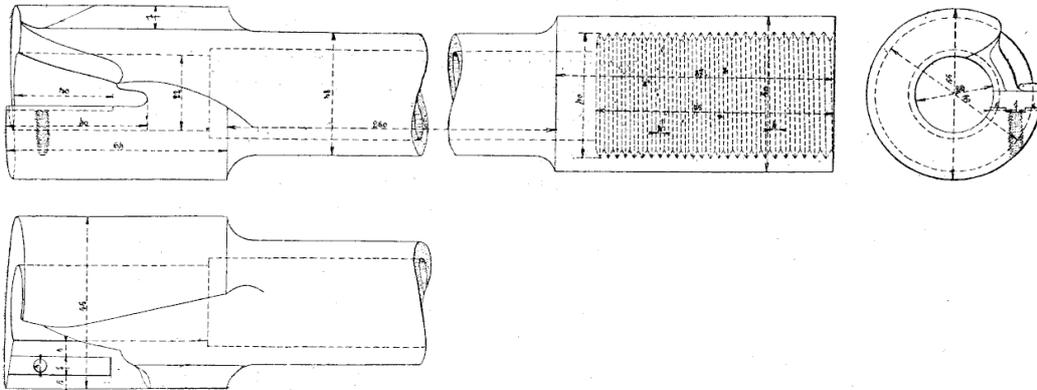


Fig. 780 à 782.

résiste moins bien à ces actions qu'un fer de bonne qualité; l'acier, relativement plus fragile à la torsion que le fer, donne lieu à plus de ruptures (1).

L'about du porte-lame est en hélicoïde, de manière que les débris de copeaux qui se logent en avant ne peuvent s'y accumuler; le mouvement de rotation relatif favorise leur expulsion.

La barre est tenue assez près de la pièce dans un support à coussinets serrés de manière à permettre le déplacement longitudinal donné par un deuxième support à chariot actionné par vis. De plus, la tenue contre la rotation dans ce

(1) Notons que la fragilité d'un métal ressort bien quand on le soumet à une épreuve de torsion lente ou vive. C'est celle que nous préconisons de préférence depuis 1894 aux épreuves de flexion ou de pliage sur éprouvettes entaillées, que divers opérateurs adoptent, parce que la torsion permet d'opérer plus rigoureusement, même avec des éprouvettes de petites dimensions, et surtout parce qu'elle fait ressortir des nombres comparatifs plus précis que ceux obtenus par le cisaillement et le pliage. Ajoutons qu'il est possible, avec des petits échantillons de 30 à 50 millimètres de longueur, de faire parallèlement un essai de traction directe, qu'il importe de ne pas négliger, afin d'obtenir une résistance comparative plus certaine que celle déduite, par exemple, d'un essai de cisaillement ou de flexion vive.

deuxième support est à clôture par force, telle que si le moment tournant développé sur l'outil est trop grand, la barre peut tourner avec la pièce, ce qui prévient la rupture. Le tuyau flexible d'amenée de l'eau est vissé à l'extrémité de la barre.

C'est donc la pièce qui possède le mouvement de rotation, et l'on a ainsi plus de facilité pour solliciter l'expulsion des copeaux que quand la barre tourne et les entraîne. Nous indiquerons plus loin les conditions de fonctionnement de cette foreuse actionnée par une dynamo de 4500 watts.

Avec une lame à tranchant droit sur toute la largeur, le débit en chaque point est peu différent; les copeaux d'acier se roulent comme en fig. 786; puis se brisent, se divisent en éléments qui s'expulsent avec difficulté par l'espace assez rétréci quand il s'agit de diamètres inférieurs à 150 millimètres. Trop souvent, il faut débourrer, retirer l'outil pour enlever les copeaux.

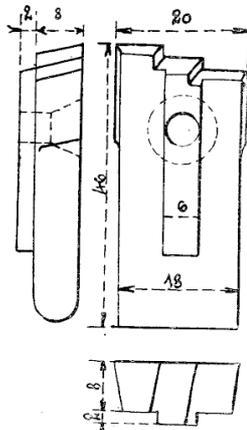


Fig. 783 à 785.

C'est ainsi que nous avons vu opérer sur un arbre d'hélice de 20 mètres de longueur avec deux portelames forant à chaque bout. Environ tous les 100 millimètres de pénétration additionnelle, il fallait retirer les outils, ce qui rend l'opération très longue, très coûteuse. Dans cet exemple l'arbre, monté sur des paliers, possédait le mouvement de rotation; le portelame se déplaçait longitudinalement, sollicité par une poussée constante donnée par un contrepoids réglable à volonté; de cette manière, l'avance se règle selon la dureté du métal, selon les résistances anormales qui se produisent; on prévient ainsi des efforts trop grands qui pourraient déterminer la rupture des organes de



Fig. 786.

transmission, en particulier lorsque le bourrage s'accroît ou que les frottements sur la tête et sur les copeaux bourrés sont intenses.

Le modèle fig. 787-788 comporte encore une seule lame à tranchant unique, dont l'angle de coupe α est de 60 à 75° selon la dureté de l'acier; l'angle de dépouille est réduit à 5° afin de ne pas trop affaiblir l'angle d'acuité θ , et de parer aussi à l'engagement de l'outil. Le copeau se coupe mieux qu'avec $\alpha = 90^\circ$; il a moins tendance à s'enrouler; il est moins refoulé, plus souple pour une même épaisseur considérée; il peut plus facilement se développer et se loger dans la rainure

hélicoïdale, dont l'inclinaison est dirigée de manière à solliciter le copeau vers l'expulsion; cette rainure existe sur toute la longueur de la barre, longueur qui peut atteindre et dépasser 10 mètres.

Les abords de la lame sont de forme évidée favorisant le développement du copeau plutôt que son enroulement, et le dirigeant dans la rainure à la manière d'un copeau de bois dans la lumière d'un rabot à dégagement latéral. Il s'ensuit, point essentiel, qu'il ne faut pas déburrer en retirant le porte-lame. Les copeaux se dégagent d'une façon plus uniforme; le foreur les sollicite en profondeur et vers la sortie avec une tringle à crochet; il surveille l'opération, examine les copeaux, dont certains peuvent dénoter des défauts dans la pièce.

On a soin de les noter, de les repérer, si possible, d'examiner plus particulièrement la carotte vers les endroits qui y correspondent et de débiter, dans ces parties, les éprouvettes d'épreuve à la traction ou celles de pliage.

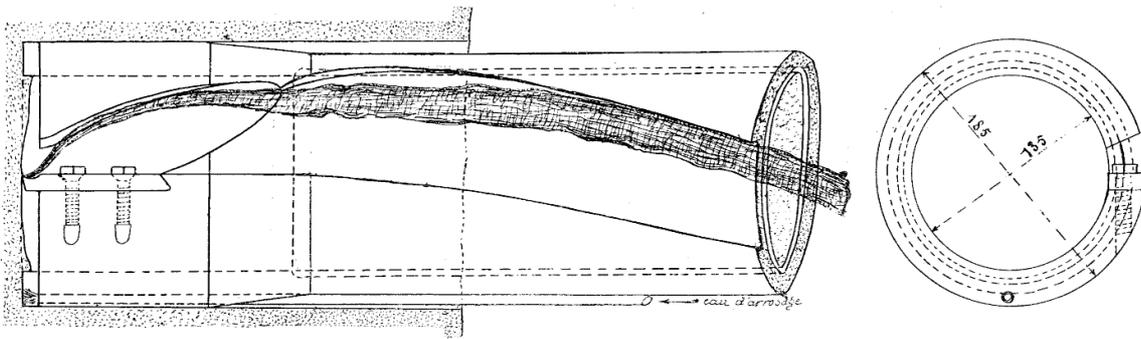


Fig. 787 et 788.

La lame est réglée en largeur de manière à laisser le moins de jeu possible entre l'extérieur de la tête et l'âme de la pièce; et cela en vue d'assurer le guidage, de prévenir l'introduction des copeaux entre les deux surfaces. Les petites barres de forage de ce modèle se font en acier, les grosses en fonte. La tête présente, suivant les génératrices, des rainures en queue d'hironde, pour recevoir des barrettes ou touches en acier spécial extra-dur. Ce sont ces barrettes qui assurent un diamètre constant de la tête, car leur usure est très petite.

Ce diamètre est un demi-millimètre plus faible que celui du forage.

Ainsi, pour un forage de 120 millimètres le diamètre de la tête de la barre est 119^{mm,5}; de plus, l'outil est réglé de façon à faire un peu moins de 120 millimètres car en travaillant il tend toujours à s'écarter et par conséquent à forer plus grand.

La lubrification est assurée par de l'eau de savon dirigée au moyen d'un petit tuyau inséré dans la tête du porte-lame; ce tuyau s'enroule à l'opposé de la rainure du copeau, ou bien s'y loge sur toute la longueur; il débouche dans le fond de la découpure. Le lubrifiant est introduit à l'autre extrémité par une pompe centrifuge dont la conduite aboutit à une

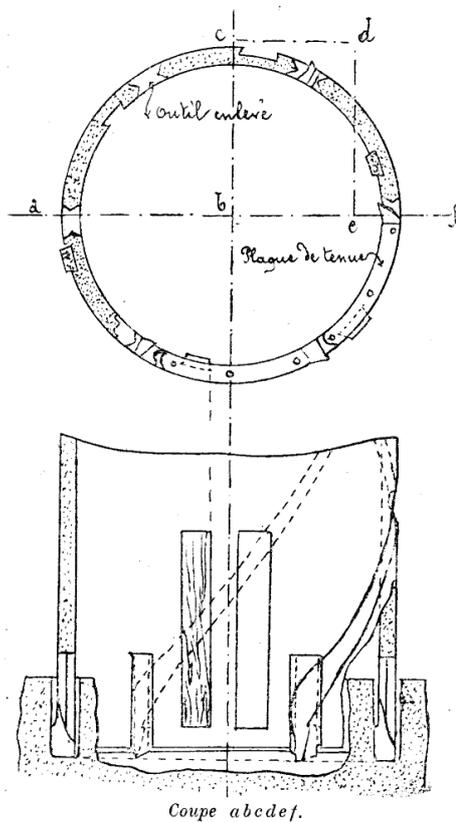


Fig. 789 et 790.

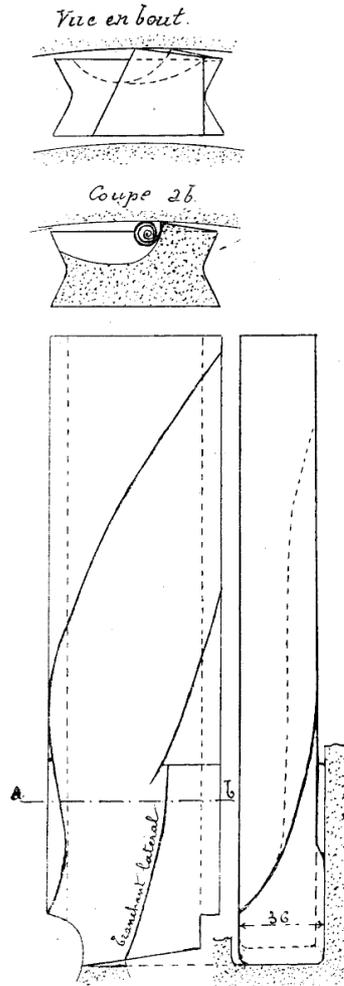


Fig. 791 à 794.

bague à gorge intérieure montée folle sur la barre, afin qu'elle ne possède pas le mouvement de rotation de cette dernière.

La pièce est, dans ce cas, fixe; c'est par exemple un canon brut de forge, reposant sur des supports appropriés de fortes dimensions.

La barre possède le mouvement de translation et celui de rotation, c'est-à-dire un mouvement hélicoïdal.

La rotation du porte-lame est produite par une vis sans fin et une roue de grand diamètre (3 à 5 mètres) calée sur l'extrémité opposée à la lame, en porte-à-faux sur le chariot support de la barre. L'arbre de la vis sans fin est aussi commandé par une deuxième roue hélicoïdale intermédiaire de plus petit diamètre, avec vis sans fin montée sur l'arbre de commande, cette dernière se faisant par roues coniques à friction. La clôture cinématique par frottement de ces deux roues coniques prévient les efforts anormaux d'avancement ou de rotation pouvant déterminer des perturbations dans la marche générale. Le même résultat est d'ailleurs obtenu avec d'autres mécanismes à limitation de force, ou comprenant une courroie de commande, dont il suffit de régler les tensions des brins en prévision de l'effort limite à ne pas dépasser.

De préférence, on règle la courroie des cônes poulies qui permettent de varier la vitesse de rotation.

La translation du chariot porte-lame est obtenue par un harnais de roues cylindriques avec vis et écrou à filet carré, dispositif analogue à celui d'un tour parallèle. La grande longueur

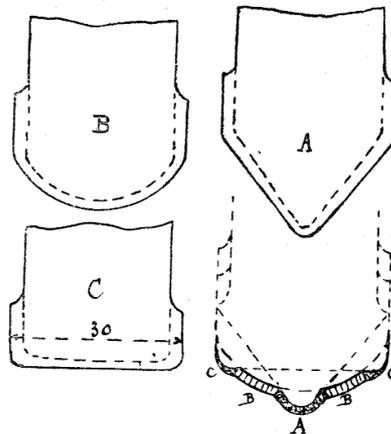


Fig. 795 à 798.

des tubes à canons et des arbres que l'on fore exige des foreuses dont les bancs ont plus de 50 mètres de long.

La pénétration sous avance constante assure, mieux que celle sous pression constante par contrepoids, la continuité du copeau. De même, la commande par vis sans fin offre une grande douceur de marche, et prévient aussi la rupture des copeaux, point qu'il importe tout particulièrement de réaliser, et qui dépend beaucoup des soins minutieux apportés à l'opération.

La disposition fig. 789-790 convient pour des diamètres supérieurs à 150 millimètres; la rigidité de la barre est alors suffisante pour prévenir les vibrations qui donnent lieu à une coupe défectueuse; par exemple, avec de l'acier un peu dur, les copeaux se réduisent à des aiguilles ou fragments menus. A partir de 200 millimètres, on adopte plusieurs lames qui permettent d'augmenter les avances par tour, tout en donnant des copeaux de faible épaisseur, pour faciliter leur développement et leur expulsion; en outre, l'équilibre est mieux assuré qu'avec une seule lame.

On cite des diamètres de 500 millimètres avec 12 lames.

Dans la disposition que nous avons combinée (fig. 789-790) pour des trous supérieurs à 400 millimètres, 6 outils opèrent en bout; trois d'entre eux attaquent aussi latéralement, lissent la surface du trou ou âme de la pièce; les trois autres lissent la carotte, ce qui réduit dans une grande mesure le frottement, assure le guidage qui se fait avec des garnitures de gaïac à l'intérieur et à l'extérieur, de distance en distance.

Chaque outil n'attaque pas de front toute la largeur de la découpe; afin de prévenir la rupture des arêtes par suite du serrage énergique qu'elles subissent dans le cas d'une seule lame, elles sont quelque peu arrondies aux angles (fig. 791-794); l'une coupe l'angle extérieur, l'autre agit dans l'angle intérieur (fig. 790) le plus voisin de l'axe de rotation.

L'ajustage des lames est fait à queue d'hironde sur une assez grande longueur, à frottement de serrage; des plaques d'avant les retiennent. Des évidements et des rainures hélicoïdales dirigent les copeaux.

L'eau de savon refoulée à l'intérieur du tube se dirige sur les outils en revenant par l'extérieur, de sorte que toutes les parties intérieures et extérieures se trouvent bien arrosées et refroidies.

Dans le cas de plusieurs lames, pour faciliter le dégagement des copeaux, on réduit encore leur importance en adoptant trois outils successifs (fig. 795-798), dont le premier A attaque suivant une pointe arrondie; le deuxième B, à contour circulaire, découpe symétriquement deux parties BC et B'C'; le troisième C enlève les portions qui restent dans les angles. Ces trois outils débitent ainsi des épaisseurs longitudinales qui correspondent à une avance a . Lorsqu'il y a un plus grand nombre d'outils, on adopte des multiples de trois; chaque série débite une fraction de l'avance a , soit $\frac{a}{2}$ pour 6 outils, $\frac{a}{3}$ pour 9 outils, etc. Les lames de forme afférente se succèdent ainsi de trois en trois.

En outre, les tranchants latéraux sont de longueur différente, de manière que chacun d'eux lisse la surface en suivant la zone de l'outil qui le précède sur une partie du tranchant. Cet appui latéral maintient l'outil; leur longueur modérée réduit les efforts et les frottements qui prennent une grande valeur quand les copeaux bourrent ou grippent.

La difficulté de bien régler de tels outils les fait abandonner pour s'en tenir aux lames simples qui attaquent sur toute la largeur.

Notons que, pour un arbre dont la longueur peut varier de 10 à 20 mètres avec trou de 200 millimètres de diamètre, on a soin d'opérer simultanément de chaque côté afin de réduire de moitié la durée de l'opération qui donne lieu à de nombreuses manœuvres lorsque les copeaux bourrent.

Dans ce cas, environ tous les 100 à 150 millimètres selon la profondeur du

trou et les conditions de marche, il faut retirer le porte-lame pour dégager les copeaux. Pour une pièce de 20 mètres de longueur, soit 10 mètres à forer par chaque porte-outil, si l'avance moyenne par heure, y compris pertes de temps, est de 30 millimètres; la pénétration, par journée de dix heures est de 300 millimètres seulement. La durée de l'opération serait d'environ $\frac{10}{0,30} = 33$ jours. S'il ne faut pas débourrer, l'avance par heure peut être de 40 millimètres, ce qui réduit la durée totale à environ vingt-cinq jours.

On voit quelle importance prend, dans ces forages, le dégagement continu des copeaux. Il faut, pour assurer cette condition, obtenir un copeau souple, flexible. A cet effet, l'épaisseur doit être comprise entre 0,10 et 0,20 de millimètre au plus. Dans le cas d'une avance plus grande, il faut multiplier les lames. L'outil doit avoir un angle de coupe α de 60° à 75°, et, pour prévenir l'engagement, l'angle B doit être réduit à 5°. Il faut prévenir le contournement en dirigeant le copeau assez près du tranchant à travers une lumière concordant avec la rainure d'évacuation, de forme hélicoïdale.

Toutes ces conditions réunies et même avec un métal des plus ductiles, il n'est possible d'obtenir un copeau continu que dans le début de l'opération.

En outre, il importe d'assurer la rigidité de la tête du porte-outil et son guidage dans l'âme de la pièce, ce qui conduit à ménager le moindre jeu possible; mais, pour prévenir un frottement très grand de coincement, les lames doivent couper latéralement, comme celles d'un alésoir. On pourrait, dans le cas d'une seule lame, ménager des tranchants latéraux en hélice dans la tête en acier trempé constituée comme un véritable alésoir à parties lisses et à parties coupantes. Ces tranchants hélicoïdaux obtenus par lames auxiliaires ou ménagés dans la tête en acier trempé auraient assez de dégagement pour y loger les copeaux coupés, et ces copeaux de petites dimensions seraient expulsés par l'eau de lubrification.

Du côté de la carotte, le guidage a moins d'importance; il convient de laisser un jeu suffisant pour le passage de l'eau affluant à l'intérieur de la barre.

La tête étant ainsi bien maintenue à la manière d'un foret hélicoïdal, on pourrait produire des avances plus grandes en multipliant les lames proportionnellement au diamètre.

Les lames à coupes partielles qui donnent lieu à des débris ou à des copeaux non assez résistants pour être repoussés au dehors ou tirés par des crochets, seraient réservées pour les trous dont le diamètre est inférieur à 150 millimètres.

Il nous semble que ces diverses conditions assureraient le succès de l'opération dans la plupart des cas, ainsi que d'ailleurs certains opérateurs la réalisent en évitant tout débouillage dans les gros diamètres sur des longueurs de

10 mètres et plus. On conçoit que les lames opérant ainsi sans affûtage sur de telles longueurs doivent être confectionnées avec des aciers de qualité exceptionnelle. La longueur débitée par un point du tranchant situé à 0^m,200 de l'axe de rotation, en admettant une avance de 0^{mm},20 par tour, serait par mètre courant de la pièce : $\pi d \times \text{nombre de tours} = 3,14 \times 0,200 \times \frac{1000}{0,20} = 3140$ mètres, soit, pour 10 mètres de longueur, de 31 400 mètres.

Le forage complet, soit au foret hélicoïdal, soit avec ce foret combiné avec des lames, est plus facile que le forage en couronne, ce dernier imposé par la condition de laisser une carotte en vue de contrôler si la pièce ne présente pas de défauts, pour permettre des essais de traction ou autres.

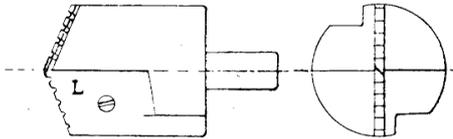


Fig. 798 a.

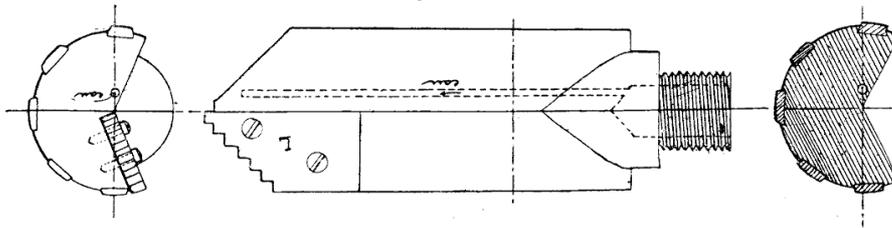
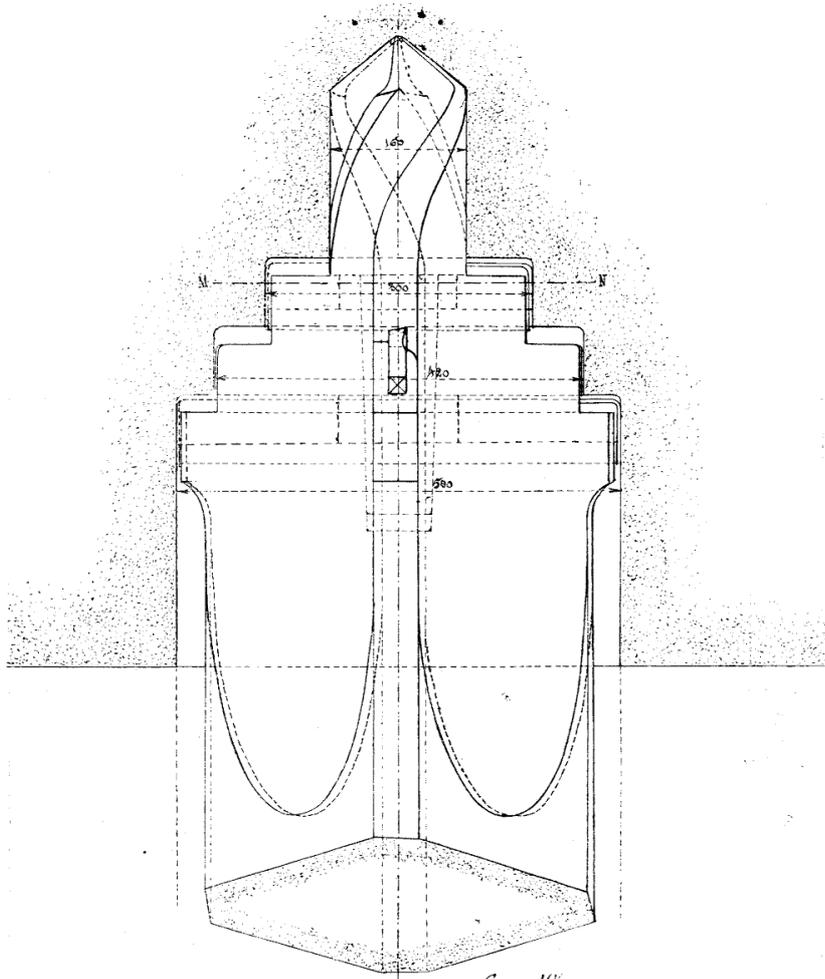


Fig. 798 b.

Lorsque le trou est de diamètre supérieur à 100 millimètres, à défaut de foret hélicoïdal, on emploie une lame L, montée (fig. 798 a) sur la tête en fonte d'une barre. Il faut amorcer le trou sur une certaine longueur avec un outil ordinaire maintenu sur chariot, de manière à ménager une partie qui sert de guide au porte-lame au début de l'opération. Les fig. 798 b comportent une lame à tranchants étagés; la tête est garnie de touches d'acier trempé dur.

Aux forges de Bethléem (États-Unis) le forage des lingots forgés sur mandrins intérieurs se fait, sans laisser de carotte centrale, jusqu'au diamètre de 500 millimètres.

Un foret hélicoïdal à deux ou à quatre tranchants (fig. 799-1000) fait un trou central de 160 millimètres de diamètre; il sert en même temps de guide. Puis trois lames à deux tranchants symétriques opèrent par étages de 300, 420 et 500 millimètres de diamètre.



Coupe MM

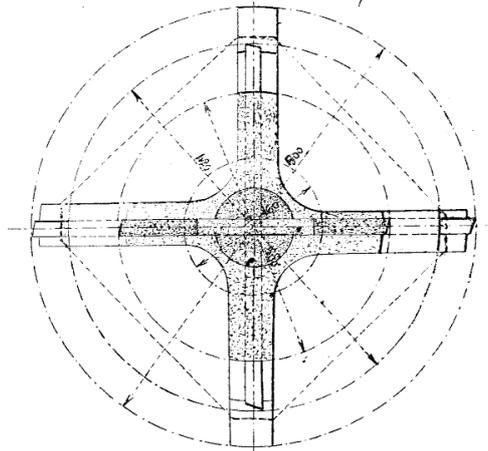


Fig. 799 et 1000.

Chaque lame est en deux parties engagées dans des mortaises de la barre. Entre chaque partie, se loge une cale de réglage, ce qui permet d'affûter à volonté les lames sur leur tranche en diamètre; sinon il faudrait, les remplacer trop souvent.

Ces lames sont disposées en croisillons étagés, de manière à pouvoir ménager sur le porte-lame des parties cylindriques qui servent de guides et dont la

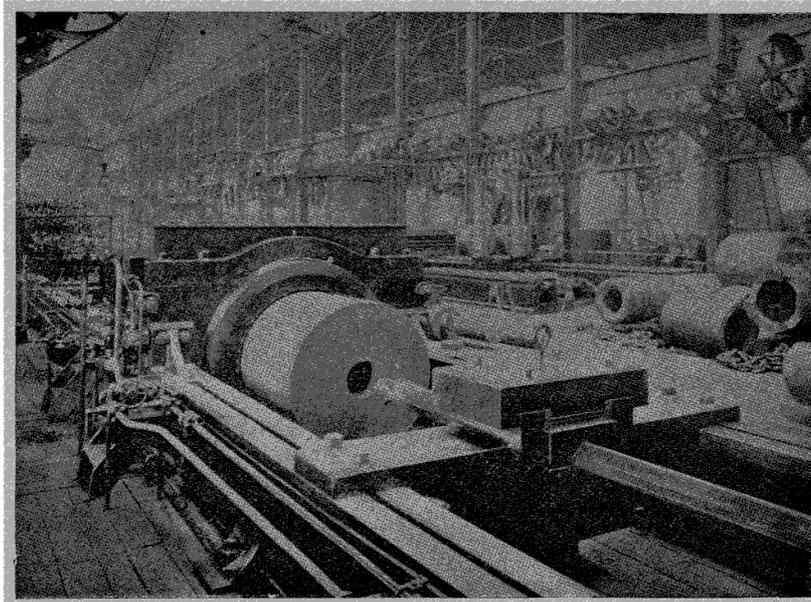


Fig. 1001. — Foreuse pour lingots d'acier des forges de Bethléem (États-Unis).
Lingot de 2 mètres de diamètre foré d'un trou de 500 millimètres de diamètre.

largeur est égale à celle de la nervure; le diamètre correspond à celui des lames de l'étage considéré avec un faible jeu.

La section carrée à angles abattus est assez réduite au delà de la dernière lame pour laisser passage aux copeaux; de même, vers la tête de l'outil, des dégagements aussi grands que possible sont ménagés.

La tête ou foret hélicoïdal amorçant le trou est rapportée pour faciliter la réparation par simple remplacement. Cette partie est retenue par son emboîtement conique à frottement dur et par les diverses cales qui traversent sa tige.

Pendant le travail, la barre ne possède que le mouvement longitudinal; la pièce tourne. La foreuse est du modèle fig. 1001, à double action, c'est-à-dire que deux outils attaquent le lingot de part et d'autre. On voit que la barre est

guidée, maintenue par un support situé assez près de la pièce afin d'éviter les vibrations, d'assurer la rigidité; à l'autre extrémité, la barre est solidaire du chariot sollicité pour l'avance automatique.

C'est le plus puissant outil de forage que nous connaissions; nous en estimerons plus loin, d'une façon approximative, les éléments de travail dans des conditions données.

Vitesses de pénétration et de rotation des forets et des lames. — Le mouvement hélicoïdal d'un foret opérant d'une façon continue peut se décomposer en un mouvement longitudinal ou de pénétration, et en un mouvement de rotation.

La vitesse de pénétration est la longueur parcourue par le foret en l'unité de temps : la seconde ou la minute, dans le sens de l'axe du trou. On la rapporte aussi au nombre de tours; de sorte que si n est le nombre de tours qui correspond à une profondeur l , percée d'un mouvement uniforme, la vitesse est exprimée par le rapport :

$$v = \frac{dl}{dn} = \frac{l}{n}$$

faisant $n = 1$; $v = l = a.$

Cette quantité désigne l'avance du foret par tour. S'il n'y a qu'un seul tranchant normal à l'axe de rotation (fig. 1002), la nappe de métal enlevée a une épaisseur a .

Dans le cas de deux tranchants (fig. 1003), l'épaisseur est $\frac{a}{2}$; on admet que chacun des deux tranchants enlève la moitié de l'épaisseur totale a .

Dans les forets de m tranchants, l'épaisseur partielle est : $\frac{a}{m}$.

Lorsque le tranchant est oblique (fig. 1004), l'épaisseur normale de la nappe enlevée est de

$$a' = a \sin \frac{\Phi}{2}.$$

Pour le foret à pointe fig. 1005-1006, l'épaisseur est de

$$\frac{a'}{2} = \frac{a \sin \frac{\Phi}{2}}{2}.$$

S'il y a m tranchants, l'épaisseur a pour valeur :

$$\frac{a'}{m} = \frac{a \sin \frac{\Phi}{2}}{m}.$$

Le volume enlevé par tour de foret est, dans chaque cas, le même ; il est égal à :

$$V = \frac{\pi d^2}{4} a, \quad d \text{ étant le diamètre du trou.}$$

Notons que, plus l'angle Φ est petit, moindre est l'épaisseur $\frac{d'}{2}$ du copeau, plus grande est la surface de la nappe. Le métal est plus divisé, et l'on conçoit *à priori* que, pour un même volume de métal, l'énergie dépensée en mince épaisseur doit

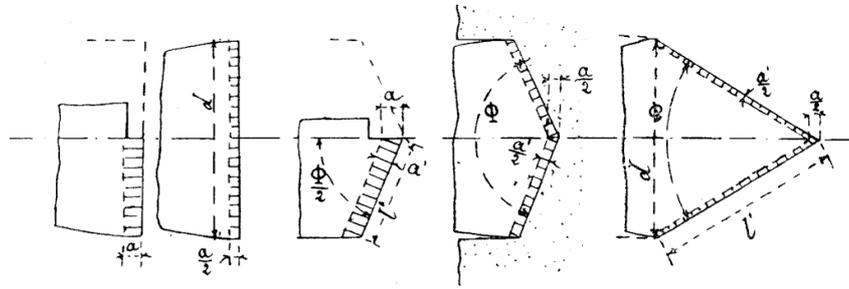


Fig. 1002 à 1006.

être plus élevée que celle en forte épaisseur, ce que feront d'ailleurs ressortir les essais.

La profondeur l d'un trou est proportionnelle au nombre de tours n par minute, à l'avance a par tour, et au nombre de minutes t considéré, soit :

$$l = n a t \quad \text{d'où :} \quad t = \frac{l}{n a}.$$

La pratique courante a intérêt à réduire la durée le plus possible. C'est l'un des grands avantages du foret hélicoïdal de pouvoir opérer plus rapidement que les autres en lui donnant une plus grande vitesse de rotation et de plus grandes avances. Son débit est de deux à trois fois celui des forets ordinaires. La production d'un foret est limitée par son degré d'échauffement, fonction du volume, enlevé dans l'unité de temps ; elle dépend aussi de la résistance de l'acier et de la forme de l'outil qui règlent, pour un diamètre donné, l'importance de l'avance et par suite l'intensité des efforts qui tendent à briser l'outil.

La vitesse de rotation varie en les divers points des tranchants proportionnellement à leurs distances à l'axe du foret. C'est la vitesse maximum qu'il faut particulièrement considérer, soit celle au pourtour, de valeur :

$$v = \omega \frac{d}{2} = \frac{\pi d n}{60}.$$

Les vitesses de pénétration et de rotation sont corrélatives; à une moindre avance, peut correspondre un plus grand nombre de tours par minute. Elles dépendent de la dureté, de la ténacité de la matière enlevée, de l'abondance de la lubrification quand il s'agit du cuivre, de l'aluminium, du fer, des aciers.

Ces vitesses sont surtout limitées par l'échauffement de la pièce et de l'outil, dont il importe de prévenir la détrempe et l'émoussement des tranchants.

La lubrification se fait à l'eau de savon ou à l'huile; elle facilite la coupe, réduit les frottements, aide au dégagement des copeaux. L'huile diminue plus les frottements que l'eau, mais celle-ci refroidit plus.

Les métaux peu ductiles: la fonte, le bronze, le laiton, dont les copeaux désagrégés déterminent peu de frottement sur l'outil, se forent à sec.

D'après les valeurs consacrées par la pratique, on peut admettre pour l'avance a :

$$a = K \sqrt{d}.$$

Si on suppose une vitesse constante v au pourtour des divers forets, on obtient les nombres n de tours par minute en posant:

$$n = \frac{60 v}{\pi d}.$$

Il viendrait pour la profondeur l , après t minutes:

$$l = n a t = t K \sqrt{d} \frac{60 v}{\pi d} = \frac{20 t k v}{\sqrt{d}}.$$

d'où:

$$t = \frac{l}{n a} = \frac{l}{n K \sqrt{d}}.$$

Le volume enlevé par minute v est de:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} n a = \frac{\pi d^2}{4} \frac{60 v}{\pi d} K \sqrt{d} = 15 v d K \sqrt{d} \text{ mm}^3.$$

Adoptant pour le fer et les aciers extra-doux: $v = 0^m,10$ et $a = 0,4$ de millimètre, pour $d = 100$ millimètres, en supposant le foret hélicoïdal:

Le coefficient

$$K = \frac{a}{\sqrt{d}} = \frac{0,4}{\sqrt{100}} = 0,04.$$

d'où:

$$a = 0,04 \sqrt{d}.$$

On en déduit pour :

	$d = 0,5$	1	2	5	10	20	40	60	80	100 mm.
Nombre de tours par minute .	$n = 4000$	2000	1000	400	200	100	50	33	25	20 —
Avance par tour . . .	$a = 0,028$	0,04	0,056	0,09	0,13	0,18	0,25	0,31	0,35	0,40 mm.
Profondeur par min.	$l = 112$	80	56	36	26	18	12,5	10	9	8 —
Volume enlevé par min.	$V = 22$	64	180	360	2080	5760	16000	28800	46000	64000 mm ³ .

On pourrait aussi adopter :

$$a = K \sqrt[3]{d}$$

ce qui donnerait :

si $a = 0^{\text{mm}},40$ pour $d = 100$ mm.

$$K = \frac{a}{\sqrt[3]{d}} = \frac{0,4}{\sqrt[3]{100}} = \frac{0,4}{4,64} = 0,086,$$

soit :

$$a = 0,86 \sqrt[3]{d}.$$

	Pour $d = 0,2$	0,5	1	2	5	10	20	40	60	80	100 mm.
Nombre de tours par min.	$n = 10000$	4000	2000	1000	400	200	100	50	33	25	20 —
Avance par tour en mm.	$a = 0,05$	0,068	0,08	0,108	0,146	0,184	0,233	0,294	0,336	0,37	0,40 mm.
Profond. du trou par min.	$l = 500$	272	160	108	58,4	36,8	23,3	14,7	11	9	8 —
Volume enlevé par min.	$V = 16$	54,4	128	340	1168	2944	7500	18816	31680	46080	64000 mm ³ .

Ces valeurs, qu'il faut considérer comme des maxima pour le fer, avec les foreuses actuelles, donnent les graphiques fig. 1007, qui rendent facile la comparaison des deux hypothèses.

Pour les forets ordinaires, on réduit les avances au moins de moitié en conservant les mêmes vitesses ou en les réduisant plus ou moins selon la puissance de la foreuse.

D'ailleurs, suivant le genre de trous, selon la profondeur et la rapidité que l'on s'impose, les forets sont plus ou moins malmenés. Ainsi, les trous de 25 millimètres de diamètre, dans les rails ou les éclisses, sont parfois obtenus au foret hélicoïdal tournant entre 100 et 150 tours par minute, sous avance de 0^{mm},40 à 0^{mm},50 par tour, et même davantage, sans que l'outil se brise. En revanche, nous avons constaté, par exemple, qu'un foret de 70 millimètres, dans de l'acier demi-dur, variété pour arbres moteurs, possédait une avance de 0^{mm},15 à raison de neuf tours par minute, pour percer des épaisseurs de 120 millimètres, ce qui

exigeait environ deux heures par trou. On s'imposait ces faibles vitesses afin d'obtenir des trous très réguliers, qu'il fallait ensuite aléser en n'enlevant qu'un millimètre ou deux au plus sur le diamètre. On cite que des trous de 100 millimètres de diamètre sont forés dans des lingots d'acier doux à raison de 0^m,75 par heure; ceux de 50 millimètres, à raison de 1 mètre par heure. En admettant

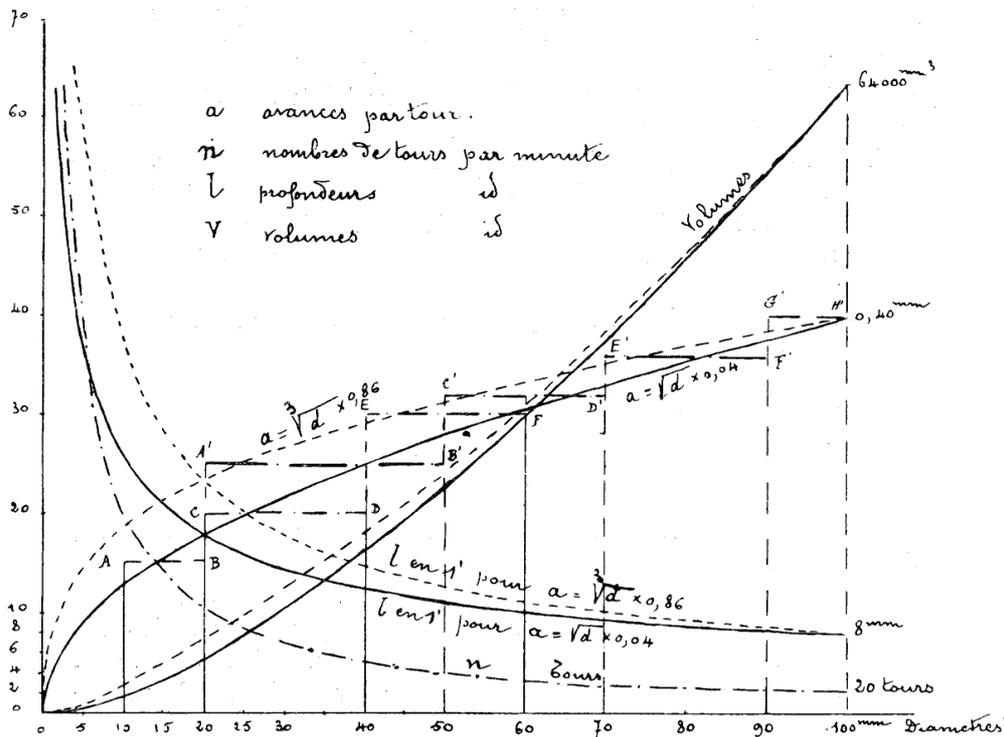


Fig. 1007. — Forage au foret hélicoïdal.

des vitesses respectives de 20 et 50 tours par minute, les avances par tour ressortiraient à 0,625 et 0,33 millimètre, valeurs qui exigent des foreuses robustes, puissantes. Pour la fonte, les foreuses nouvellement établies permettent d'atteindre des vitesses de rotation de 0^m,20 pour les forets jusqu'à 20 millimètres de diamètre, puis des vitesses décroissantes jusqu'à 0^m,10 pour les diamètres entre 20 et 100 millimètres. On réduit la vitesse pour les grands diamètres et les grandes profondeurs en vue d'assurer une meilleure exécution.

Les foreuses sont généralement munies d'un mécanisme d'avance automatique qui ne permet que trois, quatre ou cinq variations de la vitesse de péné-

tration. On est conduit à adopter des valeurs qui correspondent, par exemple, à la ligne brisée ABCDEF (fig. 1007). Cette ligne comprend les avances relatives aux diamètres à partir de 10 jusqu'à 70 millimètres.

Pour les diamètres inférieurs, les foreuses ont des dimensions plus faibles avec monte-et-baisse à la main.

Les grosses foreuses pouvant opérer jusqu'à 100 millimètres de diamètre et plus avec des lames; elles percent rarement des trous de diamètre inférieur à 20 millimètres, ce qui conduit à donner aux avances automatiques les valeurs les plus élevées; elles peuvent correspondre à la ligne brisée A'B'C'D'E'F'G'H (fig. 1007).

D'ailleurs, pour chaque modèle de foreuse, il importe d'adopter trois, quatre ou cinq avances automatiques qui ne s'écartent pas trop de la règle générale; en outre, ces machines ont des cônes poulies et des harnais de roues d'engrenages qui donnent la possibilité de varier le nombre de tours entre des limites assez étendues.

Ainsi, pour un modèle forant jusqu'à 60 millimètres, les avances sont de :

$$a = 0,1 \quad 0,15 \quad 0,20 \quad 0,30 \text{ mm.}$$

Les nombres de tours par minute sont en deux régimes :

130	85	55	35	26	16	11	7
350	194	120	72	112	62	38	23

Dans une autre forant jusqu'à 100 millimètres, les avances sont de 0,15, 0,25, 0,35 mm., ou bien il y a 5 avances variant de 0,09 à 0,60 millimètre, et les nombres de tours par minute peuvent être de 5, 6,5, 9, 12, 14, 16, 20, 22, 34, 48.

Lorsque la commande est faite par l'électricité, la dynamo permet de varier la vitesse en combinaison avec les autres organes intermédiaires. C'est ainsi qu'une foreuse de la Société alsacienne commandée par une dynamo de 2,5 chevaux possède 16 vitesses variables de 4,75 à 152 tours par minute.

L'arbre porte-foret a un diamètre de 75 millimètres. Le plus grand diamètre prévu de forage est de 100 millimètres. Les nouvelles foreuses comportent aussi des variations très étendues pour les avances jusqu'à 1 millimètre et plus.

Dans les foreuses de moindre importance, les avances sont, par exemple, 0,04, 0,08, 0,15, ou 0,08, 0,16, 0,30 ou encore : 0,08, 0,12, 0,50 mm.

On conçoit aussi que, selon la nature du métal, les avances sont réglées assez arbitrairement. Les essais accuseront les limites praticables. Si l'on tablait sur l'utilisation complète de l'énergie maximum, à peu près constante, disponible à la courroie de commande du renvoi, sans glissement sensible, ou sur celle d'une dynamo à action directe, il faudrait, quel que soit le diamètre du foret,

enlever par minute un volume V de matière à peu près constant. On serait conduit à exagérer le nombre de tours t et l'avance a , à mesure que le diamètre diminuerait puisque l'on a :

$$at = \frac{V}{\pi d^2} \cdot 4$$

Par exemple, pour une machine forant jusqu'à 60 millimètres de diamètre, foret tournant à raison de 33 tours par minute, sous avance de $0^{\text{mm}},336$, soit un volume de 31 680 millimètres cubes par minute, il faudrait, pour le foret de 20 millimètres de diamètre, un produit :

$$at = \frac{4 \times 31\,680}{3,14 \times 20^2} = 100,$$

soit pour

$$t = 200, \quad a = 0,5.$$

Avec le foret de 10 millimètres on aurait :

$$at = \frac{4 \times 31\,680}{3,14 \times 10^2} = 403$$

pour

$$t = 400, \quad a = 1 \text{ millimètre.}$$

Ces valeurs sont exagérées, elles détermineraient la rupture de l'outil.

Les essais montrent que les courroies sont généralement trop faibles pour le travail à outrance des forets dont le diamètre ne s'éloigne pas de celui indiqué comme limite maximum afférente à la foreuse.

On admet que, pour la fonte douce et l'acier demi-dur, il est préférable de réduire le nombre de tours de moitié ou d'un tiers, et d'augmenter ou non l'avance dans la même proportion ; souvent même, il est nécessaire de la réduire.

Pour la fonte et les aciers durs, on diminue la vitesse de rotation et l'avance selon les cas. On se heurte parfois à des fontes d'acier que le foret ne peut entamer, quelle que soit la trempe de l'outil et si modérée que soit la vitesse. On sait qu'aucun outil d'acier trempé ne saurait attaquer que momentanément, à grande vitesse, une fonte blanche par exemple, tandis que, si la vitesse est lente, l'outil tarde à s'émousser.

Dès qu'un foret est émoussé, la pression augmente, la pénétration se réduit ; il faut réaffûter l'outil ; sinon, l'opération ne peut se poursuivre.

Avec le bronze, le laiton, on double ou on triple le nombre de tours. Nous pouvons citer des foreuses marchant à 600 tours de foret pour des diamètres de 10 à 15 millimètres, soit des vitesses de $0^{\text{m}},30$ à $0^{\text{m}},45$ au pourtour. On détermine ainsi une action centrifuge favorable à l'expulsion des copeaux qui sont de mince épaisseur.

Le cuivre est difficile à forer ; il donne lieu à de grands frottements, il exige,

par rapport au fer, la réduction de l'avance avec vitesse assez grande. Il en est de même de l'aluminium.

Pour comparer la production des forets et par suite des foreuses sur lesquelles ils sont adaptés, il suffit de considérer le diamètre, la vitesse et l'avance, c'est-à-dire le volume de métal enlevé ou le poids dans l'unité de temps.

On peut admettre les nombres qui suivent comme des moyennes consacrées par la pratique, pour les forets ordinaires en bon acier, suffisamment trempé avec les foreuses actuelles.

Métaux.	Vitesse de rotation en mètres par seconde.	Vitesse de pénétration en millim. par seconde. Diamètres des trous.			Poids de métal enlevé par minute en grammes.
		10	50	100	
Fonte et aciers demi-durs et durs.	0,04 à 0,10	0,20	0,10	0,05	40 à 40
Fer.	0,10 à 0,15	0,30	0,15	0,08	25 à 120
Fonte douce.	0,06 à 0,10	0,30	0,15	0,08	15 à 60
Cuivre aluminium.	0,10 à 0,15	0,30	0,15	0,08	20 à 100
Bronze, laiton, antifriction.	0,20 à 0,30	0,40	0,20	0,10	40 à 150

Les gros diamètres sont plus avantageux que les petits, et nous verrons plus loin qu'il en sera de même pour le rendement qui correspond à l'énergie utile dépensée. De même, les aciers dits rapides trempant à l'air ou mieux à l'huile permettent, mieux que ceux trempant à l'eau, les grandes vitesses de rotation et les fortes avances.

La production des forets hélicoïdaux étant de deux à trois fois celle des forets ordinaires, par suite de la vitesse et de la descente plus rapide, on aurait les poids suivants par minute :

Aciers demi-durs et durs.	Fer.	Fonte douce.	Aluminium cuivre.	Antifriction, bronze, laiton.
20 à 80 gr.	50 à 240 gr.	30 à 120 gr.	40 à 200 gr.	80 à 300 gr.

Quant à la somme des profondeurs de trous qu'un foret peut effectuer sans nécessiter de nouvel affûtage, elle dépend de la qualité de l'acier employé, du métal foré, de la vitesse des opérations, etc. Dans de l'acier doux, cette longueur peut varier de 1 à 5 mètres.

Vitesses et avances des lames. — On donne aux lames des vitesses inférieures à celles des forets parce que le guidage et la rigidité sont moins bien assurés. En outre, lorsque les forages ont plusieurs mètres de profondeur, il importe de ne pas provoquer l'échauffement de l'outil, ce qui déterminerait l'émoussement, obligerait à le remplacer avant la fin de l'opération.

La vitesse de rotation à la circonférence de plus grand diamètre varie :

de 0,040 à 0,060 mètre par seconde pour l'acier dur ;
de 0,060 à 0,100 pour l'acier doux, le fer fondu.

A l'opposé de la règle admise pour les forets, l'avance par tour varie inversement avec le diamètre lorsqu'il s'agit de lames de forage des grosses pièces, arbres, canons, etc.

C'est ainsi que, dans un atelier de grosses constructions et de matériel de guerre, on adopte :

$$a = \frac{60 \text{ à } 70}{d} \text{ pour l'acier dur,}$$

$$a = \frac{70 \text{ à } 90}{d} \text{ pour l'acier doux,}$$

d étant exprimé en millimètres.

En adoptant la moyenne $a = \frac{70}{d}$, il vient pour :

$d = 100$	200	300	400	500	600 millim.
$a = 0,70$	0,35	0,23	0,17	0,14	0,11

La valeur $a = 0^{\text{mm}},70$ pour $d = 100$ nous paraît trop forte de beaucoup ; quel que soit le diamètre, il conviendrait, dans le cas d'une seule lame, de comprendre a entre 0,10 et 0,20 mm. Avec les lames pour les trous des plaques tubulaires, on ne dépasse guère $0^{\text{mm}},20$; il est vrai que, dans cette dernière application, la vitesse est plus grande ; l'outil est facile à remplacer ou à affûter s'il s'émousse ; on se tient souvent à la valeur $a = 0^{\text{mm}},10$. Quand les diamètres atteignent 300 millimètres, on adopte parfois plusieurs lames ; l'avance doit être plus grande si l'on veut laisser à chaque copeau une épaisseur suffisante pour favoriser son expulsion. Cette épaisseur peut varier de 0,05 à 0,20 de millimètre selon la force de la machine et suivant que l'on cherche ou non à diviser le copeau en éléments multiples sur la largeur.

Si on suppose un forage de 400 millimètres de diamètre dans une pièce en acier dur, avec deux lames sur le porte-outils, la vitesse étant de 0,080 par mètre, l'avance étant de 0,20 de millimètre, chaque outil enlèvera une épaisseur de 0,10 de millimètre.

Le nombre n de tours du porte-lames sera par minute de :

$$n = \frac{60 \times 0,080}{3,14 \times 0,400} = 4 \text{ tours.}$$

La pénétration par minute = $4 \times 0,20 = 0,8$ de millimètre.

Par heure : $0,8 \times 60 = 48$, soit 50 millimètres.

Avec une seule barre à forer, une longueur de 10 mètres exigerait :

$$\frac{10\,000}{50} = 200 \text{ heures, soit 20 jours de dix heures.}$$

Si la pièce est en acier doux, la vitesse peut être portée à 0^m,10 et l'avance à 0,30 de millimètre.

Soit un nombre de tours par minute de $\frac{4 \times 12}{8} = 6$ tours. Une pénétration par heure de $6 \times 0,30 \times 60 = 108$, soit 100 millimètres.

Une longueur de 10 mètres nécessiterait $\frac{10\ 000}{100} = 100$ heures ou 10 jours.

En opérant avec une seule lame, il faudrait réduire les avances à 0^{mm},15 pour l'acier dur et à 0^{mm},20 pour l'acier doux.

Le nombre total de tours du porte-outil, avec l'avance de 0^{mm},20, serait, pour 10 mètres de :

$$\frac{10\ 000}{0,20} = 50\ 000 \text{ tours.}$$

La longueur de coupe de chaque outil = $50\ 000 \times 3,14 \times 0,400 = 62\ 800$ mètres.

En admettant une réduction de longueur de 50 p. 100, chaque copeau aurait une longueur d'environ 30 000 mètres.

Ces nombres font bien ressortir l'importance d'une telle opération.

On cite, parmi les plus grandes pièces forées, des arbres de couche pour vaisseaux, en acier-nickel au creuset, dont les longueurs atteignent de 30 à 45 mètres, dont les diamètres extérieurs et intérieurs sont : 400-150 ; 450-120 ; 500-95 ; 480-230 millimètres.

Les poids de ces arbres varient de 30 000 à 50 000 kilogrammes. L'opération du forage simultané de chaque côté peut durer plus d'un mois. La longueur des bancs des foreuses atteint 100 mètres.

(A suivre.)

ARTS CHIMIQUES

SUR LA PERMÉABILITÉ PAR DIFFUSION DES MORTIERS, par **M. H. Le Chatelier**,
membre du Conseil.

L'expérience que l'on a depuis longtemps des travaux à la mer a fait reconnaître l'influence de la porosité des mortiers sur leur altération plus ou moins rapide. Les mortiers confectionnés avec des dosages notablement inférieurs à 450 kilogrammes au mètre carré se sont tous décomposés avec une rapidité relativement très grande. La pénétration directe par porosité de l'eau de mer à l'intérieur des maçonneries semblait suffire pour expliquer cette décomposition, de même qu'un morceau de sucre poreux se dissout très rapidement dans l'eau tandis qu'un cristal compact de sucre ne le fait que très lentement.

On comprend sans peine qu'un mortier perméable attaqué simultanément dans toute sa profondeur doive disparaître beaucoup plus rapidement qu'un mortier imperméable.

Pour étudier cette influence de la porosité, on a, de différents côtés, institué des expériences de filtration : des blocs de ciment ou de mortier sableux tantôt cubiques, tantôt cylindriques étaient soumis à la pression d'une colonne d'eau de mer variant de 10 centimètres à plusieurs mètres, sous l'influence de laquelle l'eau traversait le mortier et devait en provoquer une désagrégation plus ou moins rapide.

Des expériences comparatives faites en employant le même mortier dans les travaux à la mer ou dans les expériences de filtration au laboratoire n'ont cependant montré aucune corrélation bien nette entre les décompositions produites dans les deux cas ; tandis que certains mortiers se décomposaient très rapidement dans les travaux, le bloc correspondant de filtration restait intact et réciproquement.

Dans les expériences elles-mêmes, des divergences inexplicables se produisaient ; ainsi, un mortier décomposé très rapidement dans une expérience résistait au contraire complètement dans une seconde expérience similaire. Les raisons de ces irrégularités tiennent en grande partie à ce qu'il se produit peu à peu un colmatage par l'effet même de l'action chimique des sels de l'eau de mer sur le ciment. Au bout d'un temps plus ou moins long, la filtration cesse

complètement si la décomposition ne s'est pas amorcée assez rapidement pour ouvrir des fentes et donner de nouveau passage à l'eau. Une fois la filtration arrêtée, les blocs restent indéfiniment soumis à la pression de l'eau de mer sans traces d'altération, ou du moins ils n'en subissent que par le contact de l'eau accumulée souvent autour de leur base. Dans ces conditions, au lieu de faire un essai de filtration on fait, sans s'en rendre compte, un simple essai d'immersion.

Quand on mesure la quantité d'eau écoulée à travers des épaisseurs relativement faibles de mortier et que l'on répète ces mesures jusqu'au moment où le colmatage se produit, on reconnaît sans peine que les quantités pouvant traverser par ce mécanisme une maçonnerie un peu épaisse sont tout à fait insuffisantes pour en amener la désagrégation. C'est qu'en réalité la pénétration de l'eau dans la maçonnerie ne se fait pas en vertu de la porosité même du mortier, mais par les fentes, les solutions de continuité résultant des malfaçons des travaux, ou bien le mortier n'adhère pas aux pierres appliquées trop sèches, ou bien même des joints sont restés complètement vides entre des pierres. Il faut donc chercher les causes de la pénétration rapide et profonde de l'eau de mer dans ces malfaçons beaucoup plus que dans la porosité élémentaire du mortier employé.

Quand on observe, d'autre part, que les blocs simplement immergés dans une solution saline se désagrègent avec une rapidité souvent égale à celle des blocs soumis à la filtration, on est bien obligé de reconnaître qu'il doit exister, pour la pénétration des sels, un mécanisme autre que celui de la circulation en masse du liquide. Les propriétés bien connues que possèdent les sels de se déplacer par diffusion donnent l'explication de toutes ces particularités.

Je rappellerai que, dans des expériences antérieures présentées au Congrès de 1900 à l'Exposition universelle, j'ai essayé d'améliorer la méthode d'essai par filtration. Sous sa forme première, cette méthode présentait un grave défaut. Le liquide était introduit par l'intérieur des blocs, il en résultait que toutes les matières provenant des désagrégations du ciment s'accumulaient contre les surfaces d'entrée du liquide d'une faible étendue, ce qui tendait à augmenter la rapidité du colmatage. D'autre part, la décomposition commençant par l'intérieur du bloc ne devenait visible à l'extérieur que lorsqu'elle était achevée sur toute l'épaisseur. Pour remédier à ces inconvénients, j'ai renversé le sens de la filtration, en faisant pénétrer l'eau par toute la face extérieure des blocs; dans ces conditions, les premières traces d'altération, les plus petites fissures sont immédiatement visibles. Mais, malgré l'amélioration évidente ainsi obtenue, il m'a été impossible d'arriver à définir des conditions d'essai donnant des résultats toujours comparables entre eux. Les effets du colmatage se faisant toujours sentir d'une façon plus ou moins capricieuse, occasionnaient des irré-

gularités semblables à celles des expériences précédentes quoique à un moindre degré.

C'est qu'en effet la vitesse de circulation d'un liquide ne dépend pas seulement de la section totale des vides ouverts à son passage, mais aussi de la grandeur individuelle de chacun d'eux. La finesse plus ou moins grande des précipités formés par l'action de l'eau de mer peut faire varier d'une façon capricieuse la largeur de ces conduits et opposer ainsi à la circulation du liquide une résistance nécessairement très variable d'une expérience à l'autre.

Il était indispensable de chercher à aborder l'étude de la pénétration des sels dans les mortiers par une méthode différente. La diffusion des sels ne rencontre pas les mêmes obstacles que l'écoulement des liquides dans les corps poreux. Cette vitesse ne dépend en effet que de la section libre totale et nullement de la grandeur individuelle de chacun des conduits, il était donc permis de penser que cette diffusion devait s'effectuer d'une façon beaucoup plus régulière que la circulation en masse du liquide, c'est ce que l'expérience a vérifié au delà même des prévisions permises.

Il est possible d'instituer des essais de perméabilité par diffusion donnant des résultats d'une concordance absolue entre plusieurs essais similaires; la méthode que j'ai employée consiste à immerger les blocs de mortier dans des solutions salines renfermant un corps dont la présence à l'intérieur du mortier puisse ensuite être facilement décelée au moyen de réactifs appropriés. Le mode opératoire consiste à immerger pendant un temps déterminé, qui a varié de vingt-quatre heures à six mois, une petite éprouvette de mortier dans des solutions de sels alcalins ou calcaires renfermant un acide pouvant donner, avec un sel métallique convenablement choisi, un précipité très visible, par exemple le ferrocyanure de potassium, qui donne avec le sel ferrique un précipité bleu de Prusse; les sulfures alcalins, qui donnent avec les sels de plomb, d'argent ou de mercure, un précipité noir et l'iodure de potassium avec les sels mercuriques un précipité rouge. Les éprouvettes sont ensuite cassées en deux et immergées dans les solutions de sel métallique indiquées ci-dessus; ces solutions doivent être légèrement acidulées pour empêcher la précipitation de leurs oxydes par la chaux du mortier.

Une précaution très importante est de conserver les éprouvettes destinées à ces expériences dans une solution saturée de chaux, ou mieux dans un lait de chaux, de façon à éviter toute altération de leur surface capable d'en modifier la perméabilité; ainsi, quand on conserve des éprouvettes dans l'eau ordinaire, on reconnaît que la croûte carbonatée superficielle présente une perméabilité très faible; les pores de la matière ont été obstrués par un dépôt de carbonate de chaux, la chaux se diffuse de l'intérieur vers la surface, tandis que le bicarbonate renfermé dans les eaux ordinaires se diffuse vers l'intérieur; ces deux

composés se rencontrent et se précipitent mutuellement dans une région déterminée et voisine de la surface qui devient de plus en plus imperméable. Si on a conservé les éprouvettes sans prendre de précautions spéciales pour éviter cet inconvénient, il faut, avant l'immersion dans la solution saline, les casser en deux de façon à offrir à la pénétration des sels une surface fraîche.

Parmi les réactifs employés, celui qui m'a donné les résultats les plus nets est le ferrocyanure de potassium avec précipitation par la solution chlorhydrique de chlorure ferrique; le précipité bleu extrêmement foncé est absolument net. On est certain, dans tous les cas, qu'il ne peut exister à l'intérieur du mortier aucun corps capable de donner naissance à une précipitation semblable. Malheureusement, la coloration ainsi obtenue ne peut être conservée longtemps: un quart d'heure au plus, en raison de l'action de la chaux sur le bleu de Prusse qui le détruit et fait disparaître sa coloration bleue. Le sulfure de sodium à la concentration de 10 p. 100 jouit de la propriété de donner une coloration noire verdâtre là où il pénètre sans l'intervention d'aucun autre sel métallique. Les petites quantités de fer qui existent dans tous les ciments suffisent pour donner naissance à du sulfure de fer. Bien que ces deux réactifs et surtout le dernier soient d'un emploi très commode, on peut se demander si l'intervention de sels alcalins ne peut pas donner lieu à des réactions chimiques spéciales avec la chaux du mortier, et contribuer ainsi à faire varier sa perméabilité. Il est plus rationnel d'employer des sels de chaux, qui ne doivent avoir aucune action sur les composés des ciments tous à base de chaux. J'ai, dans ce but, essayé d'employer des solutions de bisulfure de calcium obtenues en faisant bouillir 5 grammes de fleur de soufre dans un litre de lait de chaux et filtrant; la présence du bisulfure était ensuite décelée au moyen d'une solution acide d'acétate de plomb dans laquelle on immerge pendant cinq à dix minutes un des morceaux de la briquette de ciment rompue de nouveau en deux parties après sa sortie de la solution de bisulfure. Les résultats n'ont pas été notablement différents de ceux obtenus avec les solutions alcalines, et je me suis finalement arrêté, pour les expériences courantes, à l'emploi de la solution de monosulfure de sodium à la concentration de 10 p. 100.

Les photographies ci-dessous donnent la représentation des briquettes de ciment traitées dans les conditions suivantes. Elles ont été immergées dans une solution de bisulfure de calcium :

1° Après une conservation de deux jours dans l'eau froide.

2° De sept jours dans l'eau froide.

3° De sept jours dans l'eau chaude.

Enfin, trois d'entre elles avaient été conservées pendant sept jours :

4° Dans une solution de sulfate de magnésie à 7 grammes par litre.

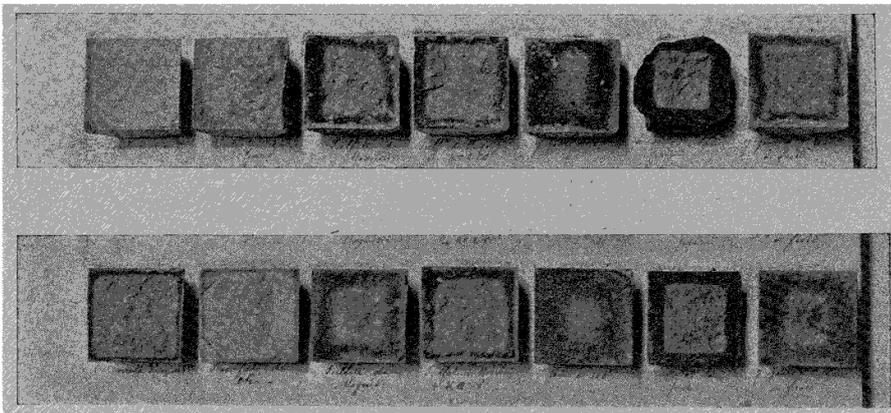
5°..... de carbonate d'ammoniaque à la concentration de 10 p. 100.

6°. de sulfate de magnésie et de bicarbonate de potasse à raison de 6 et 2 grammes par litre de chacun de ces sels.

7°. Dans cette solution saturée de sulfate de chaux.

Les éprouvettes ont été immergées dans la solution de bisulfure de calcium indiquée plus haut pendant huit jours, puis traitées par le nitrate de plomb ou le nitrate d'argent.

On peut, de l'examen de ces photographies, tirer quelques conclusions intéressantes : les ciments durcis dans l'eau chaude sont beaucoup plus perméables que ceux qui ont durci à froid, ce fait doit s'expliquer par la forme différente des cristaux développés pendant le durcissement; on conçoit que des cristaux en



forme de lamelles aplaties pourront obstruer complètement des canaux existant dans la masse, tandis que des cristaux de forme régulière laisseront autour d'eux des passages libres; cette explication n'est pourtant donnée qu'à titre de simple hypothèse.

Les solutions de carbonate d'ammoniaque et celles de sulfate de chaux ont considérablement diminué la perméabilité de la couche superficielle; celle de sulfate de magnésie et de bicarbonate de potasse a présenté une action semblable, mais à un moindre degré, et enfin le sulfate de magnésie n'a pas donné, à ce point de vue, de résultats bien différents de ceux de l'eau saturée de chaux dans laquelle avaient été conservées les éprouvettes laissées à froid.

En ce qui concerne la variation de la perméabilité avec la durée du durcissement, on voit, comme on pouvait le prévoir, que cette perméabilité diminue progressivement. Le tableau numérique ci-après donne la profondeur de pénétration pour des durées de durcissement de deux jours, de sept jours et de six mois.

Ciments immergés dans le sulfure de sodium après 3 ans de durcissement.

Nature.	Perte à la calcination p. 100 du poids du résidu calciné (eau libre et combinée).	Pénétration du sulfure de sodium dans des cylindres de 20 millimètres.
1 { Chaux grasse, 1 p. } { Argile calcinée, 0,5 p. }	175,7	Totale
2 Portland anglais.	63,5	Id.
3 { Chaux grasse, 1 p. } { Argile calcinée, 1 p. }	149,9	Id.
4 Portland amaigri, 1/2	59,9	Id.
5 Portland amaigri, 1/1	61,3	Id.
6 Grenoble, prise rapide.	101,2	Id.
7 Grenoble, prise lente.	83,6	Id.
8 Portland Boulogne.	56,75	Id.
9 Id. + 1 p. argile calcinée.	111,3	Id.
10 Ciment de laitier Donjeux.	76,1	Id.
11 — — Vitry.	82,5	Id.
12 1 p. chaux grasse + 4 p. Trass.	88,4	5 mm.
13 Ciment fort indice.	44,8	0 mm.
14 — —	47,0	0 mm.
15 Ciment Vassy médiocre	91,5	Totale
16 Ciment grappier du Teil (non broyé).	70,0	Id.
17 Chaux du Teil, pierres bien cuites.	116,8	Id.
18 Ciment grappier du Teil	72,2	Id.
19 Id. + 1 p. argile calcinée	127,41	Id.
20 Chaux du Teil.	73,0	Id.
21 Id. + 1 p. silice calcinée.	144,0	Id.
22 Id. + 1 p. argile calcinée.	95,0	1 ^{mm} ,5

Une fois en possession de cette méthode, il était intéressant de l'appliquer à la comparaison de différentes sortes de produits hydrauliques; dans ce but, on a pris des briquettes de ciment fabriquées depuis *trois ans* et conservées dans de l'eau de chaux. Le ciment employé pour les confectionner avait été broyé de façon à traverser en totalité un tamis de 4900 mailles au centimètre carré, et les briquettes avaient été gâchées avec un poids d'eau égal à 50 p. 100 environ de celui du ciment. Ces briquettes furent immergées pendant *six mois* dans une solution de sulfure de sodium à 10 p. 100. Dans ces conditions, le plus grand nombre des chaux et ciments mis en expérience ont été pénétrés jusqu'au centre, c'est-à-dire à une profondeur d'au moins 10 millimètres, puisque la dimension des briquettes était de 20 millimètres. Un très petit nombre seulement n'ont présenté que des pénétrations extrêmement faibles.

Tous ces ciments, sauf un ou deux échantillons indiqués, ont été broyés avant gâchage, de façon à les faire passer en totalité à travers le tamis de 4900 mailles. La proportion d'eau a toujours été très élevée, se rapprochant en

général de 50 p. 100, afin de se placer comme porosité dans des conditions comparables à celles des mortiers. Pour gâcher le ciment avec d'aussi fortes proportions d'eau, il a fallu ou le laisser reposer avant d'achever le gâchage, le rebattre ou, le plus souvent, commencer la prise en chauffant quelques minutes la pâte trop liquide au bain-marie.

La première colonne des tableaux indique la perte à la calcination rapportée à 100 parties de matières calcinées; c'est, à très peu de chose près, l'eau de gâchage, sauf dans le cas des chaux qui renferment déjà une notable proportion d'eau combinée.

Tous ces ciments, sauf le n° 18, ont été broyés avant gâchage, comme cela est indiqué plus haut.

Les ciments 15 et 16 provenaient d'une fabrication spéciale faite aux usines de Boulogne en vue d'essayer si les ciments à fort indice résistaient mieux à l'action décomposante de l'eau de la mer. La pâte avait été dosée à 24,15 p. 100 d'argile. Voici la composition chimique de ce ciment :

Silice	25,5
Alumine	7,8
Oxyde de fer	3,0
Chaux	60,4
Magnésie	1,4
Acide sulfurique	0,9
Perte au feu	1,0
TOTAL	100,0

Cette cuisson avait donné beaucoup de poussière, et les ciments furent composés avec des mélanges des produits de la mouture des roches et de la poussière.

Le ciment 15 renfermait	Roches :	1 400	et poussières :	300
— 16 —	—	1 000	—	1 000

Ces deux ciments ont été complètement imperméables, tandis que les ciments au dosage ordinaire ont tous été perméables; il est vrai que la quantité d'eau n'était pas la même, 45 et 47 au lieu de 60 : 80 pour les ciments ordinaires.

Au point de vue de la décomposition à la mer, les différences ont été de même sens. Les ciments à fort indice ont tous résisté, tandis que les ciments ordinaires se sont tous décomposés.

Un mélange de chaux du Teil et d'argile s'est montré à peu près complètement imperméable, tandis que des mélanges de ciment Portland ou de ciment de grappier avec la même quantité d'argile se sont laissés pénétrer; mais, là aussi, la quantité d'eau était différente : 95 p. 100 pour le mélange de chaux, dont 8 p. 100 environ préexistait dans la chaux, tandis que les mélanges à base de ciment renfermaient 111 et 127 p. 100 d'eau. Les expériences du tableau suivant

montreront que les mélanges de ciment et d'argile deviennent aussi imperméables quand ils sont gâchés avec moins d'eau.

Nature.	Proportion d'eau.	Pénétration du sulfure.
Chaux et pouzzolane grise.	»	8 mm.
— — jaune	»	3 mm.
Ciments divers bien cuits; gris.	60 p. 100	Totale
— — jaunes.	56 —	0 ^{mm} ,5
Ciments divers peu cuits; gris.	54 —	5 mm.
— — jaunes.	60 —	0 ^{mm} ,8
Ciment Boulogne, excès argile; gris.	51 —	Totale
— — — jaune.	55 —	4 ^{mm} ,5
Ciment Boulogne, excès de chaux; gris.	48 —	0 ^{mm} ,5
— — — jaune.	55 —	3 mm.

Enfin un mélange de chaux grasse et trass a été incomplètement pénétré.

Ce tableau se rapporte à des mélanges de chaux et ciments avec des pouzzolanes d'Italie : une variété jaune et une variété brune, que je dois à l'obligeance de M. Rebuffat. Sauf pour le mélange avec la chaux grasse, où elles ont été employées à l'état naturel, elles ont été broyées comme les ciments.

Le mélange avec les ciments a été fait à poids égal; pour la chaux, dans la proportion de 4 parties de pouzzolane pour une de chaux.

La différence d'indice des deux ciments de Boulogne était très faible; un peu supérieur pour le premier et un peu inférieur pour le second à la moyenne.

On voit donc que, même avec une proportion d'eau p. 100 relativement considérable : 50 p. 100, il existe des liants hydrauliques pouvant arriver à former une masse absolument imperméable.

Le résultat le plus net de ces recherches préliminaires est l'influence favorable exercée par l'addition de pouzzolanes au ciment; ce résultat est bien d'accord avec les moindres décompositions que les mêmes mortiers ont présentées dans les expériences de décomposition faites à l'eau de mer. Il semble bien que ce facteur de la perméabilité plus ou moins grande des mortiers à la pénétration par diffusion des sels ait une importance au moins aussi grande pour la conservation des mortiers à la mer que la différence des propriétés chimiques des ciments employés.

ARTS CHIMIQUES

QUELQUES EXPÉRIENCES PRÉLIMINAIRES SUR LA CUISSON DU CIMENT PORTLAND,
par **M. E.-D. Campbell** (1).

Le but de ces expériences préliminaires était de préparer un programme d'après lequel se feraient une série de recherches ayant pour objet d'établir la relation exacte entre la composition chimique d'une pâte et la température nécessaire pour la cuisson.

L'influence de nombreux facteurs, tels que la finesse de mouture, l'âge, la proportion de gypse ajouté, les procédés de mélange et de travail entrant en jeu après l'achèvement de la scorification, a été étudiée jusqu'ici beaucoup plus soigneusement que ne l'a été l'influence des différents facteurs dont dépend la constitution chimique de la roche cuite. Parmi ces derniers facteurs, on doit avant tout considérer: les proportions de silice libre ou combinée, d'alumine, d'oxyde ferrique, de chaux, de magnésie, la finesse et l'état physique de la matière crue, la température, la nature oxydante ou réductrice de l'atmosphère du four et le temps pendant lequel la matière est soumise à la cuisson; en chauffant une masse considérable de matière dans un four fixe, il serait extrêmement difficile, sinon impossible d'arriver à cuire toute la matière à la même température et pendant le même temps. C'est en raison de cette difficulté, on peut même dire de l'impossibilité, d'obtenir un chauffage uniforme dans un four que cette disposition du four fut abandonnée et remplacée par un four rotatif, imaginé dans ce laboratoire.

La composition des matières sèches employées est donnée dans le tableau suivant:

	SiO ²	Al ² O ³	Fe ² O ³	CaO	MgO	Perte au feu
Argile Art.	67,93	13,76	3,64	1,19	2,02	5,22
Argile Pen.	64,90	18,06	3,47	2,34	1,34	9,06
Argile Syn.	53,32	11,78	21,53	2,43	1,82	6,72
Schiste n° 3.	53,05	26,59	5,87	1,84	1,51	9,87
Kaolin.	47,35	36,66	1,85	0,40	0,25	12,50
Calcaire L. W.	1,21	0,25	0,25	52,89	0,89	44,58

(1) *American Chemical Society*. xxiv. Octobre 1902.

Quand le four tournant fait une révolution en une minute et 35 secondes environ, avec une inclinaison de 6 p. 100, les premiers morceaux de pierres à ciment arrivent habituellement au bout du four en vingt-cinq à trente minutes. Cependant ce n'est pas là le véritable temps de passage, car ces premières pierres, ne trouvant rien devant elles pour entraver leur marche, passent plus vite à travers le four que lorsqu'il est complètement chargé. Le véritable temps de passage a été déterminé au moyen d'une pâte très basique, préparée avec du kaolin pur, dont on introduisait séparément des morceaux à intervalles d'environ quinze minutes. Au milieu de pâtes contenant beaucoup d'oxyde ferrique, celle au kaolin, d'une couleur blanche caractéristique, était reconnue sans hésitation; on a trouvé ainsi que le temps moyen de passage des pierres était d'environ une heure un quart. Avec une vitesse de rotation réduite à une révolution en deux minutes et quarante-cinq secondes, le temps de passage augmentait et s'élevait à une moyenne de deux heures et dix-neuf minutes.

Dans les tableaux suivants, les expériences faites avec la plus grande rapidité de rotation, et par suite avec le temps de passage le plus court, ne sont marquées que par un nombre, tandis que celles faites avec la plus petite vitesse de rotation et le plus long temps de passage sont indiquées par la lettre A, placée à la suite du nombre; ainsi l'expérience 94 A a été faite avec la même pâte, etc., que l'expérience 94, mais avec une plus longue durée de cuisson.

Après avoir recueilli 80 à 100 grammes de pierres cuites à une température donnée, maintenue constante à 5° près, la température était élevée de 22° à 30° C. et maintenue constante pendant dix minutes avant de commencer à recueillir de nouveaux échantillons. De cette manière, une série d'échantillons a été recueillie à des températures graduellement croissantes jusqu'à ce que la température de « surcuisson » ait été atteinte.

Par l'expression « température de surcuisson », on entend ici la température à laquelle les morceaux séparés commencent à se coller ensemble ou à se mettre en boule. C'est la plus haute température à laquelle il soit possible de recueillir des échantillons. L'expérience 98 est la seule de ces séries dans laquelle cette température de surcuisson n'ait pas été atteinte. Les changements progressifs d'aspect des pierres avec l'accroissement de la température sont très nets même pour des variations de température relativement faibles.

Tous les morceaux produits à la même température sont pratiquement identiques d'aspect; mais, dans la plupart des cas, les échantillons successifs se distinguent aisément les uns des autres.

Avec l'accroissement de température, les matières passent graduellement du blanc ou presque blanc au brun foncé ou presque noir. La masse se contracte à mesure que la scorification devient plus complète jusqu'à ce que, enfin, la pierre à ciment produite à la plus haute température prenne une apparence plus ou

moins vitreuse, se distinguant de la couleur sombre des échantillons précédents.

On a remarqué pendant quelques-unes de ces expériences, que, si la proportion centésimale d'oxyde de carbone dans les fumées excède 0,3 p. 100, la roche présente une couleur d'un brun jaunâtre au lieu du brun sombre ou du noir habituel. Le ciment que l'on en obtient est incolore au lieu d'avoir la couleur normale du bon ciment. Le degré d'altération de la composition chimique de la pierre à ciment par l'oxyde de carbone n'a pas été complètement élucidé, mais nous espérons faire ultérieurement une étude complète de cette question.

Pensant que la mesure du volume occupé par un gramme de pierre cuite indiquerait mieux la contraction due à la cuisson que la détermination du poids spécifique de la poudre, on a mesuré ce « volume par gramme » de la pierre cuite, et donné les résultats dans les tableaux d'expériences. Dix grammes environ de fragments de ces pierres non broyées sont placés dans un petit flacon contenant assez de glycérine pour couvrir les morceaux; on relie le flacon à un aspirateur et, par un vide répété, on remplit de glycérine les pores des pierres. Les morceaux de ciment, enlevés du flacon et essuyés proprement à l'extérieur avec un linge saturé de glycérine, sont introduits dans une burette graduée remplie de glycérine jusqu'à une division donnée. On mesure le volume de glycérine déplacé et on en déduit le volume par gramme du ciment. Aussitôt la mesure faite du volume déplacé par le premier échantillon, on retire assez de glycérine pour ramener la glycérine au niveau initial, et le volume du second échantillon est alors déterminé sans avoir retiré le premier; ainsi de suite jusqu'à ce que la burette soit pleine. Cette méthode de déterminer le volume par gramme, et par suite la contraction, donne des résultats rapides et plus satisfaisants que ceux obtenus par la détermination du poids spécifique de la poudre.

Tous les échantillons de pierre cuite recueillis sont gardés dans des bouteilles hermétiquement bouchées jusqu'au moment du broyage et de la mise en pâte, qui, dans la plupart des cas, avaient habituellement lieu deux ou trois jours après la cuisson. Une partie de la pierre écrasée était mélangée avec 2 p. 100 de gypse; dans quelques cas pourtant, on en a employé 3 p. 100. Cette quantité est donnée pour chaque expérience. Après mélange avec le gypse, la pierre était broyée jusqu'à ce qu'elle puisse passer à travers le tamis de 100 mailles, au pouce linéaire.

La contraction pendant la cuisson, indiquée en volume par gramme, augmente dans tous les cas avec l'élévation de température, jusqu'à la plus haute température atteinte. A la température de surcuisson, le volume par gramme est, pour tous les ciments ordinaires, compris entre 0,38 et 0,42 centimètre cube.

On discutera plus complètement ici les relations entre le degré de cuisson et le résultat de l'essai à l'eau chaude.

Dans ce but, on s'est arrêté à trois points correspondant à d'importants changements dans l'état du ciment. Ces changements dans l'état du ciment peuvent être un indice de la formation de composés chimiques définitifs ou de transformations dans les phases d'une solution solide :

Les trois points choisis sont : 1° Température de désagrégation maximum, par laquelle on entend la température de cuisson des pierres pour laquelle les pâtes de ciment obtenues donnent la plus grande désagrégation à l'eau bouillante ; 2° Température de parfait essai à chaud, par lequel on entend la plus basse température de cuisson des pierres pour laquelle les pâtes obtenues restent fermes, sans aucune crevasse, et adhérentes au verre ; 3° Température de surcuisson, par laquelle on entend la température la plus basse à laquelle les morceaux de ciment commencent à trop se coller les uns les autres à la paroi du four.

La quantité d'eau nécessaire pour obtenir la consistance normale a été déterminée en ajoutant des quantités variables d'eau à un poids donné de ciment et le mêlant intimement jusqu'à ce que l'on obtienne une pâte avec laquelle on puisse confectionner une boule d'environ un demi-pouce de diamètre qui s'aplatisse légèrement sans fendillements quand on la laisse tomber d'une hauteur d'environ 0^m,30. La durée de prise a été déterminée sur des pâtes faites avec la quantité voulue d'eau ; on s'est servi pour déterminer le commencement et la fin de la prise d'aiguilles de 1/12 ou 1/24 de pouce de diamètre chargées l'une d'un poids d'un quart de livre, l'autre d'une livre. Ce commencement et la fin de la prise correspondaient au moment où ces aiguilles ne marquaient plus sur la surface de la pâte. L'essai à chaud a été fait sur des pâtes conservées au préalable 24 heures dans une atmosphère humide. On les plaçait sur un support dans un bain d'eau chauffé à l'ébullition et maintenu bouillant pendant vingt-quatre heures. Après refroidissement, on examinait les déformations. L'influence de la température de cuisson sur la contraction de la pierre cuite, sur la quantité d'eau nécessaire au gâchage, sur la durée de prise et la tenue à l'eau chaude est résumée, pour différents mélanges, dans le tableau page 404, où les proportions d'argile, de schiste et de calcaire employées dans chaque mélange et la formule moléculaire de la pâte rapportée à 100 molécules de silice sont également données.

La température minima nécessaire pour obtenir du ciment Portland qui donne, en partant de roche fraîche, une pâte supportant parfaitement l'essai à l'eau chaude est voisine de 1450°. Cette température correspond à la pâte contenant le minimum de chaux. Elle augmente avec la proportion de chaux jusqu'à atteindre 1550° pour la composition du ciment commercial ordinaire. Pour les ciments ordinaires des usines, le chiffre serait un peu trop élevé, car le résultat dépend dans une certaine mesure du temps employé pour traverser le four

rotatif, une allure lente tendant à abaisser la température nécessaire. La substitution de $\text{Al}^2 \text{O}^3$ ou $\text{Fe}^2 \text{O}^3$ à une partie de la silice, c'est-à-dire l'emploi d'une argile riche abaisse la température de surcuisson, mais peut soit abaisser, soit élever la température correspondant à un bon essai à l'eau chaude. Pour les mélanges à faible teneur en chaux, la température convenable de cuisson se trouve abaissée par cette substitution, mais, pour les mélanges plus riches en chaux, cette température de cuisson est relevée et peut coïncider avec la température de surcuisson. Toute tentative pour élever plus encore la température de surcuisson en augmentant la proportion de chaux ne permettra pas d'obtenir un ciment donnant un bon essai à chaud, même à la température de surcuisson comme l'indique l'expérience 100. C'est la confirmation du fait, qu'ont montré les expériences industrielles : que, avec des argiles maigres additionnées de beaucoup de chaux, il y a une grande marge entre la température convenable de cuisson et celle de surcuisson, tandis qu'avec les argiles riches, pour empêcher le ciment de s'agglomérer, il faut faire une grande attention à ne pas dépasser la température convenable de cuisson. Avec la quantité de chaux habituelle dans les ciments du commerce, l'introduction de 8 ou 9 p. 100 de magnésie n'a que peu d'influence sur la température de bonne cuisson ou de surcuisson. Ainsi, au moins en ce qui concerne la cuisson, la magnésie, ainsi que Newberry l'a avancé, se comporte comme une substance inerte.

M. L. C.

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE

L'ÉLECTRO-CHIMIE A HAUTES TEMPÉRATURES. D'APRÈS MM. S. Hutton et Petavel (1).

Les applications du four électrique aux recherches de chimie, dont l'importance avait été pressentie par quelques précurseurs, comme Siemens et Cowles, ne se sont guère développées que depuis une dizaine d'années.

La découverte du carbure de calcium, en 1902, ouvrit l'ère des applications industrielles du four électrique et de la construction, dans le monde entier, d'usines des-

tinées à fournir l'énergie électrique nécessaire, dont le prototype est l'installation du Niagara. Tandis qu'en 1888 Cowles avait grand-peine à se procurer cette énergie, elle est actuellement mise presque partout, en abondance et à bon marché, à la disposition de l'industrie chimique qu'elle a, en partie, renouvelée. Les statistiques publiées par Swan donnent une idée exacte de l'importance actuelle de l'électro-chimie, principalement dans les pays pourvus de chutes d'eau; mais elle peut s'étendre, aussi aux autres contrées, car, bien souvent, la dépense de combustible serait très faible en regard du prix de la matière fabriquée. En outre, l'éloignement des chutes d'eau augmente souvent de beaucoup les frais de transport des matières brutes et, par conséquent, du produit, au point que les progrès actuels des moteurs à vapeur et à gaz leur permettent de lutter, dans bien des cas, avantageusement avec les forces hydrauliques.

Un laboratoire d'électro-chimie devrait être installé assez grandement pour pouvoir fournir des données réellement utilisables en pratique, et disposé de manière que certaines expériences puissent se répéter fréquemment sous les conditions les plus variées. La variété

des fours électriques est infinie, et un laboratoire, si riche fût-il, n'en saurait posséder que quelques-uns; la tension des courants devrait pouvoir s'y étendre dès 4 ou

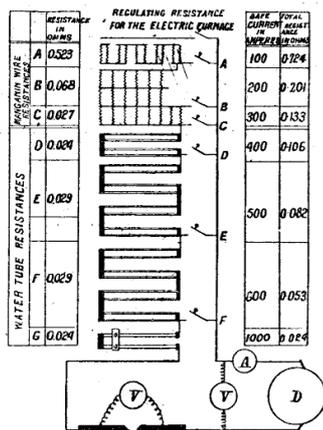


Fig. 1. — Diagramme des résistances de réglage pour fours électriques. Les cadres AB et C, en manganine, sont montés sur galets; les autres sont en tubes de maillechort fixés au mur et à circulation d'eau : D, en tubes de 6 millimètres \times 1^m,22 et de 0,6 mm. d'épaisseur; E et F de 6 mm. \times 0^m,90 et de 0^m,7; G de 13 mm. \times 2^m et de 3 mm. d'épaisseur.

(1) *Institution of Electrical Engineers*, réunion de Manchester, et *Engineering*, 19 décembre 1902.

5 volts, suffisants pour l'électro-production du zinc ou de l'aluminium, jusqu'aux 15 000 volts nécessaires pour celle de l'acide azotique, et ces courants doivent être à volonté continus, alternatifs mono ou polyphasés, et, enfin, l'organisation de ce laboratoire devrait être assez souple pour suivre les développements incessants de l'électrochimie.

Comme exemple d'un laboratoire de ce genre, bien que forcément incomplet, on peut citer celui de Owens College. La puissance motrice y est fournie par une machine à gaz et un moteur accouplables sur un même arbre, et pouvant donner

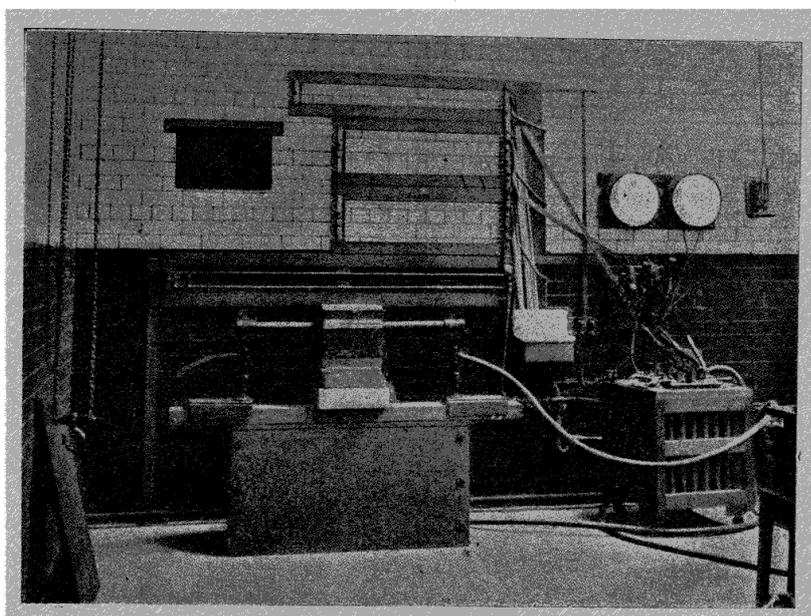


Fig. 2. — Rhéostat pour four Moissan de 40 kilowatts. A droite, le rhéostat portable et, au-dessus, les mises en court circuit de 500, 600 et 1000 ampères, reliés avec les différents cadres du centre par des barres de cuivre nu de 32×6 et $50 + 0^m,006$. Les deux charbons sont pris dans des manchons en cuivre massif et réglables en hauteur sur tiges de 15 centimètres carrés de section.

40 kilowatts. Une dynamo de 40 kilowatts peut fournir des courants de 10 à 200 volts, avec une intensité maxima de 600 ampères; elle sert pour les fours à arc. Une seconde dynamo, pour l'électrolyse, fournit du courant de 1000 ampères à 15 volts, une triphasée de 40 kilowatts et un alternateur monophasé de 240 kilowatts complètent l'installation des dynamos, dont la dernière peut fournir des courants entre 600 volts \times 30 ampères et 75 volts \times 250 ampères. M. Dougald a fait don de son appareil permettant d'obtenir des courants de 16 000 volts pour la fabrication de l'acide azotique.

Il faut pouvoir régler avec la plus grande exactitude les courants fournis par ces dynamos; on y est arrivé au moyen du système de distribution représenté par le diagramme fig. 1. Les résistances y sont de deux sortes : les unes, en manganine,

pour des intensités allant jusqu'à 300 ampères, et les autres en melchior, sous forme de tubes refroidis par une circulation d'eau, pouvant aller jusqu'à 1 000 ampères.

Ces résistances à tubes d'eau sont représentées en détail par les figures 2 à 4.

Celles pour jusqu'à 600 ampères sont en tubes de 6 millimètres, passés dans des bandes de laiton de 13×25 millimètres, fixées sur des cadres en bois, avec chacune

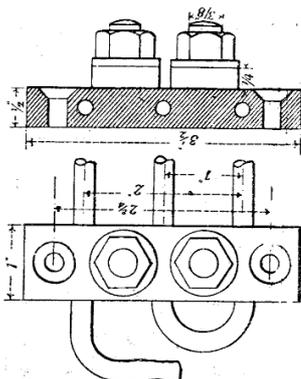


Fig. 3. — Bornes des résistances en tubes d'eau pour 600 ampères. Les tubes en maillechort sont soudés dans des plaques portant deux boulons de 10 mm. et reliés en série par des coudes.

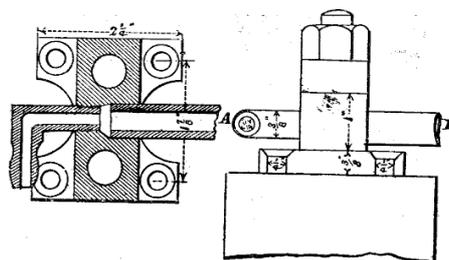


Fig. 4. — Curseurs pour bornes des résistances à tubes d'eau pour 100 ampères; montés sur attaches en bronze, avec deux boulons bornes de 13 mm.

deux vis de 10 millimètres formant bornes; celles pour 100 ampères sont en tubes de 13 millimètres \times 2 mètres de long, reliés en série, et d'une résistance de 0,024 ohm.;

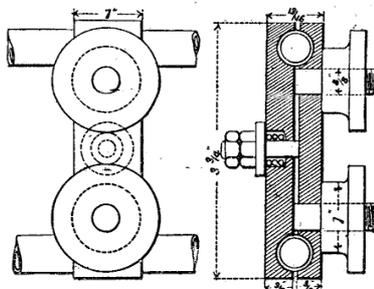


Fig. 5. — Curseurs pour résistances à tubes d'eau de 1000 ampères. Disposés par paires; on règle les courants en déplaçant légèrement l'un des curseurs, puis en rapprochant le second, de manière que la force électromotrice sur le curseur mobile soit assez faible pour éviter les étincelles.

leur résistance se règle au moyen du curseur fig. 5, serré par un ressort central, et fixé par deux vis. La capacité de ces résistances à tubes d'eau dépend de la vitesse de la circulation de l'eau et de l'intensité de la transmission de la chaleur à l'eau, et on est, en général, limité par le maximum de vitesse que l'on peut donner à l'eau ou par le débit du tube; on peut admettre qu'un débit d'un litre par minute suffit pour une

énergie de 2,5 kilowatts, et les gros tubes sont plus avantageux que les petits, parce qu'ils offrent moins de résistance au débit de l'eau.

A côté de ces résistances à tubes d'eau, se trouve un rhéostat permettant de faire varier l'excitation de chacune des dynamos de manière à suivre les variations de voltage considérables nécessaires dans la marche de nombreuses opérations au four électrique.

Il faut placer en tête de ces fours de laboratoire celui de Moissan pour 40 kilowatts (fig. 6), très convenable pour les recherches scientifiques. L'appareil représenté par les figures 7 et 8, employé par Haber (1), se prête à l'installation de fours très variés. C'est ainsi que, sous la forme fig. 9, il se prête très bien à la fabrication de l'aluminium en partant de la cryolite et à celle du carbure de calcium en remplaçant le bloc de charbon de cette figure par un petit four en briques sans ciment. Il est souvent nécessaire, pour l'électrolyse des sels fondus, de constituer le garnissage du creuse de la matière même à électrolyser, ce qui s'obtient facilement (fig. 9 B) par l'emploi d'un creuset refroidi par une circulation d'eau. Les fours à cabrendum d'Atcheson se construisent (fig. 10) très facilement avec les briques réfractaires usuelles.

La figure 11 représente un four très simple, pour la fabrication du carbure de calcium.

L'appareil représenté par la figure 12 permet de fonctionner avec des courants de 1000 ampères dans des gaz à la pression de 200 atmosphères.

La figure 13 représente schématiquement les principaux types de fours électriques employés dans l'industrie.

Les fours servant à la fabrication du carbure de calcium ont été très notablement simplifiés dans ces derniers temps; le réglage du courant s'y fait automatiquement soit par la levée des électrodes verticales, soit par l'introduction de résistances entre ces électrodes; la pesée, le broyage et le mélange des matières se font aussi souvent automatiquement. Les fours continus économisent de la main-d'œuvre; ceux de Horry et de Siemens procurent les mêmes avantages, sans la grande perte de chaleur provenant de la sortie du carbure du four à l'état de fusion. Quant au courant, l'alternatif est préférable, comme d'une transmission plus facile et se prêtant mieux aux variations brusques des charges; la qualité du carbure produit par les courants alternatifs est aussi, paraît-il, plus uniforme.

Les courants triphasés ont été employés notamment par l'usine de Saint Mar-

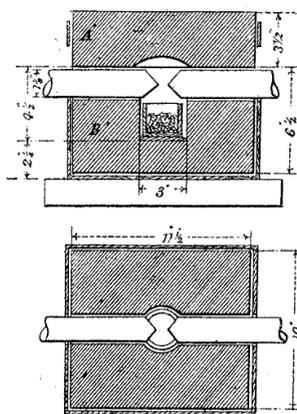


Fig. 6. — Four Moissan de 40 kilowatts.

En deux blocs de chaux de Monk's Park : A formant le couvercle et B le four proprement dit, avec deux rainures pour les charbons; ces blocs sont armés de bandes de fer avec crochets pour retirer le couvercle. La cavité centrale, de 60 à 100 mm. de diamètre, est garnie, au fond, de magnésie en poudre, qui empêche le creuset de carbone de venir au contact de la chaux; il faut réserver autour de ce creuset un espace annulaire qui facilite le chauffage et empêche son carbone de se combiner avec la chaux.

(1). *Z. für Electrochemie*, vol. VIII. p. 26 et 607 (1902).

cello d'Aoste (1) avec l'avantage d'une meilleure distribution de la température, condition importante car les variations de température admissibles sont assez étroites(2); trop intense, elle risque de brûler la matière. Les courants alternatifs présentent, néanmoins, le désavantage d'un facteur de puissance moins élevé.

L'industrie du carbure de calcium a pris un très grand développement; au Niagara, elle emploie constamment 15 000 chevaux par des courants diphasés de 2 200 volts, transformés en triphasés de 11 000 par des transformateurs de 2 200 chevaux, bien que la distance

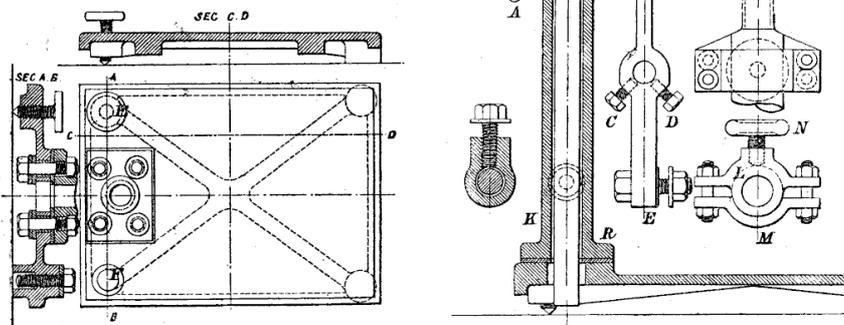


Fig. 7 et 8. — Dispositif pour four électrique vertical. Sur socle en fonte de 13 mm. d'épaisseur, renforcé par des nervures de 25 mm.; vis calantes A, borne C de 20 mm.; colonne en fonte K, sur base R, de 65 mm. de diamètre, isolée par une rondelle d'ébonite, renfermant la potence SF, à tige d'acier S, de 30 mm. de diamètre, ajustable par les vis de serrage A et B; bornes K et E, cette dernière pour 600 ampères. Pour éviter les contacts de glissements dangereux avec de pareils courants, F est reliée aux charbons par des conducteurs flexibles (fig. 9). Le porte-charbon en bronze T a 35 mm. de diamètre et est fileté de manière à pouvoir se lever de 30 mm. Par sa manette en fonte de 180 mm., sa pince peut saisir des charbons jusqu'à 75 mm. de diamètre.

du transport de cette énergie ne soit que de 3 kilomètres environ; ces courants de 11 000 volts sont ensuite retransformés en diphasés à 2 200 puis à 110 volts à l'entrée dans les fours. Au Sault Sainte-Marie, se monte une usine de 20 000 chevaux, avec fours Horry (fig. 13) (3). On peut encore citer les fours de Gin et Leleux, aux usines de Meran, et ceux de la Deutsche Gold u. Silver Scheide Anstalt, installés dans quelques usines de Norvège (4). L'avenir de l'industrie du carbure de calcium dépend, pour le moment, de celui de l'acétylène qui semble en bonne voie (5).

(1) C. Pio, *Electrician*, vol. ZLI (1899), p. 637.

(2) Borchers, *Z. für Elektrochemie*, vol. VIII (1902), p. 349.

(3) Brevets anglais 22521 de 1897 et 14267 de 1899.

(4) *Electrician*, vol. XLVI (1900), p. 267.

(5) *Report Of Comiltee on Acetylene Generators* (Home Office) (1902).

L'emploi de l'acétone comme dissolvant de l'acétylène, et qui permet de l'emmagasiner sans danger sous pression, en accélérera peut-être les progrès (1).

On a aussi proposé l'emploi de l'acétylène pour agent réducteur en métallurgie (2) et pour la fabrication de noir de fumée très fin (3).

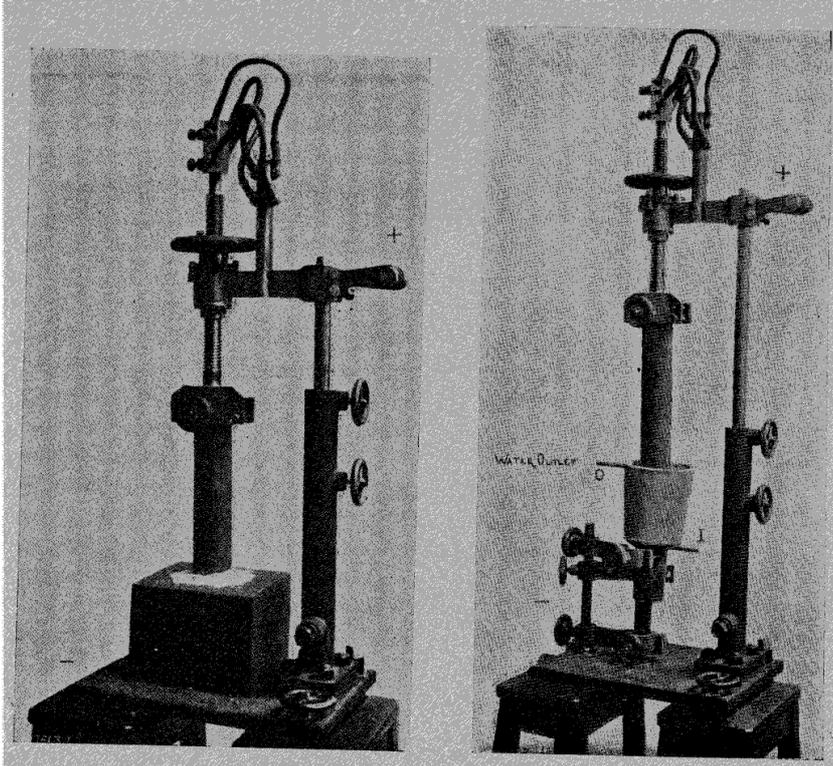


Fig. 9 A. — Four expérimental à aluminium. Le pôle positif est constitué par un charbon de 75 mm. de diamètre et l'électrode négative par un gros creuset de charbon.

Fig. 9 B. — Four électrolytique refroidi par une circulation d'eau. Pour l'électrolyse des sels fondus; l'enveloppe d'eau fait solidifier une couche de sel qui constitue le garnissage autogène du creuset et ne se corrode pas.

Matières réfractaires et leurs alliages. — Le four électrique se prête très bien à la fabrication de certains métaux et alliages rares d'une grande utilité en métallurgie, comme les ferro-chromes dans la métallurgie des aciers; une seule aciérie américaine

(1) Fouché, *Société française de physique*, 15 novembre 1901, *Journal de l'électrolyse*, vol. X, N° 22 (1901), p. 13.

(2) *Z. für Electrochemie*, vol. VII (1901), pp. 544, 557 et 573.

(3) Hubou, *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France* (1900).

en employe, par an, 450 tonnes à 70 p. 100 de chrome pour les plaques de blindages; les principales usines de ces ferro sont en France et aux États-Unis. La Wilson Aluminium Co, de Holcombs Rock et de Kanawha Falls, Vancouver, emploie 3 000 chevaux à la fabrication des ferro-chromes et autres alliages; le métal est coulé dans des lingotières mobiles garnies de réfractaire, avec réglage automatique comme dans la fabrication du carbure de calcium. Le ferro-tungstène, employé pour les aciers auto-trempés d'outils à grande vitesse, se fait aussi au four électrique, sous une forme compacte, fondue, moins sujette à l'oxydation quand on l'ajoute à l'acier. Le ferro-silicium se fabrique souvent dans les usines où la fabrication du carbure de calcium

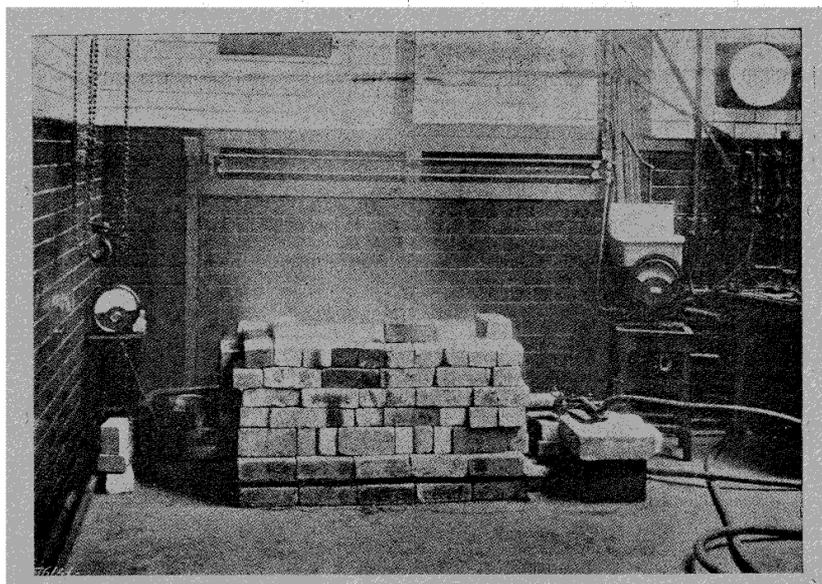


Fig. 10. — Four à carburendum expérimental; reproduction du four industriel à petite échelle; en briques réfractaires sans ciment de 1^m,17 × 710 × 530 de haut; électrodes chacune en deux plaques de graphite de 63 × 23, en contact avec le coke qui les réunit et est entouré d'un mélange de sable, de coke, de sciure de bois et de sel marin.

est devenue improductive; sa teneur varie de 15 à 85 p. 100; c'est un désoxydant pour les fontes de fer et d'acier, qu'il rend plus fluides à cause de sa grande chaleur de combustion, et qu'il débarrasse des soufflures.

On a, depuis longtemps, fabriqué au four de Cowles le siliciure de cuivre, qui a trouvé de nombreuses applications comme désoxydant et renforceur des fontes de cuivre et de laiton. Le silicium, qui tend à supplanter ses alliages, se prépare en grande quantité par la méthode de Scheid (1). Les difficultés de la fabrication du ferro-vanadium, appelé à jouer un rôle important dans la métallurgie de l'acier, sont en partie vaincues; et il en est de même de celle du titane, qui améliore la résistance

(1) Brevet anglais 18659 de 1899.

des fers et des aciers (1). Ces corps, rares et coûteux, ne peuvent se fabriquer industriellement qu'avec des fours électriques très bien réglés et bien fermés pour en éviter les pertes.

Le développement de l'industrie des métaux rares a été accentué considérablement par la découverte de Goldschmidt; les procédés aluminothermiques de réduction des oxydes métalliques par l'aluminium très divisé, procédés exploités à Essen par la Société « Thermit »; mais c'est une méthode indirecte, car l'aluminium lui-même doit être préparé au four électrique, de sorte que l'emploi direct de ce four ne tardera probablement pas à l'emporter pour le raffinage de ces métaux tels que le chrome, par exemple (2).

La fabrication du carburendum a pris aussi une grande importance : 2690 tonnes par an, avec une puissance de 3000 chevaux. Le four employé est du type E (fig. 13) et la matière traitée se compose de coke et de sable avec un peu de sciure de bois et de sel marin, pour assurer la porosité et la fusibilité de la charge. Le carburendum est un excellent abrasif; il peut remplacer en partie le ferro-silicium dans la métallurgie des aciers, et on l'y emploie actuellement au taux de 75 tonnes par mois. On peut aussi l'utiliser à la fabrication de produits très réfractaires soit sous forme de carburendum recristallisé de Fitzgerald, préparé en agglutinant le carburendum finement divisé et en le réchauffant au four électrique, soit comme l'a fait Tonc, sous la forme amorphe, variété qui constitue toujours une partie considérable du produit. Chacun des fours à carburendum du Niagara emploie 1000 chevaux; le voltage, de 200 volts à l'origine, tombe à 80 volts à mesure que le four s'échauffe; le courant arrive sous voltage constant, que l'on règle suivant les progrès de l'opération au moyen du dispositif de transformation fig. 13 (3).

Le procédé d'Atcheson permet de produire industriellement du graphite artificiel; il se limite d'abord à la graphitisation de charbons amorphes, électrodes indispensables dans bien des procédés d'électrolyse en raison de leur compacité et de leur durée.

La présence de petites quantités d'oxydes métalliques est jugée indispensable pour la graphitisation du carbone amorphe; le carbone pur ne se transforme pas, même aux plus hautes températures du four d'Atcheson, mais il suffit de mélanger ces oxydes au carbone d'une façon grossière, car la réaction se produit par une sorte de cémentation, la vapeur des oxydes et de leurs métaux pénétrant le carbone. On

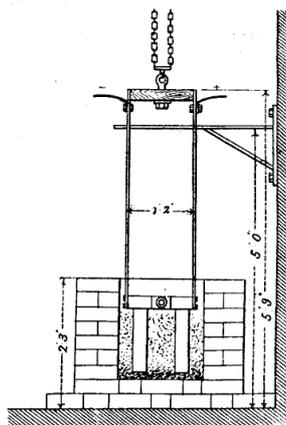


Fig. 11. — Four à carbure expérimental de 40 kilowatts. Du type C (fig. 13); les deux électrodes de carbone, isolées l'une de l'autre, sont levées par une grue murale : le courant est amené par des glissières en cuivre qui guident les électrodes; le corps du four est soit en briques, soit en un pot de fonte, dont la matière constitue, dans les deux cas, le garnissage.

(1) Rossi, *Mineral Industry*. Vol. IX (1900), p. 713.

(2) Moissan, *Le four électrique*, p. 209 et *Chemical Trade Journal*, vol. XXX (1902), p. 453.

(3) Peck, *Electro-Chemistry*, vol. 1, p. 5 (1902).

dirait d'une action catalytique provoquée par la formation progressive et la dissociation des carbures métalliques produits par ces oxydes, ainsi indéfiniment actifs pendant la réaction. Plus récemment, cette méthode a été appliquée à la graphitation directe des anthracites, avec production de graphite granulaire excellent pour le graissage. La figure 16 représente un four de graphitation, avec les électrodes à graphiter disposées transversalement de manière à augmenter la résistance du four, et entourées d'un mélange de coke et de carburendum.

Les transformateurs donnaient, à l'origine 37 000 ampères sous 15 à 30 volts; fréquence 23 périodes par seconde, et cette fréquence serait probablement encore abaissée dans une installation spéciale à cette fabrication. La graphitation quadruple la conductibilité des électrodes et en fait passer la densité de 1,5 et 1,9 à 2,1 et 2,25; ce graphite peut, en outre, se travailler très facilement, se tailler et se visser; la produc-

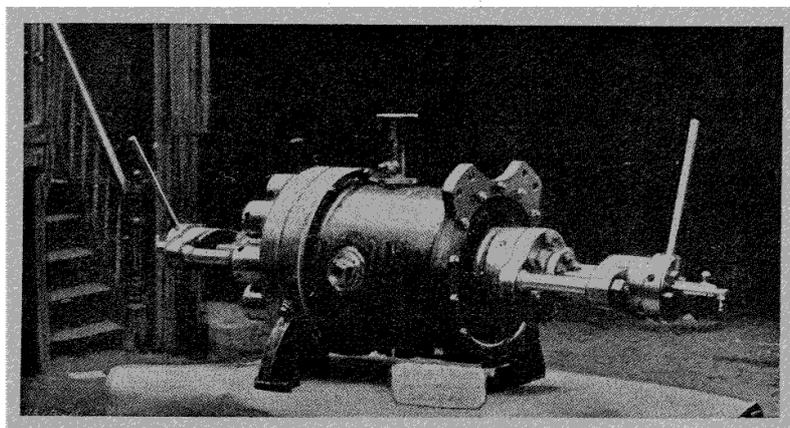


Fig. 12. — Four électrique de haute tension. Fermé, en acier, pouvant supporter une pression de 200 atmosphères, et essayé à 500. On voit, à droite et à gauche, les vis par lesquelles se fait l'alimentation des charbons; des regards, qui peuvent aussi servir de connexions avec des tuyaux de gaz sous pression, permettent de suivre les opérations; prise de manomètre; enveloppe d'eau; construit par Lennox Reynolds et Fyfe.

tion américaine atteint actuellement 1135 tonnes, dont la moitié pour électrodes, avec une puissance de 1 000 chevaux distribuée à plusieurs fours employant chacun successivement toute cette puissance.

Depuis 1889, les deux procédés employés pour la fabrication électrolytique de l'aluminium sont, en Europe, le procédé Héroult, et, aux États-Unis, celui de Hall, consistant tous deux, essentiellement, dans l'électrolyse de la cryolite fondue, en y ajoutant de l' Al^2O^3 , à mesure que l'aluminium se sépare.

Le type de four employé est, dans les deux cas, le D (fig. 13) où le creuset garni de carbone constitue l'une des électrodes. La différence entre les deux procédés est d'ordre essentiellement mécanique. Le procédé Hall, exploité par la Pittsburg Reduction Co, emploie 10 000 chevaux au Niagara, 5 000 à Schawinigan Falls et 12 000 à Massena, N Y; les creusets sont en fonte garnie de graphite de $1^m,50 \times 0^m,60 \times 250^m/m$, de profondeur, constituant la cathode où se réunit le métal; les anodes, au nombre

de 40, sont en carbone et supportent chacune 250 ampères sous 3 volts, de sorte que chaque creuset absorbe 65 chevaux (1).

D'après Haber, dont l'ouvrage sur l'électrolyse est des plus intéressants (2) l'une des dépenses les plus importantes de ces procédés est la purification de la bauxite, qui renferme du fer, de la silice et du titane; le procédé de purification le plus employé est celui de Boyer, de nature purement chimique. Hall a récemment proposé de purifier la bauxite dans un four électrique du type A (fig. 13) en la chauffant au contact

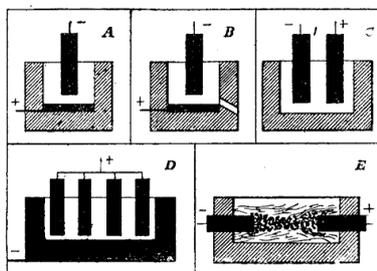


Fig. 13. — Types principaux de fours électriques. Tous, à l'exception du type D, peuvent servir aux courants alternatifs ou continus, ces derniers sont les moins fréquemment employés. A, four à pot avec courant passant entre l'électrode verticale mobile et l'électrode fixe, constituée par le fond du creuset. B, four à trou de coulée. C, four à garnissage autogène. D, four pour aluminium, zinc..., le pôle négatif est constitué par le fond du four. E, four à résistance avec noyau traversé par le courant et chauffant la matière environnante.

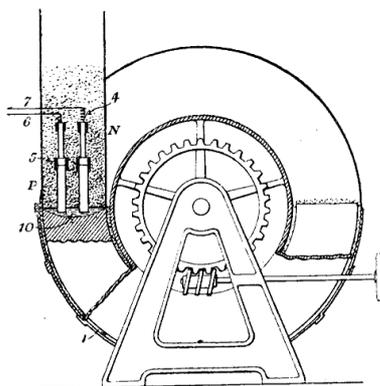


Fig. 14. — Four Horry à carbure de calcium. Du type C, (fig. 13) avec courant passant entre les électrodes P et N, fixes, et sous lesquelles le récipient renfermant la matière s'abaisse automatiquement dès que la matière entourant les électrodes est transformée en carbure fondu; à cet effet, le four est constitué par un tambour tournant lentement, la réaction se produisant dans des segments autour de ce tambour, et le produit se sortant par l'enlèvement des plaques de leurs secteurs; la vitesse de rotation est telle que le courant reste à peu près constant.

de carbone en quantité suffisante pour en réduire les impuretés; la bauxite, refroidie après fusion, constitue une matière facilement fusible dans la cryolite, ce qui permet de diminuer considérablement le prix de revient de l'aluminium. La production de l'aluminium s'est élevée à 7500 tonnes environ en 1901; on compte sur environ 1 kilogramme d'aluminium par 25 chevaux.

Le sodium a été produit longtemps par le procédé Castner, employé au Niagara,

(1) Wallace, *Journal of the Soc. Chem. Industry*, vol. XVII, page 308 (1898); Becker, *Manuel d'Electrochimie*, Paris, page 475 (1898); *Mineral Industry*, page 14 (1892). Chandler, *Journ. Soc. Chem. Industry*, vol. XIX, page 609 (1900); W. Murray Morrison, *Journal Institute Electrical Engineers*, vol. XXXI, page 400 (1901); Haber, *Zeitschr. für Angew. Chemie*, page 215 (1901); Richards, *Electro-Chemical Industry*, vol. I, page 49 (1902).

(2) Haber et Geipert, *Zeitschr. für Elektrochemie*, vol. VIII, pages 1, 26, and 607 (1902).

en Allemagne et en France, et qui consiste dans l'électrolyse de la soude caustique fondue. Le sodium, plus léger, surnage sur le bain et est enlevé périodiquement. Le réglage de la température doit être très exact, car un excès de 20° au-dessus du point de fusion du sodium le fait se recombinaer à la soude sans production aucune du métal. Le rendement du courant serait de 70 à 90 p. 100; au Niagara, l'on emploie 120 creusets de chacun 1 200 ampères sous 3 volts (1).

Cette électrolyse a été étudiée avec soin par MM. Le Blanc et Brode (2) qui ont montré que les produits primaires en sont le sodium à la cathode et l'oxygène et l'eau à

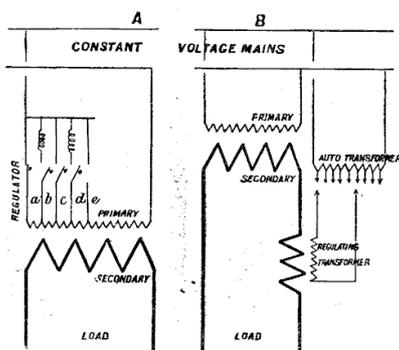


Fig. 16. — Four au graphite d'Acheson. Pour la graphitisation des électrodes; le courant traverse la charge, qui constitue elle-même la résistance chauffante. Chaque four absorbe 1 000 chevaux, marche 24 heures, et peut graphiter 3 tonnes, 3 d'électrodes en charbon ou 6 tonnes d'antracite.

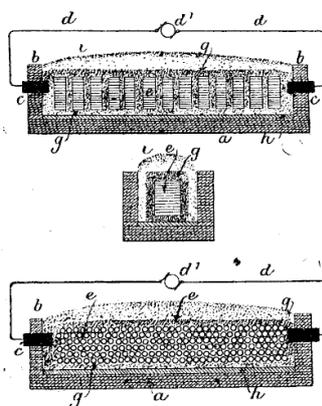


Fig. 15. — Transformateurs pour électrochimie.

En A, le rapport de transformation se règle par la suppression d'un certain nombre de tours du circuit primaire; pour diminuer la force électro-motrice dans le secondaire, on ferme le commutateur *c* et ouvre *a*, ferme *c* et ouvre *b*, chaque opération diminuant ce voltage. En B, le réglage se fait par un survolteur dont on ajuste le primaire en le reliant à un nombre donné de tours d'un auto-transformateur relié aux feeders.

l'anode, eau qui, restant dans la matière fondue, réagit sur le sodium produit, et abaisse de 50 p. 100 le rendement du procédé.

On a aussi fabriqué le sodium par le procédé Darling (3) dans lequel le nitrate de soude fondu est électrolysé dans des cuves de fonte avec diaphragmes épais de ciment et de magnésie, en donnant de l'acide azotique à l'anode et du sodium à la cathode; chaque cuve prend 400 ampères et 15 volts.

Les principaux procédés employés pour la fabrication électrolytique de la soude caustique sont ceux de Griesheim, Castner-Keller et Hargreaves-Bird, tous en solutions

(1) Brevet anglais No. 13,356, de 1890; *Electro-Chemical Industry*, vol. I, page 15 (1902); *Journ. Soc. Chem. Ind.*, page 777 (1891); Rathenau et Suter, Brevet allemand No. 96,672 de 1896; R. Pauli, *Chemische Zeitschrift*, vol. I, page 497 (1902).

(2) Le Blanc et Brode, *Zeitschr. für Electrochemie*, vol. VIII, page 697 to 707 and 717 to 729 (1902),

(3) Darling, *Journal of the Franklin Institute*, vol. CLIII, pages 63 to 67 (1902).

aqueuses. Le fraitement direct du sel fondu présente de grands avantages théoriques, et il a été proposé par de nombreux inventeurs, notamment par Vautin, Hulin et Acker, qui emploient tous du plomb fondu comme cathode du sodium; le procédé Acker (1), fonctionne depuis 1900 au Niagara avec 3 250 chevaux et des résultats satisfaisants. Le succès dépend entièrement de l'enlèvement rapide du sodium aussitôt que formé, car sa diffusion dans la masse de plomb se fait très lentement, et les alliages riches en sont instables en présence du sel fondu. Acker produit cette circulation rapide par un injecteur de vapeur qui fait passer le plomb rapidement sur les anodes et oxyde, en même temps, le sodium, en produisant la soude caustique fondue. La température à laquelle la vapeur arrive au contact de l'alliage de plomb s'élève encore par la chaleur de combinaison du sodium et, ainsi, l'excès de vapeur passe sans se combiner à la soude caustique; la circulation est si active que l'alliage de plomb ne tient guère plus de 4 p. 100 de sodium; le chlore est aspiré par un ventilateur et employé à la fabrication du chlorure de chaux. Les cuves sont en fonte, avec garnissage au-dessus du niveau du plomb fondu, et la difficulté de ce garnissage est tournée en le constituant par du sel non fondu. Le plomb débarrassé de son sodium revient au bain par un canal central. La distance entre les anodes de plomb fondu et les anodes de charbon est très petite, de sorte que la résistance intérieure est très faible; les anodes, au nombre de 4 par cuve, sont en graphite, de 190×355 , et portent chacune 2 000 ampères sous 7 volts; on dispose 45 cuves en série; la soude caustique anhydre tombe d'un déversoir en fer dans un récipient; le rendement du courant est d'environ 94 p. 100.

Le procédé « Phœnix » de Swinburne et d'Ashroft, permet d'électrolyser le zinc de son chlorure fondu, et s'applique aux minerais complexes de Broken Hill (2).

MM. Simon et Gin retirent le manganèse, par un procédé analogue à celui de l'électrolyse de l'aluminium, d'un bain de fluorure de calcium fondu dans lequel l'oxyde de manganèse est électrolysé avec du carbone pour en faciliter la réduction; il faut y régulariser très exactement la température, puisque le manganèse est déjà volatil au voisinage de son point de fusion (3).

Le procédé proposé par Readman et Parker, en 1888, pour la fabrication du phosphore au four électrique (4) employé sur une grande échelle par la Electric Construction Co, de Wolverhampton et par MM. Albright et Wilson, à Oldbury, consiste à traiter un mélange de phosphate de carbone et de sable dans un creuset électrique soigneusement fermé et à recueillir sous l'eau le phosphore qui en distille. D'autres procédés sont employés à Griesheim et en France.

On a, depuis longtemps, cherché la *synthèse de l'acide azotique* par l'azote et l'oxygène de l'air, et cette importante question a été étudiée particulièrement avec beaucoup

(1) Vautin, Brevet anglais No. 13,568, 1893; Journal of Society of Chemical Industry, vol. XIII, page 448 (1894); Townsend, *Electrical World and Engineer*, vol. XXXIX, pages 585-587 (1902); Acker, Transactions of the American Electro-Chemical Society, vol. I, page 165 (1902).

(2) Ashcroft, Institution of Mining and Metallurgy (1901); *Electro-Chemist and Metallurgist*, pages 244-249 and 269-271 (1901).

(3) Simon, Brevet anglais No. 17,190, de 1900; Gin, *La fabrication électrique du Ferro-Manganèse en France, procédé Simon*, Paris, 1901.

(4) Readman, Brevet anglais No. 14,962, 1888; Parker et Robinson, Brevet anglais No. 17,719, 1888; Readman, Journal of the Society of Chemical Industry, vol. X, page 445 (1891); Thorpe's Dictionary of Chemistry, vol. III, page 192; Machalske, *Electrical World and Engineer*, vol. XXXVII, pages 369 (1901); Irvine, *Electrical World and Engineer*, vol. XXXVIII, page 374 (1902).

de soins par MM. Mac Dougald et Howles, qui ont pu, au moyen d'un arc électrique alternatif de haute tension, produire 300 grammes d'acide azotique par 12 chevaux-heure, en combinant 51 p. 100 de l'air traversant leur appareil; puis, avec un mélange de 2 volumes d'oxygène et d'un d'azote, ce rendement s'éleva à 590 grammes. Ils employèrent, dans presque toutes leurs expériences, un transformateur de 8 000 volts. Aux usines de Bradley et Lovejoy, au Niagara, on emploie un courant continu à 10 000 volts; le pôle négatif de la dynamo est (fig. 17) relié à un axe à six bras radiaux, les pôles positifs étant placés à la périphérie d'un cylindre en fer qui constitue la chambre de combustion; l'appareil comprend 23 de ces étoiles superposées sur un axe vertical qui fait 500 tours par minute, avec rupture de 414 000 arcs, cette rotation refroidissant rapidement les produits de la combustion et les empêchant de se dissocier par la chaleur de l'arc. Ce refroidissement est complété par un courant d'air rapide, de sorte que les gaz sortant de l'appareil ne renferment que 2 à 3 p. 100 d'oxy-

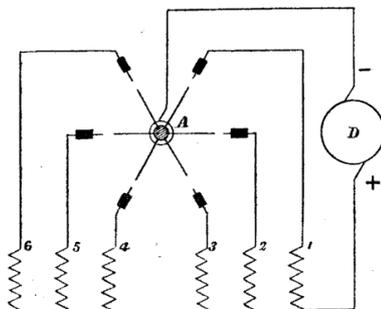


Fig. 17. — Schéma de l'appareil à acide azotique Bradley. La dynamo D, de 10 000 volts, a son pôle négatif relié à l'axe tournant A et son positif aux électrodes fixes par les amortisseurs 1, 2, 3... L'axe A porte 23 étoiles décalées de 2°, 5, les électrodes négatives se superposant verticalement.

des d'azote; le rendement est d'un kilogramme d'acide nitrique par 15 chevaux-heure, et l'on s'occupe d'exploiter commercialement ce procédé (1).

La fabrication de l'alumine fondue en partant de la bauxite traitée au four électrique est actuellement pratiquée au Niagara, par la Norton Emery Wheel Co, où l'on traite la bauxite préalablement calcinée dans un four du type B (fig. 13); on y emploie 500 chevaux, qui produisent chaque jour, 4 à 5 tonnes d'alumine fondue, ou « alundum » abrasif puissant, employé à la fabrication des meules, et qui présente parfois des formations largement cristallines (2).

La baryte est fabriquée, au Niagara, par la United Baryum Co, en partant du sulfate de baryte traité au four électrique avec du charbon qui donne la réaction



puis la suivante



(1) Mc Dougald et Howles, Manchester Lit. and Phil. Society, vol. XLIV, part iv, No. 13, pages 1 to 19 (1900); Bradley, *Electrical World and Engineer*, vol. XL, page 459 (1902); Rayleigh, *Journal of the Chemical Society*, vol. LXXI, page 181 (1897).

(2) Jacobs, Brevet américain; Gintl, *Zeitschr. für Angew. Chemie*, page 1473 (1901); Hasslacher, German Patent No. 85.621, of 1896.

Les fours, de 500 kilowatts, donnent un mélange de sulfure de baryum et d'oxyde, séparés en solutions aqueuses, puis le sulfure est carbonaté (1).

Le procédé de M. E. R. Taylor, pour la fabrication du sulfure de carbone, appliqué à Penn Yan, New-York, consiste à traiter au four électrique un mélange de soufre et de carbone; le four consiste en une tour de 12 mètres de haut sur 4^m,80 de diamètre, continuellement alimentée de soufre qui, montant sous les électrodes, y rencontre du coke formant résistance entre les électrodes, s'y vaporise, et vient au contact du charbon de bois qui remplit le reste de la tour; le sulfure de carbone ainsi produit s'évacue et se condense. La production journalière est d'environ 5 tonnes, et à très bon marché.

La question de la fabrication de l'acier au four électrique, abordée par Siemens, est actuellement reprise avec ardeur, en se proposant de retirer l'acier soit de la fonte, soit directement des minerais.

Dans le four de De Laval, la fonte était fondue en l'amenant au contact d'oxyde de fer fondu chauffé par une résistance électrique; ce procédé, tenté à Trollatan, en Suède, sur une grande échelle, n'a pas réussi financièrement (2).

Le four électrique de Stassano ressemble à un haut fourneau dont la chaleur serait fournie par un arc électrique; il fallait 3 000 chevaux-heure pour produire une tonne de métal; la compagnie formée en Italie pour l'exploitation de ce four a cessé ses opérations (3).

Harmet, à Saint-Étienne, a proposé de traiter le minerai en trois temps, l'oxyde de carbone dégagé par la réduction étant employé en partie pour chauffer le minerai et le métal produit transformé en acier dans un autre four; on a établi une usine pour l'application de ce procédé (4).

Ruthenberg concentre les minerais par un triage électro-magnétique avant de les traiter au four électrique (5).

Conley propose de réduire les minerais en les passant entre deux plaques de grande résistance chauffées par le courant, et d'où le métal tombe dans un creuset aussi chauffé par l'électricité (6).

Gin chauffe un mélange d'oxyde de fer et de sulfures avec production d'acide sulfurique et de ferro-silicium comme sous-produits.

Keller a construit un four à Kerousse (Morbihan) (7).

La réduction des minerais par des courants induits a été proposée en Suède par Benedick (8) et en France par Schneider (9); dans les deux procédés, le métal enfermé dans un creuset annulaire constitue le conducteur électrique qui entoure un anneau

(1) Jacobs, *Journal of the Society of Chemical Industry*, vol. XXI, page 391; Limb, Brevet anglais 7282 (1899).

(2) *Jahrbuch der Electrochemie*, vol. I, p. 123 (1894).

(3) *Jahrbuch der Electrochemie* vol. VI, p. 320 (1899) *Z. Fur Electrochemie*, vol. VIII, p. 61 cl. 832. (1902). *Journal of the Society of Chemical Industry*, vol. XX, p. 816 (1902).

(4) Harmet, *Etude sur l'Electrometallurgie du fer. Electrochemist and Metallurgist*, vol. IX, p. 18. (1902). *Z. fur Electrochemie*, vol. I, p. 516 (1902).

(5) Brevet anglais 13 807 de 1902. *Electrochemist and Metallurgist*, vol. II, p. 12 (1902). *Jahrb. der Electrochemie*, vol. I (1902), p. 516.

(6) *Electrochemist and Metallurgist*, vol. II, p. 16 (1902).

(7) Bertolus, *Notice sur la fabrication des aciers au four électrique*. Paris, 1902.

(8) Brevet anglais 18 921 de 1900.

(9) Brevet anglais 7338 de 1901.

de fer dans lequel se produisent de rapides variations du flux magnétique. L'appareil de Benedick est, en principe, un transformateur de soudage, dont le circuit secondaire est formé par un métal en fusion; ce procédé fonctionne à Gysinge avec une puissance de 300 chevaux, fournissant 1 500 tonnes d'acier par an. Schneider produit son champ magnétique alternatif par la rotation d'une armature en navette. Ces procédés ne peuvent réussir que si l'on dispose d'une puissance hydraulique à très bon marché.

Les fours électriques pour verrerie ont été essayés commercialement à Plettenberg (Westphalie)(1). On pourrait aussi essayer de fabriquer électriquement le quartz, malgré son point de fusion très élevé; mais les difficultés sont très grandes.

Il est très difficile de calculer le rendement des fours électriques en raison de l'incertitude de leur température et des variations de la chaleur spécifique à ces températures au delà de 1 500° environ; ces incertitudes exposent à des erreurs du simple au double; on peut arriver à des calculs plus exacts pour les fours à résistances, dont la température est moins élevée, et pour l'électrolyse des sels fondus, en se basant sur les équivalents électrochimiques; en tout cas, le rendement industriel s'évalue par le poids de métal produit par cheval-heure.

(1) *Z. für Electrochemie* vol. III, VIII, p. 419 (1902) et brevet anglais *Volker* 23 903 de 1900.

NOTES DE MÉCANIQUE

DÉHOUILLEUSE DE LA C¹⁰ DES MINES d'Anzin.

La perforatrice P (fig. 1) peut soit se fixer sur le manchon C² par le serrage de la rondelle R, comme en figure 4; soit y tourner librement, comme en figure 3; cette rotation s'effectue en poussant la poignée T, pendant que l'on commande l'avance-

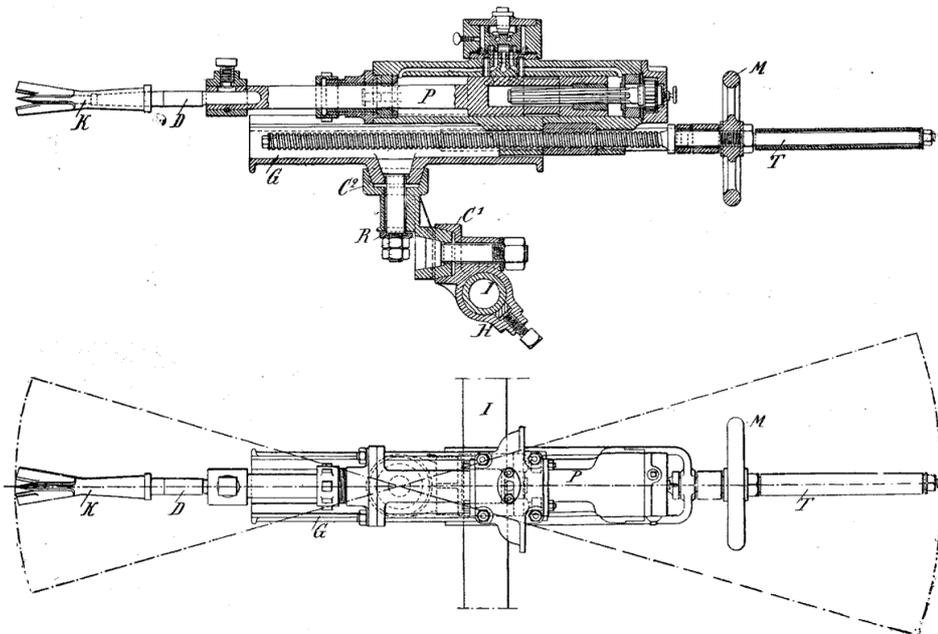


Fig. 1 et 2. — Déhouilleuse de la *Compagnie des Mines d'Anzin*, coupe longitudinale et plan.

ment de P sur son berceau G par la manette M et sa vis. La perforatrice agit alors comme déhouilleuse, traçant une entaille dans le bloc de charbon à abattre.

En outre, le manchon C² peut s'orienter autour du manchon C¹, ce qui permet de tracer les entailles suivant toutes les inclinaisons, l'ensemble des manchons C¹ et C² constituant un véritable joint universel.

Le fleuret K de la perforatrice consiste en un manchon forcé à frottement sur sa tige D, à quatre lames *f*, faciles à affûter et meuler jusqu'à leurs racines en *g*.

Fig. 5.

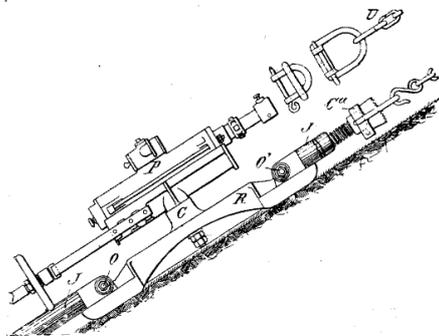


Fig. 5 et 6. — Déhouilleuse d'Anzin, en galerie inclinée et au repos.

Fig. 6.

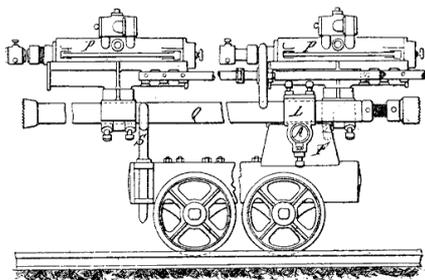


Fig. 7.

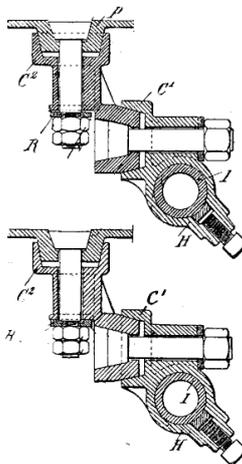


Fig. 7 et 8. — Déhouilleuse d'Anzin, coupes transversales par le pivot R et détail du fleur-et.

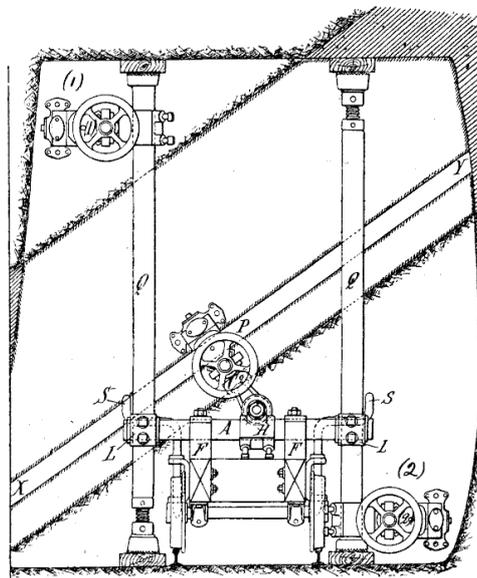
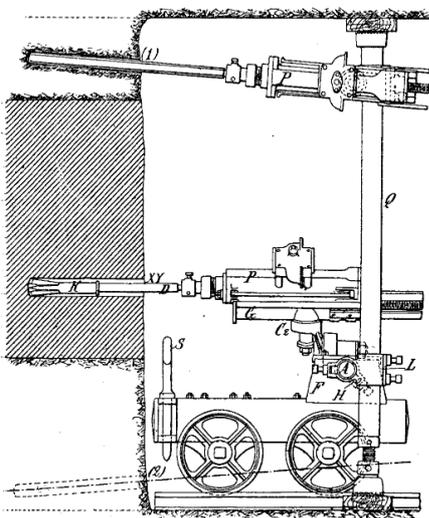
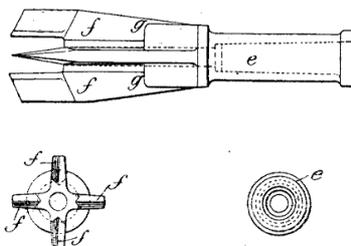


Fig. 9 et 10. — Déhouilleuse d'Anzin, en galeries horizontales.

Le chariot sur lequel on monte ces appareils porte en FF (fig. 8 à 10) un arbre A, avec deux manchons LL, à poteaux de fixation Q; sur ces poteaux, peuvent se fixer des perforatrices attaquant la roche en 1 et 2 (fig. 10), pendant qu'une troisième perforatrice P, montée sur A en H, peut tracer le banc suivant une inclinaison X-Y à la hauteur fixée par la position des colliers LL sur leurs poteaux. L'abatage terminé, les poteaux Q sont, comme en figure 8, rabattus sur les supports SS, de manière à tenir dans un encombrement très restreint.

Pour le travail dans les galeries trans-

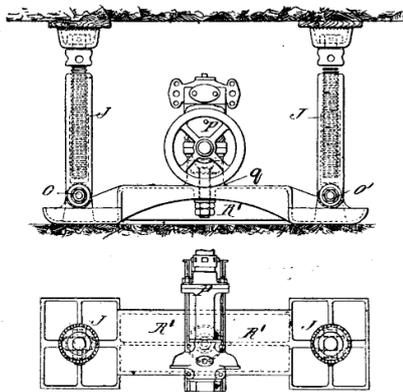


Fig. 11 et 12. — Déhouilleuse d'Anzin, en galeries basses.

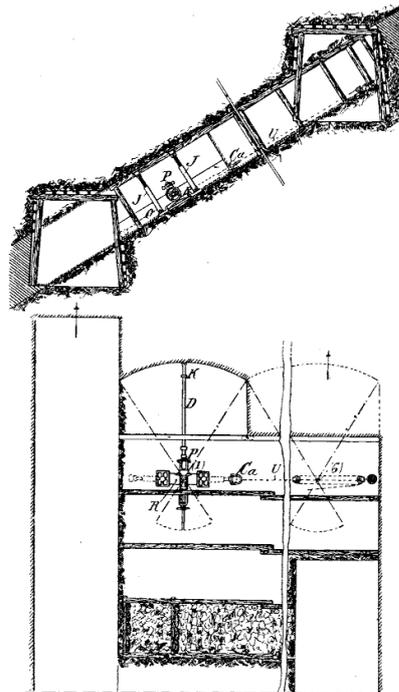


Fig. 14 et 15. — Déhouilleuse d'Anzin, en galeries inclinées.

versales, l'appareil est (fig. 11-13) pivoté sur un châssis R', fixable par les vérins JJ, pivotés en O'O', qui permet de faire, sans déplacer l'appareil (fig. 13) en galeries de 0^m,60 de haut, des entailles de 2^m,50 sur 2 mètres de profondeur.

Cette entaille faite, on avance l'appareil de 2^m,50 au moyen du palan 6 tirant sur l'étrier C^a de l'un des vérins J rabattus à cet effet.

FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR A GAZ DE HAUTS FOURNEAUX COCKERILL AUX FORGES D'ORMESBY, d'après A. M. Cochrane (1).

La question des grands moteurs à gaz alimentés par du gaz de gazogènes spéciaux a fait récemment de notables progrès en Angleterre; c'est ainsi que la South Staffordshire Mond Gas Co se propose de distribuer du gaz de force motrice sur une étendue de 280 kilomètres carrés au prix de 7 centimes le mètre cube, extrêmement bas.

(1) Mémoire lu devant la *Cleveland Institution of Engineers*. *Engineering*, 12 et 19 décembre 1902.

L'auteur a fait installer aux Forges d'Ormesby un moteur à gaz de haut fourneau Cockeril semblable à celui exposé à Paris en 1900 et qui fonctionne très bien depuis un an. Cette machine est monocylindrique à quatre temps; diamètre 1^m,30; course 1^m,40, la même que celle du cylindre souffleur, de 1^m,70 de diamètre, attaqué directement; vitesse normale, 78 tours; débit par minute, 500 mètres cubes à la pression de 40 centimètres de mercure, ou 310 à 76 centimètres; volant de 33 tonnes en deux pièces, diamètre 5 mètres; poids total, 160 tonnes; encombrement 15^m,75 sur 6^m,60; réglage par tout ou rien; marche régulière grâce à l'énorme masse du volant; allumage par étincelle électrique continue démasquée par un tiroir d'une course totale de 10 millimètres, et à point réglable. La fréquence des passages à vide varie de $\frac{1}{4}$ à

$\frac{1}{30}$, suivant la richesse du gaz et la pression du vent. Le cylindre, les soupapes et les paliers sont refroidis par une circulation d'eau sous une charge de 18 mètres, fournie par un réservoir du toit et s'évacuant dans un récipient à flotteur, qui arrête le moteur si la circulation vient à cesser, et d'où elle est reprise et refoulée à une tour de refroidissement Klein, pour revenir au réservoir de charge. Le piston est refroidi par une circulation spéciale, sous une charge de 3^{kg},5, pour vaincre les forces d'inertie mises en jeu par le va-et-vient du piston; cette eau est fournie par une petite pompe à vapeur spéciale, et empruntée au courant de l'eau de circulation générale. Cette circulation spéciale devait absorber, d'après les constructeurs, 8 mètres cubes d'eau par heure, et l'autre 32^m, soit, en tout, 40 mètres cubes; en réalité elle est de 114 mètres cubes, avec une élévation de température de 3^o,4, seulement.

La mise en train se fait par une charge de pétrole fournie par un carburateur spécial, admise au cylindre, légèrement comprimée en renversant le volant, puis allumée; cette charge suffit pour faire faire deux tours au moteur; la rotation du volant, pour l'aspiration et la compression de la charge de mise en train, se fait par un dynamo de 6 chevaux attaquant le volant par une denture intérieure.

Ce type de machines, de 600 chevaux, a donné aux essais, à Seraing, les résultats suivants :

Au frein, avec du gaz de 984 calories au mètre cube : rendements thermiques, 25,20 p. 100 par cheval indiqué et 20,48 p. 100 au cheval effectif;

Avec la soufflerie et du gaz de 991 calories: rendements thermiques de 27,34 p. 100 par cheval indiqué et 20,40 p. 100 en air comprimé, puis de 27,11 et 22,17 p. 100 avec du gaz à 1 004 calories.

Pression du vent en mm. de mercure.	Puissance calorifique du gaz.	Admissions par minute.	Tours par minute.	Puissance indiquée.	Puissance en air comprimé.	Rendement mécanique.	Dépense de gaz		
							Rendement à 0° et 760 ^{mm} .	par minute à 0° et 760 ^{mm} .	par cheval-heure indiqué.
394	991 ^{cal}	36,30	84	746,21	562,55	75,41	29 ^m ,19	2,34	3,115
450	1 004 ^{cal}	46,51	93	886,48	725,57	81,81	34 ^m ,49	2,33	2,854

Puissance absorbée en marche à vide : 147^{chx},56.

Bilan thermique.

Chaleur convertie en travail au cylindre	28 p. 100
— emportée par l'eau de refroidissement	52 —
— emportée à l'échappement et pertes	20 —

Le cylindre soufflant à 22 groupes de soupapes à chaque bout, dont six commandés, à chaque bout, mécaniquement, pouvant être immobilisés à volonté, et disposés de manière à pouvoir mettre en train sous une très faible charge, augmentant à mesure que le moteur se lance. Ces soupapes, d'abord en acier mince avec cuirs rivés, sont actuellement en disques d'acier de 2 millimètres d'épaisseur, sans cuir, plus durables et aussi étanches, mais plus bruyantes.

Les échantillons analysés des gaz de hauts fourneaux d'Ormesby ont donné les résultats ci-dessous :

Az.	56,28 p. 100	58,54 p. 100
CO.	27,70 —	26,50 —
CO ²	15,96 —	14,90 —
H.	0,06 —	0,06 —
Puissance calorifique.	981 calories.	870 calories.
Rapport	$\frac{CO^2}{CO}$ 0,376	0,562

Ces gaz, un peu plus pauvres que ceux de l'essai de Seraing, convenaient à la marche du moteur; mais il fallait en abaisser la température à 20° environ et les purifier, les débarrasser de leurs poussières.

Le refroidissement par aspersion d'eau dans une tour aurait exigé une circulation de 20 mètres cubes d'eau par heure et l'installation de grands réservoirs pour le refroidissement de cette eau; on y renonça en faveur du refroidissement par le passage des gaz dans une longue conduite de 1^m,70 de diamètre, avec laquelle on pouvait compter, les gaz y entrant à la température de 260° environ, sur un refroidissement de 0,0050°,5 environ par mètre carré de surface rayonnante, lorsque le gaz traverse cette conduite à la vitesse normale d'alimentation du moteur. Les gaz traversent, à la suite de cette conduite, avant d'arriver au ventilateur, un vieux four à réchauffer le vent, divisé par des tôles en quatre compartiments parcourus en série.

On n'employa d'abord que le gaz d'un seul haut fourneau; mais la composition et le débit de ce gaz étaient si variables que le moteur marchait irrégulièrement, et parfois s'arrêtait, de sorte que l'on se résolut à dériver sur la conduite les gaz de deux autres hauts fourneaux, ce qui fit disparaître toutes les difficultés. La conduite, de 330 mètres de long, abaissait la température des gaz à 20° environ à l'entrée du ventilateur, sans nécessité d'utiliser une petite aspersion d'eau prévue dans le four après la conduite.

A Seraing, le gaz ne renfermait que très peu de poussières par mètre cube, de sorte que son épuration ne tirait pas à conséquence, car les moteurs peuvent, d'après les constructeurs, admettre jusqu'à 0^{gr},25 par mètre cube sans inconvénient. A Ormesby, où le gaz est beaucoup plus chargé, on dut le purifier par son passage au travers d'un ventilateur de 915 millimètres de diamètre, marchant de 750 à 1 250 tours par minute, actionné par un moteur de 18 chevaux, où le gaz arrive, et dont il sort par un tuyau de 610 millimètres de diamètre; un tuyau de 25 millimètres de diamètre injecte de l'eau dans l'axe du ventilateur. L'enveloppe, en fonte et en deux pièces, permet l'accès très facile de la roue, sur les ailettes de laquelle la poussière s'accumule en une masse dure et adhérente, qui ne tarde pas à leur donner un balourd dangereux; il faut alors arrêter pendant deux heures pour les nettoyer. En conséquence, on a dédoublé le premier ventilateur par un second disposé en tandem; ils marchent le premier à l'eau, l'autre à sec, et ce dernier aussi à l'eau pendant le nettoyage de l'autre.

A la vitesse de 1150 tours, et avec une dépense de $2^{\text{m}^3},300$ d'eau par heure, la teneur de poussière est réduite à $0^{\text{gr}},04$ par mètre cube; cette dépense d'eau revient à environ 1 livre par mètre cube de gaz; cette eau renferme environ $1^{\text{gr}},50$ de poussière par litre en moyenne.

Le gaz entraîne, du ventilateur, une buée de vapeur poussiéreuse qui se dépose en un cambouis grisâtre sur la soupape d'admission et dans la chambre de compression, en abondance suffisante pour empêcher, au bout de quelques jours, la fermeture de la soupape d'admission et arrêter le moteur; on y a remédié entièrement en interposant une couche de coke entre le ventilateur et le moteur, et il est probable que le second ventilateur à sec rendra ce coke inutile.

On employa, pour doser la teneur des gaz en poussières, un appareil composé d'un flacon d'eau distillée, de 300 centimètres cubes environ, relié d'une part à la conduite de gaz et, d'autre part, à un aspirateur à cloche de 500 litres, aspirant les gaz du flacon au travers de tubes à coton séché à 100° et pesés avant l'expérience; la différence des poids de ces tubes après et avant l'expérience, ajoutée au poids de poussières recueilli dans le flacon, donne le poids total des poussières renfermées dans le volume de gaz passé dans l'aspirateur, et jaugé par lui.

Les expériences exécutées sur ce système d'épuration ont montré qu'à la vitesse de 1125 tours environ, il est inutile de dépasser une dépense de $2^{\text{m}^3},5$ d'eau par heure. Avec les deux ventilateurs en série, l'un à l'eau marchant à environ 1200 tours, et l'autre à sec, à 500 tours, la même dépense d'eau a réduit la teneur en poussière à environ $0^{\text{gr}},03$ par mètre cube, le premier ventilateur absorbant 16 chevaux et le second 10, et ce sans passage au coke.

Le moteur et la soufflerie sont graissés au pétrole, et à la graisse pour les paliers, avec une dépense d'environ 7 francs par jour; le graissage au graphite n'a pas réussi pour la soufflerie. Le cylindre moteur et son piston restent intacts; l'arbre, de 460 millimètres de diamètre et de 17 tonnes, n'a jamais chauffé, même au bout de marches ininterrompues pendant quinze jours.

Aux essais, avec du gaz à 868 calories, on a obtenu les résultats suivants: admissions par minute, 35,5; puissances indiquée, 742; effective 564; rendement organique, 76 p. 100; dépense de gaz par minute, $38^{\text{m}^3},44$, par cheval-heure effectif, $4^{\text{m}^3},01$; indiqué $3^{\text{m}^3},1$; pression du vent, $0^{\text{kg}},5$; tours par minute, 76; rendement thermique au cheval indiqué, 25,43 p. 100, au cheval effectif 19,32 p. 100.

MACHINES A VAPEUR A DISTRIBUTION PAR SOUPAPES DU SYSTÈME *Lentz*(1)

A l'Exposition de Dusseldorf on pouvait voir deux machines à vapeur munies chacune d'une distribution par soupapes du système *Lentz*.

1^o *Machine compound verticale accouplée avec une dynamo* (fig. 1 à 25). — Dans cette machine, les deux cylindres sont munis de la distribution *Lentz*. Aucune soupape de sûreté n'est prévue; en effet, lorsque la pression de la vapeur est trop grande dans les cylindres, ou lorsqu'il s'y accumule une certaine quantité d'eau, les soupapes d'admission s'ouvrent automatiquement, et l'eau ou la vapeur s'écoule soit dans le receiver, soit dans la conduite de vapeur vive, d'où elle retourne dans les

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 20 décembre 1902.

MACHINES A VAPEUR A DISTRIBUTION PAR SOUPAPES DU SYSTEME LENTZ. 125

cylindres pour s'échapper par les soupapes d'échappement. Comme les soupapes d'admission présentent une section de passage plus grande que les soupapes de sûreté, on évite à coup sûr les coups de bélier.

Tous les organes en mouvement peuvent être lubrifiés facilement au moyen de graisseurs accessibles, dont l'huile ne s'égoutte pas pour salir le parquet. Les

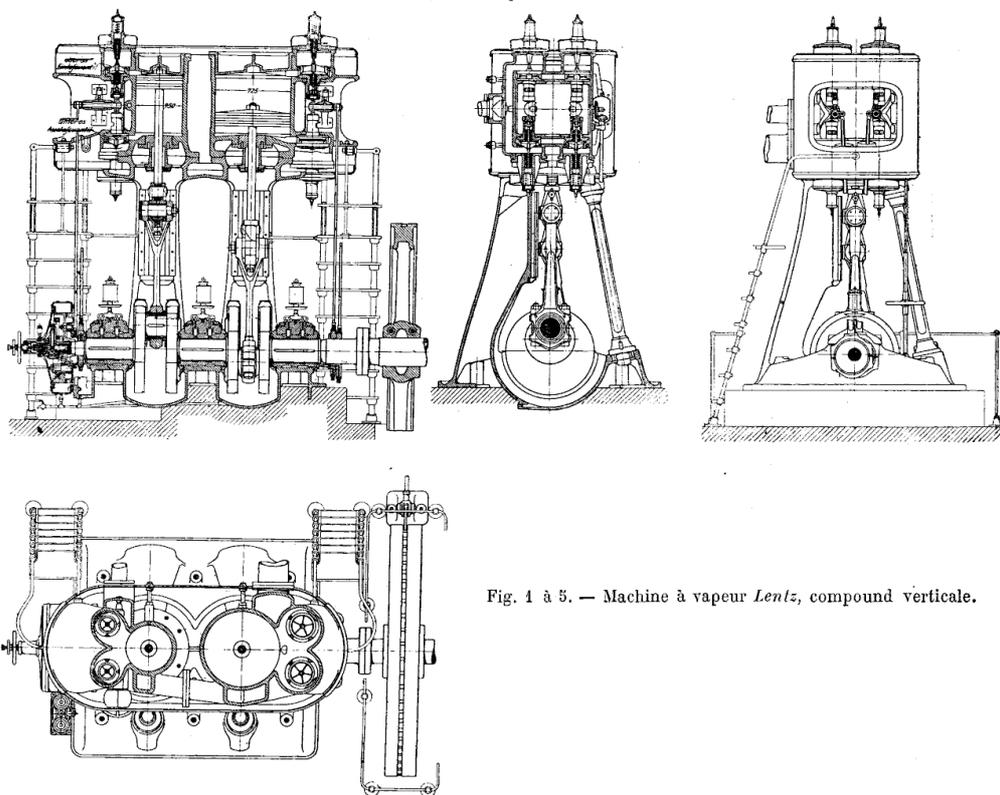


Fig. 1 à 5. — Machine à vapeur *Lentz*, compound verticale.

cylindres, les presse-étoupes, les glissières et les tourillons des crosses sont graissés par une pompe à 8 échelons (fig. 5), dont le plongeur, à 4 échelons, est actionné par l'excentrique d'échappement du cylindre à haute pression. Sur la pompe, on a placé un récipient d'où l'huile arrive par un distributeur à 8 robinets à gouttes visibles et réglables. Pour que l'huile ne puisse retourner, des conduites dans la pompe, on a placé aux points d'écoulement de celles-ci des soupapes de retenue à ressorts.

La figure 6 donne les diagrammes des levées et des abaissements des soupapes d'admission des cylindres H P ; étant donné la commande desmodromique de la distribution *Lentz*, on peut considérer ces diagrammes comme très favorables. L'effort

qu'exige la distribution est tellement minime qu'il n'exerce qu'une très faible influence sur le régulateur.

Les figures 7 à 10 reproduisent les diagrammes pris sur la machine chargée de

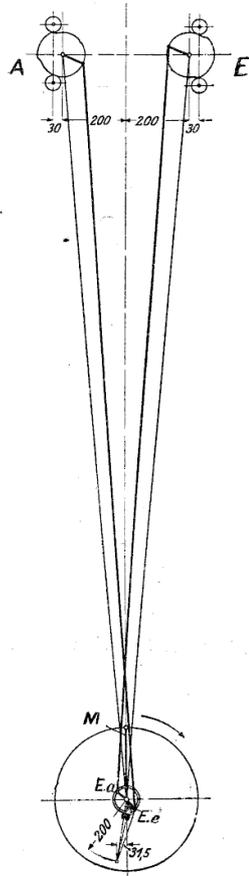


Fig. 8. — Schéma de la distribution : A admission. E échappement. M manivelle. Ea excentrique. Ee excentrique d'échappement.

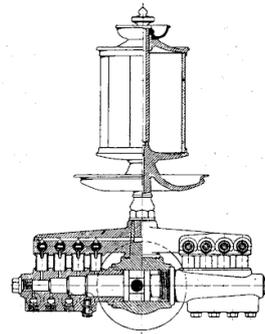


Fig. 6. — Pompe à huile.

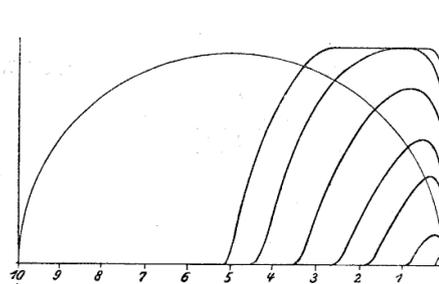


Fig. 7. — Levées de la soupape d'admission.

470 volts à 300 ampères. (Échelle du ressort. 1 atm. = 4 et 18 millimètres; pression de la chaudière, 8,5 atm.; vide 84 p. 100.) Les figures 10 à 14 reproduisent les diagrammes de la marche à vide, de la machine accouplée avec la dynamo (pression de la chaudière, 9,5 atm.; vide, 84 p. 100).

2° *Machine horizontale monocylindrique à condensation.* — Cette machine comporte un régulateur axial (fig. 15 à 18), pouvant admettre des vitesses de régime de

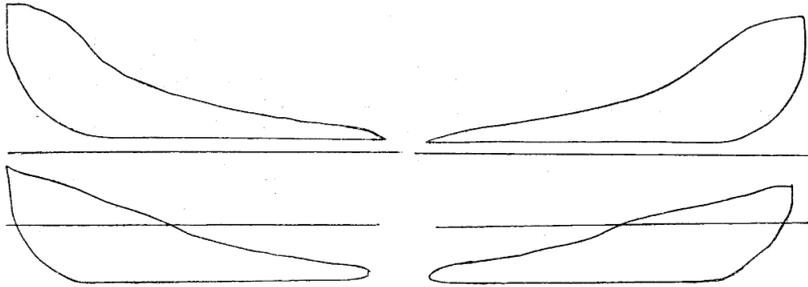


Fig. 10. — Diagrammes de la machine (fig. 1 à 14).

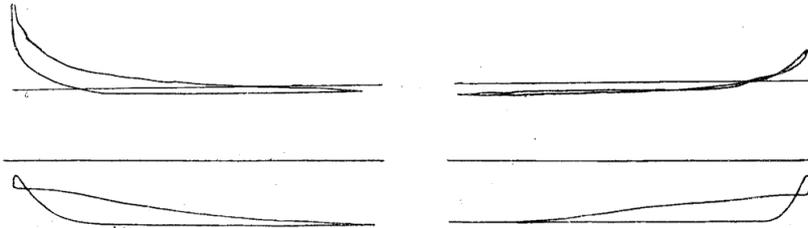


Fig. 11 à 14.

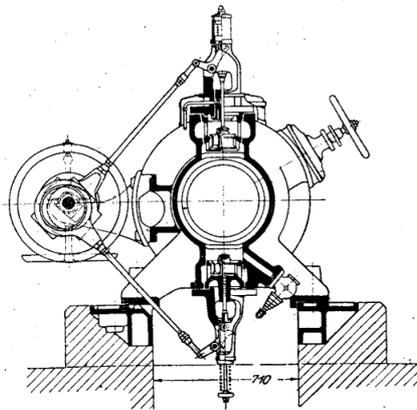


Fig. 17.

50 à 150 tours par minute sans que son degré d'irrégularité dépasse la limite admise.

Fig. 15 et 16. — Machine Lenz monocylindrique avec compresseur.

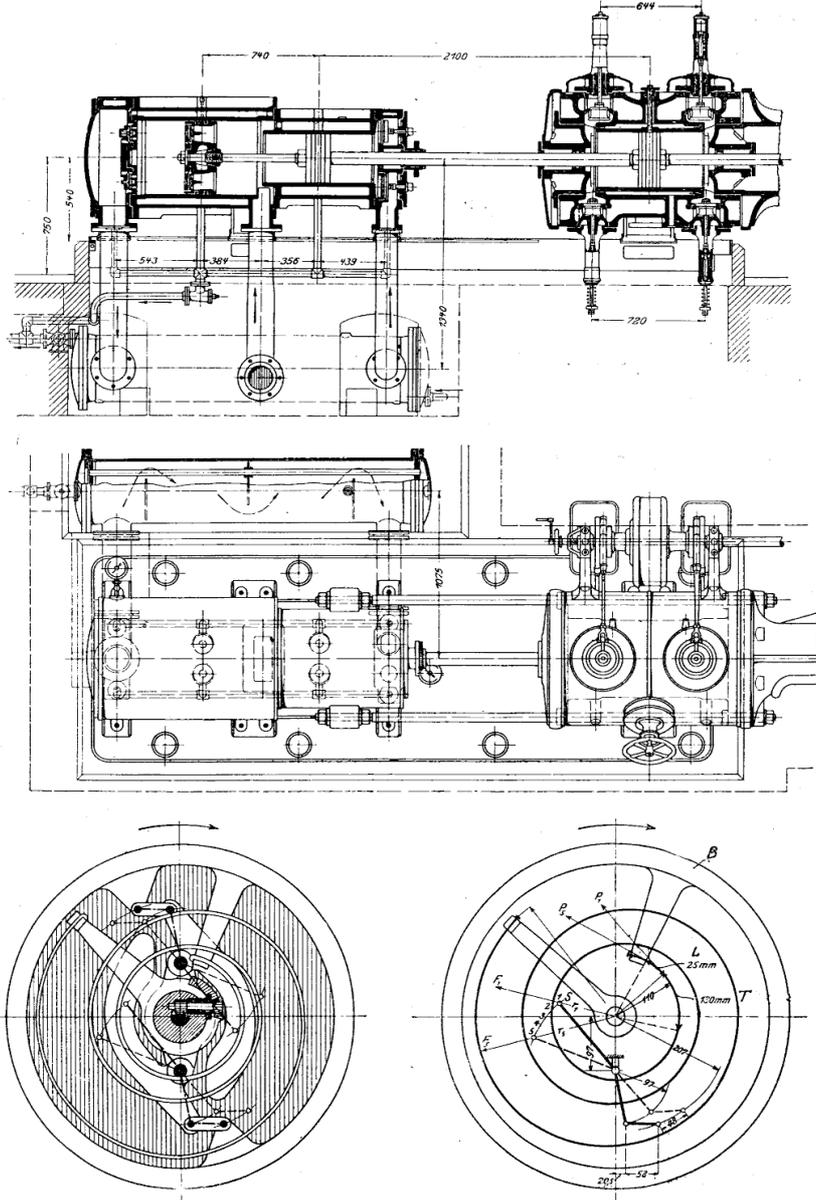


Fig. 18. — Schéma du régulateur.

Ainsi que le montrent les figures 19 à 22, ce régulateur est constitué par un volant d'inertie qui entoure les différents organes et qui agit par son prolongement sur l'excentrique d'admission.

Le compresseur actionné par cette machine, dont le diamètre du cylindre est de

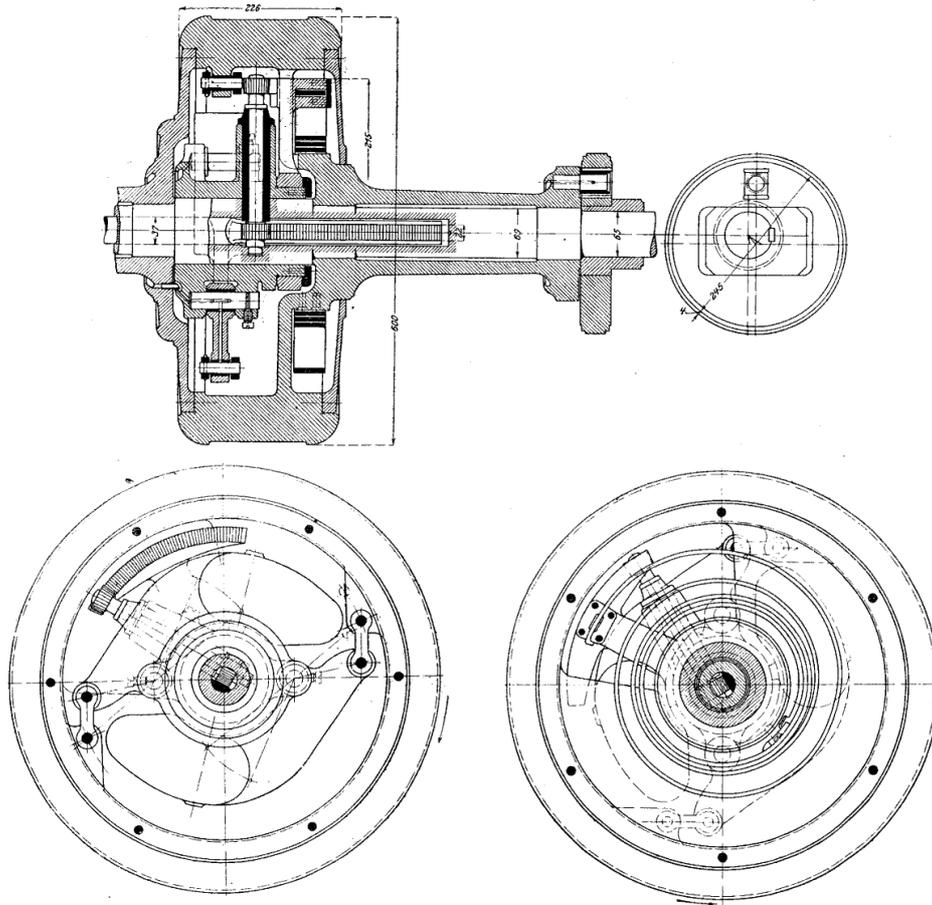


Fig. 19-22. — Régulateur.

350 millimètres et la course de 600 (fig. 15 et 16), est à deux échelons et muni de soupapes articulées des systèmes Hoerbinger (1). Le diamètre du cylindre HP est de 310 millimètres, celui du cylindre BP de 475 et la course commune de 600; les deux cylindres fournissent, à la pression de vapeur de 6 à 8 atm. et à 125 tours par minute,

(1) Voir *Bulletin de la Société d'Encouragement*, 1901.
Tome 104. — 1^{er} semestre. — Janvier 1903.

750 m³ environ d'air, et, à 150 tours, 600 m³ à 6 ou 7 atm. La soupape d'aspiration du cylindre à air B P est logée dans le piston, tandis que la soupape de refoulement, semblable à la précédente, est placée dans une boîte. La soupape d'aspiration et celle de refoulement du cylindre à air H P sont facilement accessibles et logées dans une boîte fixée sur le cylindre; on n'a prévu que 2 soupapes d'aspiration et 2 soupapes de refou-

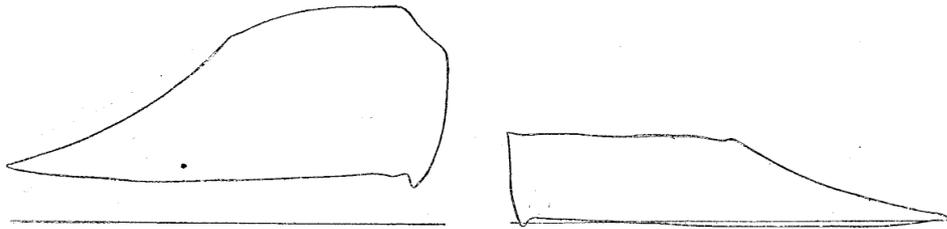


Fig. 23 et 24. — Diagrammes des compresseurs.

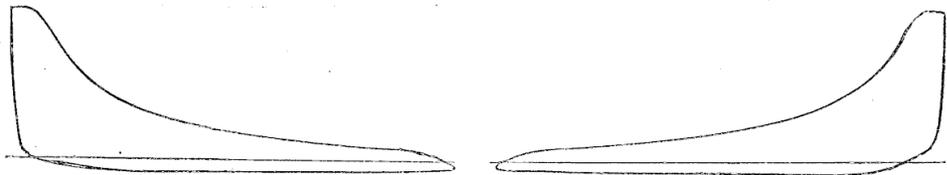


Fig. 25 et 26.



Fig. 27 et 28.

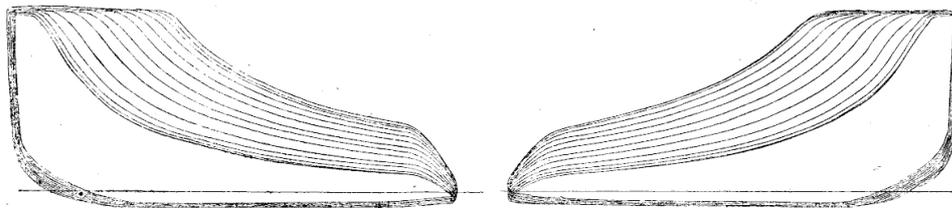


Fig. 29 et 30.

lement, chacune avec 3 articulations seulement. Les cylindres à air sont entourés par des enveloppes. Tous les trois cylindres sont graissés au moyen d'une pompe à 6 échelons semblable à celle que nous venons de décrire.

Les figures 23 et 24 donnent des diagrammes des cylindres à air H P et les fig. 25 et 26 ceux des cylindres à vapeur; ces diagrammes n'ont pas été pris simultanément. Les figures 27 et 28 reproduisent les diagrammes de la machine et du compresseur

marchant à vide. Enfin les diagrammes fig. 29 et 30 permettent de se rendre compte de la capacité de régulation de la machine à vapeur.

Une particularité intéressante de cette machine consiste dans les presse-étoupes. Entre le fond du cylindre et la tige de piston on a laissé (fig. 31) un jeu, de sorte que celle-ci peut se déplacer librement et la sortie de la vapeur est empêchée parce qu'elle s'écoule avec une chute de pression considérable dans des chambres placées en avant; mais, avant de pouvoir s'échapper à l'air libre, elle est forcée de retourner automatiquement dans l'espace qu'il s'agit de rendre étanche. Ce dispositif est indiqué par la

Fig. 31. — Presse-étoupes.

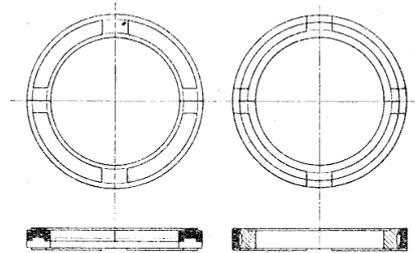
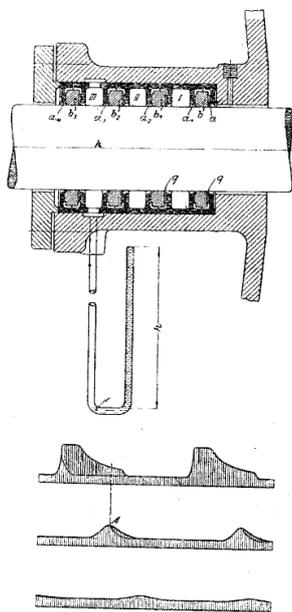


Fig. 32 et 33.

Fig. 34 à 36. — Bague du presse-étoupes.

figure 32. Les bagues a^i sont percées de façon qu'il subsiste entre elles et la tige de piston K un jeu. Les bagues forment les capacités de détente I à III, fermées par les bagues b à b_3 , pouvant être facilement introduites et laissant même un certain jeu, de façon qu'elles puissent être déplacées latéralement avec la tige.

Sur la dernière poche de détente, on a fixé un tube à siphon r , bouché par une colonne liquide. La vapeur du cylindre presse la bague b , contre la bague a_1 . Les interstices étroits entre les bagues a et b , ainsi que ceux entre la tige K et les bagues b , opposent au passage de la vapeur dans le presse-étoupes une résistance de frottement et de contraction considérable, de sorte que la vapeur entrée dans la chambre I subit une chute notable de pression. Mais il faut un certain temps à la vapeur pour qu'elle arrive du cylindre dans la chambre I, de sorte que la pression de celle-ci corres-

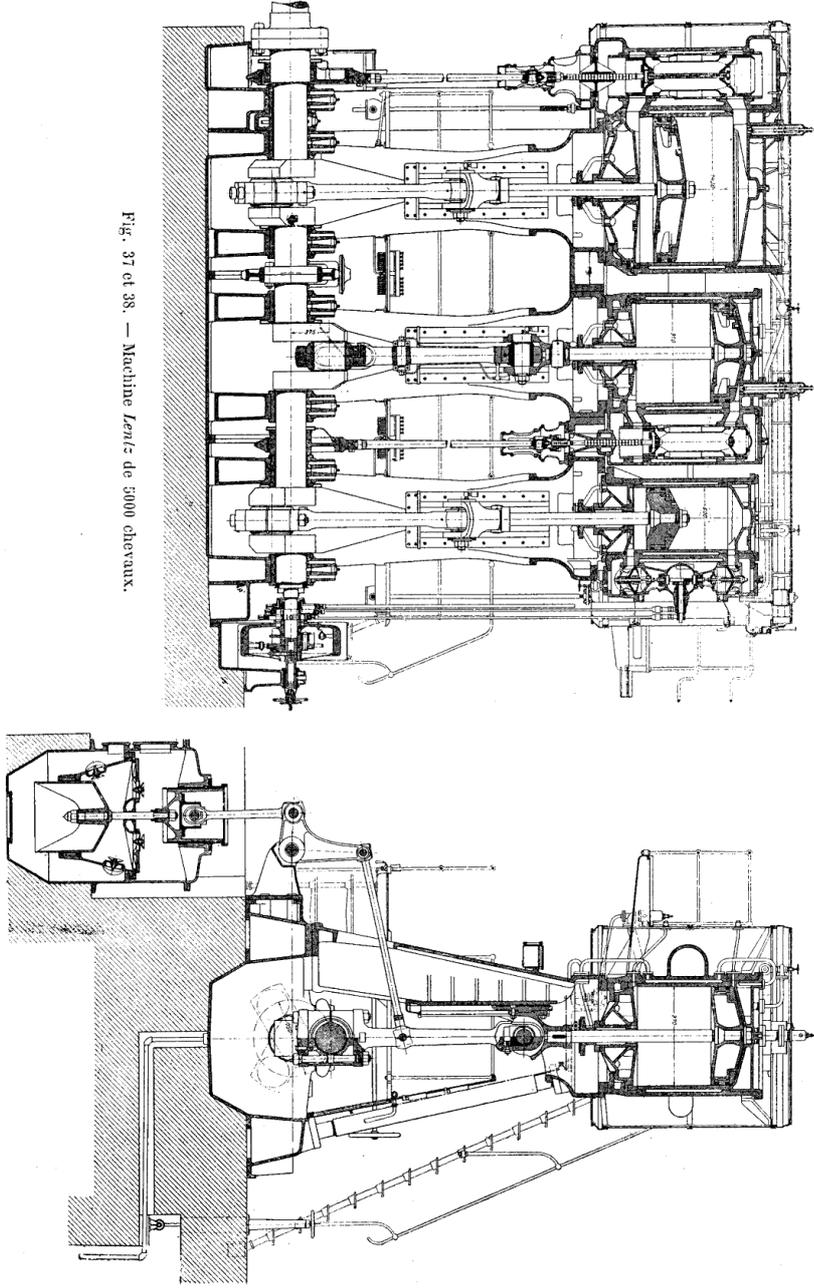


Fig. 37 et 38. — Machine Lentz de 5000 chevaux.

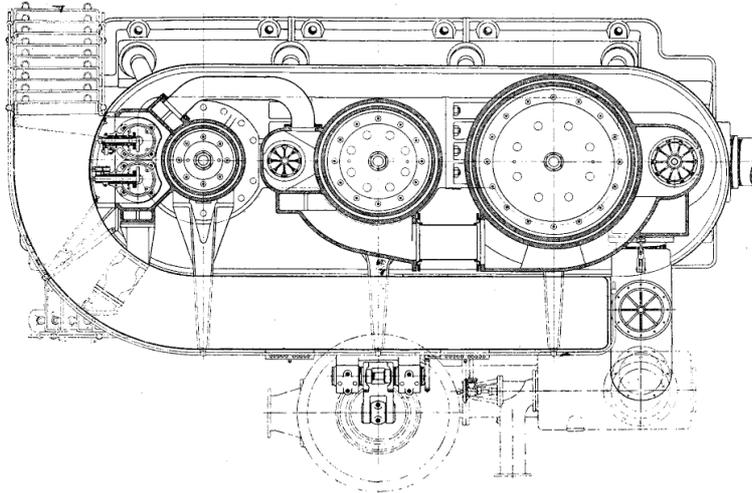


Fig. 39. — Machine *Lentz* de 3 000 chevaux. Plan-coupe.

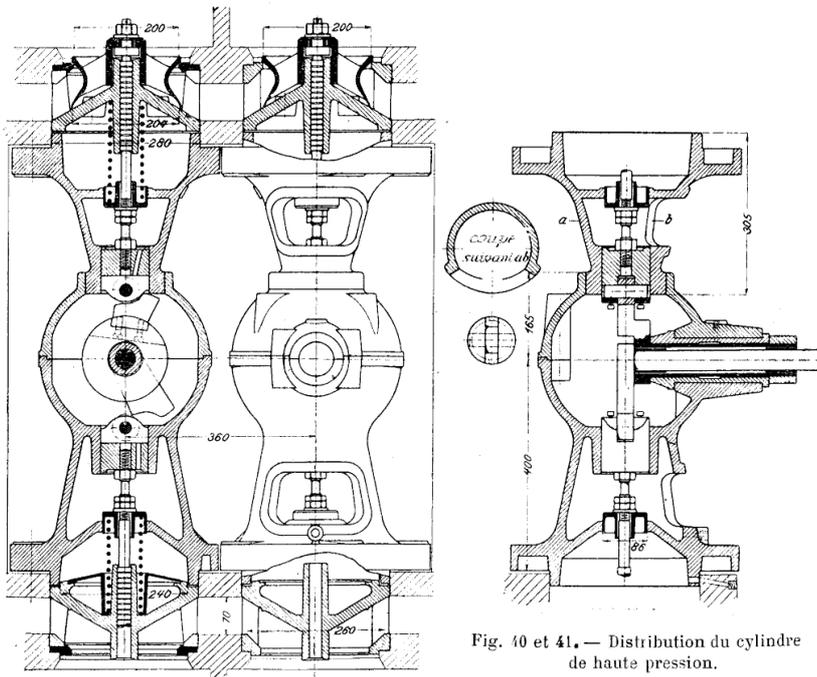


Fig. 40 et 41. — Distribution du cylindre de haute pression.

pendant à une pression déterminée dans le cylindre ne se produit pas simultanément, mais avec un certain retard et de même celle de la chambre II par rapport à la pression qui règne dans la chambre I. En portant les pressions qui se produisent successivement dans les chambres I à III sur l'axe des ordonnées des diagrammes (fig. 34 à 36), on obtiendra un déplacement de ces diagrammes l'un par rapport à l'autre, ainsi que par rapport au diagramme du cylindre (fig. 34); ce déplacement dépend de la vitesse de passage de la vapeur. Par suite il peut arriver que, dans la chambre de détente suivante, la pression soit plus élevée pendant un certain temps que dans la précédente, comme, par exemple, en A (fig. 35).

Pour pouvoir démonter plus aisément les bagues Lentz les fait quelquefois en plusieurs pièces, ainsi que le montrent les fig. 32 et 33.

3° *Machine verticale à triple expansion.* — La machine fig. 37-39, qui n'a pas figuré à l'Exposition de Dusseldorf, est destinée à l'installation d'éclairage et de distribution d'eau de Bochum. Les cylindres ont respectivement 600, 970 et 1 420 millimètres de diamètre, la course commune est de 750; la machine développe de 800 à 1 000 chevaux à 90 tours par minute et avec une pression d'admission de 11 atm. Tous les cylindres sont munis d'enveloppes, parois et fond. Le cylindre H P seul est muni de la distribution Lentz, les deux autres le sont de tiroirs Trick. Les figures 40 et 41 montrent la distribution du cylindre H P; on voit que les cames des soupapes d'admission sont commandées séparément, ce qui permet d'obtenir des introductions presque identiques en haut et en bas. En outre, grâce à cette disposition, on peut employer des barres d'excentriques légères, puisqu'elles ne travaillent qu'à la traction. Cette machine est accouplée avec une dynamo.

EMPLOI DE LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE DANS LES ATELIERS ET ACIÉRIES, d'après *M. D. Selby-Bidge* (1)

L'emploi de l'électricité comme force motrice est non seulement des plus confortables mais aussi des plus économiques dans un très grand nombre de cas.

Aux quais de Hambourg, la dépense totale : manœuvre, charbon ou électricité, huile et nettoyage, s'est élevée annuellement, en moyenne et par journée de 10 heures, aux chiffres suivants :

1 Grue à vapeur Brown.	10 fr. 50
2 Cabestan à vapeur.	10 fr. (1893-1894)
3 Grue alimentée par la tuyauterie de vapeur.	15 fr.
4 Grues électriques.	8 fr. 75 (1898)

Les grues à vapeur sont chauffées au tout venant qui coûtait, en 1893-1894, 22 francs la tonne. Les grues 1 et 2 ont leurs chaudières, tandis que les grues 3, au nombre de 20, sont alimentées par une canalisation de vapeur. En 1904, le prix de 182 grues Brown revint à 15 fr. 15 par 10 heures de travail, et celui des grues électriques à 8 fr. 75, comme en 1898, avec du courant à 0 fr. 20 le kilowatt-heure.

Le prix de la levée d'une tonne s'est élevé, en moyenne, à 0 fr. 27 avec les grues à vapeur et à 0 fr. 10 avec les grues électriques. Les ateliers de la Compagnie des freins Westinghouse à Wilmerling étaient commandés par 30 machines à vapeur, d'une puis-

(1) *Iron and Steel Institute*, septembre 1902.

sance totale de 1 375 chevaux, alimentées de vapeur par un groupe de chaudières central; on les remplaça par des dynamoteurs au nombre de 57, d'une puissance totale de 1 065 chevaux seulement, alimentés par des génératrices actionnées par des turbomoteurs Parsons, avec une économie de 40 p. 100 en vapeur et de 32 p. 100 en combustible.

D'après M. Vauclain, directeur des ateliers Baldwin, l'abandon des transmissions électriques augmenterait de 20 à 25 p. 100 le prix de la fabrication et obligerait à agrandir l'atelier de 40 p. 100.

Aux chantiers de constructions de navires de Vickers et Maxim, l'emploi de l'électricité a permis de réaliser une économie de combustible d'environ 60 p. 100.

Dans une grande houillère du Durham, une pompe à tiges commandée du jour et débitant environ 45 500 litres par minute sous une charge de 120 mètres, fut remplacée par deux pompes de 2 250 litres, commandées par une transmission électrique à génératrices actionnées, à 900 mètres du puits, par une compound de 400 chevaux, à vapeur fournie par des chaudières chauffées au gaz des fours à coke. On réalisa ainsi une économie de combustible de 37 500 francs par an, et les nouvelles pompes étant placées au fond du puits, on put utiliser ce puits pour l'extraction.

Dans une houillère d'Écosse, un épuisement par trois pompes à vapeur, dont deux souterraines et l'une d'elles à 730 mètres du puits, a été remplacée par une installation électrique avec machine à vapeur de 250 chevaux, génératrice de 130 kilowatts, et une pompe commandée par une réceptrice de 150 chevaux, refoulant 2 300 litres par minute sous une charge de 180 mètres; la dépense de charbon par jour fut réduite de 14 tonnes à 2,25, avec un service de trois hommes au lieu de sept; économie annuelle de 75 000 francs, de sorte que toute l'installation sera amortie en moins de deux ans.

Aux houillères d'Ewald, en Allemagne, le roulage électrique revient, non compris l'amortissement, à environ 4 centimes la tonne-kilomètre de charbon, au lieu de 12 centimes avec les chevaux; en tenant compte de l'amortissement, le prix de la tonne kilomètre électrique revient à environ 6 centimes, la moitié de celui de la traction par chevaux.

Dans bon nombre d'usines et d'ateliers, les transmissions, qui tournent constamment, absorbent de 40 à 50 et parfois jusqu'à 70 p. 100 de la puissance totale, perte évitée, en très grande partie, par la commande électrique des machines, commande qui ne dépense que proportionnellement au travail utile de ces machines, tandis que la dépense des transmissions en reste sensiblement indépendante.

Le prix de revient de l'énergie électrique est presque toujours très bas; aux Victoria Works, une installation de 600 chevaux environ donne le cheval électrique à 2 centimes 3, y compris un amortissement du matériel à 10 p. 100 l'an, et avec un rendement de 75 p. 100 de la puissance indiquée aux moteurs.

Aux ateliers de Richardson-Westgarth, Hartlepool, on a remplacé 13 machines à vapeur, d'une puissance totale de 400 chevaux et dépensant environ 100 tonnes de charbon par semaine, par une station centrale motrice à deux dynamos triphasées Brown-Boverly de 400 chevaux chacune, et une de 120 chevaux, ce qui a permis d'augmenter de 30 p. 100 la puissance de l'atelier, avec une dépense de 50 à 60 tonnes seulement; réparations et entretien pendant 5 ans: 1 p. 100 du prix de l'installation.

Dans un grand atelier de construction de machines commandé par l'électricité et occupant 800 ouvriers, on ne dépense que 7 tonnes et demie de charbon par jour. Cet atelier comprend quatre divisions distinctes, qu'il eût fallu actionner par des

TYPE DE MACHINE.	TRAVAIL		PUISSANCE ELECTROQUE avec la machine à vide.	PUISSANCE en charge.	PUISSANCE du moteur.	OBSERVATIONS.
	MAXIMUM.	MOYEN.				
Chanfreineuse de toiles. Petite chanfreineuse. Laminoir dressour.	40 ^m 50 × 25 ^m 4 ^m 50 × 20 ^m 1 ^m 37 × 4 ^m 37 × 30 ^m .	Toiles de 20 à 25 ^m . 15 à 20 ^m . 350 × 133. 380 × 20 ^m .	14,75 6,33 4,5	24,3 20,1 6,1 46,1 14	30 25 " " 15 " "	Couplant 1 ^m 53 × 25 × 1 ^m 30 pendant l'essai : la machine absorbat 20 ^m 5 pour son renversement. Couppe de 30 × 560 ^m : 21 chevaux pour le retour. Tôle de 250 × 13 ^m . 1 ^m 22 × 1 ^m 22 × 27 1 ^m 22 × 1 ^m 22 × 27 en petite vitesse, 19 ^m 4 pour le retour. Cornière de 300 × 90 × 12. Avance par friction empêchant la surcharge. Trous de 20 × 10 ^m 25 par minute.
Scie à métaux à froid. Poinçonneuse et cisailles.	Poutre de 400 × 150. Cisaille 300 × 20 ^m . Poinçonne 25 × 20.	300 × 150 ^m . 20 × 12 d'épaisseur. " " " " " "	4,45 3,85 " " 4,88 1,53	2,6 6 8,85 5,15 15,42 11,55	7 10 " " 15 10 8	
Coupeuse en bout. Dresseuse-coupeuse. Six perceuses radiales. Grande dresseuse. Fraiseuse. Sécoueur. Cabestan vireur. Transmission.	Lames de 570 ^m de long. Cornières et barres. Trous de 25 ^m . Poutres de 500 × 190. Toiles de 30 ^m . 2 tonnes à 0 ^m 20 par seconde.	300 × 150 ^m . 300 × 150 ^m . 20 ^m . Tours, raboteuses, fraiseuses, en tout, 70 machines. " " " "	3,7 3,96 2,42 9,85 5,65 21 23 et 22 24 20,5 Câble à vide 23 Transmission seul 3	7,5 6,9 3,8 à 8,05 16 12,1 et 10,75 " " 40-50 42-50 53-55 48	8 8 8 " " " " 30 30 30 60 60 50	Poutre de 500 × 190 ^m . Battailles de 100 × 12 en semelles de 200 × 100 ^m . Mantant une tôle de 17 ^m d'épaisseur. Arbre n° 1, avec 70 machines. " n° 2, — 40 " n° 3, — 25 raboteuses et mortaises. 7 meules de 1 ^m 50 à 3 m. et 1 mach. à meuler Tusca. Commande par câbles, 2 grues de 30 tonnes. 1 de 15, 2 de 10 en plein charges. Dressant une tôle de 10 ^m 80 × 1 ^m 40 × 30 ^m . 2 ^m 73 × 430 × 25. 12 machines, dont 2 soies circulaires. 18 chevaux au plus. Trous de 25, fraises à 40 ^m ; 2 machines, 280 trous en 8 minutes. Trous de 21 × 15 d'épaisseur. 36 par minute.
Machines à bois. Perceuses verticales. Poinçonneuse et cisailles.	Trous de 30, fraises à 45 ^m . Poinçonne 30 × 25 ^m . Cisaille 25 ^m .	" " " " " "	— 2,7 2,15	10 7 7,5	20 7 7	
Calandre. Perceuse à bois. Raboteuse. Scie circulaire de 813 ^m .	Toiles de 30 ^m . Trous de 25 ^m . " " " "	20 × 13 ^m . 13 ^m . " " " "	4,5 2,05 4,4 4,5	13,5 3 8,8 16	15 3,5 8 16	
Grosse cisaille. Poinçonneuses. Laminoir courbeur.	Bandages de locomotives. Trous de 50 × 30 ^m d'épais. Cylind. de 7 ^m 80 ; tôles de 30 ^m .	30 × 25 ^m . 15 et 307 ^m . " "	3 8 0,9 2 3	14,8 29 10,5 40,5	12 12 30 30	Cisaille en 1 minute 35 barres de 280 × 30 ^m . Par minute, 18 trous de 50 × 25 ; commandée par courroies. Tôles de 6 ^m × 1 ^m 22 × 20 ; par courroies : 26 chevaux avec changement de marche. 2300 mètres cubes à l'heure.
Pompe de 430 ^m . Pompe de 127 ^m . Chanfreineuse. Poinçonneuses et cisailles.	Toiles de 15, 12 et 10 ^m . 30 × 30 ^m .	7 ^m 20 par minute. Trous de 25 en tôle de 15 ^m .	3,5 3,5	74 41 40	70 10 20	Tôles de 10, 23 chevaux au retour par courroies. Trous de 25 × 15, 31 coups par minute.

moteurs et chaudières séparés; la force motrice revient, y compris l'amortissement, à 4 centimes, 6 par kilowatt-heure. Dans un chantier de constructions navales de la North East Coast, le remplacement de la vapeur par l'électricité a réalisé une économie de 43, 5 p. 100 par rapport aux salaires, la force motrice ne coûtant plus, par 100 francs de salaires, que 20 centimes au lieu de 33. Dans un autre chantier, le remplacement de moteurs à gaz par des dynamos a procuré une économie de 30 p. 100, avec une dépense d'environ 8 centimes par kilowatt-heure; puissance 250 à 300 chevaux. Aux ateliers de M. Crompton, qui occupent 1 300 hommes, une installation de 120 kilowatts remplace deux machines à vapeur de 200 chevaux chacune.

Les tableaux ci-dessous donnent des résultats très intéressants d'essais de machines-outils, grues, ventilateurs... commandés par des dynamos.

Cintreuse pour tôles de chaudières.

Cylindres de 3^m,50 × 0^m,60. Tôles de, en moyenne, 6 mètres × 3^m,15 × 25^{mm};
maximum de 4^m,80 × 2^m,45 × 38^{mm}.

	Ampères.	Volts.	Puissance électrique	
			Totale.	Réelle.
Moteur et transmission à vide.	20	242	6,4	6,4
Laminoin à vide.	24	242	7,7	4,3
Laminant une tôle de 6 ^m ,90 × 3 ^m ,80 × 30 ^{mm}	90-68	233	19,2	12,8
Dressant les tôles.	30-60	233	9,18	6,12
Renversement de la marche	50	233	15,6	9,2

Atelier de tourneurs en bronze.

	Tours par minute.	Volts.	Am-pères.	Puissance électrique	
				Totale.	Réelle.
Moteur et arbre	220	250	7	2,3	2,3
Meule de 460 ^{mm} à vide.	1 800	246	8,5	2,8	0,5
— dressant des soupapes de 165 millim.	1 800	246	24	7,9	5,6
Tours revolver de 16 millim. à vide.		248	9,75	3,2	0,9
— sur barres de 3 millim.		248	12	4	1,7
— les coupant		248	10	4,3	1

Compresseur d'air de 230 × 250 de course, commandé par courroies.

	Tours par minute.	Volts.	Am-pères.	Puissance électrique.
				chx.
Moteur, transmission et pompes	175	220	22	6,7
Compression maxima à 5 ^h ,60	170	230	70	21,5

	MACHINES ACTIONNÉES PAR LE MOTEUR		TRAVAIL ABSORBÉ EN CHEVAUX ÉLECTRIQUES				Puissance du moteur.	
	Totales.	En moyenne.	A VIDE		EN CHARGE			
			Transmissions et toutes les machines.	Machines à vide : en moyenne.	En moyenne.	Au maximum.		
Atelier d'ajustage.	Deux tours de 230 ^{mm} de pointe.	Deux tours de 230. Un de 300. Un de 0 ^m ,90.	Transmis- sion seu- le 1 ^{ch} ,75.	6,2	3 ^{ch} ,7	9,5	15 à 19	20 ch. au frein.
	Un tour de 300 ^{mm} . . .							
	Un tour à chucker de 0 ^m ,90							
	Une raboteuse de 2 ^m ,70 de course. . .							
	Une mortaiseuse. . .							
	Une fraiseuse.							
	Un étau linceur. . . .							
	Une poinçonneuse- cisaille.							
	Deux perceuses verti- cales de 637 ^{mm}							
	Une meule.							
	Une scie.							
	Un ventilateur pour 9 forges.							
	Un arbre de 6 ^{mm} × 767 ^{mm} et 5 de 3 ^m							
Atelier de galvanisation n° 1.	Quatre pots de galva- nisation de 20 ton- nes chacun.	Pots et sècheurs toujours en marche, le reste inter- mittent.	Transmis- sion seu- le 1 ^{ch} ,5.	—	—	11,2	18	20
	Deux sècheuses. . . .							
	Une dresseuse de tôles.							
	Une presse à onduler.							
Broyers de dolomie. Atelier de galvanisation Etainettes. 2.	Deux pots de galvani- sation de 20 tonnes.	—	Transmis- sion seu- le 1 ch.	—	—	6,9	12	10
	Un de 20 tonnes. . . .							
	Une sècheuse.							
	Un laminoir.							
Enfourneuse.	Une dresseuse.	—	2,6	—	—	8,2	11,5	10
	Un broyeur de 2 ^m ,73 de diamètre.							
	Vingt étampeuses pour armatures de dynamos							
	Enfourneuse char- geant les fours à ré- chauffer et portant aux convoyeurs des lingots de 500 kil. Voie de 1 ^m ,80, roues de 0 ^m ,60. Collecteur par trolley. Course de la pelle, 3 ^m ,80; levée de la pelle, 0 ^m ,90.							
			Moteur et transmis- sion, 1,55.	Levage 3,2 à 4 ch., roulage, 7,8; ri- page 4,9; enfour- nage 5.	9,8 à 10,3 11 11,10 à 12,8 6,3 à 8 6,5 à 8,5	11 à 12,5 Maximum, avec les 3 mou- vements simulta- nés 22.	20	

Grues de forges (1).

Type de grue.	Charge.		Mouvements à vide.		Puissance électrique absorbée.		Vitesses et charges aux essais.		Puissance du moteur chx.
	Moyenne.	Maxima.	Démarrage.	En marche.	Démarrage.	En marche.	Charge réelle.	Vitesse en mètres par seconde.	
	Tonnes.	Tonnes.	chx.	chx.	chx.	chx.	Tonnes.	chx.	
Grue de laminoir n° 1.	5 tonnes, 3 moteurs en plein air.	4,5	Levée.	13,4	20,1	18,3	3,30	0 ^m ,20	22
			Ripage.	14,8	7,7	46,8	9,6	6,25	15
Grue de laminoir. Service du plancher	5 tonnes, 3 moteurs à couvert.	4	Roulage.	29,6	29,4	12,6	"	7 ^m ,80	22
			Ripage.	48	9,6	27,8	12,8	"	22
Grue de changement des laminoirs.	5 tonnes, 3 moteurs en plein air.	4,5 à 5	Roulage.	28,5	34	10,3	3	"	15
			Ripage.	20,6	9,35	24,5	12,4	"	22
			Roulage.	22,3	29,4	19,2	"	0 ^m ,30	20
			Levée.	11,3	14,9	7,3	3,30	7 ^m ,50	20
			Roulage.	29,5	32,8	13,8	"	8 ^m ,25	20

(1) Moteurs fixés au-dessus de la grue à transmissions par canolets commutateurs de démarrages à eau.

Fonderie avec ventilateur Roots.

Tours parmin.	Volts.	Puissance électrique		Tours.	Volts.	Puissance électrique	
		totale, chx.	en marche, chx.			totale, chx.	moyenne, chx.
Moteur et transmission à vide.	243	44	4,6	1100	6	240	1,9
En travail fondant { maximum.	360	246	104	160	12	260	3,8
5 tonnes par h. { minimum.	360	233	66				
			1,7				1,9

Service de condensation.

Dynamo de 10 chevaux à 220 volts, attaquant directement une pompe centrifuge de 76^{mm}, par courroie une pompe à air de 240 X 230^{mm} de course et une pompe alimentaire de 50 X 230, pression de la chaudière 1½ kil.

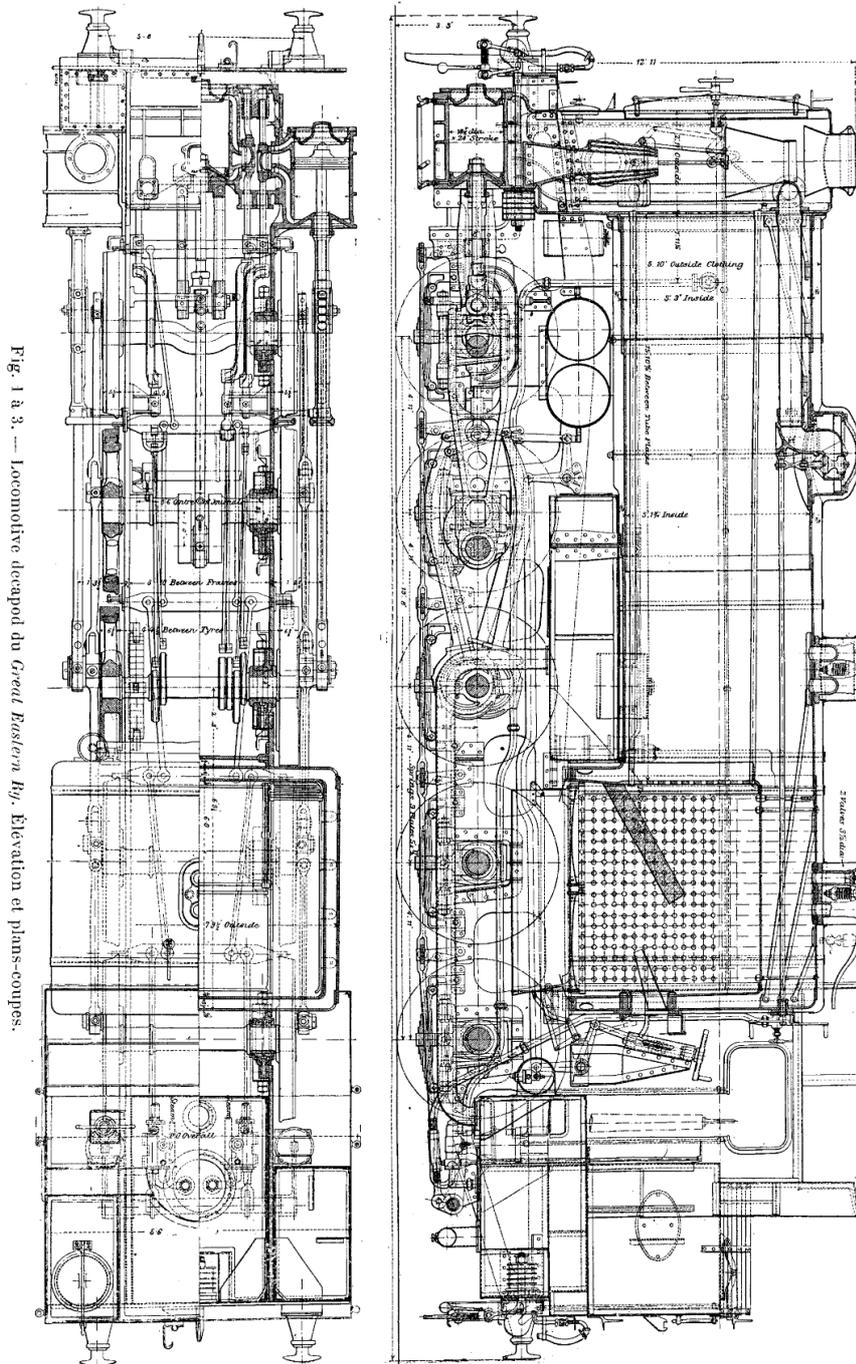


Fig. 1 à 3. — Locomotive decapod du Great Eastern Ry. Elevation et plans-coupes.

Machines à bois.

	Tours par minute.	Am- pères.	Volts.	Puissance électrique	
				Totale.	Actuelle.
Moteur et transmission.	1 200	12	230	3,7	3,7
Scie circulaire de 0 ^m ,90 à vide		21	»	6,4	2,7
Coupant du sapin de 280 × 0 ^m ,10 par seconde.		71	»	21,5	15,1
Scie circulaire de 830 millim. à vide.		26	»	8	4,3
— sur gaïac de 234 × 460 ^{mm} de long		41	»	12,6	4,6
Moteur et transmission.	170	9,5	233	2,9	2,9
Scie circulaire de 80 millim. à vide.	} 800	10,5	»	32	0,3
— sur sapin de 280 ^{mm} à 0 ^m ,03 par seconde. }		40	»	12,4	92
		18	»	5,6	24
		29	»	9	5,8
Raboteuse de 0 ^m ,60 × 150 millim. à vide.	3 800	12	230	3,7	0,8
Rabotant du sapin de 280 de large à 65 mil- limètres par minute.		17,9	232	5,5	4,8

L'on aura très souvent avantage, pour les installations de moyenne importance, à emprunter l'électricité aux grandes compagnies de distribution, qui peuvent la livrer à 10 centimes le kilowatt-heure. A partir de 400 chevaux, on peut produire son électricité soi-même au prix de 5 centimes environ par kilowatt-heure, prix qui serait encore abaissé par l'emploi des gaz de hauts fourneaux comme force motrice. Une installation de 1 000 chevaux, comme celle de Dorman Long, peut descendre à 4 centimes le kilowatt-heure. Il peut ainsi résulter, de l'emploi de l'électricité, principalement dans les chantiers très dispersés de constructions navales, des économies allant jusqu'à 60 p. 100 du prix de revient.

LOCOMOTIVE DECAPOD A VOYAGEURS DU *Great Eastern Ry* (1).

Cette locomotive, à peu près unique en son genre, est destinée à remorquer des trains de banlieue exceptionnellement lourds; elle est du type tender (fig. 1 à 5) à 10 roues couplées de 1^m,37 de diamètre, simple, à trois cylindres de 470 × 610 millimètres, dont deux à l'extérieur des longerons et un à l'intérieur. L'empattement total est de 6 mètres, avec des roues sans boudins sur l'essieu du milieu, et les bielles d'accouplement d'arrière sont articulées verticalement de manière de permettre un jeu latéral à l'essieu d'arrière.

Les cylindres extérieurs attaquent l'essieu du milieu par des bielles de 3^m,05 de long, et le cylindre médian attaque le deuxième essieu, coudé à cet effet, par une bielle de 2^m,07, en forme de solide triangulaire évidé, au travers duquel passe le premier essieu, légèrement coudé lui-même, pour ne pas être heurté par le bloc qui relie cette bielle à sa crosse. La distribution, à coulisse de Stephenson, a toutes ses excentriques sur l'essieu du milieu; la commande du changement de marche se fait par une vis verticale; le timbre est de 14 kilogs et l'effort de traction maximum d'environ 18 tonnes, à faibles vitesses.

Le corps cylindrique de la chaudière a 1^m,57 de diamètre intérieur, avec des tôles d'acier de 16 millimètres; son axe est à 2^m,73 du rail; il renferme 395 tubes d'acier

(1) *Engineering*, 23 janvier, p. 41.

de $4^m,85 \times 44$ extérieur; chauffe 268 mètres carrés. La boîte à feu, de $2^m,38$ de large à la base, a son foyer, avec voûte réfractaire et auvent, en berceau sans poutrelles armé par des entretoises, dont le premier rang, à l'avant, est articulé. La grille, de $1^m,83$ de long et d'une surface de $3^m^2,90$, est en trois parties, dont celle du milieu seule a ses barreaux parallèles à l'axe de la locomotive; chacune de ces sections a son cendrier séparé. La surface de chauffe du foyer est de $12^m^2,30$.

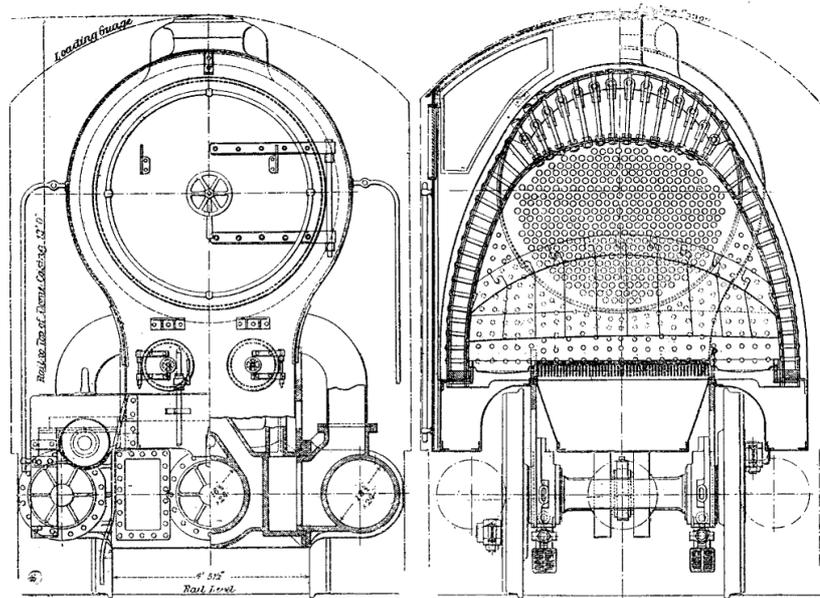


Fig. 4 et 5. — Locomotive decapod du *Great Eastern Ry*; vue d'avant et coupe transversale par le foyer.

Le régulateur est constitué par une soupape à double siège équilibrée; les soupapes de sûreté, au nombre de six, ont 88 millimètres de diamètre et sont chargées directement; il y en a deux sur le foyer et quatre au milieu de la chaudière. L'échappement se fait par une tuyère triple, à jet central entouré de deux jets annulaires: un jet pour chacun des cylindres, débouchant au bas des tubes, dans un petticoat, avec une cheminée de saillie presque nulle.

Le tender porte 3 tonnes de charbon et 6 mètres cubes d'eau.

Cette locomotive a été construite dans les ateliers du *Great Eastern*, à *Strafford*, d'après les plans de *M. J. Holden*, ingénieur de la Compagnie.

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Séance du 19 décembre 1902.

Présidence de *M. Linder*, président.

M. Collignon, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. Lafontaine, 17, rue Le Regrattier, présente un *piège à fauves*. (Agriculture.)

M. P. Foussard, 15, rue du Château, demande un brevet pour une *bouée de poche*. (Arts mécaniques.)

M. Colnet demande le concours de la Société pour les médailles distribuées par la *Société des Amis des Arbres*. (Agriculture.)

M^{lle} Hélène Arnaude, 23, rue de la République, à Puteaux, demande un brevet pour un procédé de *fabrication des fleurs artificielles*. (Beaux-Arts.)

M. Delaurier présente un *moteur à vapeur pour aérostats*. (Arts mécaniques.)

M. Millet, 10, boulevard Rochechouart, demande un brevet pour un *maréomoteur*. (Arts mécaniques.)

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la page 854 du *Bulletin* de décembre.

DÉCLARATION D'UNE VACANCE. — *M. Huet* déclare une vacance au *Comité des beaux-arts*, en remplacement de *M. Appert*.

NOMINATION D'UN MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ. — *M. Bibas*, ingénieur civil des Mines, directeur des papeteries du Marais, présenté par *M. Dumont*, est nommé membre de la Société.

NOMINATION D'UN MEMBRE DE LA COMMISSION DES FONDS. — *M. Honoré*, administrateur de la Société des magasins du Louvre, est nommé membre de la *Commission des fonds*, en remplacement de *M. Billotte*.

RAPPORTS DES COMITÉS. — *M. Lindet* présente, au nom du *Comité d'Agriculture*, son rapport sur le *procédé de panification* de *M. Pointe*.

CONFÉRENCE. — *M. Kuss* fait une conférence sur le *Reboisement des montagnes*.

M. le Président remercie vivement *M. Kuss* de sa très intéressante communication, qui sera publiée au *Bulletin*.

ÉLECTIONS DU BUREAU. — Le nombre des votants n'ayant pas atteint la centaine, le vote *définitif* pour l'élection du Bureau pour 1903 est renvoyé à la séance du 9 janvier.

Séance du 9 Janvier 1903

Présidence *M. Linder*, président

M. Collignon, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. Balensperger dépose un pli cacheté intitulé *Perfectionnement apporté aux ballons ou aréostats captifs à mouvement circulaire*.

M. E. Streiff, 37, rue Lhomond, dépose un pli cacheté intitulé *Méthode de synthèse*.

M. le Ministre de l'Instruction publique invite la Société d'Encouragement à désigner des délégués au *Congrès des Sociétés savantes* qui se tiendra à Bordeaux du 14 au 17 avril 1903.

M. Honoré remercie le Conseil de sa nomination comme membre de la *Commission des fonds*.

M. Cacheux, vice-président de la *Société forestière française*, attire l'attention de la Société d'Encouragement sur les services rendus par la Société forestière. (Agriculture.)

M. J. Rivière, 9, rue Garibaldi (Saint-Maur), demande un brevet pour un *changement de vitesse*. (Arts mécaniques.)

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la page 149 du présent *Bulletin*.

Sont nommés membres de la Société :

MM. Dunod (René), de la maison Lorilleux, à Paris, présenté par *M. E. Richard* ;

Bullier, administrateur de la Société des carbures métalliques, à Paris, présenté par *MM. Lindet et Livache*.

RAPPORTS DES COMITÉS. — Sont lus et approuvés les rapports suivants :

Au nom du *Comité des Arts mécaniques* :

De *M. Rozé*, sur la pendule à remontage automatique de *M. Hour* ;

De *M. Bourdon*, sur le mandrineur de *M. Jannin*.

Au nom du *Comité des Arts chimiques* :

De *M. Livache*, sur le procédé de *M. Coinon* pour le blanchiment de l'ivoire et des os.

Au nom du *Comité d'Agriculture* :

De *M. Prillieux*, sur l'ouvrage de *MM. DenaiFFE et Sirodot*, intitulé « *l'Avoine* ».

COMMUNICATIONS. — Sont présentées les communications de :

M. Lepage, sur un stérilisateur d'eau ;

M. Villars, sur la stéréoradioscopie.

M. le Président remercie *MM. Lepage et Villars* de leurs intéressantes communications, qui sont renvoyées au *Comité des Arts économiques*.

Sont réélus, à l'unanimité des votants, comme *membres du Bureau* de la Société :

MM. Linder, président ; *Le Chatelier, Lindet, Violle et Voisin Bey*, vice-présidents ; *Collignon*, secrétaire ; *Goupil de Prefeln*, trésorier ; *Simon et Bordet*, censeurs.

Sont nommés *membres du Conseil* : Au *Comité des Arts économiques*, *MM. Harlé et Hillairet* ; à la *Commission des fonds*, *M. Honoré*.

BIBLIOGRAPHIE

VENTILATEUR-COMPRESSEUR POUR GAZ A L'ÉMISSION, PAR M. A. BOUVIER, INGÉNIEUR
DES ARTS ET MANUFACTURES, 25, AVENUE DE NOAILLES, A LYON.

M. A. Bouvier, ingénieur, a fait hommage à la Société d'une brochure extraite du compte rendu du vingt-neuvième *congrès de la Société technique de l'industrie du gaz en France*. Elle est intitulée : *Ventilateur-compresseur pour gaz à l'émission*.

L'auteur décrit l'installation d'un ventilateur à action centrifuge qui a pour objet d'augmenter la pression du gaz à son émission dans une conduite. Il est vrai que ce système est connu aux États-Unis et en Angleterre. Mais il était bon de signaler aux gaziers français un moyen qui permet, en particulier, de continuer à utiliser les conduites existantes alors que, la consommation ayant augmenté, ces canalisations deviennent insuffisantes.

Dans le cas traité par M. Bouvier, la pression du gaz, à son départ de l'usine, a passé de 50 à 230 millimètres d'eau, durant les quelques heures du soir où la consommation est la plus forte. Le régime des pressions en ville n'a été, de ce chef, en rien modifié.

A. B.

Nouveau Dictionnaire général des Sciences et de leurs Applications, par MM. P. POIRÉ, Ed. PERRIER, *Membre de l'Institut, Directeur du Muséum d'histoire naturelle*; R. PERRIER et A. JOANNIS, *de la Faculté des Sciences de Paris*. Deux volumes grand in-8°, 3 400 pages, 5 400 gravures; Paris, Ch. Delagrave.

La Librairie Ch. Delagrave vient de terminer la publication du *Nouveau Dictionnaire général des sciences*.

La première livraison a paru le 15 juillet 1900, et la 53^e et la dernière à la fin de l'année 1902, c'est-à-dire trente mois après. L'œuvre entière est donc animée du même esprit. Toutes ses

parties témoignent d'un sentiment d'homogénéité qui manque ordinairement aux ouvrages de ce genre, dont la rédaction et la publication ont duré plusieurs années.

Le *Nouveau Dictionnaire général des Sciences* est un véritable guide de la science, à la fois théorique et pratique, à l'usage des gens du monde éclairés et avides de savoir exactement.

Toutes les questions de science pure, comme aussi celles de médecine, industrie, art de l'ingénieur, sont traitées dans les articles qui sont, la plupart du temps, signés et accompagnés de gravures exécutées spécialement pour le Dictionnaire.

Le *Dictionnaire général des sciences* est une encyclopédie raisonnée. Il deviendra pour chacun un *vade-mecum* précieux : en outre, il ne restera pas stationnaire. L'éditeur annonce en effet, pour fin janvier, une publication mensuelle. *La Science du XX^e siècle*, qui sera la continuation et la constante mise à jour du *Dictionnaire général des sciences*. Dirigée par M. Maneuvrier, Directeur-adjoint à l'École des Hautes Études, sous le contrôle d'un comité réunissant les noms de MM. AMAGAT, APPELL, D^r D'ARSONVAL, GASTON BONNIER, DESLANDRES, D^r LANNELONGUE, G. LIPPMANN, H. MOISSAN, Ed. PERRIER, elle sera rédigée par les collaborateurs du *Dictionnaire général des sciences*, auxquels viendront s'ajouter des savants français et étrangers.

Le froment et sa mouture, traité de Meunerie, d'après un manuscrit inachevé de AIMÉ GIRARD, par L. LINDET. Un volume grand in-8^o, 83 figures et 3 planches; Paris, Gauthier-Villars.

Préface de M. Lindet. « Le regretté Aimé Girard avait, il y a une quinzaine d'années, formé le projet d'écrire, sous le titre placé en tête de cet Ouvrage, un *Traité de Meunerie*. Ses nombreuses occupations professionnelles, des travaux entrepris dans des directions différentes et dont le monde industriel et agricole a largement profité, en avaient sans cesse interrompu la rédaction, en sorte que, en avril 1898, à la mort de ce savant, le dossier de l'Ouvrage ne renfermait que le plan général et trois Chapitres (I, II, VI), presque entièrement écrits de sa main.

« Appelé par mon enseignement, comme il l'avait été lui-même par le sien, à étudier continuellement les progrès accomplis en Meunerie, sachant quel intérêt portait à ces questions celui qui avait été mon maître, connaissant les idées qu'il possédait sur les différents points qui vont être ci-dessous traités, j'ai cru devoir me substituer à lui pour achever, de mon mieux, l'œuvre qu'il avait commencée.

« Certains lecteurs seront peut-être surpris de voir que deux hommes de Science, qui n'ont jamais été meuniers, aient eu l'idée d'écrire un *Traité de Meunerie*, et se demanderont quels conseils ces hommes de Science ont la prétention de donner à des praticiens dont ils reconnaissent d'ailleurs avoir beaucoup appris.

« C'est qu'il en est de la Meunerie comme de presque toutes les industries : à une technique, en général habile, toujours routinière, a succédé une véritable science, qui emprunte à l'anatomie végétale du grain de froment, à la composition chimique des différentes parties de ce grain, à la connaissance de leur valeur alimentaire, à leur résistance relative aux actions des instruments de broyage, etc., les éléments qui doivent servir de guide dans l'appréciation des résultats de la mouture ; sans doute on produisait de la farine avant que la Science s'introduisit au moulin ; on s'attachait à suivre les pratiques dont l'expérience avait reconnu la valeur : on faisait ce qu'on savait ; il importe aujourd'hui de savoir ce qu'on fait.

« Aimé Girard a montré que, des différentes parties du grain, il convenait de rejeter l'enveloppe et le germe.

« Le problème à résoudre consiste donc à produire le maximum de farine blanche, sans débris d'enveloppe et de germe, avec le minimum de frais. Les différents éléments scientifiques dont il vient d'être question, joints à l'expérience et à l'habileté professionnelles, per-

mettent au meunier de juger la valeur des instruments qui lui sont proposés pour résoudre ce double problème.

« Ce sont ces principes qui vont être exposés dans ce Livre. Sans doute, celui qui l'aura étudié ne devra pas avoir la prétention de s'improviser meunier; on ne peut le devenir qu'après avoir accompli un stage dans un moulin, comme on ne devient chimiste qu'après avoir longtemps séjourné dans un laboratoire, et aucun livre ne saurait lui indiquer comment on reconnaît que la *merchandise* est également *touchée* tout le long des cylindres de broyage, qu'elle est *usée*, c'est-à-dire épuisée de farine, et qu'il lui est inutile de la soumettre de nouveau au *convertissage*. Mais il connaîtra, ainsi que je l'ai dit plus haut, les principes qui lui imposent un travail rationnel et les appareils qui lui permettent de le réaliser.

« J'espère que le monde de la Meunerie, du Commerce des grains et de la Boulangerie fera bon accueil à ce Livre, commencé par un savant auquel meuniers et boulangers ont gardé une grande reconnaissance, et achevé par nous, dans une collaboration pleine de regrets et de souvenirs. »

LIVRES ET OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN JANVIER 1903

Du Ministère du Commerce. Conseil supérieur du travail. Apprentissage. Rapport de M. Buat. In-4, 489 p., et *Rapport sur l'apprentissage dans l'imprimerie (1899-1901)*. In-8° 320 p. Paris, Imprimerie nationale.

De la direction générale des douanes. Tableau général de la marine et de la navigation. Année 1901. **Navigation.** In-4°, 435 p. Paris, Imprimerie nationale.

Exposition internationale de 1900. Rapport du Jury. Groupe XIII. **Fils, tissus, vêtements,** par M. Trubs. 1^{re} partie. Classes 76-84. In-8°, 758 p. Paris, Imprimerie nationale.

Du Ministère de l'Agriculture. L'Institut national agronomique de 1876 à 1901. In-8°, 585 p.

Bulletin de la Société d'économie politique. Année 1902. In-8°, 236 p. Paris, Guillaumin.

De la Smithsonian Institution. Annual Report. 1901. In-8°, 782 p. Washington Government Printing Office.

De l'Université de Besançon. Observatoire astronomique, chronométrique et météorologique. 44^e Bulletin chronométrique, publié par M. L. J. Gurey. In-4°. Besançon, Millot, frères.

Union nationale des Sociétés photographiques de France. *Annuaire pour 1902.* In-18, 490 p. Paris, Gauthier-Villars.

Les combustibles industriels, par MM. Colomer et Lordies. In-8°, 484 p. Paris, Dunod.

Iron and Steel Institute. *Journal 1902* (N° II). In-8°, 650 p. Londres, Ipon.

Annuaire statistique de la ville de Christiania (1901). In-8°, 190 p.

De l'« Electricité à l'Exposition de 1900 ». **Générateurs d'énergie électrique,** par M. Montpellier, et **« Les moteurs électriques et leurs applications »**, par M. Hospitalier. In-4°, 80 p. Paris, Dunod.

De la part de M. E. Simon, membre du Conseil, l'année 1902 des journaux : **Le Travail national, Revue de la Chapellerie, Journal des Papetiers.**

Évolution de la fonderie de cuivre (d'après les documents du temps), par Ch. Frémont, ouvrage publié sous la direction de MM. Muller et Roger. In-4°, 392 p., 350 fig. Paris, Imprimerie Renouard.

Atlas de hauts fourneaux, par MM. Pavloff. In-4°, 127 pl. Paris, Hermann, 6, rue de la Sorbonne.

De l'Académie royale des sciences d'Amsterdam. MÉMOIRES. Classe des Sciences. In-4°. Tomes 1, 3, 5 à 29 : 27 vol. *Histoire naturelle.* In-8°. 1^{re} série : 7 vol. *COMPTES RENDUS DES SÉANCES. Histoire naturelle* : 4 vol. *PROCEEDINGS* (Traduction anglaise des Comptes rendus des séances). *Classe des Sciences* : 3 vol. *VERSLAGEN EN MEDEDEELINGEN.* (Comptes rendus). 1^{re} série : 15 vol. 2^e série : 16 vol. 3^e série : 8 vol.

Institution of Civil Engineers. London. **Proceedings**, vol. CL (1902).

A propos du bassin houiller du nord de la Belgique. Nouveau bassin du Limbourg hollandais, par M. A. Dumont. In-8°, 51 p., Bruxelles, F. Ramlot.

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Décembre 1902 au 15 Janvier 1903

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

<i>Ag.</i>	Journal de l'Agriculture.	<i>Ms.</i>	Moniteur scientifique.
<i>Ac.</i>	Annales de la Construction.	<i>MC.</i>	Revue générale des matières colo- rantes.
<i>ACP.</i>	Annales de Chimie et de Physique.	<i>N.</i>	Nature (anglais).
<i>AM.</i>	Annales des Mines.	<i>PC.</i>	Journal de Pharmacie et de Chimie.
<i>AMa.</i>	American Machinist.	<i>Pm.</i>	Portefeuille écon. des machines.
<i>Ap.</i>	Journal d'Agriculture pratique.	<i>RCp.</i>	Revue générale de chimie pure et appliquée.
<i>APC.</i>	Annales des Ponts et Chaussées.	<i>Rgc.</i>	Revue générale des chemins de fer et tramways.
<i>Bam.</i>	Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.	<i>Rgds.</i>	Revue générale des sciences.
<i>BMA.</i>	Bull. du ministère de l'Agriculture.	<i>Ri.</i>	Revue industrielle.
<i>CN.</i>	Chemical News (London).	<i>RM.</i>	Revue de mécanique.
<i>Cs.</i>	Journal of the Society of Chemical Industry (London).	<i>Rmc.</i>	Revue maritime et coloniale.
<i>CR.</i>	Comptes rendus de l'Académie des Sciences.	<i>Rs.</i>	Revue scientifique.
<i>DoL.</i>	Bulletin of the Department of La- bor, des États-Unis.	<i>Rso.</i>	Réforme sociale.
<i>Dp.</i>	Dingler's Polytechnisches Journal.	<i>RSL.</i>	Royal Society London (Proceedings).
<i>E.</i>	Engineering.	<i>Rt.</i>	Revue technique.
<i>E'</i>	The Engineer.	<i>Ru.</i>	Revue universelle des mines et de la métallurgie.
<i>Eam.</i>	Engineering and Mining Journal.	<i>SA.</i>	Society of Arts (Journal of the).
<i>EE.</i>	Eclairage électrique.	<i>SAF.</i>	Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
<i>Elé.</i>	L'Électricien.	<i>ScP.</i>	Société chimique de Paris (Bull.).
<i>Ef.</i>	Économiste français.	<i>Sie.</i>	Société internationale des Électri- ciens (Bulletin).
<i>EM.</i>	Engineering Magazine.	<i>SiM.</i>	Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse
<i>Es.</i>	Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).	<i>SiN.</i>	Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
<i>Fi.</i>	Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).	<i>SL.</i>	Bull. de statistique et de législation.
<i>Gc.</i>	Génie civil.	<i>SNA.</i>	Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
<i>Gm.</i>	Revue du Génie militaire.	<i>SuE.</i>	Stahl und Eisen.
<i>IC.</i>	Ingénieurs civils de France (Bull.).	<i>USR.</i>	Consular Reports to the United States Government.
<i>Ie.</i>	Industrie électrique.	<i>VDI.</i>	Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
<i>Im.</i>	Industrie minérale de St-Étienne.	<i>ZOI.</i>	Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten- Vereins.
<i>IME.</i>	Institution of Mechanical Engi- neers (Proceedings).		
<i>IoB.</i>	Institution of Brewing (Journal).		
<i>La.</i>	La Locomotion automobile.		
<i>Ln.</i>	La Nature.		
<i>Lo.</i>	Locomotion.		

AGRICULTURE

- Arbres et améliorations pastorales.* *Ag.* 20 Déc., 981.
- Bétail.** Maladies microbiennes. *Ap.* 15 Juillet, 77.
- Détermination du poids. Méthodes allemandes. *Ap.* 18 Déc., 799.
 - Déchets industriels employés à la fabrication des fourrages mélassés. *Ag.* 1^{er} Janv., 9.
 - Touraillons d'orge. *Ap.* 8 Janv., 37.
 - Variabilité de composition des fourrages mélassés. *Ap.* 15 Janv., 74.
 - Race bovine de Salers, *Ag.* 1^{er} Janv., 16.
- Blé* (Silos à). *Ge.* 28 Déc., 124.
- Cheval.* Alimentation par fourrages mélassés (Grandeau). *Ap.* 18 Déc., 793.
- Betterave à cultiver sous le nouveau régime de l'impôt.* *Ag.* 17 Janv., 90.
- Cidres.* Emploi des levures de cannes à sucre pour leur fabrication (Alliot). *Sc. P.* 20 Déc., 1236.
- Cultures irriguées et chauffées dans le Vaucluse.* *Ap.* 18 Déc., 803.
- Fourragères intercalaires (Heuzé). *Ap.* 8-15 Janv., 45, 86.
- Engrais.** Localisation des fumures. *Ag.* 20-27 Déc., 976, 1010.
- Composés azotés dans le sol à différentes hauteurs (André). *CR.* 29 Déc., 1353.
 - Transports des fumiers en terrains en pente. *Ap.* 8 Janv., 49.
 - Potassiques et prairies naturelles. *Ag.* 27 Déc., 1016.
 - En culture maraîchère. *Ag.* 27 Déc., 1029. 1^{er} Janv., 18.
- Graines.* Maturation et apparition de la faculté germinative (Mazé). *CR.* 15 Déc., 1130.
- Exposées à la lumière, pouvoir germinatif (Laurent). *CR.* 29 Déc., 1295.
- Luzerne en arbres* (la). *Ap.* 25 Déc., 826.
- Oignons.* Culture en Hollande. *Ap.* 25 Déc., 802.
- Plantes potagères.* Nouvelles variétés (Florent). *Ag.* 10 Janv., 60.
- Plâtre* (Emploi du) en agriculture (Grandeau). *Ap.* 25 Déc., 825.
- Statistiques agricoles.* Réorganisation. *Ef.* 10 Janv., 35.
- Vigne.** Application des engrais chimiques à sa culture dans les terrains calcaires de la Charente. *Ag.* 25 Déc., 831.
- Greffes-boutures en chambre chaude. *Ag.* 20 Déc., 987.
 - Crise viticole en France. *SNA.* 12 Nov., 703.
 - Vins de sucre. Emploi des nitrates pour les distinguer (Cartel). *CR.* 12 Janv., 98.

CHEMINS DE FER

- Chemins de fer de l'Ouganda.** *E'* 20-26 Déc., 584, 612.
- *Électriques* par chutes d'eau (Thormann). *EE.* 20 Déc., 415.
 - du New-York Central. *id.* 417.
 - Problème des (Swenburn et Cooper), *id.* 422.
 - Métropolitain de Paris. *Ac.* Déc., 178.
 - Essais. *Ic.* 25 Déc., 564.
 - En Amérique. *Elé.* 3 Janv., 3.
 - Berlin-Jossen. *Ge.* 10-17 Janv., 164, 177.
 - La Valteline. *Rgc.* Janv., 65. *Ic.* 10 Janv., 12.
- Essieux et bandages.* Ruptures sur les chemins anglais. *Rgc.* Janv., 68.
- Locomotives à roues libres.** *E'* 26 Déc., 616. Reynolds. *E'* 16 Janv., 72.
- à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 17 Janv., 88.
 - Équilibrage des (Hall). *E'* 20 Déc., 619.
 - Pare-étincelles. *Pm.* Janvier, 5.
 - A voie de 750 pour l'Inde. *E.* 26 Déc., 846.
- Matériel roulant* à l'Exposition de Dusseldorf. *ZOL.* 26 Déc., 894.
- Signaux pneumatiques* du London and S. W. *E'* 19 Déc., 593.
- Embranchements positifs (Cosmann et Cuny). *Rgc.* Janv., 24.
- Trains.** Services français et anglais (Rous Marten). *E'* 16 Janv., 50.
- Voiture royale* du London-Brighton. *E'* 26 Déc., 612.
- Wagon de 40 tonnes* à vidange automatique du N. E. Ry. *E.* 19 Déc., 811.

TRANSPORTS DIVERS

- Automobiles.** Salon de 1902. *Lo.* 20 *Déc.*, 803. *Ln.* 10 *Janv.*, 87.
- (Commerce des). *USR.* *Janv.*, 1.
 - Développement en France. *E'*. 19 *Déc.*, 587. 2-16 *Janv.*, 3, 55.
 - Antidérapant Parsons. *E'*. 9 *Janv.*, 37.
 - Caisse. *Ri.* 20 *Déc.*, 403.
 - Freins. *Ri.* 18 *Janv.*, 14.
 - Changement de vitesse. Bozier. *Lo.* 4 *Janv.*, 8.
 - à pétrole. Huber. *Lo.* 27 *Déc.*, 827.
 - — Lancheater. *E.* 16 *Janv.*, 72.
 - — Bicyclette Minerva. *Lo.* 17 *Janv.*, 37.
 - — de Dion-Bouton. *Lo.* 3-10 *Janv.*, 1, 20.
 - à vapeur. Wagon 5 tonnes pour l'Afrique de l'Ouest. Simpson et Bibby. *E.* 2 *Janv.*, 13.
 - — Serpolet. *Lo.* 10-17 *Janv.*, 26, 40.
- Tramways électriques** en Angleterre. *Elé.* 20 *Déc.*, 389. *Oc.*, 10-17 *Janv.*, 163, 182.
- — de Rodez. *Oc.* 27 *Déc.*, 129.
 - — Équipement des (Rhodes). *EE.* 10 *Janv.*, 65.
 - — à contacts. Cruvellier, *E.* 2 *Janv.*, 6.
 - — Voitures automotrices diverses (Lelarge). *Rgc.* *Janv.*, 38.
 - — Câble de trolley profilé Schiemann. *EE.* 17 *Janv.*, 100.
- CHIMIE ET PHYSIQUE**
- Acides** sulfurique; acidité des fumées du procédé par chambres (Carpenter et Linder). *Cs.* 31 *Déc.*, 1490. Influence des impuretés sur la densité de l'acide sulfurique (Marschall). *Cs.* 30 *Déc.*, 1508. Détermination de sa force (*id.*) 1511.
- Chromique. Action sur l'eau oxygénée (Bach). *Ms.* *Janv.*, 26.
 - Chlorhydrique. Étalonnage par le spath d'Islande (Green). *CN.* 2 *Janv.*, 5.
 - Métaphosphorique. Étude thermique, étude thermique Giran. *CR.* 29 *Déc.*, 1333.
- Air atmosphérique.** Proportion de l'hydrogène (Leduc). *CR.* 29 *Déc.*, 1332. 5 *Janv.*, 21.
- Alcalis et peroxyde de manganèse.** Préparation (Baubigny). *CR.* 18 *Déc.*, 1110.
- Alcool.** Éclairage et chauffage à la 5^e exposition de l'automobile. *Ln.*, 3 *Janv.* 68.
- Absolu préparation (Young). *ScP.* 20 *Déc.*, 970.
 - Oxydation catalytique (Trillat). *ScP.* 10 *Janv.*, 35.
 - Faible mélange avec de l'eau (Young et Fortey). *ScP.* 20 *Déc.*, 971.
 - Fabrication nouvelle (Marbach). *Ms.* *Janv.*, 66.
 - A l'Exposition de Montpellier (Marre). *RCp.* 11 *Janv.*, 1.
- Arsenic.** Diffusion dans la nature (Garrigon). *CR.* 18 *Déc.*, 1113.
- Borates de baryte.** Action de l'acide carbonique (Jones). *CN.* 16 *Janv.*, 28.
- Brasserie.** Trempe de l'orge (Blush et Wiel). *Ms.* *Janv.*, 53.
- Analyse des matières de brasserie. *IoB.* *Déc.*, 708.
 - Divers. *Cs.* 31 *Déc.*, 1546. 15 *Janv.*, 39.
 - Nutrition des levures (Stern). *IoB.* *Déc.*, 690.
 - Analyse du malt (Heron). *IoB.* *Déc.*, 666.
- Carbohydrates** (Analyse des) au point de vue de la valeur des aliments (Krugger). *Fi.* *Déc.*, 401.
- Caoutchoucs** (Analyse des). *Cs.* 15 *Janv.*, 47.
- Céramique.** Divers. *Cs.* 15 *Janv.*, 26.
- Chaînes d'oxydation** et de réduction (Fredenhagen). *ScP.* 20 *Déc.*, 966.
- Chaux et ciments.** Essais du Portland (*Le Ciment*). *Déc.*, 186.
- Divers. *Cs.* 12 *Janv.*, 29.
- Chimie textile** (la) (Matthews). *Cs.* 31 *Déc.*, 1516.
- Chlorure de bore.** Action sur le gaz ammoniac. *CR.* 25 *Déc.*, 1106.
- Chimie et pharmacie à l'Exposition de 1900** (Haller). *Rgds.* 30 *Déc.*, 1179.
- Combustibilité** (limites de) (Pelet et Jomini). *ScP.* 20 *Déc.*, 1207.
- Cryolithes** (les) Band. *CR.* 29 *Déc.*, 1337.
- Cuivre oxydulé : jaune** (Groger). *ScP.* 20 *Déc.*, 981.
- Distillerie.** Application de la résistance cellulaire des saccharomyces (Alliot). *ScP.* 20 *Déc.*, 1238.

- Diamant** (Conversion du charbon de bois en (Ludwig). *CN.* 2 *Janv.*, 1.
- Eaux minérales** (Gaz des) (Mouren). *Pe. Janv.*, 49.
- Égouts** de Salford. *E.* 26 *Déc.*, 803.
— Traitement bactériologique (Clowes). *Cs.* 31 *Déc.*, 1549.
- Émailleuse** mécanique pour baignoires (Dupont). *Ge.* 10 *Janv.*, 167.
- Essences et parfums**. Divers. *Cs.* 31 *Déc.*, 1531. 15 *Janv.*, 42.
- Explosifs**. Stabilité des nitrocelluloses. *Cs.* 31 *Déc.*, 1554.
- Fermentation** pectique (Goyaud). *RCp.* 11 *Janv.*, 6.
- Fluorure d'aluminium** (Baud). *CR.* 15 *Déc.*, 1103.
- Gaz d'éclairage** (Avenir du) (Lewes). *SA. Déc.*, 106. 2, 9 et 16 *Janv.*, 116, 132, 147.
— Compteur Duplex. *Ri.* 3 *Janv.*, 4.
- Graisses et huiles**. Divers. *Cs.* 31 *Déc.*, 1541.
- Hydrates** sulphydrés. Composition et constitution (de Forcrand). *CR.* 29 *Déc.*, 1344.
- Hydrosulfites** alcalins et alcalino-terreux (synthèse des) (Moissan). *ScP.* 5 *Janv.*, 10.
- Laboratoire**. Divers. *Cs.* 31 *Déc.*, 1537.
— Distillation fractionnée comme méthode d'analyse quantitative (Young et Fortey). *ScP.* 20 *Déc.*, 973.
— Séparation du nickel et du cobalt. Modification de la méthode de Rose (Taylor). *ScP.* 20 *Déc.*, 1005.
— Dosage des superphosphates (Legrand). *id.* 2007.
— — Calorimétrique de l'acide borique. *CN.*, 16 *Janv.*, 27.
— — de l'acide sulfureux par une dissolution titrée d'iode (Rerg). *CN.* 19 *Déc.*, 297.
— — de l'acide tartrique dans les marcs de vins (Erhmann et Levat). *Ms. Janv.*, 64.
— — Acide phosphorique et magnésie. Détermination gravimétrique (Riegler). *Cs.* 15 *Janv.*, 46.
— Analyse des briquettes de ferro-nickel (James et Nissen). *Cs.* 15 *Janv.*, 3.
— Cuivre. Essai par l'iode. *Eam.* 27 *Déc.*, 846.
- Lithium** (Siliciure de) (Moissan). *ScP.* 20 *Déc.*, 1199.
— Variations anormales du spectre du (Ramoge). *CN.* 2 *Janv.*, 2.
- Métaux et métalloïdes** (Rapports entre les) (Martin). *CN.* 19 *Déc.*, 295.
- Métaux rares** (les). *E. Janv.*, 19.
- Optique**. Microscope binoculaire Ives. *Fi. Déc.*, 441.
— Réseaux, réglage des (Rollins). *American journal of science. Janv.*, 49.
— Spectres de flammes (Watteville). *CR.* 24 *Déc.*, 1329.
- Os**. (Industries chimiques dérivées des) (Grognot). *RCp.* 11 *Janv.*, 15.
- Osmium**. Sels complexes (Wentrebent). *ACP. Janv.*, 15.
- Pétroles** (Détermination de l'eau dans les) (Tompkins). *Cs.* 31 *Déc.*, 1318.
- Pentofluorure d'iode** (Moissan). *ReP.* 5 *Janv.*, 6.
- Phosphate**. Ammoniac-manganique violet (Barbier). *CR.* 15 *Déc.*, 1109.
— (Enrichissement des) (Baskerville). *Cs.* 31 *Déc.*, 1319.
— Phosphore. Émanation du (Noch). *CR.* 29 *Déc.*, 1324.
- Radium, Polonium et Actinium** (Hammer). *CN.* 16 *Janv.*, 25.
- Radio-activité** de l'uranium (Soddy). *ScP.* 20 *Déc.*, 977.
- Résines** de pin transylvanienne, de Dammar, oriental. *ScP.* 20 *Déc.*, 1000.
— Et vernis. Divers. *Cs.* 31 *Déc.*, 1543.
- Silicium**. (Amorphe et hydrures de) (Moissan et Smiles). *ScP.* 1190-1198. *CR.* 29 *Déc.*, 1284.
— Siliciure de calcium. *id.* 1199. De manganèse (Lebeau). *CR.* 12, 2 *Janv.*, 89.
- Sucrerie**. Divers. *Cs.* 31 *Déc.*, 1545. 15 *Janv.*, 36.
— Sucre dans les raves (Détermination du) (Collins). *Cs.* 31 *Déc.*, 1513.
— Nitrites et produits de sucrerie (Andrlik et Stanek). *Ms. Janv.*, 68.
— Influence de l'acide carbonique sur l'action diastatique (Mohr). *Ms. Janv.*, 69.
— Fabrication du sucre de cannes aux îles Hawaï (Williams). *E.* 2-9 *Janv.*, 6, 37.
- Teinture**. Indigo. Développement industriel (Matthews). *Fi. Déc.*, 423.

Teinture. Colorants sulfurés (Barillet). *MC.* 1^{er} Janv., 6.
 — (Revue de) (Reverdin). *Ms. Janv.*, 21.
 — Méthodes pour caractériser les colorants de la série du triphénylméthane. Le vert phtalique (Prudhomme, Haller et Guyot). *MC.* 1^{er} Janv., 1.
 — Divers. *Cs.* 31 Déc., 1528, 1530. 15 Janv., 20, 23.
 — Les mordants (Stocks et White). *Cs.* 15 Janv., 4.
Tellures (Minerais de). Action du monochlorure de soufre (Mac Ivor). *CN.* 26 Déc., 308.
 — Dosage gravimétrique (Mac Ivor). *CN.* 9 Janv., 17.
Terres rares (Sels de) comme excitateurs. (Job). *CR.* 5 Janv., 45.
Uranium (Sels d') (de Coninck). *ACP. Janv.*, 5.
Vanadium (Siliciure de) (Moissan et Hott). *ScP.* 10 Janv., 16, 20.
Yterbium (I') (Cleve). *CN.* 19-26 Déc., 299, 311.
Yttrium (Terres rares du groupe de l') (Dennis et Dales). *Ms. Janv.*, 5.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

Afrique du Sud. au point de vue de l'ingénieur. *E.* 19-26 Déc., 579, 695. 16 Janv., 55.
Amérique. Industries américaines. *E.* 2 Janv., 4.
Assurance contre le chômage involontaire, par les syndicats ouvriers (Vossen). *Rso.* 1^{er} Janv., 51.
Baisse du métal argent *Ef.* 27 Déc., 873. 3-10 Janv., 1-42.
Bienfaisance privée et contrôle de l'État (Rivière). *RSo.* 24 Nov., 121.
Brevets. Nouvelle loi anglaise. *E.* 26 Déc., 851.
Caisses d'épargne étrangères (Angleterre, Belgique, Prusse). *Ef.* 27 Déc., 878.
Canada (Développement du). *Ef.* 10 Janv., 37.
Écoles industrielles du soir à Springfield, Massachusetts. *AMA.* 20 Déc., 1741.
Cuivres. La mine aux mineurs et les mineurs grévistes. *Ef.* 20 Déc., 845.
 — depuis 20 ans dans les industries houil-

lères et remèdes proposés. *Ef.* 3 Janv., 3.
Jouet (Industrie du, en France). *Ef.* 20 Nov., 847.
Paris. Budget pour 1903. *Ef.* 3 Janv., 5.
 — Octroi. *Ef.* 18 Janv., 39; 27 Déc., 880.
Maroc (le). *Ef.* 10 Janv., 39.
Mortalité infantile. *Ef.* 20 Déc., 839.
Retraites ouvrières en Italie (Ghio). *Musée social. Ef.* Décembre.
Socialisme. Dissolution du socialisme scientifique. 20 Déc., 841.
Soie. Industrie aux États-Unis. *Ef.* 3 Janv., 10.
Solidarité et solidarisme (d'Eichtaal). *Ef.* 3 Janv., 8.
Sucres. Nouvelle législation. *Ef.* 27 Déc., 875.
 — (Questions des). *SNA. Nov.*, 682, 727.
Trust (les). *Ef.* 27 Déc., 884.
 — industriels (Smart). *SA.*, 16 Janv., 156.

CONSTRUCTIONS ET TRAVAUX PUBLICS

Acier employé dans les constructions. — Corrosion. *Gc. Nov.*, 743.
Air comprimé. Emploi dans les chantiers de construction (Abraham). *Gc.* 20 Déc., 113.
Briques de laitiers de hauts-fourneaux. *Pm. Janv.*, 14.
Béton armé. Expériences sur le 201. 19 Déc., 879.
 — Système Ribera. *Le Ciment. Déc.*, 101.
 — et ciment à l'Exposition de Dusseldorf. *Pm. Janv.*, 6.
Brise-roches Loebnitz. *E.* 9 Janv., 42.
Ciment. Machines Kielberg à faire les tuyaux de. *E.* 26 Déc., 843.
Colonnes (résistance des). *E.* 2 Janv., 2.
Exposition de St-Louis, VDI. 10 Janv., 21.
Fermes. Progrès depuis 1850 (Matheson). *E.* 9 Janv., 29.
Institutions patronales de l'usine Krupp. *IC. Nov.*, 728.
Ponts. Sur la Sawdde. *E.* 16 Janv., 70.
 — en maçonnerie (Calcul des) (Lossier). *Gc. Janv.*, 153.
 — levis roulants Scherzer, à Chicago. *E.* 19 Déc., 809.

- Ponts** Supports des bouts des poutres transversales. *E'*. 20 Déc., 609.
 — en ferro-ciment de Hull. *E*. 2 Janv., 14.
 — Fatigue et chocs dans les ponts de chemins de fer (Graham). *E'*. 2 Janv., 3.
 — Construction aux États-Unis. *E'*. 16 Janv., 49.
 — Viaduc du Viare. *Rgc. Janv.*, 3. *Ac. Janv.*, 2.
Tunnel du Simplon. *E'*. 26 Déc., 607; 9-16 Janv., 30, 56.
Vent. Action sur les constructions (Nelson). *EM. Janv.*, 548.
Ventilation des usines. *E'*. 9 Janv., 37.

ÉLECTRICITÉ

- Accumulateurs** Fredet. *EE*. 27 Janv., 441.
 — Tommasi *EE*. 10 Janv., 52.
 — Emploi de la méthode Fuchs dans la technique des (Liebenow). *EE*. 3 Janv., 32.
Aciers doux employés dans la construction des machines électriques (Charpy). *Sie. Déc.*, 835.
Distribution. Groupes générateurs de Niagara Falls. *EE*. 27 Déc., 451.
 — Prix des sous-sections et lignes de transmissions (Williams). *EE*. 3 Janv., 22.
 — dans le département de l'Aude. *Elé.* 3-10 Janv., 625.
 — Construction des lignes de transmissions. *Elé.* 17 Janv., 39.
Dynamos. Compoundage des génératrices (Baum). 27 Déc., 450.
 — Groupe électrogéné de Dion-Boutron. *EE*. 17 Janv., 86.
 — Alternateur Lahmeyer de 2000 kw. *Elé.* 3 Janv., 2.
 — Bâties d'alternateurs. nouvelle construction (Bochmlaender). *EE*. 27 Déc., 440.
 — Refroidissement des dynamos. *Elé.* 3 Janv., 11.
 — Réduction d'étincelles aux balais Spilberg *EE*. 17 Janv., 88.
 — Moteurs asynchrones; théorie. *EE*. 27 Déc., 453. Glissement des (Meynier). *Ie*. 25 Déc., 560.
 — à courants alternatifs et vitesse variable (Société alsacienne). *Ie*. 25 Déc., 560.
Dynamos à courants alternatifs simples démarrant sous charge (Girault). *Ic*. 10 Janv., 5.
 — Essai d'un — de 170 chevaux. *EE*. 17 Janv., 95.
Éclairage. Incandescence. Fabrication des lampes (Razous). *Gc*. 20 Déc., 121.
 — Lampes Nerst, Essais. *EE*. 3 Janv., 25.
 — Cooper Hervett, *E'*. 16 Janv., 74.
Électro-chimie à hautes températures (Hutton). *E*. 19 Déc., 824.
 — Destruction des cathodes par formation d'alliages. *E*. 24 Déc., 837.
 — Fonctionnement des diaphragmes avec les solutions hydratées (Heltorf). *EE*. 3 Janv., 57.
 — Chlorure double ammoniaco-plombique. Préparation électro-chimique (Elbs). *EE*. 3 Janv., 38.
 — Formation complexe des sels de mercure (Abeeg). *EE*. 3 Janv., 39.
 — Électrolyseur Tommasi pour production du plomb spongieux. *EE*. 10 Janv., 55.
 — Divers. *Cs*. 31 Déc., 1538.
 — Antimoine. Préparation électrolytique (Izarb). *Ic*. 10 Janv., 10.
Installations électriques de l'Université de Chicago. *EE*. 17 Janv., 84.
Mesures Wolmètre électrostatique dans les mesures commerciales (Walker). *EE*. 29 Déc., 458.
 — Compteurs Batault. *Lu*. 10 Janv., 81.
 — — Aron. *Elé.* 10 Janv., 17.
 — — Arno pour tryphasées asymétriquement chargées. *Sie. Déc.*, 813.
 — Perméamètre universel Picou. *Sie. Déc.*, 828. *Ie*. 10 Janv., 6.
 — Électromètre capillaire perfectionné (Burch). *RsL*. 27 Déc., 102.
 — Vérificateur d'enregistreur Pordéna. *EE*. 17 Janv., 101.
 — Ondographe Hospitalier *EE*. 10 Janv., 56.
 — Magnétiques par compensation. Appareil pour (Consépius). *EE*. 17 Janv., 103.
Pile hydro-électrique Siemens et Halske. *Elé. Déc.*, 401.
Plombs fusibles (Sachs). *Fi. Janv.*, 1.

- Stations centrales.** Lausanne. — St-Maurice. *EE.* 20 Déc., 397. *VDI.* 47 Janv., 75.
 — Stastistiques en Allemagne. *IC.* 10 Janv., 9.
 — Usines cotonnières de Mirecourt. *Elé.* 17 Janv., 33.
Télégraphe sans fil. Voyage du *Carlo-Alberto*. *Elé.* 20 Déc., 386. *EE.* 3-10 Janv., 42
 41. Expériences de Marconi. *EE.* 10 Janv., 21.
 — Sous-marins, transmissions à relais automatiques pour longs câbles. *EE.* Janv., 64. Transpacifique anglais. *IE.* 10 Janv., 21.
Téléphones municipaux (résultats des). *E.* 19 Déc., 815.
Vision à distance par l'électricité (Coblyn). *EE.* 27 Déc., 433.

HYDRAULIQUE

- Distribution d'eau* de Hambourg. *Gc.* 20 Déc., 119.
Pompes directe Marsk. *Pn.* Déc., 183.
 — nouvelles (Freitag). *Dp.* 10-17 Janv., 21, 37.
Roues Pelton (essai de). *E.* 16 Janv., 87.
Turbines. Congrès de la houille blanche (Pinat). *IC.* Nov., 686.
 — du Niagara. *Gc.* 3 Janv., 149.
 — — *E'.* 16 Janv., 62.
 — du Cauway Falls. *Eam.* 27 Déc., 843.
 — Régulateur Replugle. *RM.* Déc., 621.

MARINE, NAVIGATION

- Bateau Salon* Lausanne. *IC.* Nov., 734.
Barrage d'Assouan. *E'.* 19-26 Déc., 580, 618.
Canal du Panama. Le lac Bobio (Morison). *EM.* Janv., 497.
Constructions navales en 1902. *E.* 2-7 Janv., 10, 35.
 — Chantiers de la Clyde. *E'.* 2 Janv., 6.
 — — de Nagasaki. *E.* 9 Janv., 39.
Gouvernail électrique Fiske. *EE.* 20 Déc., 408.
Hélices. Tracé des modèles. *AMa.* 17 Janv., 20.
 — Propulsion par. *E'.* 16 Janv., 68.
Loch électrique. Schultze. *EE.* 20 Déc., 410.
Machines marines. Vibrations des navires (Melville). *E.* 3-9-16 Janv., 1, 33, 68.
 — Modérateur Kerr. *EE.* 20 Déc., 408.

- Machines marines.** Machine du transpacifique *Orontes.* *E.* 3 Janv., 24.
 — — Marschall et Allan. *Ru.* Déc., 622.
 — — du cuirassé chilien *Libertad.* *E.* 16 Janv., 78.
Marines de guerre (Artillerie des). *E.* 9 Janv., 47.
 — Allemande. Nouveaux cuirassés. *E'.* 19 Déc., 594.
 — Anglaise, en 1901. *E.* 19-26 Déc., 818, 855. Échec des croiseurs du type *Drake.* *E'.* 16 Janv., 67.
 — Américaine. *Rmc.* Déc., 2439, 2512.
 — Russe. Croiseurs de 6500 tonnes. *Rmc.* Déc., 2488.
 — Turquie. Cuirassé *Messoudiqch.* *E'.* 16 Janv., 71.
 — Blindages Krupp à l'Exposition de Dusseldorf. *Rmc.* Déc., 2523.
 — — Effet des projectiles coiffés. *E'.* 2 Janv., 23.
 — Sous-marins en Amérique. *E'.* 19 Déc., 582.
 — — Français. *E.* 9 Janv., 31.
 — — Échec d'un. *E'.* 16 Janv., 68.
 — Torpille nouvelle. *E'.* 26 Déc., 616.
Naufrages et accidents en 1900. *Rmc.* Déc., 2395.
Paquebot Bruxelles du G. Eastern Ry. *E'.* 9 Janv., 34.
Traction électrique sur canaux en Allemagne. *EE.* 27 Déc., 442.
Utilisation et rayon d'action des navires (Joubert). *Bam.* Déc., 1445.
Voies navigables en 1902. *E'.* 2 Janv., 21.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

- Aérostation.* Dynamique des ballons libres (Degouy). *Gm.* Déc., 481.
 — Sécurité en ballon dirigeable (Espitalier). *Rs.* 17 Janv., 70.
Bielles (Calcul des) (Parr). *E'.* 16 Janv., 71.
Chaudières modernes. *Dp.* 10 Janv., 17.
 — et moteurs à vapeur à l'Exposition de Dusseldorf (Compère). *IC.* Nov., 639.
 — Marines modernes (Roundthwaite). *E'.* 9 Janv., 44.
 — à tubes d'eau Sugden. *E.* 2 Janv., 4.
 — — Essais à la mer. *E.* 16 Janv., 79.
 — — Orfeldt. *RM.* Déc., 609.
 — — Shuttleworth et Fletcher, White Clarke-Chapmann, Parker, *id.*, 610, 613.

- Chaudières de Nayer.** *Pm. Janv.*, 2.
 — — dans la marine marchande américaine. *RM. Déc.*, 612.
 — — instantanées. *E. 9 Janv.*, 42.
 Explosion à Chicago. *E. 9 Janv.*, 36.
 Épuration Destombes. *Bam. Déc.*, 1519.
 Explosions en Angleterre. *E. 2 Janv.*, 20.
 Foyer ondulé Morrison. *RM. Déc.*, 613.
 — au pétrole. Sur la côte du Pacifique. *RM. Déc.*, 613.
 — dans les marines de guerre, *id.*, 615.
 Grille Moutte. *Ri. 20 Déc.*, 304.
 — Hodgkinson. *E. 19 Déc.*, 598.
 Purgeur Boyle. *Bam. Déc.*, 1537.
 Soupapes de sûreté (les) (Sinigaglia). *RM. Déc.*, 374.
 Surchauffeur Webster. *RM. Déc.*, 618.
Courroies. Calcul graphique (Gruffe). *Ri. 25 Déc.*, 376.
 — Longueur des. *AMa. 10 Janv.*, 1819.
 Écrire. Machine électrique Blikensderfer. *RM. Déc.*, 596.
 Essoreuses électriques Pott. *E. 19 Déc.*, 802.
 Graisseur Friedmann. *Gc. 20 Déc.*, 123.
 Huiles. Appareil d'essai Dittmar. *EE. 17 Janv.*, 89.
 Indicateurs (Essai des) (Werbe et Schwirkus). *VDI. 10 Janv.*, 84.
 Imprimerie Draeger. Installations électriques. *EE. 3 Janv.*, 5.
Levage (Appareils de) à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI. 3 Janv.*, 17.
 — Grues de chantiers. *Pm. Déc.*, 190.
 — — électrique de 1000 kilogrammes. (Postel-Vinay). *Ri. 10 Janv.*, 15.
 — Transports par vis d'Archimède (Calcul des) (Delluc). *Ri. 25 Déc.*, 374.
 Machines. Constructions en 1900 (Sauvage). *AM. Oct.*, 299.
Machines-outils. A air comprimé. *Gc. 27 Déc.*, 132.
 — Commandées par l'électricité. *AMa. 10 Janv.*, 1831.
 — Hydrauliques pour atelier de locomotives. *E. 2 Janv.*, 11.
 — Alésoir universel Niles. *AMa. 27 Déc.*, 1785. Portatif Porter. *AMa. 17 Janv.*, 1. Double Baker (*id.*), 4.
 — Rameuse pour pattes de graissage. *Ri. 3 Janv.*, 1.
 — Ferrures. Fabrication aux ateliers de Mohon (Tolmer). *RM. 31 Déc.*, 537.
Machines-outils. Limes. Tailleuse Frowein. *Pm. Déc.*, 181.
 — Étau limeur Springfield. *Ri. 10 Janv.*, 13.
 — Machine à rectifier Schmaltr. *Pm. Déc.*, 178.
 — — à courber les tôles (Fielding et Platt). *E. 16 Janv.*, 70.
 — Mandrineur Januin. *Bam. Déc.*, 1523.
 — Meulage (le) (Horner). *E. 26 Déc.*, 837; 16 Janv., 63.
 — — Meule pour segments de pistons Reincker. *AMa. 27 Déc.*, 1787.
 — — Affûteuse pour couteaux dentés. *AMa. 17 Janv.*, 9.
 — Outils: avances et vitesses. *AMa. 10 Janv.*, 1857.
 — — à grandes vitesses. *E. 16 Janv.*, 81.
 — Perceuse. Forets hélicoïdaux. *AMa. 17 Janv.*, 4.
 — Porte-outils américains. *AMa. 20 Déc.*, 1838.
 — Presses à emboutir. *AMa. 10-17 Janv.*, 1861. A souder. *AMa. 17 Janv.*, 11.
 — Tour à tuyaux Addy. *E. 9 Janv.*, 35.
 — Vis (machine à) Garwin. *AMa. 10 Janv.*, 1855.
 — à bois. Scie horizontale Kuchner. *Ri. 20 Déc.*, 505.
 — Ébarbeuse pour pavés en bois Josse. *Pm. Janv.*, 13.
 — — Machine à sculpter Charrier. *RM. Déc.*, 590.
 Manomètres à hautes pressions. Étalonnage. *E. 9 Janv.*, 31.
Moteurs à vapeur à l'Exposition de Dusseldorf (Compère). *IC. Nov.*, 639.
 — Clemsford. *RM. Déc.*, 626.
 — Tosi. 2000 chevaux, *id.*, 628.
 — Compound, 2000 chevaux. *E. 9 Janv.*, 38.
 — Simple effet (Whitehead, Jooly). *RM. Déc.*, 624.
 — Triple expansion, 300 chev. (Davy). *E. 26 Déc.*, 847.
 — à surchauffeur Schmidt (Essai). *E. 9 Janv.*, 46.
 — Condensation centrale à l'Exposition de Dusseldorf. *Ri. 20 Déc.*, 501.
 — Séparation d'huile Harris Anderson. *Gc. 17 Janv.*, 184.
 — Condenseur Nielausse. *RM. Déc.*, 636.

- Moteurs à vapeur** Weiss. *Im.* (1902). *Id.*, 885.
 — Récupérateur d'eau Balcke. *Ri.* 27 *Déc.*, 513.
 — Pompe à air Worthington. *RM.* *Déc.*, 636.
 — Distribution à soupapes Lenz. *VDI.* 20 *Déc.*, 1921.
 — — à coulisse Craven. *RM.* *Déc.*, 629.
 — — à tiroirs Stein. *VDI.* 5 *Janv.*, 41.
 — Turbines (les) (Stodola). *VDI.* 3-10 *Janv.*, 147. Reuter, Rateau, Westinghouse, Parsons. *RM.* *Déc.*, 629, 634. *EE.* 17 *Janv.*, 77.
 — à gaz Bertler. *E.* 26 *Déc.*, 842.
 — — Southall. *RM.* *Déc.*, 639.
 — — Banki. *VDI.* 17 *Janv.*, 81.
 — — Melhuish, *id.*, 649.
 — Mise en train Tangye. *RM.* *Déc.*, 649.
 — Gazogène Taylor. *RM.* *Déc.*, 646.
 — Allumages de Dion, Panhard. *Lo.* 27 *Déc.*, 826, 834.
 — à l'Exposition de Dusseldorf. *ZOI.* 19 *Déc.*, 873.
 — Grands moteurs. *SuE.* 15 *Déc.*, 1352.
 — à gaz de hauts fourneaux. Laveurs Humphrey, Lencauchez. *RM.* *Déc.*, 642.
 — Segment Wilson et Plecher. *Lo.* 20 *Déc.*, 815.
 — à pétrole Melhuish, Alsop, Panhard, *id.*, 650.
 — — Carburateur Krebs. *Lo.* 27 *Déc.*, 817. Pipe, *id.*, 3 *Janv.*, 7.
- Résistance des matériaux.** Machine autographique pour essais de compression Goodmann. *E.* 19 *Déc.*, 805.
 — Essai des rails (Frémont). *CR.* 5 *Janv.*, 35.
- Ressorts en spirale** (Diagramme des). *AMa.* 10 *Janv.*, 1822.
- Roulements sur billes.** *E.* 26 *Déc.*, 833.
- Planimètre.** Théorie. *E'*. 16 *Janv.*, 75.
- Ventilateurs** modernes (Innes). *E.* 19 *Déc.*, 797.
 — Couplage des (Lapouche). *Im.* (1902), *id.*, 1041.
- MÉTALLURGIE**
- Alliages** recuit du métal Munz (Lewis). *Cs.* 15 *Janv.*, 12.
- Argent.** Filons du Mexique (Halse). *North of England Institute.* *Déc.*, 39.
- Coke.** Emploi de l'électricité dans les fours à coke des hauts fourneaux. *Gc.* 3 *Janv.*, 145.
- Électricité.** Applications à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 20 *Déc.*, 1939.
- Grisou.** Gaz enfermés dans la houille (Brookmann et Bedson). *North of England Institute.* *Déc.*, 16, 25.
- Fours au pétrole.** *Eam.* 10 *Janv.*, 81.
- Fer et acier.** Effet du recuit sur l'acier surchauffé (Goranson). *E'*. 19 *Déc.*, 599.
 — Acieries au Japon. *E.* 9 *Janv.*, 49.
 — — de Carnegie. *SuE.* 15 *Janv.*, 114.
 — Procédé Bertrand-Thiel (Ledebur). *SuE.* 1^{er} *Janv.*, 36.
 — Sidérurgie dans la Russie du Sud (Head). *SA.* 19 *Déc.*, 74.
 — — en Allemagne, progrès depuis 1880 (Daclen). *E'*. 26 *Déc.*, 621.
 — Action de la chaleur sur l'acier (Wilmort). *AMa.* 10 *Janv.*, 1849.
 — Vieillessement des aciers doux (Girault). *Ie.* 25 *Déc.*, 563.
 — Compression de l'acier par tréfilage (Harmet). *Im.* 1902, (*id.*), 901.
 — Soufflures des lingots. Influence de la composition chimique. *SuE.* 1^{er} *Janv.*, 46.
 — Haut fourneau au pétrole Riveroll. *Eam.* 27 *Déc.*, 854.
 — Four égaliseur de température du vent (Gyiers et Harrison). *E.* 9 *Janv.*, 55.
 — — de recuit en Europe. *SuE.* 1^{er} *Janv.*, 22.
 — Fonte malléable (la) (Outerbridge). *E'*. 9 *Janv.*, 47.
 — Moulages d'acier (Gautier). *Pm.* *Janv.*, 6; *SuE.* 13 *Janv.*, 99.
 — Fonderie moderne (Buchmaun). *EM.* *Janv.*, 315.
 — Trains à fils à grande vitesse (Richarme). *Im.* (1902), *id.*, 975.
 — Laminoir commandé électriquement. *SuE.* 15 *Janv.*, 90.
 — — de Differdange. *SuE.* 1^{er} *Janv.*, 58.
- Nickel** au Canada. *E.* 9 *Janv.*, 48.
- Or.** Action du sélénium et du tellure sur les sels d'or (Hall et Lenher). *CN.* 26 *Déc.*, 309.
 — Traitement des minerais cuivreux par le cyanure de potassium (Janin). *Eam.* 20 *Déc.*, 816.

Or. Concentration cyanhydrique par percolation (Wright) (*id.*), 817.
Plombs argentifères. Traitement moderne. *Eam.* 10 Janv., 83.

MINES

Appareils de sécurité et postes de secours aux mines de Polish Ostrau. *Gc.* 27 Déc., 136.
Asphaltes. Dépôts de l'Arkansas. *Eam.* 13 Déc., 782.
Épuisement. Installations électriques à la Roche la Molière. *Rt.* 25 Déc., 369.
Fer. Gisements du Jura Lorrain. *SuE.* 15 Déc., 1340.
Coups de mines. Tampons métalliques. *Eam.* 20 Déc., 814.
Cuivre de Burro (Mexique). *Eam.* 13 Déc., 778.
Diamant. Mines de Kimberley. *E.* 16 Janv., 59.
Épuisement par air comprimé. *Eam.* 27 Déc., 855.

Extraction à grandes profondeurs. *Eam.* 13 Déc., 780.
 — Machines électriques. Démarrage des Kœttgen. *EE.* 20 Déc., 411.
Houille. Anthracite de la Third Hell Mountain, West Virginia. *Fi. Déc.*, 431.
 — Exploitation des mines d'anthracite. *Eam.* 13 Déc., 783.
Mines minérales. Exploitation des (Williams). *EM. Janv.*, 541.
Or. Maraudage en Guyane française (Levat), *Eam.* 13 Déc., 785.
Préparation mécanique galeries : aux Highlands (Colombie britannique). *Eam.* 27 Déc., 851.
Perforatrices électriques, Dusseldorf. *VDI.* 27 Déc., 1971.
Roulage. Locomotive à gazoline Weber. *Eam.* 13 Déc., 789.
 — électrique aux mines de la Loire (Morchoine). *Im.* (1902), *id.*, 851.

Le Gérant: GUSTAVE RICHARD.

BULLETIN
DE
LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

CHIMIE

RAPPORT présenté, au nom de la *Section de Chimie*, sur l'ouvrage de
M. L. Dumas. *Recherches sur les aciers-nickel à haute teneur*, par
M. L. Baclé, *Membre du Conseil*.

M. L. Dumas, ingénieur à la Société de Commentry-Fourchambault, poursuit, depuis bientôt dix années, dans l'usine de cette Société, à Imphy, ses savantes recherches sur les aciers-nickel à haute teneur, qui paraissent appelés à jouer désormais un rôle important dans la métallurgie.

Cet auteur vient de publier les résultats de ces recherches dans une étude dont il a bien voulu faire hommage à la Société d'Encouragement, et votre Comité de Chimie a décidé d'en faire une analyse spéciale, en raison du double intérêt à la fois théorique et pratique qu'elle présente.

L'étude des propriétés mécaniques d'une série d'aciers à teneurs en nickel croissantes, conduit au premier abord à les classer dans deux groupes nettement distincts, suivant que cette teneur est inférieure ou supérieure à 25 p. 100.

Les divers essais mécaniques par action brusque ou graduée auxquels on peut avoir recours pour déterminer ces propriétés, comme la traction, le choc ou le pliage, s'accordent, en effet, pour montrer qu'elles subissent une modification profonde à partir de cette limite.

Lorsque la teneur est inférieure à 25 p. 100, le métal est dur et fragile, surtout sous l'action de la trempe; la limite d'élasticité est élevée, voisine de la charge de rupture, l'allongement est relativement faible; tandis qu'aux teneurs supérieures, il n'en est plus de même: le métal s'adoucit à la trempe, il n'a plus qu'une limite d'élasticité réduite très éloignée de la charge de rupture, mais l'allongement devient, au contraire, très considérable.

C'est ainsi, par exemple, qu'un acier à 22,6 p. 100 de nickel donnera les caractéristiques suivantes :

$$E = 77^k,7. \quad R = 112^k,3. \quad A = 10,3,$$

tandis qu'un acier à 25,15 p. 100 donnera :

$$E = 54,4. \quad R = 102,4, \quad A = 16,4.$$

Une variation très faible dans la teneur en nickel a donc diminué la limite élastique de 30 p. 100, et augmenté l'allongement de 60 p. 100.

Cette différence si marquée dans les propriétés mécaniques s'accompagne d'une différence non moins caractérisée dans certaines propriétés physiques, comme la dilatation, la densité et, notamment, dans le magnétisme.

A la température ordinaire, l'acier à teneur faible, de nature plus dure, est magnétique; l'acier à teneur élevée, de nature plus douce, ne l'est pas. L'expérience montre que, pour les aciers de fabrication courante, tenant une certaine proportion de carbone et de manganèse avec une teneur limitée en nickel, il y a toujours corrélation constante entre ces deux groupes de propriétés, physiques ou mécaniques, si bien que l'observation de l'état magnétique peut servir à elle seule à déterminer la nature du métal étudié et le groupe des propriétés qui le caractérisent.

La modification radicale que révèle la présence ou la disparition du magnétisme est la manifestation d'une transformation allotropique qui se produit dans tout acier-nickel, mais à des températures différentes, suivant la teneur qu'il présente.

Si on soumet à l'échauffement un acier à faible teneur, magnétique, par conséquent, dans les conditions ordinaires, il se transforme à une température déterminée, pour devenir non magnétique, et il conservera ensuite cet état à toutes les températures supérieures.

Au refroidissement, cet acier subira la transformation inverse, pour redevenir magnétique comme il l'était au début, mais celle-ci ne s'accomplira pas exactement à la température d'échauffement; il se produit, au contraire,

un certain retard tenant à cette propriété qu'on appelle l'hystérésis, en vertu de laquelle le refroidissement continue pendant un certain temps avant que la transformation n'apparaisse, et celle-ci s'opère donc alors à une température sensiblement inférieure à celle d'échauffement; c'est ce qu'on appelle l'irréversibilité.

Ce phénomène s'observe sur tous les aciers à teneur faible, inférieure à 25 p. 100; mais, au-dessus de cette limite, les choses paraissent complètement changer d'aspect: l'acier riche en nickel subit bien une transformation à une température déterminée lorsqu'on le soumet à l'échauffement, mais cette transformation ne semble plus être fondamentale, comme dans le cas des aciers à faible teneur; d'autre part, la modification inverse se produit presque exactement à la même température au refroidissement, le phénomène est réversible maintenant, tandis que, précédemment, il était irréversible.

Ces diverses observations avaient déjà été faites par les expérimentateurs éminents qui se sont attachés à cette question de l'acier-nickel, comme MM. Hopkinson, H. Le Chatelier, Osmond, Guillaume, etc., mais elles n'étaient pas suffisamment reliées entre elles pour qu'il fût possible encore d'en donner une explication générale. M. Dumas s'est donc attaché à ce travail, et il a su le mener à bonne fin.

Il a montré que ces transformations, réversible et irréversible, constituent, en réalité, deux phénomènes distincts qui ne sont, ni l'un ni l'autre, spéciaux aux teneurs pour lesquelles ils avaient été observés jusque-là; mais ils sont, au contraire, susceptibles de se retrouver tous deux dans toute l'étendue de l'échelle des teneurs, si l'on opère à des températures convenables.

La transformation irréversible est celle qui affecte le fer; la transformation réversible se rattache, au contraire, principalement au nickel; la première fait passer le fer de l'état dur ou magnétique, à l'état doux non magnétique, ou inversement, suivant qu'il s'agit de chauffage ou de refroidissement; la seconde, dont la nature n'est pas encore complètement élucidée, du reste, provoque pour le nickel une modification analogue, mais peu marquée; toutes deux se produisent aux températures élevées, lorsqu'il s'agit du métal pur: 850° environ pour le fer pur à la teneur 0 de nickel, et 340° pour le nickel pur à la teneur 100, soit 0 de fer.

Dans ce dernier cas, la température de transformation réversible va d'abord en augmentant à mesure que la teneur en nickel s'abaisse jusqu'à

la limite de 70 p. 100; elle atteint alors 600° environ; mais à partir de ce point, elle prend la même allure décroissante que la courbe des transformations irréversibles au refroidissement, elles vont toutes deux en s'abaissant à mesure que la proportion du métal affecté va elle-même en diminuant, et elles se rencontrent ainsi à la température ordinaire pour la teneur correspondant environ à 25 p. 100 de nickel, et 75 p. 100 de fer.

M. Dumas a montré que ces courbes se poursuivent avec la même allure au-dessous de 0°, elles se coupent, par conséquent, pour franchir la limite correspondant à la teneur de 25 p. 100 et, dès lors, en opérant à des températures suffisamment basses comme il l'a fait, on peut constater la transformation réversible sur des aciers de moins de 25 p. 100, en même temps que la transformation irréversible de refroidissement dues au fer sur des aciers tenant plus de nickel.

On comprend, dès lors, la raison de cette opposition apparente des phénomènes constatés de part et d'autre de cette limite, comme nous le disions plus haut, lorsqu'on s'en tient à l'observation des températures supérieures à 45°. Si, en effet, les aciers pauvres en nickel nous apparaissent à la température ordinaire comme étant durs et magnétiques, c'est que, au cours du refroidissement, le métal partant d'une température plus haute a subi la transformation qui a ramené le fer à l'état α , et si, pour les alliages riches en nickel, nous trouvons, au contraire, un métal doux et non magnétique, c'est que nous sommes à une température supérieure à celle où la transformation allotropique du fer par refroidissement peut s'opérer; dans ce cas, nous avons devant nous le fer γ , et non plus le fer α .

A chaque teneur de l'alliage correspondent deux températures de transformations allotropiques irréversibles du fer, l'une plus haute au chauffage, l'autre plus basse au refroidissement. Entre ces deux températures, il est possible d'obtenir par suite le métal sous ses deux types opposés, magnétique et non magnétique avec toute la différence qui en résulte dans les propriétés mécaniques correspondantes. Pour les teneurs voisines de 25 p. 100, ces deux températures limites encadrent généralement la température ordinaire, et il devient particulièrement facile d'étudier dans ce cas les variations de propriétés déterminées par ces modifications allotropiques.

On constate alors d'autant mieux que ce retard de transformation, cette hystérèse qui constitue l'irréversibilité, tient à un état essentiellement instable du fer qui, sous l'action d'un traitement physique approprié

comme la trempe, l'écrouissage et même le recuit, peut revenir à l'état α .

Telle nous apparaît une dissolution sursaturée qui, elle aussi, est en équilibre instable et peut donner immédiatement un précipité cristallisé sous une action insignifiante en apparence.

M. Dumas a élucidé cette question en recourant notamment à l'emploi des températures extrêmement basses, et il est descendu ainsi jusqu'à 188° au-dessous de zéro en utilisant l'air liquide.

D'autre part, il a opéré non seulement sur les alliages binaires du fer et du nickel, mais en même temps sur des alliages plus complexes tenant d'autres éléments, comme le carbone, le manganèse ou le chrome.

Il a mis en évidence l'influence de chacun d'eux par de nombreuses constatations, et il a montré par exemple que le carbone associé au chrome abaisse le point de transformation irréversible au refroidissement d'une façon beaucoup plus marquée que ne le fait le manganèse lui-même, plus actif que le nickel.

Les recherches effectuées par M. Dumas présentent ainsi, comme on voit, un intérêt théorique des plus marqués ; mais en même temps elles ont un intérêt pratique qui n'est pas moindre, elles permettront en effet d'orienter les recherches qu'appelle ce domaine nouveau ouvert à la métallurgie par l'emploi des aciers contenant le fer non magnétique, et elles conduisent en outre à élargir l'ancien domaine des aciers durs magnétiques par l'emploi de nouvelles combinaisons des éléments durcissants.

Aussi, votre Comité de Chimie vous propose-t-il de remercier M. Dumas de son intéressante communication et de décider l'insertion du présent rapport au *Bulletin*.

Signé : L. BACLÉ, rapporteur.

Lu et approuvé en séance, le 13 février 1903.

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT fait par **M. Barbet**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*, sur les expériences de **M. Canovetti**, relatives à la résistance opposée par l'air aux corps en mouvement.

M. Canovetti a présenté en 1899, à la Société d'Encouragement, un premier mémoire décrivant des expériences qu'il avait faites à Brescia, en vue de déterminer la résistance opposée par l'air à l'avancement des surfaces.

L'auteur admet comme ses prédécesseurs que la résistance R , opposée par l'air au mouvement d'une surface, est proportionnelle à l'aire S de cette surface et au carré V^2 de sa vitesse d'avancement. Ses expériences ont pour but de déterminer, dans diverses hypothèses, la valeur du coefficient K de proportionnalité.

Ces essais ont été faits en attachant les surfaces sur un chariot très léger descendant librement sur un chemin de roulement incliné (1). Ce chemin était formé par un fil de cuivre de 380 mètres de longueur tendu entre le sommet des fortifications de Brescia et un point placé dans la plaine à 70 mètres environ au-dessous. Le chariot se composait d'un léger châssis porté par deux roues à gorge en aluminium, pourvues de roulements à billes, et lesté par des contrepoids ramenant le centre de gravité au-dessous du chemin de roulement. La figure 1 est un croquis du chariot au moment d'une expérience faite sur une surface circulaire formée d'une toile tendue sur un châssis léger.

Ainsi que nous l'avions dit dans notre précédent rapport, si le chariot et sa surface d'essai n'éprouvaient aucune résistance, leur vitesse à un moment donné résulterait seulement de la hauteur de chute. En réalité, la vitesse observée est plus petite ; le frottement de roulement du chariot, la résistance opposée par l'air au mouvement de ce chariot, et de la surface

(1) Voir le *Bulletin* de juillet 1899, page 946.

d'essai sont des forces qui s'opposent à l'action de la pesanteur et qui, à un moment donné, arrivent à l'égaliser, puisqu'elles croissent avec la vitesse. — A ce moment, le chariot prend un mouvement uniforme ; le total des résistances mentionnées est égal à la composante (suivant le sens du mouvement), du poids du chariot et de la surface expérimentée. Un essai préliminaire, avec le chariot seul, permet de déterminer ce qui appartient au chariot dans le total des résistances, et on obtient par différence ce qui revient à la surface d'essai.

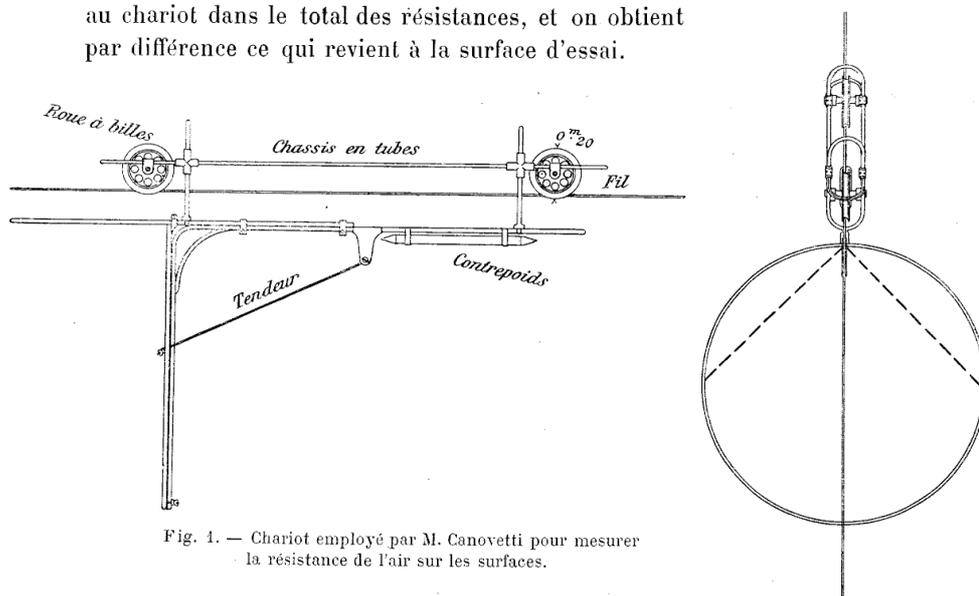


Fig. 1. — Chariot employé par M. Canovetti pour mesurer la résistance de l'air sur les surfaces.

Les surfaces essayées en 1899 étaient planes, d'autres munies de proues ou de poupes ou encore affectaient la forme d'un ballon. La Société fit quelques observations sur le mode d'interprétation des résultats des expériences ; mais, néanmoins, jugeant le travail intéressant, elle décida l'insertion dans le *Bulletin* du mémoire de M. Canovetti et accorda une médaille d'or à l'auteur.

En 1900, M. Canovetti a envoyé à la Société deux nouveaux mémoires décrivant de nouvelles expériences faites à Brescia. Nous allons résumer ces deux mémoires :

Le premier de ces nouveaux mémoires s'applique, comme celui qui a été déjà décrit, à la recherche de la résistance opposée par l'air à l'avancement des surfaces, et la disposition des nouvelles expériences est celle que nous

avons vue précédemment. L'auteur reconnaît le bien fondé des observations de la Société sur les méthodes de calcul, et donne de nouveaux tableaux corrigés des résultats de ses premières expériences. Il joint à ces tableaux une nouvelle série des résultats obtenus dans des expériences sur des cercles de grandes surfaces. Voici quelques résultats curieux extraits des tableaux rectifiés présentés par M. Canovetti dans ce mémoire.

Un cercle de $0^{\text{m}^2},073$ de surface s'avancant avec une vitesse de 12 mètres environ, éprouve, de la part de l'air, une résistance qui ramenée à l'unité de surface et à l'unité de vitesse a pour valeur :

$$K = 84 \text{ grammes (1).}$$

Le même cercle, s'il est précédé à l'avant d'une calotte sphérique éprouve la résistance de

$$K = 21 \text{ grammes.}$$

Enfin, si en plus de la calotte qui le précède à l'avant, le cercle est suivi à l'arrière d'un cône droit qui porte la longueur du solide en mouvement à cinq fois le diamètre du cercle, on a :

$$K = 13 \text{ grammes.}$$

C'est-à-dire à peu près le septième de la résistance opposée au cercle simple.

Si on retourne ce dernier solide et si on le fait avancer la pointe du cône en avant, on a

$$K = 18 \text{ grammes.}$$

La résistance est donc plus grande que quand la partie sphérique était en avant.

M. Canovetti a également reconnu que quand la vitesse d'avancement augmente, la valeur de la résistance de l'air, ramenée à l'unité de surface et à l'unité de vitesse, diminue légèrement :

Ainsi, pour un cercle de $0^{\text{m}^2},80$ de surface, s'avancant à une vitesse de

(1) Rappelons que cette valeur de K avait été trouvée de 100 grammes par Morin; de 116 grammes par Thibaut, de 96 grammes par Borda; de 70 grammes par MM. Cailletet et Colardeau; de 90 grammes par Langley; de 81 grammes par l'abbé Le Dantec, de 80 grammes par le colonel Renard. Comme K n'est pas absolument une constante mais varie légèrement avec la forme et l'étendue de la surface expérimentée et aussi avec la vitesse du mouvement, ces écarts dans les résultats ne doivent pas surprendre, puisque toutes ces expériences ont été faites dans des conditions différentes.

4 mètres par seconde, cette résistance est de 88 grammes; si la vitesse est portée à 7 mètres, la résistance tombe à 71 grammes (1).

Le second des nouveaux mémoires présentés en 1900 par M. Canovetti

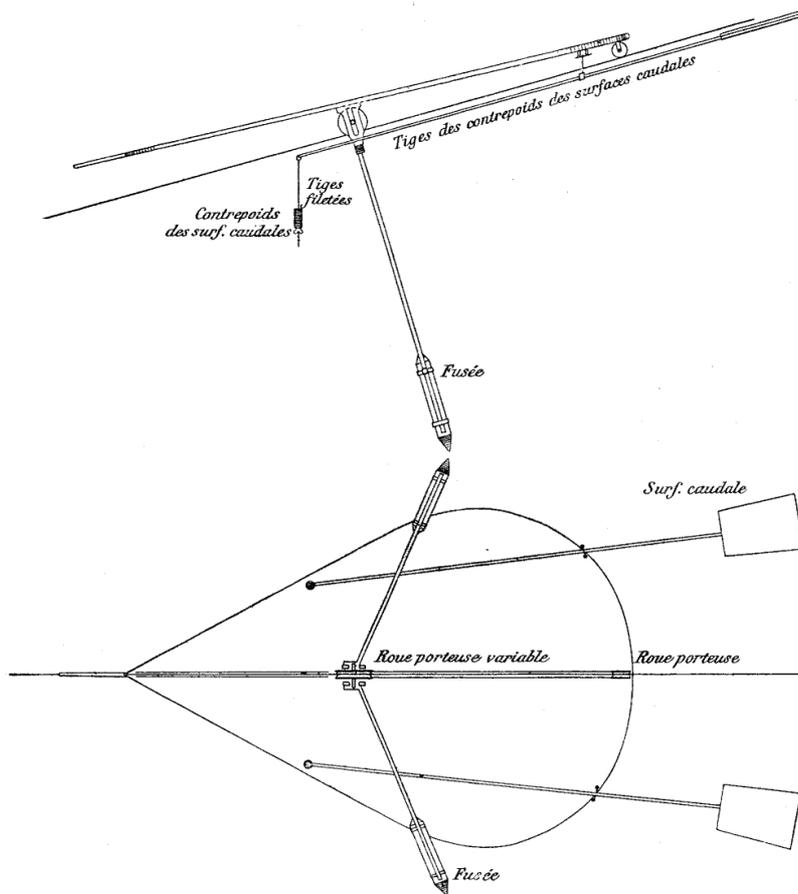


Fig. 2.

se rapporte à l'aviation. L'auteur a cherché à étudier l'avancement dans l'air d'un aéroplane. A cet effet (voir fig. 2), il s'est servi du chariot et du

(1) M. Langley avait déjà reconnu que la valeur de K n'était pas une constante pour tous les plans de formes semblables et que cette résistance augmentait légèrement avec la surface du plan, ce qu'il attribuait à la raréfaction plus grande de l'air derrière les plans

chemin de roulement en fil de cuivre précédemment décrits; sur le petit chariot à deux roues, il a fixé une sorte de cerf-volant faisant avec la direction du mouvement, un angle pouvant à volonté varier de 1 à 5 degrés. Pour obtenir cette variation, l'axe de la roue avant du chariot était pris dans une rainure ménagée dans le châssis de façon à lui donner l'inclinaison désirée; la stabilité était obtenue à l'aide de contrepoids ou fusées et aussi dans plusieurs expériences à l'aide de surfaces caudales équilibrées par des

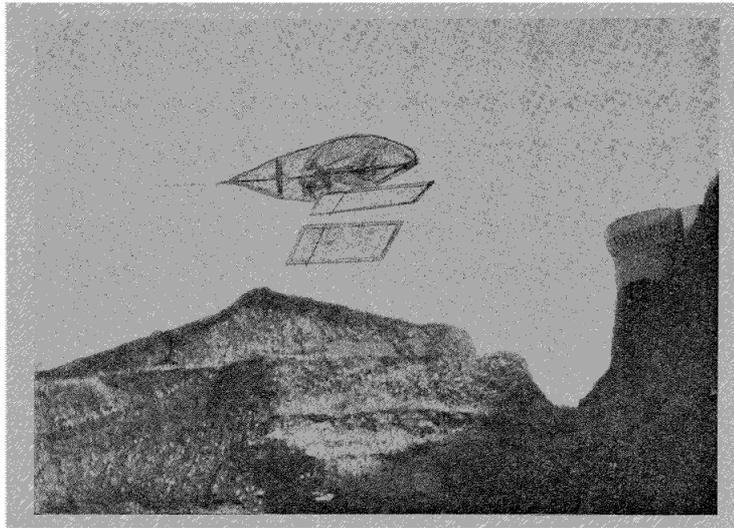


Fig. 3. — Expériences avec un aéroplane de $2\text{m}^2,33$ pesant 6 kilos avec lest.

contrepoids et venant d'elles-mêmes se placer dans le sens du mouvement.

M. Canovetti a fait rouler successivement, sur des fils d'essai, le chariot seul, puis le chariot portant l'aéroplane posé parallèlement au fil, et enfin le chariot avec l'aéroplane faisant avec le fil un angle déterminé. Ainsi, il a pu, à l'aide de calculs, déterminer par différence la résistance opposée par l'air sur la surface de l'aéroplane en éliminant les frottements provenant du roulement du chariot et de la pression de l'air contre la tranche de l'aéroplane.

de grande dimension et aussi à la plus grande course que l'air doit effectuer pour gagner les bords de la surface. Pour des plans ayant les surfaces $0\text{m},929$, $0\text{m},0413$, $0\text{m},0232$ M. Langley a trouvé pour K les valeurs décroissantes 94 gr. 83 gr. et 77 gr. M. Langley avait également reconnu la diminution légère de K quand la vitesse croît.

Dans certaines conditions relatives d'inclinaison de l'aéroplane, de vitesse et de poids en mouvement, l'ensemble de l'appareil se soulevait en se détachant du fil formant chemin de roulement; pendant un instant infiniment court l'aéroplane semblait continuer sa route sans poser sur le fil, puis culbutait aussitôt et tombait.

Le tableau suivant est extrait du rapport de M. Canovetti et relate une série d'expériences où le soulèvement de l'aéroplane a été obtenu. Ainsi nous voyons, expériences n° 1, qu'un aéroplane ayant la forme dont la photographie (fig. 3) donne l'idée mesurant 1^m²,10 de surface, pesant 6 kilogrammes avec son chariot, se soulève quand sa vitesse atteint 14 mètres par seconde et quand son inclinaison sur la direction du mouvement est de 2° 50 minutes.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	FORME DE L'AÉROPLANE.	FORME DE l'aéroplane.	SURFACE		INCLINAISON & DE L'AÉROPLANE sur la direction du mouvement.	POIDS P EN KIL.	ESPACE PARCOURU avant le soulèvement.	TEMPS EN secondes.	VITESSE FINALE
			TOTALE.	PORTANTE S.					
1	court	simple. . . .	1,40	1,10	2° 50'	6 km,	36 » m.	5''	14,40
2	long	avec queues. .	1,40	»	2°	5,725	24,30	3''	17,00
3	»	»	1,40	»	2°	6,725	44 »	4''	22,00
4	»	sans queues. .	1,10	»	1° 30'	5,590	44 »	4''	22,00
5	»	avec queues. .	1,40	»	1° 30'	6,460	52,87	4'',5	23,50
6	»	»	1,40	»	1° 20'	6,460	62,50	5''	25
7	»	»	1,40	»	1°	5,725	86,80	6'',2	28

La force qui pousse l'aéroplane en avant ou la composante du poids du système est appliquée au centre de gravité de ce système, la résistance à ce mouvement est appliquée au centre de pression de l'aéroplane et sa position varie avec la vitesse, se rapprochant de l'arête supérieure quand la vitesse augmente. Le système est donc soumis à un couple qui le fait culbuter dès qu'il a quitté le fil.

A la suite de ces expériences l'auteur émet une théorie d'où il tire les conclusions suivantes :

Un aéroplane de 200 mètres carrés de surface, pesant 1 000 kilogrammes nécessiterait, à la vitesse de 16 mètres par seconde, une force de 100 che-

vaux pour l'entretien de cette vitesse. Comme un tel moteur, ses supports et l'aéroplane lui-même dépasseraient, comme poids, les 1 000 kilogrammes disponibles, l'auteur en conclut que le problème est impossible, et, qu'en tous cas, le serait-il, il faudrait, pour pousser dans l'air un aéroplane, plus de force que pour traîner sur une route une automobile de même poids.

Nous citons simplement les conclusions de M. Canovetti, sans toutefois nous y associer. Nous ne retenons des travaux soumis à la Société que les

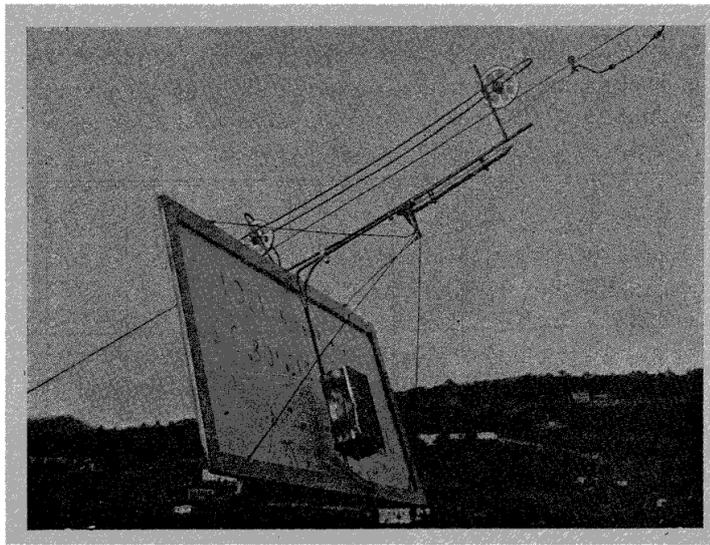


Fig. 4.

résultats des expériences ayant pour but de déterminer les coefficients se rapportant à la résistance opposée par l'air au mouvement des surfaces.

A la suite de la production des deux mémoires qui viennent d'être analysés, la Société d'Encouragement a accordé à M. Canovetti une subvention de 1 000 francs, pour la continuation de ses essais. Avec cette subvention, et une à peu près égale donnée par l'Institut Smithsonian de Washington, dont M. Langley est le secrétaire, de nouvelles expériences furent entreprises. M. Canovetti envoya à la Société d'Encouragement des photographies relatives à ces nouveaux travaux, en janvier 1902 et des tableaux

de calculs et de résultats, en juillet de la même année ; cette quatrième série d'essais a porté :

- 1° Sur des surfaces planes de grande étendue, cercles et rectangles (fig. 4) ;
- 2° Sur des surfaces perforées, lisses ou rugueuses ;
- 3° Sur des dièdres s'avancant l'arête de l'angle en avant (fig. 5) ;

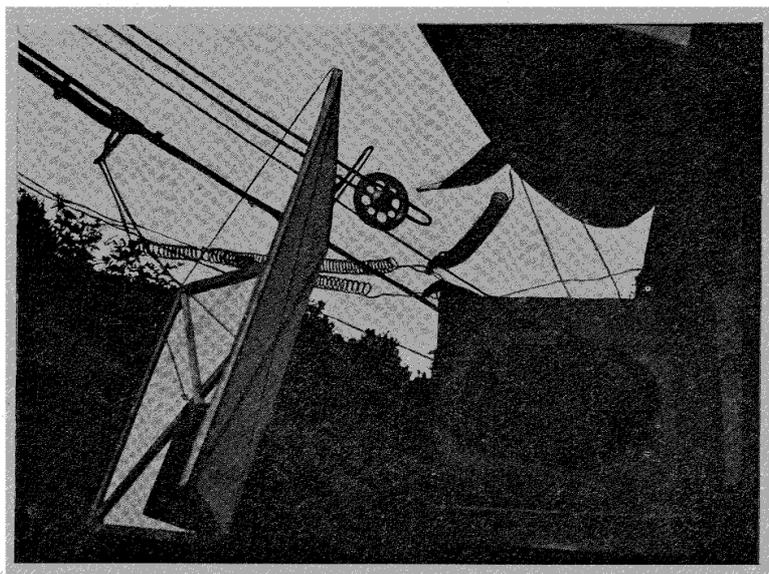


Fig. 5.

- 4° Sur deux cercles se suivant à distances variables (fig. 6 et 7).

La disposition des expériences est toujours la même.

Les premiers essais, sur de grandes surfaces atteignant jusqu'à 2 mètres carrés, ont confirmé la règle de la décroissance de la valeur de K avec l'augmentation de la vitesse ; ils ont également amené à reconnaître qu'un rectangle, se déplaçant le grand côté horizontal, éprouve de la part de l'air, une résistance sensiblement plus grande que quand le petit côté est horizontal. Les longues ailes des oiseaux de mer sont donc ainsi disposées pour prendre sur l'air le plus grand appui (1). Voici du reste quelques valeurs de K trouvées par M. Canovetti :

(1) Résultat déjà trouvé par M. Langley (expériences d'aéro-dynamique, 1891).

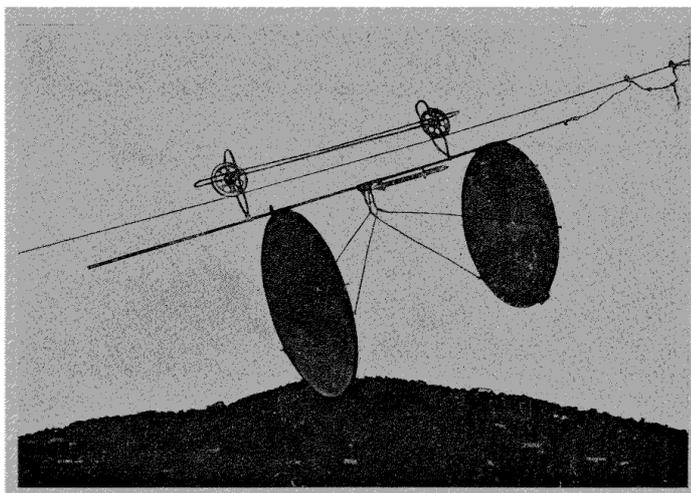


Fig. 6.

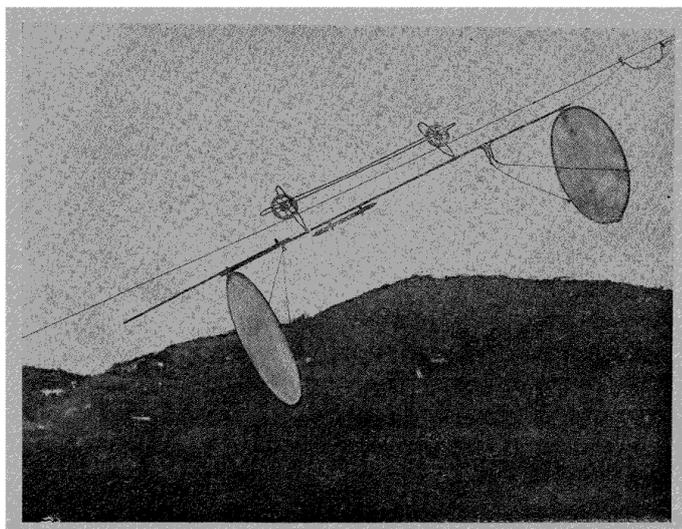


Fig. 7.

Pour un rectangle de $1^m2,85$ de surface ($1,85 \times 1,00$) s'avancat à des vitesses variables, on a :

$$\begin{aligned} K &= 0^k,090 \text{ pour } v = 5^m,60 \\ K &= 0^k,084 \text{ — } v = 7^m,10 \end{aligned}$$

Pour un rectangle de $0,79$ de surface ($0,79 \times 1,00$) s'avancat à une vitesse d'environ 9 mètres, une première fois le grand côté horizontal, une seconde fois le petit côté horizontal.

$$\begin{aligned} K &= 0,063 \text{ avec le petit côté horizontal.} \\ K &= 0,070 \text{ avec le grand côté horizontal.} \end{aligned}$$

Les essais ont porté également sur des cercles de surface unie ou gaufrée. Le gaufrage a été placé horizontal, incliné ou vertical et ces diverses expériences faites sur un cercle de $0^m2,79$ de surface, avançant à une vitesse d'environ 8 mètres ont donné les résultats suivants :

$$\begin{aligned} K &= 0,066 \text{ avec surface unie.} \\ K &= 0,077 \text{ avec surface gaufrée verticalement.} \\ K &= 0,094 \text{ avec surface gaufrée à } 45^\circ. \\ K &= 0,105 \text{ avec surface gaufrée horizontalement.} \end{aligned}$$

Les essais sur des rectangles de $0^m2,79$ de surface, unis ou perforés, ayant leur grand côté horizontal et s'avancat avec une vitesse de 10 mètres environ par seconde ont donné les résultats suivants :

$$\begin{aligned} K &= 0,070 \text{ avec surface unie.} \\ K &= 0,033 \text{ avec surface perforée de 3000 trous.} \\ K &= 0,063 \text{ avec surface perforée de 106 —} \\ K &= 0,038 \text{ avec toile métallique.} \end{aligned}$$

Les essais sur des surfaces angulaires s'avancat l'arête de l'angle en avant, ont amené M. Canovetti à conclure que les variations de la valeur de K ne suivaient pas la loi du sinus carré, généralement admise.

Les résultats des essais ont été simplement réunis par une courbe (fig. 8) ayant pour abscisses la valeur du sinus de l'angle de chaque surface avec la direction du mouvement, c'est-à-dire la moitié de l'angle du dièdre, et pour ordonnée les valeurs correspondantes de K . Pour les très petits angles

(1) M. Langley a fait des expériences sur une surface carrée de côté a et d'inclinaison α qu'il faisait avancer, un côté horizontal. Les résultats de ces expériences ont été étudiés par M. Loreau qui a trouvé qu'ils rentraient assez bien dans la formule

$$x = \frac{a}{4(1 + 2 \lg \alpha)}$$

x étant la distance du centre de pression au centre du carré.

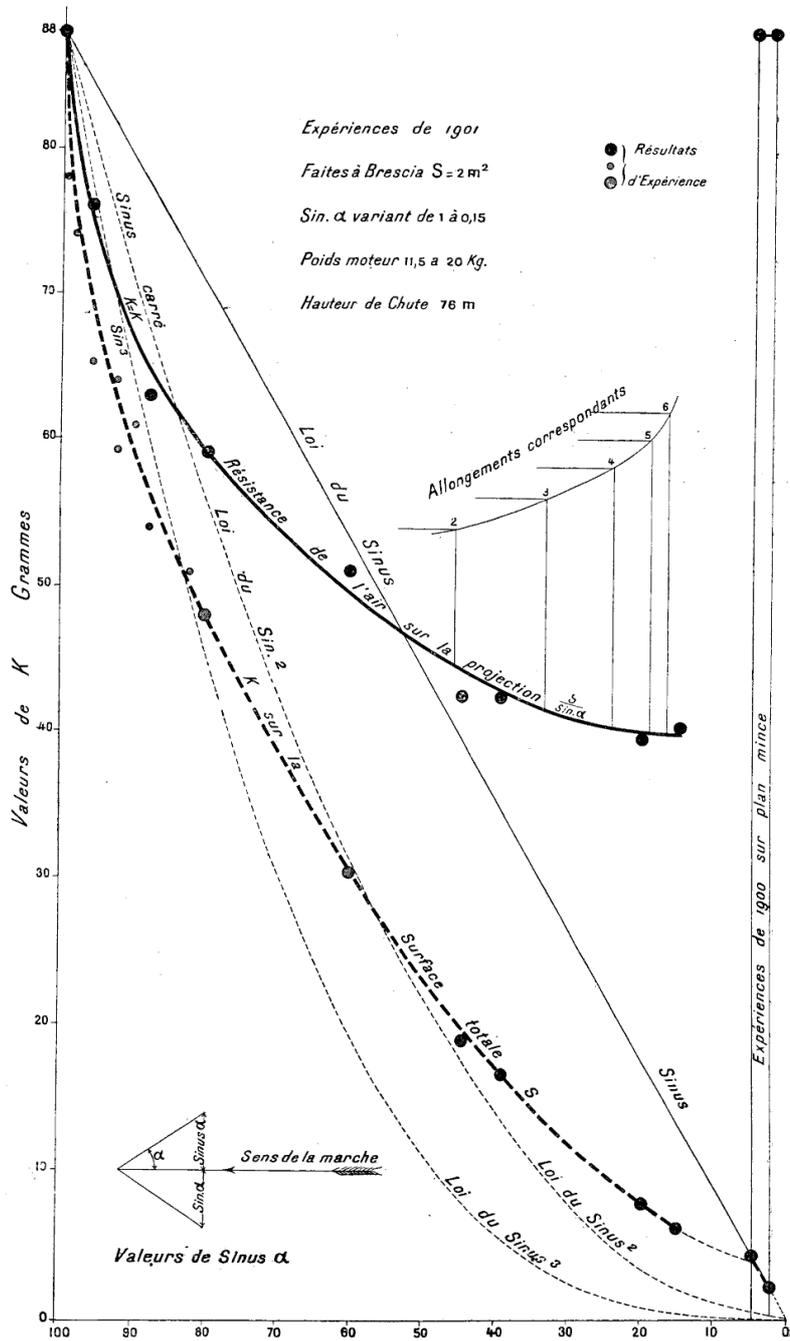


Fig. 8. — Graphique des valeurs de K.

suivant lesquels les aéroplanes attaquent généralement le vent, les résistances paraissent varier à peu près proportionnellement aux angles, mais

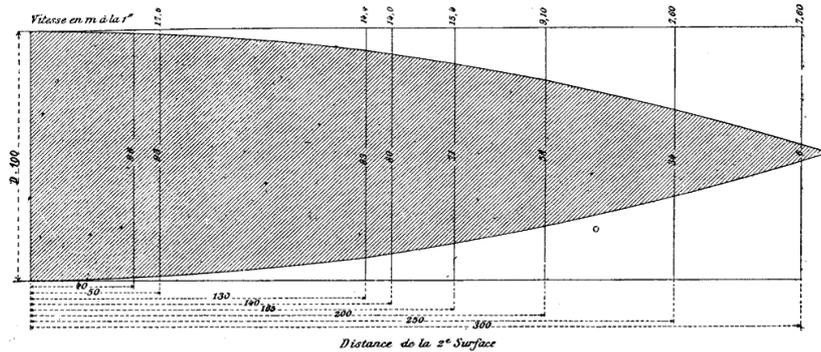


Fig. 9. — Cône de projection laissé derrière un cercle de 1 mètre de diamètre sur un cercle semblable à la distance de 0 à 3 D.

dès qu'on s'éloigne de ces angles de plus de 3 ou 4 degrés, la loi de la variation de la résistance est tout à fait différente (1).

(1) M. Langley a fait également de nombreuses expériences sur les plans inclinés et a reconnu que la variation de la résistance ne suivait pas la loi du sinus carré ni celle du sinus simple.

M. Soreau dans un mémoire publié en octobre 1902 par la Société des Ingénieurs civils a cherché à réunir dans une seule formule les résultats trouvés par M. Langley et a proposé pour K' la valeur suivante en fonction de l'inclinaison α .

$$K' = K \sin \alpha \left[1 + \frac{1 - m \operatorname{tg} \alpha}{\left(\frac{1}{1+m}\right)^2 + \frac{2m \operatorname{tg} \alpha}{1+m} + 2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \right]$$

dans laquelle K est la résistance opposée au plan s'avancant normalement et

$$m = \frac{l-h}{l+h}$$

l étant le côté horizontal du rectangle expérimenté et h le côté vertical ou plutôt incliné. Pour le carré m devient nul et on a

$$K' = K \sin \alpha \left(1 + \frac{1}{1 + 2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \right).$$

Formule autrefois proposée par M. le colonel Duchemin. Remarquons que si α est très petit $\operatorname{tg}^2 \alpha$ est négligeable par rapport à l'unité et la formule précédente devient

$$K' = K \sin \alpha.$$

C'est-à-dire que la résistance opposée par l'air à un plan faiblement incliné sur le sens du mouvement est égale à celle que recevrait une surface égale à la projection de ce plan sur la normale à la direction du mouvement.

Enfin M. Canovetti fait mouvoir l'ensemble de deux cercles égaux placés l'un derrière l'autre. La résistance opposée par l'air à l'avancement de l'ensemble de ces deux cercles s'écarte peu de celle que reçoit la surface unique, tant que l'écartement des surfaces ne dépasse pas le diamètre des cercles, l'effet (fig. 9) de protection d'un entraîneur dans les courses de bicyclistes. Ainsi pour le cercle seul on a :

$$K = 0,063.$$

pour deux cercles identiques écartés successivement de

$$0,50 D \quad 1,30 D \quad 1,65 D \quad 2,00 D$$

on a :

$$K = 0,073 \quad K = 0,082 \quad K = 0,0945 \quad K = 0,117$$

M. Canovetti a réuni ces résultats sur la figure 10, où la partie hachurée indique le cône que le premier cercle protège contre la résistance de l'air.

A la suite de l'envoi des photographies relatives à cette quatrième série d'expériences, la Société d'Encouragement a accordé à M. Canovetti un encouragement de 1000 francs à prendre sur le prix proposé pour une étude des coefficients nécessaires au calcul mécanique d'une machine aérienne.

Après réception des tableaux des résultats relatifs à cette quatrième série d'expériences, votre Comité de Mécanique vous propose :

1° De remercier et de féliciter M. Canovetti pour le soin et l'énergie qu'il a apportés dans ses difficiles recherches;

2° D'insérer dans le *Bulletin* le présent rapport avec les figures qui y sont jointes;

3° De publier dans le *Bulletin* le préambule du premier mémoire analysé dans ce rapport avec les tableaux qui y sont joints et qui sont relatifs à la résistance de l'air;

4° De publier également, dans le *Bulletin*, les tableaux de la quatrième série d'expériences également relatifs à la résistance de l'air.

Signé : A. BARBET, rapporteur.

Lu et approuvé en séance, le 13 février 1903.

ÉTUDE DES COEFFICIENTS NÉCESSAIRES AU CALCUL
MÉCANIQUE D'UNE MACHINE AÉRIENNE (1)

Dans le travail présenté à la fin de 1898 à la *Société d'Encouragement à Paris* et à l'*Académie des Lincei à Rome*, et ayant obtenu un prix de ces deux Sociétés, nous avons divisé l'espace parcouru par le temps employé à le parcourir.

En opérant ainsi, nous commettions une erreur que M. Barbet a relevée avec raison. Les autres observations ne sont pas aussi justes; en effet, les flèches étaient observées chaque fois et mesurées sur le mat peint en blanc et en rouge de mètre en mètre. Tant que le poids ne dépassait pas 2 500 grammes, avec des vitesses modérées, la flèche restait d'un mètre. Les flèches supérieures avaient été introduites dans les calculs. Cette fois nous les tenons séparées pour les mettre en évidence.

Mais nous avons agrandi les expériences, pour que l'erreur d'observation soit sans importance sur les résultats, et nous avons déjà dit que nous avons renouvelé un très grand nombre de fois chaque expérience. Les expériences de cette année ont été faites sur le fil de retour, long de 127 mètres, et rachetant 63^m,20 de différence de niveau.

Ce fil, fortement en pente à la partie supérieure, avait en bas une partie presque droite et était abrité contre le vent par le chateau fort, ainsi que par la tranchée que nous sommes en train d'exécuter pour placer le réservoir de la Ville. Cette tranchée de 30 mètres de profondeur, ne laisse exposé au vent qu'un tiers environ de la longueur du fil. Sur ce chemin raide et court, nous pouvions nous servir d'un chariot de retour attaché à une grosse ficelle.

Celle-ci formait une chaînette plus prononcée que celle du fil, et si le moindre vent soufflait, le plan de celle-ci se déplaçait, et ne coïncidait plus avec celui de la chaînette du fil métallique plus lourd; le déplacement relatif indiquait l'influence du vent. Or, nous ne faisons les expériences que si les deux chaînettes étaient absolument dans le même plan.

Signé : CANOVETTI.

(1) Suite au mémoire de M. Canovetti publié dans le *Bulletin* de juillet 1899, pages 1038 et suivantes.

EXPÉRIENCES POUR DÉTERMINER LA CONSTANCE ET LA VALEUR DU FROTTEMENT
DU CHARIOT SEUL A ROUES DE 0^m,20

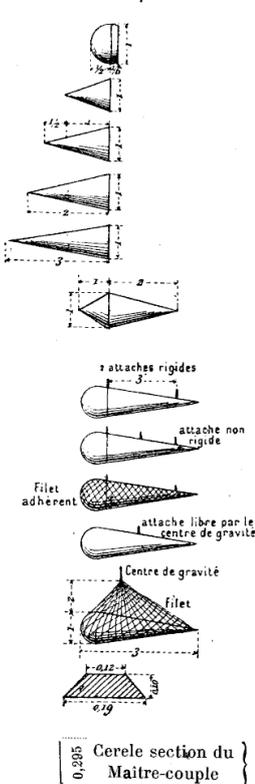
Tableau N° 1.

DATE.	PRESSIION.	TEMPÉRATURE.	HEURE.	LONGUEUR UTILE.	DIFFÉRENCE DE NIVEAU.	POIDS MOTEUR.	TEMPS EMPLOYÉ EN 1/5 DE SECONDE.	VITESSE FINALE.	VALEUR DE α EN PALIER.	OBSERVATIONS.
20 VI	731	20	10	37	7,88	5320	41, 40, 42, 41	13,92	»	La pente n'est pas assez forte.
21 »	»	21	»	»	»	6100	40, 44, 43, 43	13,25	»	Le chariot ondoie.
25 »	792	32	4	40	12,01	6100	29, 29	13,78	»	La pente est insuffisante pour accélérer uniformément la vitesse.
» »	»	»	4 1/2	»	»	6320	29, 29	»	»	»
22 VII	»	—	—	55,60	24,28	6500	26	21,38	0,0015	Avant toute expérience.
22 X	—	24	4 1/2	55,20	24	7000	26	21,32	0,0015	D'après les expériences.
» »	—	23	5 1/2	»	»	7300	26	»	0,00165	»
» »	»	—	—	170	76	7300	46	37	0,00165	Fortes vibrations dans le fil.

La valeur de α en palier est donc de 0,0015
 Celle sur la ligne d'expérience, en tenant compte de la réduction due à la pente de 76/170 m. 0,00134
 Pour l'expérience à 3/4 mètres de vitesse la valeur admise est celle de 0,00165

INFLUENCE DES PROUES ET DES POUPES MESURÉE PAR LE TEMPS
EMPLOYÉ A PARCOURIR 280 MÈTRES

Tableau N° 2.

FORME DU MOBILE		MARCHANT		POIDS MOTEUR en grammes.	VALEUR DE K.	OBSERVATIONS.
AVANT.	ARRIÈRE.	A L'AVANT.	A L'ARRIÈRE.			
		Temps <i>t</i> en cinquièmes de seconde.		2 500	0,0269	Le temps étant très peu différent, toutes ces formes se valent.
		100	»	»	»	»
		103	143	»	»	»
		98	139	»	»	Allongement qui a donné la moindre résistance.
		102	»	»	»	»
		101	»	»	»	»
		99	97	»	»	»
		80	»	3 260	0,0445	»
		85	»	»	0,020	»
		85	»	3 520	»	»
123	127	3 260	0,022-0,024	A Chalais, on avait eu 0,0215.		
134	»	3 775	0,074	La résistance supérieure est due au filet.		
89	»	3 200	0,040	On a cherché la surface plane équivalente en temps employé et elle est résultée comprise entre 1/4 et 1/5.		
150	»	2 590	0,083	»		

Nota. — Les tableaux 1, 2, 3, 4 et 5 sont ceux qui ont été publiés dans le numéro de juillet 1899 pages 1050 et suivantes. Les chiffres en caractères gras sont les résultats des expériences rectifiés d'après les calculs refaits par M. Canovetti. En comparant ces résultats aux anciens, on voit que les corrections ont relevé légèrement les valeurs de K.

Expériences sur les surfaces.

CALCUL DU COEFFICIENT K
Expériences nouvelles

FIGURE DU MOBILE	SURFACES S en mètre carré.	POIDS P en grammes.	LONGUEUR l en mètres.	TEMPS EMPLOYÉ en cinquantes de seconde. t	VITESSE V en mètres par seconde. $\frac{5l}{t}$	HAUTEUR DE CENTRE effectivement disponible h en mètres. 70,50 + 1 ^e décim. Hauteur totale.
	0,181	1800	280	280	o 5,20	66,50
	"	2060	"	268	z 5,40	66,20
	"	2370	"	238	y 5,60	65,95
	"	2380	"	245	x 6,00	65,70
	"	2850	"	235	v 6,20	65,40
	"	3040	"	225	u 6,50	65,00
	0,0684	1430	"	195	l 7,50	63,50
	"	1710	"	186	p 7,80	62,70
	"	1990	"	171	q 8,60	61,80
	"	2590	"	130	p 9,90	59,40
	0,0467	2300	"	138	n 10,75	57,90
	0,0240	"	"	115	j 13,35	52,50
	0,0133	"	"	98	h 17,50	44,40
	0,12	"	"	191	s 7,70	63,40

PAR LA FORMULE $K = \frac{P \cdot h}{S \cdot V^2 \left(1 - \frac{h}{2}\right)}$
Valeurs en 1899.

(Les lettres correspondent à celles du graphique).

Tableau N° 3.

TRAVAIL absorbé par la résistance de l'air $\frac{P \cdot h}{S \cdot V}$	$S \left(1 - \frac{h}{2}\right)$	RÉSISTANCE DE L'AIR au m ² $\frac{P \cdot h}{S \cdot V}$	V ²	VALEUR DE K $K = \frac{P \cdot h}{S \cdot V^2}$	OBSERVATIONS.
416,70	47,45	2,52	27,04	0,093	Nous avons opéré avec le cercle et avec le rectangle sans différences sensibles, mais à l'avantage du cercle. Les modifications ont diminué les différences.
436,37	47,25	2,88	29,16	0,098	
456,30	"	3,33	31,36	0,100	En moyenne 0,10.
469,40	"	3,64	36,00	0,101	
485,94	46,00	4,04	38,44	0,104	Section du maître-couple de tous nos essais. Les valeurs vont en diminuant avec la vitesse.
497,60	45,5	4,34	42,25	0,102	
82,07	18,95	4,33	56,25	0,077	En moyenne, 0,10.
407,24	18,92	5,86	61,78	0,090	
422,98	18,85	6,52	73,96	0,088	K va en diminuant avec la surface.
453,84	18,76	8,20	89,00	0,083	
444,75	12,70	41,39	115,54	0,099	En moyenne, 0,10.
444,25	7,48	18,53	178,10	0,194	
441,00	4,92	27,86	306,20	0,091	Pour avoir la même vitesse, il a fallu employer une surface de 0,133, soit augmentant de 33% que la surface employée, qui offre une résistance sensée de 1/10.
457,75	33,42	4,76	53,73	0,0886	

Expériences sur les solides.

RECHERCHES SUR LA DÉTERMINATION DU COEFFICIENT K

RÉSISTANCE DE L'AIR PAR LA FORMULE $S V^2 \left(1 - \frac{1}{2} C\right)$

Tableau N° 4. (Les lettres correspondent à celles des graphiques.)

FIGURE DU MOBILE.	SURFACE S en mètre carré.	POIDS P en grammes.	LONGUEUR l en mètres.	TEMPS EMPLOYÉ en cinquièmes de seconde t	VITESSE V EN MÈTRES par seconde $\frac{V}{t}$	Hauteur de chute effectivement disponible h en mètres.	TRAVAIL ABSOLU par la résistance de l'air = P h	PRODUIT de la surface par la longueur.	HAUTEUR de chute $\frac{S V^2 \left(1 - \frac{1}{2} C\right)}{P}$ en kilogrammes.	V ₀ .	VALEUR de K $\frac{S V^2 \left(1 - \frac{1}{2} C\right)}{P}$	COEFFICIENT de RÉSISTION.	OBSERVATIONS.
	0,0684	2,500	280	139	0 10,55	58,40	146,00	18,62	7,84	413,4	0,069	3/4 ENVIR.	Les observations ne changent pas et gardent la même valeur. La réduction de ce coefficient montre l'influence de la poupe seule.
	"	"	"	100	1 16,15	47,50	418,75	17,90	6,74	260,8	0,0289	1/2 ENVIR.	La réduction de ce coefficient montre l'influence de la poupe.
	"	"	"	91	0 18,00	44,00	410,00	17,59	6,25	324,0	0,0493	1/3 ENVIR.	La réduction de ce coefficient montre l'influence de la poupe et de la poupe ensemble.
	"	3,575	"	134	m 11,40	57,60	169,87	18,52	4,12	429,96	0,0695	"	La plus grande résistance est due au fil, mais aussi à l'instabilité de la poupe, qui fait varier le moment de la résistance. On a observé des oscillations.
	"	3,500	"	127	11,02	23,00	57,35	"	2,98	121,4	0,024	1/4 ENVIR.	Les expériences de Chalais ont donné 0,0215, et nous trouvons 0,022 à cause de l'instabilité de la poupe, puis, quand celle-ci est assurée, on a les résultats des deux dernières expériences.
	"	3,500	"	123	11,38	22,50	56,35	"	2,92	120,5	0,022	"	Les expériences de Chalais ont donné 0,0215, et nous trouvons 0,022 à cause de l'instabilité de la poupe, puis, quand celle-ci est assurée, on a les résultats des deux dernières expériences.
	0,0684	3,500	"	80	e 18,40	42,70	136,66	9,97	34,42	338,56	0,100	"	Nous avons cherché de réduire la surface équivalente au solide, qui est restée un peu trop grande entre 1/4 et 1/5 de la section du maître-compas. Le rapport V ₀ doit être 1/5, comme le donne le coefficient de l'expérience suivante.
	"	"	"	83	d 19,80	39,20	137,20	17,23	7,96	392,3	0,020	1/5 ENVIR.	1/5 du coefficient de la surface plane, comprise la résistance du fil.
	"	"	"	80	b 22,00	33,70	117,95	16,81	7,04	484,9	0,0445	1/7 ENVIR.	1/7 du coefficient de la surface plane, ce qui montre bien le bénéfice de cette forme.
	"	3,200	"	83	d 19,80	39,20	127,78	17,23	7,41	392,0	0,0188	"	Des légères oscillations ont retardé le mouvement.

CALCUL DU COEFFICIENT K

Expériences nouvelles

FIGURE DU MOBILE.	SURFACE S en mètre carré.	POIDS P en grammes.	LONGUEUR l en mètres.	TEMPS t en centièmes de seconde.	VITESSE V en mètres par seconde $\frac{5l}{t}$.	HAUTEUR h de chute effectivement disponible en mètres 70,50 + 2m. héclo.
	0,073	4,000	Mètres. 280	90	18,30	43,30
	"	"	"	126	12,00	57,00
	"	"	"	139	41,75	57,40
	"	"	"	138	"	"
	"	"	"	75	a 22,96	34,70
	"	"	"	104	"	"
	"	"	"	83	c 21,00	36,70
	"	"	"	85	19,80	39,70
	"	4,000	"	85	d 19,80	39,70
	"	3,000	"	130	"	"
	"	"	"	171	"	"

PAR LA FORMULE $K = \frac{P \cdot h}{S \cdot V^2 \cdot (l - \frac{1}{2})}$

faites en 1899.

Tableau N° 5. (Les lettres correspondent à celles du graphique.)

TRAVAIL ANNONCE par la résistance de l'air $\frac{P \cdot h}{l}$.	PRODUIT DE LA SURFACE par la longueur $S \cdot (l - \frac{1}{2})$.	RÉSISTANCE de l'air au m ² $\frac{P \cdot h}{S \cdot (l - \frac{1}{2})}$ en kilogrammes.	VALEURS de K $\frac{P \cdot h}{S \cdot V^2 \cdot (l - \frac{1}{2})}$.	OBSERVATIONS
413,20	18,9	9,16	334,9	0,0213
228,00	19,74	14,57	144,0	0,080
229,6	19,76	14,61	138,06	0,0841
"	"	"	"	"
126,8	17,74	7,45	527,47	0,0435
"	"	"	"	"
146,8	18,46	8,08	444,0	0,0433
158,8	18,44	8,64	392,04	0,0219
"	"	"	"	"

Les observations ne changent presque pas.
 0,0259 dans les expériences à 2500 grammes.
 Réduction de 0,9 environ sur la surface pleine du moule-compte.
 0,077 à 0,09 dans les précédentes expériences.
 Le solide onduoyait et présentait les flancs.
 Le solide était parfaitement maintenu, il a donné la plus grande réduction, 1/7 environ.
 Les attaches étant rapprochées, le solide onduoyait.
 Le solide était maintenu parfaitement, il a donné une très-importante réduction que le cône 3 et une réduction de 1/9 environ de K.
 Les attaches étant rapprochées, le solide onduoyait.
 Le solide était maintenu parfaitement, il a donné une très-importante réduction que le cône 3 et une réduction de 1/9 environ de K.
 Ici, suspendu par le centre de gravité, marchant droit, il a oscillé pendant 1/2 seconde, et a oscillé à cause de la même période des oscillations.
 Ici, suspendu par le centre de gravité, marchant droit, il a oscillé pendant 1/2 seconde, et a oscillé à cause de la même période des oscillations.
 Ici, suspendu librement, mais le centre de gravité trop près du centre de figure, le solide était instablement guidé.

Expériences sur les surfaces.

Calcul du

Expériences nouvelles

FIGURE DU MOBILE	SURFACES S en mètre carré.	POIDS MOYEN P en grammes.	LONGUEUR D'ESSAI l en mètres.	TEMPS RAPPORTÉS en centièmes de seconde. $T = \frac{t}{5}$	VITESSE EN MÈTRES par seconde.		HAUTEUR DE COURSE de déclinement disponible h en mètres.	FLÈCHES $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$
					$v = \frac{h}{T}$	$V = v + \frac{1}{2}$		
Cercle de 1 ^m .01 de diamètre.	0,80	5 000	280	3,70	3,78	3,81	71,20 soit 280m 63,22 » 418 + f - R	
	»	2 350	118	4,13	4,12	4,16	61,38	0
	»	6 020	280	3,33	4,18	4,22	60,30	3,30
	»	4 040	118	4,00	5,90	6,03	36,94	0
	»	6 040	»	83	7,10	7,35	38,67	0

COEFFICIENT K

faîtes en 1899.

Tableau N° 6-
(Les lettres correspondent à celles du graphique.)

RÉSISTANCE Z	TRAVAIL ANNONCÉ par la résistance de l'air Ph.	PRODUIT DE LA SURFACE par la longueur S (l - l').	RÉSISTANCE DE L'AIR au m ² par S(l - l').	Vv	VALEURS de K $\frac{Ph}{SV(l-l')}$	OBSERVATIONS.
3,40	346,5	216,20	1,90	14,52	0,088	Les expériences faites à vitesses plus réduites sur le fil long ont donné des résultats irréguliers et des valeurs de K excessives.
1,84	144,25	93,92	4,53	17,3	0,088	
3,80	419,00	223,04	4,25	17,8	0,070	
3,31	242,00	93,36	2,59	36,36	0,071	
4,55	354,30	92,80	3,82	54,02	0,0707	

CALCUL DU COEFFICIENT K
 Par la formule $K = \frac{PH}{S^2(V-t)^2}$ ou H est la hauteur de chute

DATE.	HEURE.	PRESSION.	TEMPÉRATURE.	POIDS utile.	PONDS DE LA SURFACE.	TEMPS en 1/5 de seconde.	LONGUEUR L.	$\frac{S}{F}$	$\frac{P}{V}$	$\frac{H}{V}$
5	VI 5 3/4 p.	790	29	12 393		1,35	169,50	0,15	5,48	5,64
"	" 6 1/2	"	27	15 110		1,42	"	0,12	5,98	6,21
"	" 3 1/2	"	30	19 400		1,38	170,00	0,10	6,24	6,47
"	" 6 1/2	791	"	18 000		1,23	169,50	"	6,78	7,09
"	"	"	"	20 000		"	"	"	"	"
"	" 4 1/2	792	31	9 000		1,00	170,00	0,09	8,50	9,06
9	X 6 1/2	786	23	11 000		0,79	"	0,07	9,14	9,95
"	" 7	"	"	"		93	"	"	8,38	9,27
"	" 3	759	25	"		96	"	"	8,85	9,64
"	" 3 1/4	"	"	11 500		93	"	0,068	9,14	10,26
"	" 3 1/2	"	"	"		98	"	"	8,67	9,44
"	" 4 1/4	"	"	"		123	169,50	0,14	6,78	7,05
"	" 7	"	22	17 000		138	"	0,15	6,14	6,38
"	" 3	"	29	15 000		163	"	0,16	5,20	5,35
"	" 2 1/4	"	"	13 300		"	"	"	"	"

La valeur de h, somme des résistances, s'obtient par le graphique (p. 176) où sont marquées les

- 1° La hauteur absorbée par la vitesse
- 2° La hauteur absorbée par la résistance de l'air sur la surface S, sur la longueur l à la vitesse
- 3° La hauteur absorbée par le frottement du chariot S sur la longueur l à la vitesse
- 4° La hauteur absorbée par le frottement du chariot S sur la longueur l-t à la vitesse

POUR LES SURFACES PLANES

de $\left\{ \begin{matrix} 75^m & 75 & \text{pour } 169^m.30 \\ 76 & & \text{pour } 170 & \end{matrix} \right\}$ diamètre des résistances.

Tableau N° 7.

t	l-t	A	H	PH	$S^2(V-t)^2$	K	OBSERVATIONS.
3,00	164,50	3,60	72,15	884,4	981	0,090	K va augmentant avec la diminution de la vitesse.
6,30	162,30	4,20	71,35	4 079	1 139	0,092	
6,30	163,70	4,40	71,60	4 227	1 373	0,088	
7,30	162,20	5,10	70,65	1 270	1 599	0,084	Rupture par excès de poids.
—	—	—	—	—	—	—	
11,60	158,40	8,50	67,50	607,5	1 000	0,061	Cercle et rectangle étroit équivalent.
16,10	153,90	10,20	65,30	731,6	1 200	0,060	Résistance supérieure de l'aille longue.
13,80	156,20	8,80	67,20	736,4	1 045	0,070	
15,20	154,80	10,66	65,30	726	1 092	0,066	Cercle et rectangle étroit équivalent.
19,00	151	11,30	64,70	744	1 190	0,063	
15,40	154,60	9,00	67,00	770,5	1 082	0,070	Résistance supérieure de l'aille longue.
6,70	162,80	5,10	70,65	1 130,4	1 656	0,063	
5,60	162,90	5,00	70,75	1 061,3	1 400	0,076	K va augmentant avec la diminution de la vitesse.
5,00	164,50	3,40	72,35	962,2	1 094	0,088	

composés suivants :

$$A = \frac{1}{2} S V^2$$

$$H = \frac{1}{2} \alpha l V^2$$

$$PH = \frac{1}{2} \alpha l^2 V^2$$

Ces trois ordonnées sont égales à l'ordonnée de la chariotée à la distance de l du point de départ.

INFLUENCE DE L'ANGLE FAIT

DATE.	HEURE.	PRESSION.	TEMPÉRATURE.	POIDS UTILE.	FORME de la SURFACE.	TEMPS EN 1/5. DE SECONDE.	LONGUEUR UTILE.	$\frac{S}{P}$	K admise.	"
5 VII 5 1/2 p.	"	750	30	kg: 47,150	m. q. 2,00	136	170	0,10	0,07	6,47
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	6 1/2	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	7	7,48	"	"	"	129	"	"	"	6,60
8 VII 4 1/2 p.	"	"	32	"	"	127	"	"	"	6,68
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	6 1/2	"	31	"	"	135	"	"	"	6,80
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	7 3/4	7,43	285	"	"	133	"	"	"	6,91
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	6 3/4	7,42	"	"	"	127	"	"	"	6,68
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
17 VII 6 1/4	"	7,33	34	14,000	1,76	130	"	0,12	0,06	7,08
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	6 3/4	"	32	"	1,67	116	"	"	"	7,32
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	7	"	31	"	1,65	116	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	7 1/4	"	29	"	1,62	112	"	0,114	"	7,39
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
1 VIII	"	7,47	22	"	1,21	95	"	0,088	0,053	8,94
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
5 IX 12 p.	"	7,50	27	"	0,90	79	170,50	0,064	0,043	10,79
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
17 IX 6 p.	"	7,60	22	"	0,79	75	"	0,057	"	11,36
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
12 X 3	"	"	15	11,700	0,40	64	"	0,034	0,04	13,31
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	6	"	10	11,500	0,30	50	"	0,023	0,04	17,05

EXPERIENCES SUR UN SEUL PLAN GLISSANT

V ⁰	V ¹	J ⁰	H + h	H	P H	S ^{1/2} (L ²)	K sur la PROJECTION.	K sur toute la SURFACE LATÉRALE.	OBSERVATIONS.
"	"	"	76,00	"	"	"	"	"	Ce chiffre a été pris pour unité dans le graphique pour l'étude des variations de K suivant les lois du sinus, du sinus carré et du sinus cube.
6,47	6,30	63,70	4,40	71,60	1227,8	1373	0,088	0,088	
"	7,00	"	"	"	"	"	"	"	
6,37	"	63	4,90	71,10	1219,3	1330	0,079	0,078	
6,97	7,30	63,70	5,00	71	1217,6	1302,3	0,076	0,074	
7,09	7,60	63,40	5,40	70,60	1210,2	1306,0	"	0,070	
7,25	8,30	161,70	"	"	998,4	1338	0,064	0,059	
6,97	7,30	102,70	5	71	967,7	1421,7	0,067	0,061	
7,43	9	161	5,90	69,10	981,4	1371	0,063	0,054	
7,77	10,20	159,80	6,50	69,50	973,0	1409	0,061	0,051	
7,72	9,40	160,00	6,30	69,70	975,0	1373,4	"	0,051	
8,03	10	160	6,70	69,30	970,0	1448	0,0591	0,048	
9,85	17,6	132,10	10,80	63,20	912,8	1750,6	0,0508	0,0300	
2,52	27,40	142,40	15,70	60,35	847,5	2002,0	0,0423	0,019	
5,38	33,80	136,70	18,25	58,00	812,0	1932	0,0421	0,0166	
17,43	56,80	143,70	29,50	46,75	546,0	1372,8	0,0397	0,008	
34,10	170,30	"	65,75	10,30	120,25	2906	0,0415	0,0002	

A FAIBLE INCLINAISON DE 1900

Le chiffre de 0,10 paraît élevé.

AVEC LE SENS DE LA MARCHÉ

Tableau N° 8

EXPERIENCES RELATIVES A LA RESISTANCE OPPOSEE PAR L'AIR. 193

INFLUENCE DE LA FORME ET NATURE DE LA SURFACE

Tableau N° 9.

DATE.	HEURE.	PRESSION.	TEMPÉRATURE.	POIDS UTILE.	FORME DE LA SURFACE.	SURFACE EN M ² .	TEMPS EN 4/5.	LONGUEUR UTILE l .	VALEURS		e	v	r	r ²	H + h		PH	SV ² (l^3)	K	OBSERVATIONS.
									$\frac{K}{P}$	$\frac{K}{\text{admiss.}}$					$\frac{76,00}{76,55}$	H				
12	VI 5 P.	732	31	9,000		0,79	112	170	"	0,07	7,38	8,03	10,30	139,80	6,70	69,30	623,7	8060	0,077	Papier gaufré, raies verticales.
"	" 6 "	717	"	"		"	123	"	"	0,10	6,91	7,21	7,40	102,60	5,00	71,00	639,0	6700	0,094	" à 15°
"	" 5 1/2 P.	732	"	"		"	130	"	"	"	6,01	6,85	6,40	103,00	4,40	71,60	643,3	6090	0,105	" horizontales.
INFLUENCE D'UNE POUPE																				
19	IX 5 1/2 P.	730	26	13,500		"	66	170,50	0,632	"	9,91	11,26	23,00	113,80	11,50	61,75	937,3	14331	0,065	Réduction très faible due à la pompe.
"	" 5 "	"	"	14,000		"	95	"	0,656	"	8,54	9,82	17,50	132,90	10,60	63,65	919,1	9670	0,095	Augmentation due à l'obliquité de 0° 30'
INFLUENCE DES SURFACES PÉRIODIQUES																				
19	IX 7 P.	"	26	13,500		79	74	"	0,65	"	10,65	12,52	30	140,50	17,10	39,15	916,08	16316	0,055	Sur la surface.
20	" 5 1/4 "	732	29	14,500		79	54	82	0,65	"	10,38	11,82	24	146,50	14,00	62,25	715,8	11280	0,063	"
"	" 6 "	"	26	"		79	54	87	"	"	9,79	12,31	27,40	149,10	15,50	60,75	698,5	17770	0,068	"
DISTANCE DES SURFACES																				
7	IX 3 1/4 P.	759	25	11,500		0	93	170	0,068	0,063	9,14	10,26	19,00	151	11,50	64,70	714,2	1190	0,063	100
"	" 5 1/4 "	"	24	"		0,40	98	"	0,068	"	8,67	9,44	15,40	134,60	9,20	66,80	768,2	1082	0,07	91
"	" 6 1/2 "	"	25	"		0,50	101	"	0,08	"	8,42	9,28	17,60	132,40	10,70	63,30	751	1034	0,073	85
6	" 6 "	735	20	"		1,30	105	"	0,09	"	8,09	8,77	14,40	135,60	9,00	67	770	940	0,082	70
16	" 5 "	736	26	"		1,40	106	"	0,09	"	8,00	8,67	14,00	136	8,80	67,20	772	875	0,0883	65
14	" 3 1/4 "	743	27	"		1,65	120	"	0,10	"	7,92	8,56	13,40	134,60	9,70	66,30	766	762	0,0945	50
"	" 4 1/4 "	"	"	"		2,00	125	"	0,12	"	6,80	7,46	9,10	141	6	70	805	10	0,117	33
"	" 6 "	748	23	"		2,50	129	"	0,14	0,072	6,50	6,81	7,60	102,40	5,30	70,50	818	398	0,136	14
17	" 11 3/4 "	760	23	"		3,00	135	"	0,1	0,073	6,29	6,56	7,60	"	"	"	818	353	0,146	0,5

ARTS MÉCANIQUES

LA SÉCURITÉ DANS LES BALLONS DIRIGEABLES, par **M. le commandant P. Renard** (1).

Au mois de mai 1900, dans une conférence à laquelle vous avez bien voulu faire un accueil dont je garde toujours le souvenir reconnaissant, j'ai eu l'honneur de vous exposer quel était alors l'état de la question de la navigation aérienne par ballons dirigeables, ou, pour employer une expression bien connue, par le plus léger que l'air. Nous avons ensemble posé nettement les conditions du problème et défini ce qu'on doit entendre par un aérostat dirigeable, c'est un aérostat susceptible de prendre une vitesse propre par rapport à l'air ambiant supposé immobile. Si cette vitesse propre est supérieure à celle du vent régnant au moment de l'expérience, le ballon peut se diriger dans tous les sens; sa dirigeabilité est totale. Dans le cas contraire, il ne peut se diriger que dans un certain angle, que le colonel RENARD a appelé *angle abordable* et sa dirigeabilité n'est que partielle. Plus la vitesse propre d'un aérostat dirigeable sera grande, plus grandes aussi seront ses chances de dirigeabilité totale, et en consultant les statistiques anémométriques, nous sommes arrivés à cette conclusion que pour être pratiquement dirigeable, c'est-à-dire pour jouir de la dirigeabilité totale dans les $\frac{3}{4}$ au moins des circonstances, un aérostat devait posséder une vitesse propre de 12 à 15 mètres par seconde.

Pour obtenir ce résultat, il faut avant tout que l'aérostat soit muni d'un moteur puissant, agissant sur une hélice ou sur tout autre propulseur convenablement choisi, que sa forme soit de nature à résister le moins possible à l'avancement, et qu'il soit muni de dispositifs d'orientation permettant à l'aéronaute de choisir à son gré la direction à donner à la vitesse propre du navire aérien. A ces conditions évidentes, viennent s'en ajouter d'autres, non moins indispensables: la permanence de la forme; la stabilité de route, propriété qui consiste en ce que l'axe longitudinal de l'aérostat reste tangent à la trajectoire; la stabilité longitudinale, c'est-à-dire la suppression aussi complète que possible des mouvements de tangage, et enfin la stabilité en altitude.

Après avoir développé ces considérations que je ne fais qu'énumérer aujour-

(1) Séance du vendredi 13 juin 1902.

d'hui, nous avons jeté un coup d'œil rapide sur l'histoire de la question, et nous avons vu, qu'à cette époque, 8 aérostats seulement, parmi les nombreux projets réalisés ou non, avaient été conçus d'une manière rationnelle, dénotant chez leur auteur la connaissance exacte des termes du problème; que parmi ceux de ces projets qui avaient pu être réalisés, plusieurs, à la suite d'accidents plus ou moins graves, n'avaient pu donner lieu à aucune expérience chiffrée, que parmi les autres, pour lesquels on avait pu constater une vitesse propre et en donner une mesure plus ou moins exacte, un seul avait pu, en revenant à son point de départ, démontrer péremptoirement sa dirigeabilité : c'est, comme vous le savez, le ballon *La France*, qui, en 1884-1885, sous la conduite du colonel Ch. Renard et de ses collaborateurs, partit sept fois du parc de Chalais, y revint atterrir cinq fois sur sept, grâce à une vitesse propre qui atteignit dans les expériences de septembre 1885, le chiffre de 6^m,50 par seconde.

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, une semblable vitesse est notoirement insuffisante; pour arriver à un résultat pratique, il faut la doubler, et comme la résistance d'un aérostat dirigeable à l'avancement est proportionnelle au carré de la vitesse propre, et que par suite le travail par unité de temps est proportionnel au cube de cette même vitesse, il aurait fallu pour passer de 6^m,50 à 13 mètres par seconde, disposer dans le ballon *La France* d'une force motrice huit fois plus puissante que celle des piles RENARD et de la dynamo qu'on avait pu emporter. Il fallait donc trouver des moteurs d'une puissance spécifique huit fois plus grande que celle des moteurs les plus légers connus à cette époque.

La question de la navigation aérienne comportait donc, en 1885, avant toute chose, la recherche de moteurs beaucoup plus légers que ceux qu'offrait l'industrie; c'est donc à cette question de l'allègement des moteurs que les adeptes de cette navigation devaient s'attacher avant tout. Mais, comme il arrive presque toujours, le temps fut en cette circonstance l'auxiliaire des chercheurs, et l'allègement des moteurs se réalisa depuis l'époque déjà lointaine dont nous parlons en raison des exigences d'un mode de locomotion qui n'existait, en 1885, qu'à l'état embryonnaire et qui a pris aujourd'hui un développement qui semble ne pas devoir s'arrêter de sitôt; j'ai nommé l'automobilisme. Aujourd'hui les merveilleux moteurs qui permettent de réaliser sur le pavé ou sur le macadam les vitesses qui étaient autrefois l'apanage exclusif des trains de chemin de fer, possèdent une puissance spécifique suffisante pour permettre d'imprimer à un aérostat la vitesse propre de 12 à 15 mètres par seconde, correspondant à la dirigeabilité pratique. Aussi, ne faut-il pas s'étonner si plusieurs constructeurs de ballons dirigeables ont songé à demander aux moteurs à essence la force motrice dont ils avaient besoin. Je rappellerai, sans les discuter longuement, les belles expériences exécutées par le comte ZOEPELIN, sur le lac de Constance, en 1900, et les essais retentissants de M. SANTOS-DUMONT, à Paris, en 1901. Malgré le succès réel de

ces dernières expériences, les ingénieurs aéronautes, en examinant leurs résultats, éprouvèrent une réelle déception. Si l'on compare en effet la puissance motrice dont disposait M. SANTOS-DUMONT par rapport à l'unité de surface de la maîtresse section de son ballon, aux mêmes chiffres se rapportant au ballon *La France* de 1885, et si l'on admet que la vitesse propre doit être proportionnelle à la racine cubique de ces rapports, on arrive à conclure que l'aérostat de 1901 aurait dû posséder une vitesse propre d'environ 11 mètres par seconde; tandis que les mesures les plus favorables ne permettent pas de lui attribuer une valeur supérieure à 7 mètres ou 7^m,50, à 8 mètres comme grand maximum. La loi de proportionnalité de la puissance motrice par rapport à l'unité de surface résistante au cube de la vitesse propre serait-elle inexacte? Ou bien le propulseur de M. SANTOS-DUMONT et la forme de son aérostat étaient-ils très inférieurs aux éléments analogues du ballon *La France*? A ces deux questions on ne peut faire qu'une réponse négative : la loi de la proportionnalité de la puissance motrice au cube de la vitesse ne semble pas contestable dans les limites de vitesse propre que peuvent acquérir les aérostats dirigeables; d'autre part, la forme de *La France* et celle du *Santos-Dumont* n° 6 sont tellement semblables, les hélices semblent telle-

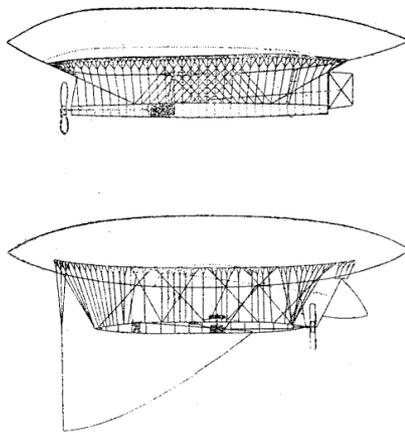


Fig. 1. — *La France* et le *Santos-Dumont* n° 6.

ment équivalentes qu'il ne saurait résulter de là une différence sensible; il faut donc conclure que pour une raison ou pour une autre la puissance motrice a été moins bien utilisée dans le ballon de M. SANTOS-DUMONT que dans celui du colonel RENARD. (Voir les figures 1, 2 et 3.) (1)

Cette infériorité tient à une moins bonne réalisation des conditions du problème considérées autrefois comme secondaires, et notamment à une infériorité de la stabilité longitudinale. La question primordiale des moteurs étant résolue, les questions qu'on reléguait autrefois au second rang doivent passer au premier et cela d'autant plus que la difficulté de leur solution augmente considérablement avec la puissance motrice disponible, et que tel aérostat dont les stabilités

(1) La figure 1 représente les aérostats « *la France* » et celui de M. Santos-Dumont ramenés à la même longueur pour permettre d'en comparer les formes plus facilement. Les figures 2 et 3 donnent les trajectoires des voyages, cette dernière montre que les résultats obtenus sont sensiblement équivalents de part et d'autre.

étaient très satisfaisantes avec un moteur de 10 chevaux deviendra d'une instabilité inadmissible si on le munit d'un moteur de 20, de 50, ou même de 100 chevaux, comme il est possible de le faire aujourd'hui. La question de la dirigeabilité des aérostats se pose donc à présent d'une manière toute différente de ce qui avait lieu il y a 15 ans.

Il ne faudra donc pas s'étonner si parmi les nombreuses expériences qui se préparent aujourd'hui plusieurs donneront lieu à des déceptions. La pratique démontrera bientôt qu'il ne suffit pas d'atteler un moteur puissant à un aérostat d'un type connu pour réaliser un progrès réel. Mais ce n'est pas sur cette question que j'ai l'intention de m'étendre aujourd'hui et après vous avoir exposé ces notions qu'il était indispensable de rappeler et de préciser, j'ai hâte de justifier

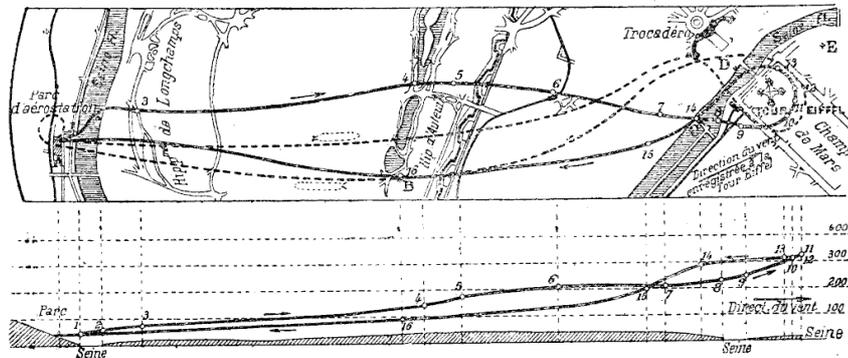


Fig. 2. — Trajectoire du ballon de M. Santos-Dumont le 19 octobre 1901, d'après M. Armangaud (tracé pointillé) et M. Deslandres (tracé plein).

le titre de cette communication et de me renfermer dans les limites étroites de mon sujet : la sécurité dans les ballons dirigeables.

Si l'on en juge d'après les expériences de M. SANTOS-DUMONT, cette sécurité ne semble pas très considérable, car plusieurs de ses voyages se sont terminés par des accidents qui auraient pu facilement devenir des catastrophes. C'est à une véritable catastrophe que les Parisiens ont assisté le 12 mai 1902 lors de l'unique et tragique ascension de M. SEVERO (1). La question présente donc une actualité douloureuse, et ce n'est pas dans un intérêt purement académique que nous allons nous entretenir quelques instants de cet accident et des conséquences qu'on peut en tirer pour l'avenir. Le récit de l'accident est fort simple : l'aérostat, emmenant dans sa nacelle l'infortuné inventeur et son mécanicien SACHÉ, s'éleva

(1) Depuis le 13 juin, date de cette communication, la fin tragique de MM. de Bradsky et Morin, survenue le 13 octobre 1902 a malheureusement démontré l'importance pratique de l'étude des conditions de sécurité des aérostats dirigeables.

du parc de M. LACHAMBRE, à Vaugirard, atteignit quelques centaines de mètres de hauteur, fut emporté par un vent faible vers l'Est de Paris et, après quelques minutes de séjour dans les airs, s'enflamma subitement; la nacelle avec tout son

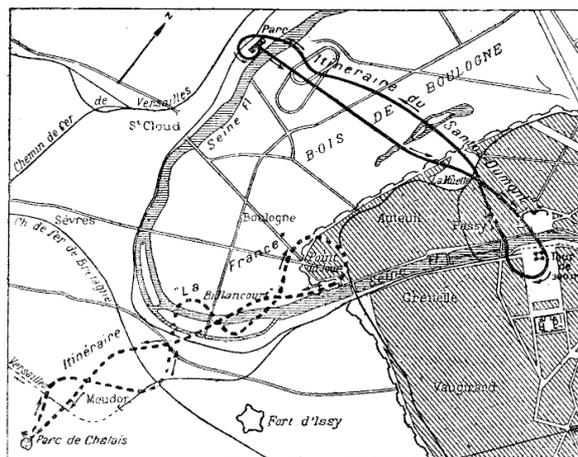


Fig. 3. Itinéraire de la France, le 23 septembre 1885 et du Santos-Dumont, le 19 octobre 1901.

mécanisme descendit presque verticalement et vint se briser sur le sol de l'avenue du Maine, pendant que les débris carbonisés du ballon emportés par une faible brise se dispersaient dans les environs et venaient couvrir d'une pluie

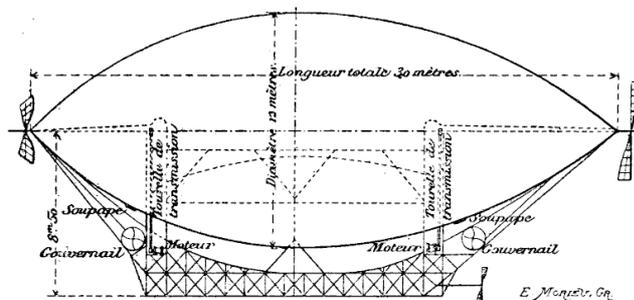


Fig. 4. — Coupe longitudinale du Pax. (Illustration.)

sinistre une partie du cimetière Montparnasse. Les premières personnes accourues près des débris de la nacelle n'y trouvaient que deux cadavres, celui de SACHÉ, horriblement brûlé, et celui de SEVERO, brisé par la violence du choc final. (Voir les figures 4 à 11.)

Tel est dans sa lugubre simplicité le récit de ce dramatique voyage. L'opinion publique s'en est émue et surtout celle des aéronautes; et tout le monde se demanda ce qu'il conviendrait de faire pour éviter le retour de semblables accidents. C'est de cette question que j'ai l'intention de vous entretenir aujourd'hui; et avant de la traiter, permettez-moi de rendre un dernier hommage aux victimes de la catastrophe du 12 mai et de saluer en eux des exemples de courage, d'intrépidité et de dévouement à la science et au progrès. Si au cours de ce qui va suivre nous sommes forcés de critiquer certaines dispositions de l'aérostat de

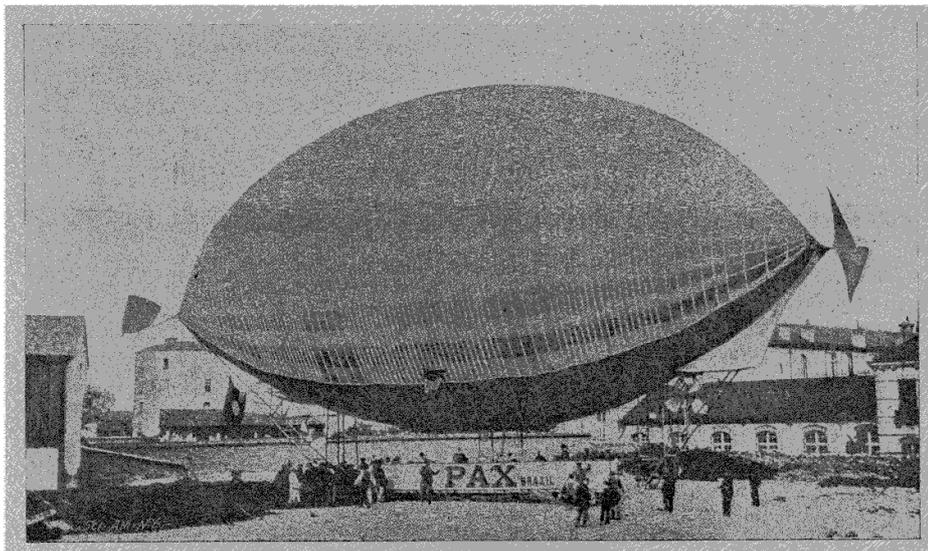


Fig. 5. — L'essai du *Pax*, 4 mars 1902.

Severo, il doit être bien entendu que ces critiques s'adresseront à l'œuvre et non à l'homme. S'il semble inévitable que toutes les étapes du progrès doivent, pour être parcourues, exiger des sacrifices de quelques vies humaines, ce n'est pas faire acte d'ingratitude envers les victimes que de rechercher les causes qui ont pu amener leur perte, c'est, au contraire, le meilleur moyen d'honorer leur mémoire.

La première idée qui vient à l'esprit d'un homme et d'un Français en particulier, à la suite de catastrophes comme celle que nous déplorons aujourd'hui, c'est de faire appel à l'autorité pour en prévenir le retour. Dans l'espèce, cet appel semble d'autant plus légitime, que les accidents comme celui du 12 mai peuvent atteindre non seulement les aéronautes, mais tous ceux qui se trouveraient dans le voisinage de l'aérostat au moment de sa chute, et, si l'on peut

reconnaître à un inventeur le droit de risquer sa vie dans ses expériences, il n'est pas admissible de lui permettre de risquer celle de ses semblables. C'est, à notre avis, à ce point de vue seul que l'intervention des autorités est justifiée, et nous la considérons même comme indispensable. Mais de quelle manière doit-elle s'exercer ?

Faut-il, comme on l'a proposé, interdire absolument les expériences de navigation aérienne au-dessus des villes ; cela nous semble exagéré. En effet, le ballon se trouvera au-dessus d'une grande agglomération habitée parce que le vent l'y

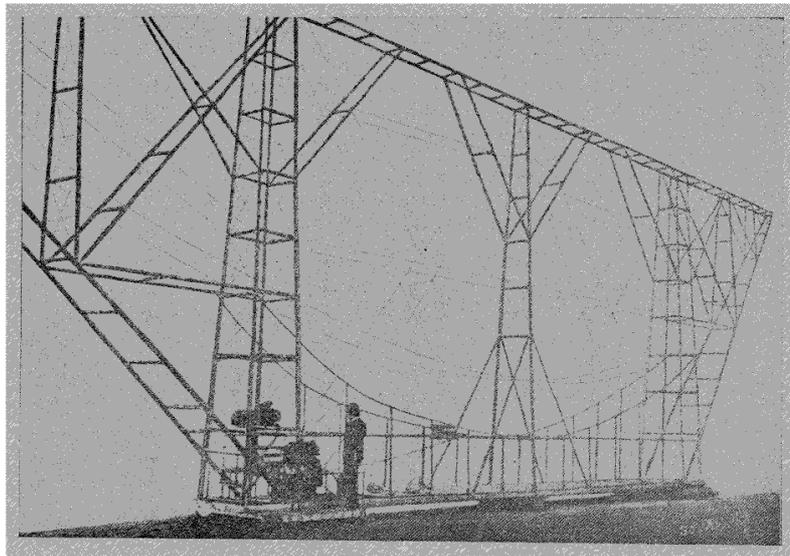


Fig. 6. — Carcasse du *Par*. (*Scientific American*.)

aura entraîné, et dans ce cas il n'y séjournera pas longtemps ; ou bien il s'y sera rendu grâce à sa vitesse propre, et alors il sera maître de ses mouvements et pratiquement dirigeable, et rien ne s'oppose à ce qu'il donne aux habitants d'une capitale le spectacle de ses évolutions et obtienne ainsi une consécration éclatante de ses succès. D'ailleurs tant qu'il reste en l'air, l'aérostat n'est pas une cause de dangers, pour le public, c'est seulement s'il vient à descendre avec une rapidité exagérée. Or les chutes de ce genre ne peuvent avoir lieu que par suite d'accident grave du matériel ou en raison de l'impéritie des aéronautes. Le rôle de l'autorité administrative semble donc nettement tracé : elle devra en premier lieu exiger qu'à bord de tout aérostat dirigeable, il y ait un aéronaute compétent capable de manœuvrer le ballon dans la verticale et de maintenir dans des limites inoffensives les vitesses de descente ; elle devra en outre interdire la

circulation au-dessus des grandes villes tant qu'elle ne se sera pas assurée, que les chances de chute dues à des accidents de matériel n'ont pas été éliminées aussi complètement que possible.

En ce qui concerne la présence à bord d'un aéronaute compétent, la question présente actuellement une certaine difficulté, parce que la qualité d'aéronaute n'est pas officiellement définie. La multiplicité des ascensions libres par ballons ordinaires a déjà fait reconnaître l'utilité de la création d'un brevet d'aéronaute établissant la compétence réelle des titulaires qui en seraient pourvus, et sans

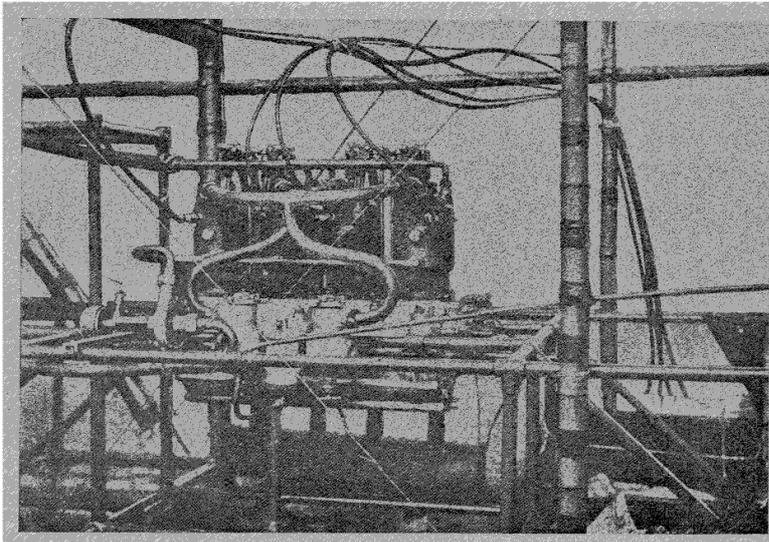


Fig. 7. — Moteur du Pax.

lequel il serait interdit d'exécuter une ascension libre comme commandant de l'aérostat. La création de ce brevet a été l'un des vœux émis par le Congrès d'Aéronautique de 1900, et à notre avis c'est le plus important de tous. La commission permanente nommée par ce congrès pour réaliser ses vœux dans la mesure du possible a fait une étude approfondie de cette délicate question du brevet d'aéronaute, et a préparé un projet de réglementation très libéral, mais néanmoins de nature à présenter les plus sérieuses garanties pour la sécurité des voyageurs aériens et du public au-dessus duquel passeront les aérostats. Il s'agit d'obtenir pour cette réglementation la sanction des pouvoirs publics. Pour cela l'appui moral de tous les gens éclairés est absolument indispensable, et je m'empresse de saisir cette occasion pour vous demander le vôtre, et vous prier de

coopérer ainsi par votre adhésion à une œuvre qui intéresse la sécurité publique et qui l'intéressera de plus en plus.

En ce qui concerne le deuxième rôle que nous voudrions attribuer à l'autorité, la question est plus délicate encore. Il semble qu'il suffirait de nommer une commission compétente qui examinerait les aérostats dirigeables avant leur première ascension et interdirait les évolutions au-dessus des villes à ceux qui paraîtraient susceptibles de donner lieu à des accidents entraînant une chute rapide de l'appareil. La liberté de circulation ne serait accordés qu'aux aéro-

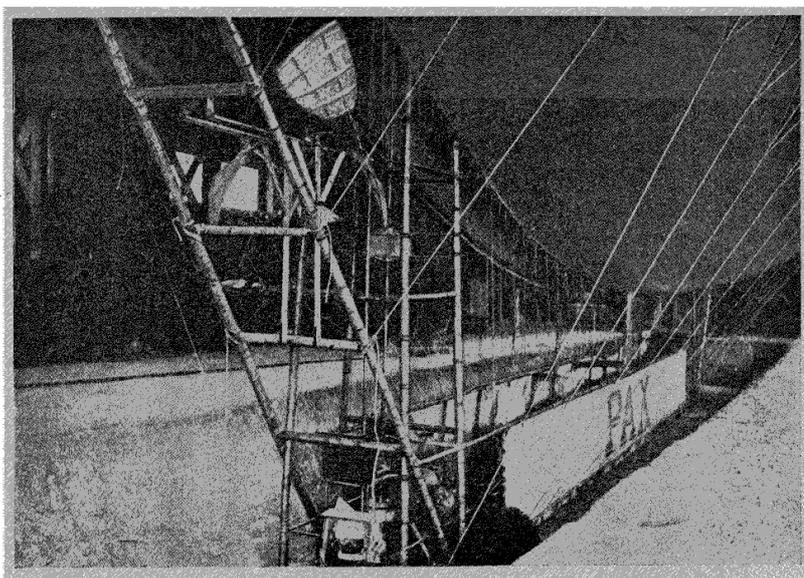


Fig. 8. — Moteurs et hélices gouvernails du *Pax*.

stats poinçonnés par l'administration, de même que l'autorisation de mettre en service un moteur à vapeur n'est accordée qu'après examen de l'appareil par les ingénieurs des Mines. Il y a à ce genre de procédé une difficulté pour le moment insurmontable. C'est que si en ce qui concerne les moteurs à vapeur, il existe un corps de doctrine universellement admis, des règles de sécurité résultant d'une longue expérience et sanctionnées par les règlements, enfin un personnel d'une compétence indiscutable pour appliquer ces règles, rien de tout cela n'existe actuellement en aéronautique ; les principes les plus élémentaires de cette science sont contestés par un grand nombre d'aéronautes, les règles de sécurité n'ont pas été formulées et aucune autorité ne voudrait à l'heure actuelle prendre la responsabilité de les imposer ; enfin le personnel à charger de l'appli-

cation de ces règles n'existe pas ou du moins son autorité serait discutée car les personnes les plus compétentes dans la question sont au premier rang des chercheurs attelés à la solution du problème de la navigation aérienne et seraient considérées comme des concurrents jaloux et non comme des juges intègres. La seule chose qui nous paraisse exécutable, dans cet ordre d'idées, est, confor-



Fig. 9. — Trajet du Pax.

mément à l'opinion d'un de nos ingénieurs aéronautes les plus distingués, M. Surcouf, d'interdire la circulation au-dessus des villes à tous les aérostats dirigeables pour leurs expériences de début, et de n'autoriser le libre parcours qu'après qu'un certain nombre de voyages, officiellement constatés, auraient



Fig. 10. — Débris du Pax avenue du Maine.

permis de s'assurer par l'expérience que pour tel navire aérien les chutes rapides ne semblent pas à craindre.

Ainsi, instituer un brevet d'aéronaute, exiger à bord de tout aérostat dirigeable ou non la présence d'un aéronaute breveté, interdire les évolutions au-dessus des villes à tout aérostat qui n'aura pas fait préalablement en rase campagne la preuve expérimentale de sa stabilité en altitude, tels sont les services que nous croyons devoir demander aux pouvoirs publics dans l'intérêt de la

sécurité qui est en même temps l'intérêt bien entendu de l'aéronautique. Une intervention de l'autorité en dehors de ces limites serait, à notre avis, presque toujours vexatoire et généralement inefficace et nous croyons qu'il est préférable de l'éviter.

Les mesures que nous venons de proposer sont de nature à diminuer le nombre des accidents, mais surtout à empêcher qu'ils fassent courir des risques aux populations, elles n'empêcheront généralement pas les voyageurs aériens

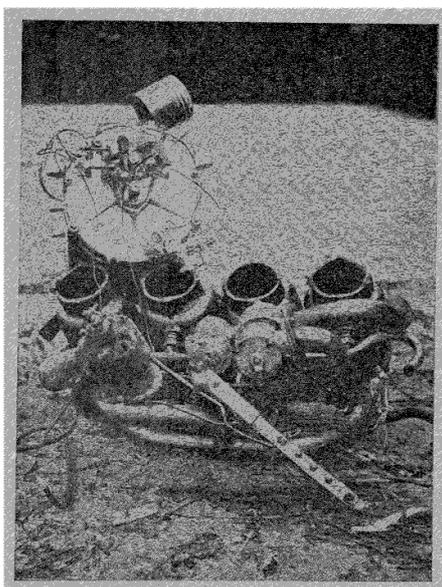


Fig. 11. — Débris du Pax.

de courir des dangers plus ou moins grands. Pour réduire ces dangers au minimum, les personnes compétentes ne peuvent procéder que par voie de conseils, car, ainsi que nous le disions plus haut, c'est pour un inventeur un droit absolu que de se tuer en essayant ses propres appareils. Mais pour quiconque a fréquenté les inventeurs, il est difficile de se faire illusion sur les résultats qu'on peut attendre des conseils qu'on leur donne; s'il en est ainsi dans toutes les branches des connaissances humaines, c'est surtout dans les sciences qui ne possèdent pas encore une doctrine assise et un personnel d'une compétence universellement reconnue, que la répugnance des inventeurs à suivre les conseils techniques est le plus ma-

nifeste et certainement le plus excusable. C'est le cas, en aéronautique. Aussi n'est-ce pas à eux que nous croyons utile de nous adresser individuellement pour recommander la prudence.

Il nous semble au contraire qu'en s'adressant à un public éclairé, mais non spécialiste en aéronautique, en lui indiquant les causes qui peuvent compromettre la sécurité dans les aérostats dirigeables et les moyens d'y remédier, on peut faire une œuvre utile. On ne se heurtera pas en effet au froissement d'amour-propre d'inventeurs dont on combattrait les idées, on se contentera d'indications générales qui, si elles sont rationnelles, obtiendront l'adhésion des auditeurs, et, en multipliant les communications de ce genre par la parole ou par la plume, on arrivera à créer un courant d'opinion auquel les inventeurs de l'avenir ne songeront même pas à résister, et on parviendra ainsi à faire adopter volontairement

les mesures de précaution nécessitées par la sécurité sans qu'il y ait lieu de les faire imposer par aucune autorité.

A l'heure actuelle, une personne ignorant les plus élémentaires notions de mécanique n'aurait pas l'idée d'imaginer une locomotive d'un nouveau système; elle se heurterait à toute une corporation d'ingénieurs qui découvriraient immédiatement les côtés défectueux ou absurdes du nouvel engin dont la réalisation serait rendue impossible. Cette même personne qui n'inventerait pas une locomotive ni même une voiture ou une brouette, n'hésitera pas à imaginer un aérostat dirigeable; il ne vaudra pas mieux que la locomotive n'aurait valu, il sera même probablement beaucoup plus dangereux, mais personne ne sera là

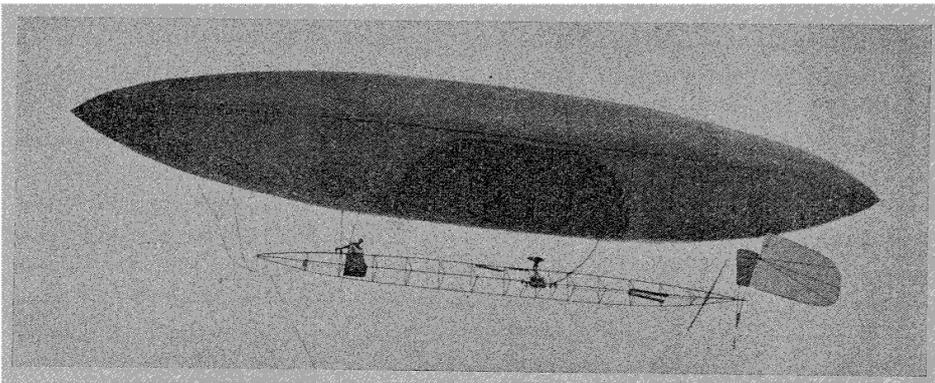


Fig. 12. — Rentrée du Santos-Dumont n° 6. (*Génie civil.*)

pour le dire et même en consultant des ingénieurs ou des savants d'une valeur réelle en dehors de l'aéronautique, l'inventeur même le plus incohérent pourra trouver des encouragements à s'engager dans une voie sans issue si elle n'aboutit pas à une catastrophe. C'est à ce fâcheux état de choses que nous désirons remédier; nous voudrions qu'en s'adressant à un ingénieur quelconque, un inventeur de ballon dirigeable fût averti des règles qu'on ne peut violer sans danger et que devant l'unanimité des renseignements qu'il recueillerait de toute part, il fût amené à renoncer à l'emploi de toute disposition manifestement dangereuse. C'est dans le but d'obtenir votre concours à cette œuvre de préservation que je vous demanderai la permission de vous exposer quelques-unes des règles dont il est imprudent de se départir dans la construction des aérostats dirigeables.

Parmi les qualités que nous avons indiquées comme étant nécessaires à la dirigeabilité d'un aérostat, il en est qui, indépendamment de toute prétention à

réaliser des vitesses propres considérables, sont absolument indispensables au seul point de vue de la sécurité : ce sont la permanence de la forme et la stabilité longitudinale.

La permanence de la forme est évidemment indispensable au point de vue de la dirigeabilité, car sans cette qualité il n'aura servi de rien de donner à un aérostat un profil irréprochable au point de vue de l'aérodynamique; mais si

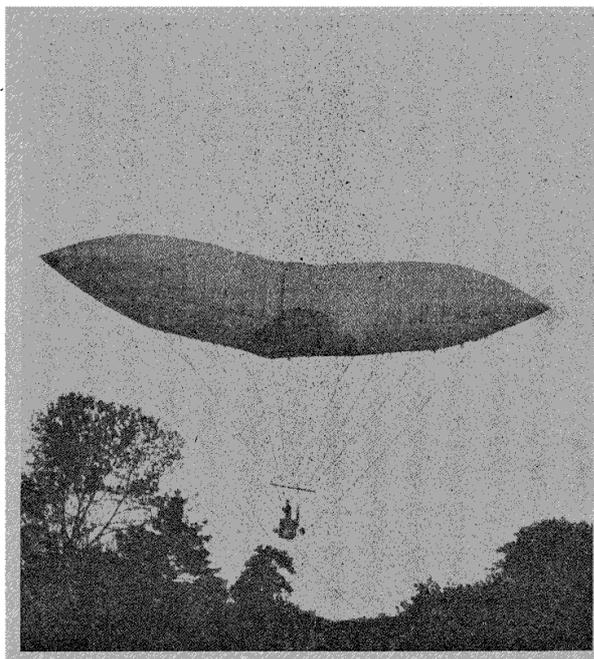


Fig. 13. — Santos-Dumont n° 4, 18 mars 1899.

cette permanence n'est pas assurée, la sécurité devient immédiatement illusoire, et l'inspection de quelques photographies d'aérostats manquant de cette qualité suffit pour s'en convaincre sans d'autre raisonnement. (Voir les figures 12 à 19.) Il est évident d'ailleurs que lorsque la forme primitive est notablement altérée, les différentes parties de l'aérostat ne travaillent plus, au point de vue de la résistance des matériaux, dans les conditions prévues, et par conséquent on peut craindre des ruptures et des accidents de toute nature (1). C'est ainsi par exemple que les altérations de forme ont amené l'hélice d'un des aérostats de M. Santos-Dumont à

(1) C'est là une des causes de la catastrophe du 13 octobre 1902 de MM. de Bratsky et Morin.

rencontrer les fils d'acier de la suspension dont elle était suffisamment éloignée tant que l'aérostat a conservé sa forme normale. De plus, les altérations de forme résultant de vides partiels du ballon peuvent donner lieu à des mouvements de tangage absolument brutaux et détruire ainsi la stabilité longitudinale. Or la permanence de la forme n'est assurée que si l'on maintient au gaz du ballon une pression suffisante. Si l'on suppose le ballon complètement gonflé à terre, lorsqu'il s'élèvera, la pression ambiante diminuant graduellement, l'excès de la

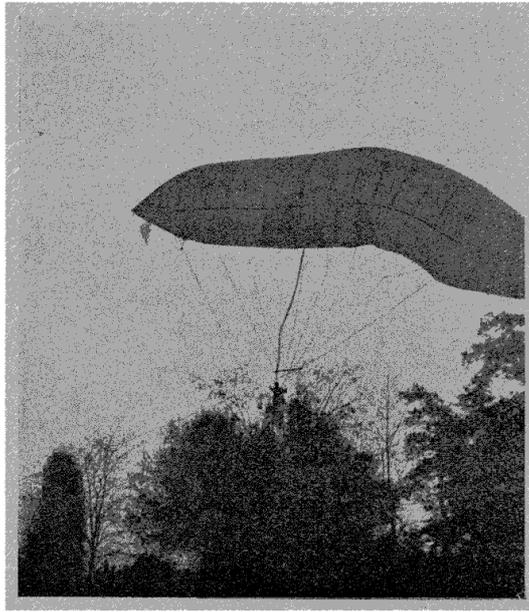


Fig. 14. — Santos-Dumont n° 4 engagé dans des arbres.

pression intérieure du gaz sur celle de l'atmosphère ira en augmentant et la rigidité de la forme sera de plus en plus assurée à mesure que l'on gagnera de la hauteur; cet excès de pression finirait même rapidement par compromettre la solidité du ballon et amener sa rupture si on ne le limitait pas au moyen d'un orifice permettant au gaz de s'échapper dans l'atmosphère dès que l'excès de pression intérieure atteint une valeur donnée (dans la pratique, cette valeur ne dépasse pas quelques millimètres d'eau). Pendant une période ascendante, la permanence de la forme est donc parfaitement assurée si elle l'était au point le plus bas de la course. Il n'en est plus de même en période descendante; le ballon passe dans des couches d'air où la pression augmente progressivement,

elle devient donc rapidement supérieure à la pression du gaz, le ballon se contracte en restant plein à la partie supérieure tandis que la partie inférieure devient flasque. Dans cette situation, non seulement il n'y a plus de direction possible, mais la moindre inclinaison longitudinale a pour effet d'accumuler le gaz vers la partie du ballon qui se trouve momentanément en haut, de changer la position de la partie vide et par suite d'exagérer l'inclinaison primitive qui peut devenir très rapidement dangereuse. Il est donc de toute nécessité pour

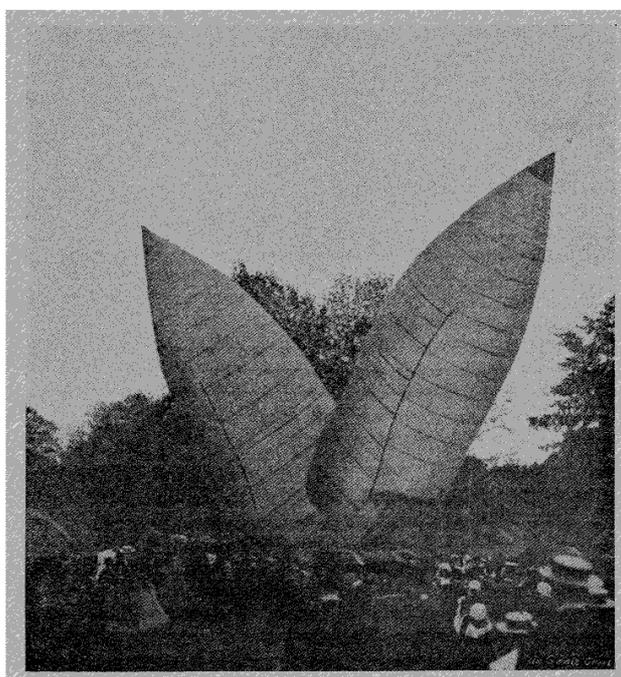


Fig. 15. — Atterrissage du *Santos-Dumont* n° 4 au Jardin d'Acclimatation, 18 mars 1899.

maintenir au ballon sa forme pendant les périodes de descente, d'y introduire un volume de gaz susceptible de compenser la contraction résultant de la descente. Comme on ne dispose pas dans la nacelle de gaz léger, cette compensation de volume ne peut être faite que par une introduction d'air dans l'enveloppe du ballon; de là la nécessité de disposer d'un ventilateur ou de toute autre machine soufflante. Mais on ne peut songer à introduire purement et simplement de l'air dans le ballon en le mélangeant au gaz léger; on transformerait ainsi le gaz combustible déjà bien assez dangereux en gaz explosif qui pourrait détoner d'un moment à l'autre et entraîner la destruction immédiate de l'aérostat. Il est

donc indispensable de séparer la capacité contenant le gaz de celle où l'on introduit l'air; on a donné à cette dernière le nom de ballonnet dont l'idée due à Meusnier a été reprise par Dupuy de Lôme et appliquée plus tard à une partie des ballons dirigeables.

Le ballonnet est donc un organe absolument indispensable à la sécurité, mais il doit pour être efficace remplir certaines conditions.

En premier lieu sa capacité doit être suffisante. Elle dépend de la hauteur à laquelle on compte pouvoir s'élever : un ballon dirigeable qui aurait la prétention de monter par exemple jusqu'à 5500 mètres, c'est-à-dire jusqu'à une région où la pression atmosphérique serait diminuée de moitié, perdrait pen-

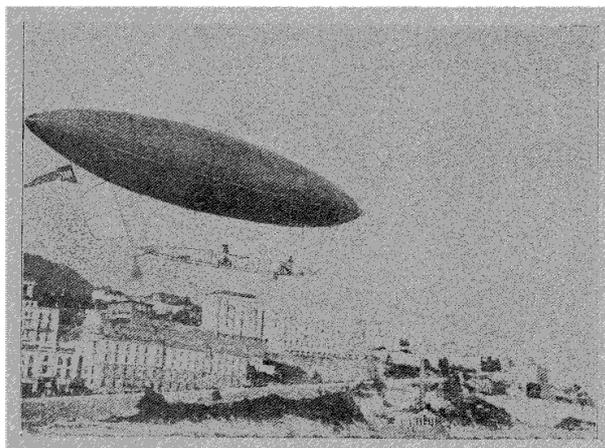


Fig. 16. — Santos-Dumont n° 6 devant Monte-Carlo.

dant sa marche ascendante la moitié de son gaz, verrait pendant la descente son volume réduit de moitié par la contraction, et nécessiterait par suite pour maintenir la permanence de sa forme une introduction d'air égale à la moitié de son volume primitif; on devrait donc prévoir pour un tel aérostat un ballonnet dont la capacité serait égale à la moitié du volume total du ballon. Si l'on restreint ses prétentions en altitude, la capacité du ballonnet pourra naturellement être réduite; elle devra dans tous les cas être équivalente à une fraction du volume total du ballon, fraction égale à la dépression relative de l'atmosphère à la hauteur maxima que l'on veut atteindre. D'ailleurs cette dépression relative est égale elle-même au délestage relatif, c'est-à-dire au rapport entre le poids du lest et de tous les corps qui ont été projetés hors de la nacelle depuis le moment du départ et la force ascensionnelle totale du ballon. Supposons par exemple un ballon dirigeable de $1\ 800\text{m}^3$ gonflé d'hydrogène industriel et ayant

par suite une force ascensionnelle totale de 2 000 kilogrammes environ; supposons qu'on dispose de 300 kilogrammes de combustible qui disparaîtront pendant la marche et de 200 kilogrammes de lest de manœuvre. Le délestage total pourra par suite atteindre au maximum 500 kilogrammes, c'est-à-dire $\frac{1}{4}$ de la force ascensionnelle totale du gaz; il aura donc pour effet d'amener l'aérostat jusqu'à une région où la pression atmosphérique aura perdu le $\frac{1}{4}$ de sa valeur, où par suite $\frac{1}{4}$ du volume du gaz aura été évacué, et la contraction pendant la descente correspondra à $\frac{1}{4}$ du volume primitif; le volume du ballonnet devra donc être fixé au $\frac{1}{4}$ de celui du ballon. Comme les variations de température du gaz pourront augmenter la dilatation, il sera prudent de se tenir au-dessus de



Fig. 17. — Santos-Dumont n° 6 devant le rocher de Monaco.

cette limite et par exemple d'adopter pour le ballonnet $\frac{1}{3}$ du volume du ballon. En règle générale, le rapport entre le volume du ballonnet et celui du ballon devra être légèrement supérieur au délestage relatif maximum.

Il ne suffit pas que la capacité du ballonnet soit assez grande, il faut encore qu'il se remplisse assez rapidement, de manière que l'introduction de l'air arrive toujours à compenser la contraction du gaz pendant la descente. La puissance du ventilateur doit donc être calculée en conséquence. Pour un abaissement de 1 mètre, le volume du gaz est diminué de $\frac{1}{8000}$ de sa valeur; notre ballon de 1 800 mètres perdra donc par chaque mètre de descente 225 litres de volume. Si nous admettons que nous serons amenés à tolérer à certains moments une vitesse de descente de 5 mètres par seconde, la contraction sera 1 125 litres ($1^{\text{m}^3}, 125$). Notre ventilateur devra donc être susceptible de débiter ce volume.

Il est, d'autre part, à peu près indispensable que le ventilateur du ballonnet

puisse être actionné par un moteur indépendant du moteur principal, de manière à pouvoir fonctionner en cas d'avarie de l'appareil de direction ou de stoppage volontaire. Le ballonnet doit toujours être maintenu plein dans un ballon allongé, et actionner uniquement le ventilateur par une transmission prise sur le moteur principal serait aussi défectueux que de supprimer dans une chaudière à vapeur les appareils d'alimentation indépendants pour les remplacer par une pompe mise en marche par le moteur principal.

De plus, le ballonnet doit être disposé de manière à ne pas fractionner le ballon en deux parties séparées l'une de l'autre par l'air, il doit aussi être agencé

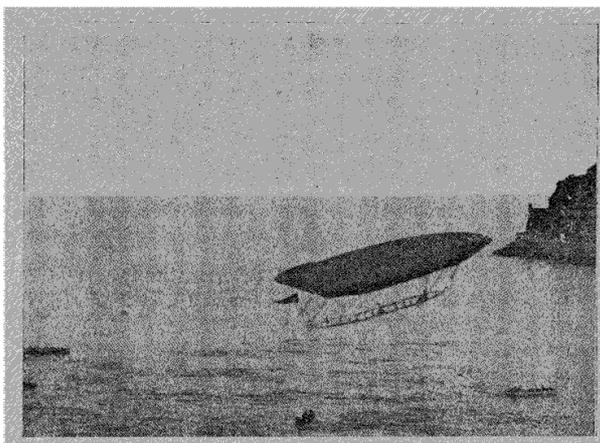


Fig. 18. — Santos-Dumont n° 6 un peu avant l'accident.

de manière à s'opposer autant que possible aux déplacements longitudinaux des deux fluides pendant les oscillations du ballon; nous ne faisons qu'indiquer ces points importants qu'il nous est impossible de développer.

On voit quel est le rôle absolument capital du ballonnet et avec quels soins méticuleux il doit être installé. Comment cet organe important était-il traité dans l'aérostat de Severo? D'une manière très simple: l'inventeur avait placé un ballonnet dont nous ignorons les dispositions de détail; lorsque l'aérostat fut gonflé, on constata que sa force ascensionnelle était insuffisante, on dut sacrifier certains organes considérés comme accessoires et le ballonnet fut supprimé.

Si la stabilité longitudinale est un des facteurs indispensables de la dirigeabilité, elle est non moins nécessaire à la sécurité pour des raisons analogues à

celles qui militent en faveur de la permanence de la forme. Lorsque l'inclinaison d'un ballon allongé dépasse en effet certaines limites, les conditions dans lesquelles travaillent les différentes parties de la construction diffèrent complètement des prévisions des calculs, et on peut s'attendre à des ruptures dangereuses ainsi que l'expérience l'a démontré.

Un ballon instable est donc forcément un ballon dangereux. Le ballonnet est un facteur indispensable de la stabilité longitudinale ; mais il n'est pas suffisant et même avec une forme absolument invariable, un ballon allongé est exposé au tangage et cela d'autant plus que son allongement sera plus considérable et que sa vitesse propre sera plus grande. Je dois me borner à signaler ces points im-

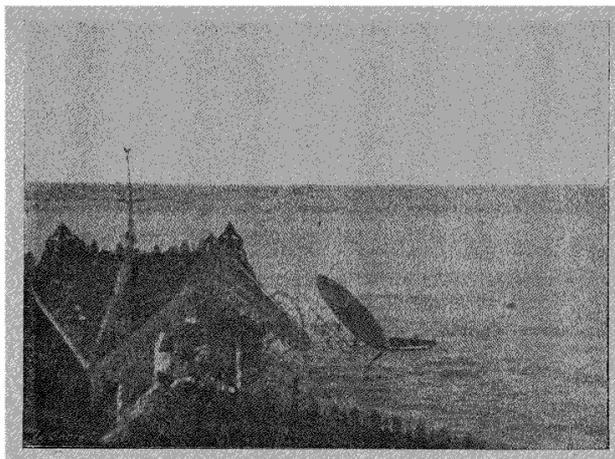


Fig. 19. — Santos-Dumont n° 6 au moment de l'accident.

portants sans indiquer quels sont les moyens propres à assurer aux aérostats cette faculté indispensable. La question de la stabilité longitudinale est en effet à l'heure actuelle la plus ardue de celles qui s'imposent aux recherches des navigateurs aériens, le temps me manque absolument même pour effleurer cette étude dont les résultats n'ont d'ailleurs pas eu jusqu'à présent la sanction de l'expérience. Cette raison est une de celles qui, à notre avis, s'oppose absolument à ce qu'on subordonne à l'examen préalable d'une commission l'autorisation de faire des ascensions en ballon dirigeable ; on ne peut qu'exiger des expériences préalables en rase campagne pour démontrer pratiquement que tel ou tel aérostat possède la stabilité longitudinale.

Ce sera déjà pour un aérostat un point très important s'il est doué de la permanence de la forme et de la stabilité longitudinale. Cela ne suffira pas néan-

moins pour écarter tout danger, et l'une des causes de ceux-ci consiste dans l'ignorance ou le mépris des règles fondamentales de l'architecture aérostatique. Les constructions aériennes se présentent en effet avec des caractères spéciaux dont les deux principaux sont les suivants :

D'une part en architecture aérienne plus que partout ailleurs, l'économie des poids doit être une préoccupation primordiale et la pratique apprend qu'on est toujours exposé à des déboires de ce côté ; il faut donc absolument éviter tout

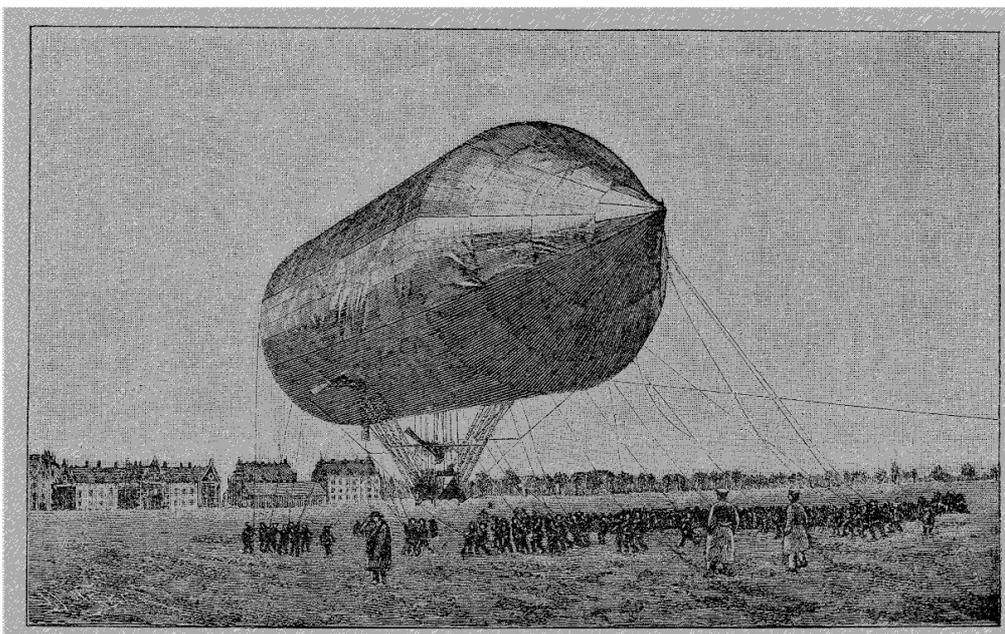


Fig. 20. — Ballon *Schwartz* en aluminium au départ.

gaspillage de poids, car il pourra entraîner pour conséquence des économies déplorables comme la suppression du ballonnet dans l'aérostat de Severo.

D'autre part, dans la construction d'un aérostat entre un organe qui se trouve dans des conditions tout à fait particulières, c'est le ballon. Dans toute construction en effet il y a des parties qui travaillent à l'extension et d'autres qui travaillent à la compression. Dans les constructions ordinaires toutes ces parties sont formées de corps solides, et l'on sait que pour un effort égal les parties soumises à la compression doivent en général présenter une section et par suite avoir un poids supérieur à celui des parties qui travaillent à l'extension.

Si l'on tient absolument à faire une construction très légère, il faut réduire

au minimum les organes travaillant à la compression. Or, dans le ballon ce qui travaille à la compression, c'est le gaz pendant que l'étoffe est soumise à l'extension ; c'est ce qui explique comment avec des poids très faibles on peut demander à un ballon des efforts considérables ; or vouloir donner à un ballon une armature rigide ou même le construire en métal, comme cela a été proposé et exécuté, c'est se priver volontairement du bénéfice de légèreté qui résulte du mode même de construction des ballons ordinaires. C'est ainsi que Schwartz et le comte Zœppelin ont gaspillé des poids considérables, l'un en faisant un ballon complètement en aluminium, l'autre en constituant le sien par une im-

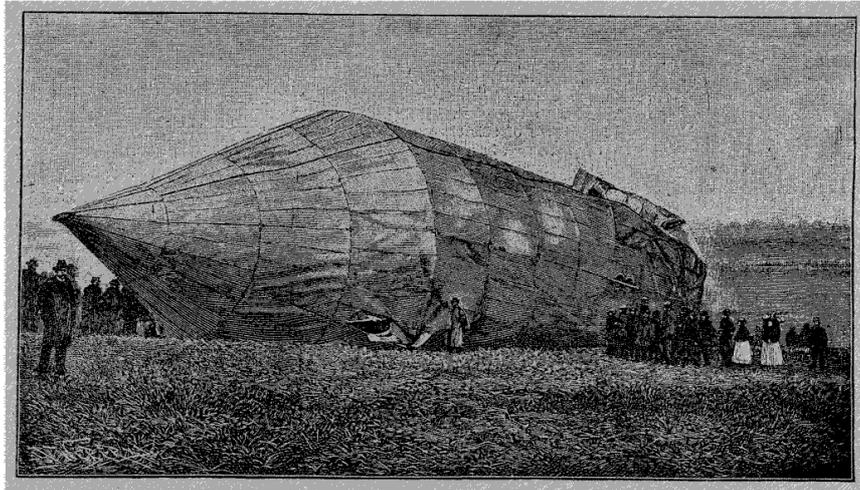


Fig. 21. — Ballon Schwartz en aluminium échoué.

mense poutre cylindrique de même métal absorbant un poids de plusieurs milliers de kilogrammes. (Voir les figures 20 à 24.)

Et pourquoi quelques inventeurs ont-ils condamné les ballons en étoffe ? C'est, paraît-il, parce qu'un ballon en étoffe n'est pas capable de résister à un violent courant d'air sans se déformer. A cela il est facile de répondre qu'avec une pression intérieure suffisante un ballon d'étoffe conserve parfaitement sa forme ; que le seul courant d'air auquel sera soumis un ballon dirigeable sera celui qui résultera de sa vitesse propre dont on peut malheureusement prévoir les limites ; qu'enfin on voit constamment les ballons captifs de forme sphérique, c'est-à-dire bien plus exposés à se déformer sous l'influence d'un courant extérieur qu'un ballon allongé pris par la pointe, résister à des vents dont la vitesse dépasse notablement celle qu'on pourra de sitôt donner aux aérostats dirigeables.

Il faut donc absolument proscrire de la construction des ballons eux-mêmes toute partie rigide dont l'emploi n'est justifié par aucune raison et constituera toujours un énorme gaspillage de poids.

Mais on doit même aller plus loin dans cette voie. Le ballon constitue en effet une entretoise merveilleuse qui ne pèse rien et dont on doit bénéficier pour établir le reste de la construction de l'aérostat. Grâce à cette considération on peut réduire les parties rigides à la nacelle et à quelques organes intermédiaires de peu de volume entre celle-ci et le ballon. On obtient ainsi le maximum de légèreté possible dans l'ensemble de la construction. C'est donc une faute au point de vue de l'économie des poids que de vouloir relier le ballon à la nacelle

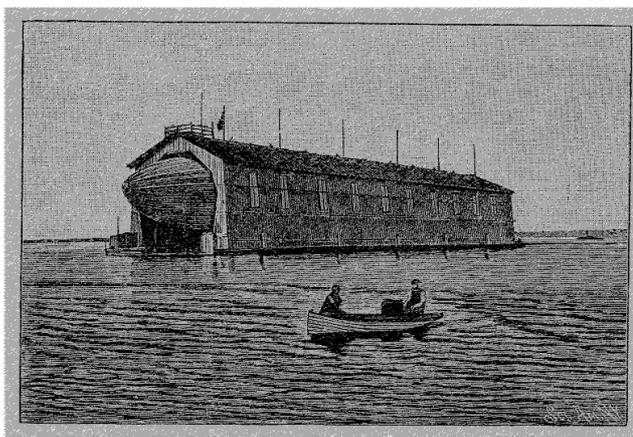


Fig. 22. — Ballon *Zeppefin* dans son hangar.

par une armature rigide; on peut obtenir le même résultat par des constructions funiculaires qui seront toujours beaucoup plus légères.

Ainsi proscrire absolument toute partie rigide dans la construction du ballon, les réduire au minimum dans le reste de l'aérostat, tels sont les deux principes fondamentaux de l'architecture aérienne.

Mais il y a une autre considération fort importante qui milite en faveur de ces principes que jusqu'à présent nous n'avons justifiés que par des raisons de légèreté de construction, c'est qu'il y a une grande difficulté pour assembler l'étoffe d'un ballon avec des parties solides, On peut demander en effet à une étoffe de résister à des efforts considérables à la condition que ces efforts soient répartis sur une certaine largeur; si on vient à exercer un effort même faible en un point déterminé d'une étoffe, elle n'y résistera pas, car elle ne présentera qu'un petit nombre de fils ou même un seul pour s'y opposer et on arrivera à

une rupture; la déchirure d'une étoffe qu'on peut obtenir par des efforts faibles n'est du reste que la rupture successive des différents fils que l'on fait travailler séparément les uns après les autres. Lors donc qu'on cherche à assembler un organe rigide avec l'étoffe d'un ballon, on s'expose à demander à certains points de celle-ci des efforts inadmissibles; et en supposant qu'on ait pris toutes les précautions nécessaires pour éviter tout danger de rupture quand le ballon conservera sa forme normale, il faut compter avec les déformations toujours inévitables qui modifieront les positions relatives du ballon et des organes qui y sont attachés, et qui pourront amener dans l'étoffe des tensions anormales et dangereuses.

Aux deux principes énoncés plus haut, nous en ajouterons donc un troi-



Fig. 23. — Ballon *Zeppelin* sur son radeau.

sième : c'est qu'il faut autant que possible éloigner du ballon tout organe rigide.

De tous les aérostats dirigeables qui ont été construits, celui de Severo était certainement celui dans lequel on avait poussé le plus loin l'oubli des règles précédentes; non seulement la nacelle était reliée au ballon par une armature rigide, mais elle était en contact même avec celui-ci, elle pénétrait jusqu'au centre même du ballon et malgré l'habileté remarquable avec laquelle le constructeur, M. Lachambre, avait réalisé cette construction très difficile, elle n'en était pas moins dangereuse au premier chef.

Il est une autre précaution qui se rattache à l'ordre d'idées qui nous occupe, mais qui concerne spécialement les organes mécaniques installés dans la nacelle d'un ballon dirigeable. Cette nacelle malgré les soins apportés à sa construction n'est pas absolument indéformable; elle est même exposée à des déformations systématiques résultant des conditions particulières de son emploi. Pendant qu'on la construit elle repose sur un certain nombre de points d'appui et est dans des conditions analogues à celles d'une poutre horizontale quelconque; une

fois fixée au ballon, elle se trouve au contraire suspendue et ayant à résister à des efforts dirigés de bas en haut. Au moment donc où elle fonctionne comme nacelle, elle se trouve dans des conditions d'équilibre absolument différentes de celles qui existaient au moment de sa construction et de l'installation des divers organes mécaniques. On pourrait par le calcul tenir un compte plus ou moins exact de ce fait, mais pour éviter tout mécompte il vaut beaucoup mieux donner à tout le mécanisme la possibilité de se plier aux déformations de la nacelle. Les constructeurs d'automobiles ont dû se conformer à une nécessité du même genre et recourent constamment à des organes tels que chaînes, joints de Car-

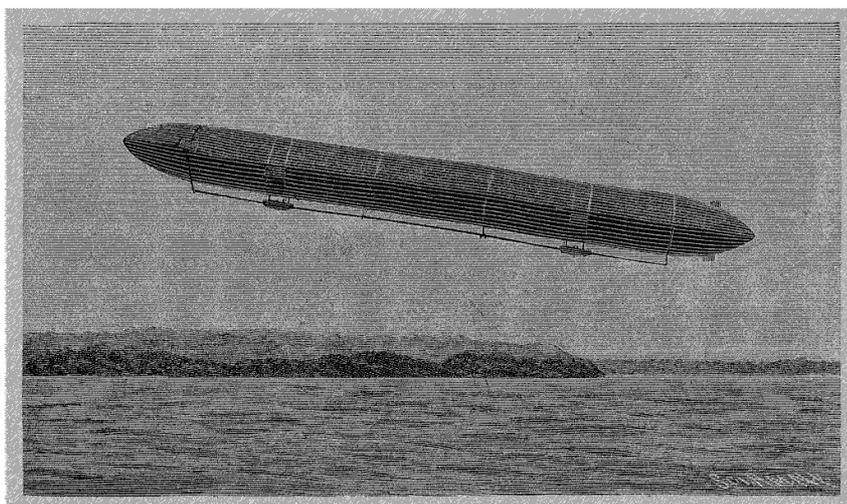


Fig. 24. — Ballon *Zepelin* en l'air.

dan. paliers mobiles, qui permettent au mécanisme de fonctionner d'une manière satisfaisante malgré les déformations du véhicule. Cette nécessité est au moins aussi impérieuse dans les ballons dirigeables ; le mécanisme de *La France* était parfaitement adapté à ces exigences spéciales qui semblent avoir complètement échappé à Severo et à ses mécaniciens.

En voyant la complication de la nacelle et la difficulté de construction de l'aérostat de Severo, on doit se demander par quelles idées il a pu être guidé pour aboutir à une semblable conception. Il a eu sans doute le désir de faire coïncider l'axe de son propulseur avec l'axe de figure du ballon afin d'exercer la traction au centre de résistance et par suite de supprimer une des causes du tangage. Cette idée est juste en elle-même bien qu'en réalité, comme la résistance de la nacelle et des organes qui la relie au ballon n'est nullement négli-

geable, ce n'est pas dans l'axe du ballon que se trouve le centre de résistance mais sensiblement plus bas ; si les hélices de *La France*, du ballon de M. Santos-Dumont, et des autres aérostats de types analogues étaient trop basses, celles de Severo étaient trop hautes. Quoi qu'il en soit, l'avantage d'une meilleure position de l'hélice, en admettant qu'il fût réel, est compensé par des inconvénients tellement graves qui font courir de tels dangers aux aéronautes, qu'il vaut mieux y renoncer et du moins, si l'on cherche à les obtenir, ne pas se mettre en contradiction avec les principes de construction que nous avons indiqués plus haut.

Admettons qu'un aérostat dirigeable ait été construit en se conformant en tous points aux règles que nous venons de formuler ; il restera encore à se prémunir contre un danger, le plus grave de tous, celui de l'incendie. Ce n'est pas en effet sans une certaine témérité que l'on peut installer un moteur à feu à quelques mètres d'une masse énorme de gaz combustible dont on n'est séparé que par une frêle étoffe éminemment combustible elle-même. Pour qu'une semblable combinaison ne soit pas une pure folie, il est nécessaire de s'entourer des précautions les plus minutieuses.

Encore, s'il était possible de maintenir l'hydrogène dans une enveloppe hermétiquement fermée, on pourrait dire qu'il suffira de placer le moteur à une distance assez grande du ballon pour qu'il ne puisse pas y mettre le feu, mais les choses ne se passent pas ainsi, et les conditions sont en réalité beaucoup plus mauvaises que dans l'hypothèse que nous venons de faire. Par le seul fait de l'ascension du ballon, le gaz se dilate dans une proportion qu'il est facile de calculer, et il est nécessaire de lui ouvrir une issue sous peine de faire éclater le ballon à quelques centaines de mètres de hauteur. Bien plus, il est à peu près indispensable que cette soupape de sûreté soit placée à la partie inférieure, d'ailleurs comme, lorsque le gaz s'échappe par cet orifice, c'est que l'aérostat s'élève, la nacelle rencontre forcément tout l'hydrogène qui sort du ballon (1). Enfin à sa sortie le gaz se mélange immédiatement à l'atmosphère, et il y a certainement des parties de ce mélange qui sont détonantes. Le problème se pose donc ainsi : installer un moteur à feu à proximité d'une masse de gaz inflammable et dans le voisinage d'une région qui peut être traversée par des filets de gaz inflammables ou même détonants s'échappant de la masse générale qui est elle-même renfermée dans une enveloppe combustible.

Pour parer aux nombreux dangers qui résultent d'une semblable situation

(1) Les variations de température peuvent produire aussi des dilatations et des contractions du gaz, mais la cause prépondérante de ces mouvements réside dans les changements de pression ambiante qui résultent des mouvements verticaux de l'aérostat ; les phénomènes thermiques n'interviennent qu'à titre de correction.

que l'on ne peut pas modifier, il y a plusieurs genres de précautions à prendre.

Il est évident qu'il faut chercher à éloigner autant que possible le moteur de la masse gazeuse ; on ne peut indiquer sur ce point une limite absolue, mais dans les 2 cas d'inflammation de ce genre que présente l'histoire de la navigation aérienne, dans les aérostats de WOELFERT et de SEVERO, le moteur était certainement beaucoup trop rapproché (fig. 25).

Il est plus nécessaire encore de disposer des orifices par où le gaz s'échappe du ballon le plus loin possible de la source de chaleur ; si l'on se rappelle que dans un ballon dirigeable on ressent un courant d'air venant de l'avant égal à

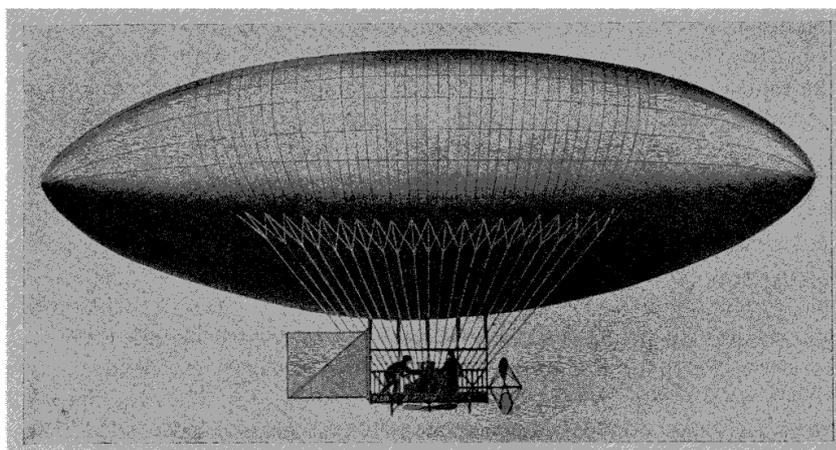


Fig. 25. — Ballon Woelfert (juin 1897).

la vitesse propre du navire aérien, on en conclut que l'orifice de sortie du gaz doit être placé autant que possible vers l'arrière, de manière que les bouffées inflammables ou détonantes soient balayées au dehors et ne puissent jamais rencontrer le moteur. Si l'aérostat vient à stopper, le bienfaisant courant d'air cesse immédiatement et il est prudent d'arrêter le moteur s'il ne l'est déjà.

Il faut aussi employer des dispositifs particulièrement efficaces pour refroidir les gaz d'échappement du moteur. Dans les automobiles, on a recours généralement dans ce but à un appareil connu sous le nom de pot d'échappement ou de silencieux. On peut se demander si un semblable dispositif très suffisant pour les automobiles est assez efficace pour les ballons dirigeables, et à notre avis il est très désirable de l'améliorer. Telle ne fut pas l'opinion de l'infortuné Severo, car dans les économies de poids qu'il fut obligé de réaliser pour pouvoir s'enlever, après avoir supprimé les ballonnets, il supprima également les

pots d'échappement de ses moteurs. Du reste, dans les essais préliminaires on aurait, paraît-il, constaté des échappements de flamme de plusieurs décimètres de longueur.

Ce qu'il faut proscrire d'une manière absolue, ce sont les espaces confinés ou à peu près qui pourraient se trouver entre les moteurs et le ballon et dans lesquels le mélange détonant pourrait s'accumuler sans être balayé par le courant d'air dû à la marche. Or l'angle dièdre dans lequel s'enfonçait la charpente de sa nacelle et auquel SEVERO avait donné le nom de tunnel constituait un de ces espaces confinés et il paraît probable que c'est là qu'a dû se produire l'explosion.

Comme mesures d'ordre secondaire, qui seront probablement inutiles si les précautions précédentes ont été prises, il est bon que la nacelle ou au moins les parties voisines des moteurs soient en matériaux incombustibles; il sera utile également d'emporter quelques engins pouvant combattre des commencements d'incendie.

Telles sont les principales précautions que l'on peut conseiller dans la construction des aérostats dirigeables. A toutes ces mesures il est indispensable d'en ajouter une dont nous avons déjà parlé au début et qui consiste à avoir à bord de la nacelle un aéronaute compétent.

Il ne faut pas oublier en effet qu'un ballon dirigeable est avant tout un ballon. Quand il fonctionne comme dirigeable, il faut que sa manœuvre en altitude soit confiée à un pilote de l'air expérimenté; lorsque pour une cause ou pour une autre l'appareil de propulsion cesse de fonctionner, le ballon devient un aérostat libre ordinaire, probablement plus difficile à manœuvrer qu'un autre, et il ne faut pas que l'arrêt du système moteur se transforme en une chute ridicule ou dangereuse. D'ailleurs, même en admettant que tout se passe pour le mieux au point de vue direction, il faudra toujours pour la descente un aéronaute capable de modérer sa vitesse verticale et d'effectuer l'atterrissage dans de bonnes conditions.

Nous ne voulons pas abuser de votre attention en insistant sur ce point qui est d'une importance capitale. Nous nous bornerons à rappeler un fait aujourd'hui historique, c'est que sur les sept ascensions du ballon *la France*, cinq se terminèrent par un retour au point de départ, et deux furent des échecs au point de vue direction, mais les unes comme les autres se terminèrent par des atterrissages exécutés dans d'excellentes conditions, parce que les voyageurs étaient tous des aéronautes éprouvés. Il n'en a pas été de même pour d'autres aérostats dirigeables qu'il est inutile de nommer, et la constatation de cette différence suffit pour justifier la mesure proposée.

J'ai fini, Messieurs, et j'espère avoir atteint mon but. J'espère que lorsqu'un inventeur de ballon dirigeable viendra vous consulter individuellement, ou bien

demandera l'avis officiel de la Société d'Encouragement, vous lui répondrez en lui posant à peu près la série de questions suivantes :

Votre ballon comporte-t-il un ballonnet?

Ce ballonnet représente-t-il une fraction du volume du ballon au moins égale au délestage relatif maximum que vous pouvez obtenir?

Votre ventilateur est-il capable de débiter par seconde un volume d'air à peu près égal à la 1600^e partie du volume du ballon?

Ce ventilateur peut-il être actionné par un moteur indépendant?

Votre ballonnet est-il disposé de manière à s'opposer aux déplacements longitudinaux des fluides sans détruire l'unité du ballon?

Avez-vous assuré la stabilité longitudinale de votre aérostat et exécuté pour la vérifier des expériences préliminaires?

Avez-vous proscrit dans la construction de votre ballon l'emploi de matériaux rigides?

Avez-vous réduit dans les autres parties de l'aérostat l'emploi de ces matériaux au minimum?

Avez-vous éloigné autant que possible les matériaux rigides du contact immédiat du ballon?

Avez-vous, dans votre mécanisme, adopté des dispositions qui permettent d'assurer un bon fonctionnement malgré les déformations possibles de la nacelle?

Avez-vous éloigné votre moteur du contact immédiat de l'aérostat?

Avez-vous placé aussi loin que possible du moteur et vers l'arrière les orifices d'échappement du gaz du ballon?

Avez-vous adopté des dispositifs efficaces pour la réfrigération des gaz d'échappement du moteur?

Avez-vous évité de créer entre le moteur et le ballon des espaces confinés favorables à l'accumulation des mélanges détonants?

Avez-vous évité dans les parties de la nacelle voisines des moteurs l'emploi des matériaux combustibles?

Disposez-vous de quelques engins d'extinction de commencement d'incendie?

Êtes-vous un bon aéronaute ou avez-vous l'intention d'en embarquer un?

Si l'inventeur ne répond pas d'une manière affirmative à ces différentes questions, il sera prudent de l'engager à modifier ces projets dans le sens indiqué. Si au contraire il répond d'une manière affirmative, vous ne lui promettez pas évidemment la réussite, mais vous pourrez lui dire qu'il a assuré dans la limite du possible sa propre sécurité, celle de ses passagers et celle du public; alors vous pourrez en toute confiance accorder en sa personne vos encouragements à une industrie qui a toujours été nationale et qui ne cessera jamais, j'en ai le ferme espoir, de l'être dans l'avenir.

ARTS MÉCANIQUES

NOTE SUR LES LOCOMOTIVES, par **M. Ed. Sauvage**,
ingénieur en chef des Mines (Suite) (1).

LOCOMOTIVES A TROIS ESSIEUX COUPLÉS

La locomotive à trois essieux couplés se prête aux services les plus variés, et peut suffire seule à l'exploitation de bien des chemins de fer. Ce n'est que pour la remorque de trains très rapides, ou de trains lents de poids exceptionnel, que d'autres machines sont utiles. Le diamètre des roues des locomotives à trois essieux couplés varie d'ailleurs entre des limites éloignées, ce qui permet de les approprier à des services très différents.

Beaucoup de machines à trois essieux couplés ont une adhérence totale, surtout dans les constructions anciennes : il suffit de rappeler le type du *Bourbonnais*, avec cylindres extérieurs, fort répandu sur le continent d'Europe, et la machine à marchandises anglaise classique à cylindres intérieurs. La figure 50 représente une de ces dernières machines, de construction récente; contrairement aux habitudes anciennes, le foyer, au lieu de plonger entre les essieux, s'étend au-dessus de l'essieu d'arrière, modification heureuse à un double point de vue, car elle agrandit la grille et améliore la répartition du poids entre les essieux.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	1 ^m 2,90
— de chauffe	101 ^m 2,45
Timbre	10 ^{kg} ,5
Cylindres : diamètre	460 mm.
— course	660 mm.
Diamètre des roues	4 ^m ,42
— en service	38 t.

L'État belge possède également une locomotive à 3 essieux couplés et à adhérence totale à cylindres intérieurs, locomotive très compacte qui figurait

(1) Voir *Bulletin* de mars 1902, p. 351.

à l'Exposition universelle de 1900. (Voir *Revue générale des chemins de fer et des tramways*, mars 1901, p. 241.)

Dans les constructions récentes, on emploie de plus en plus le bogie, ou au

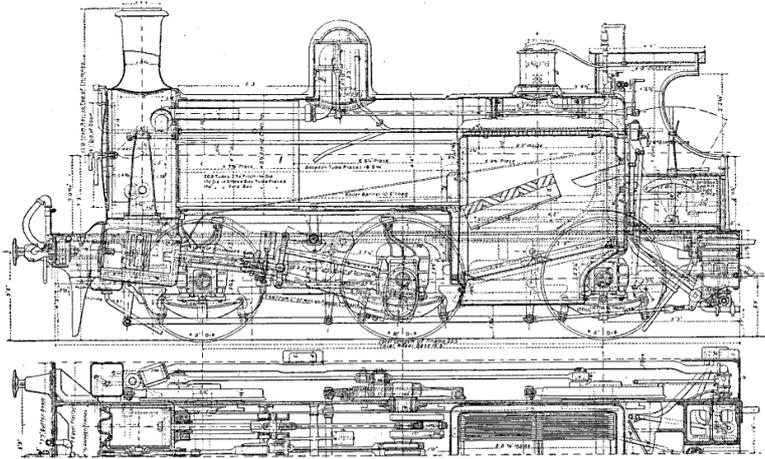


Fig. 50. — Locomotive à marchandises du *Barrow in Furness Ry* (d'après la *Revue de mécanique*, juillet 1899, p. 100).

moins le train Bissel d'un seul essieu à l'avant. Telle est la locomotive compound à marchandises de l'État autrichien (fig. 51), compound du système Gælsdorf dont les principales dimensions sont les suivantes :

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	2 ^m 2,70
— de chauffe	144 ^m 2,7
Timbre	14 kg.
Cylindres : diamètres	520 et 740 mm.
— course	632 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,29
Poids total, en service	58 ^t ,45
— adhérent	48 ^t ,10

La compound suisse de Jura-Simplon (fig. 52) offre un exemple de la disposition à 3 cylindres, avec cylindre unique à haute pression médian. C'est une machine de puissance relativement modérée. (Voir *Revue générale des chemins de fer et des tramways*, février 1901, p. 167.)

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	2 ^m 2,3
— de chauffe.	140 ^m 2,3
Timbre	14 atm.
Cylindres : diamètres.	Un de 500 et deux de 540 mm.
— course.	600 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,52
Poids adhérent.	44 ^t ,5

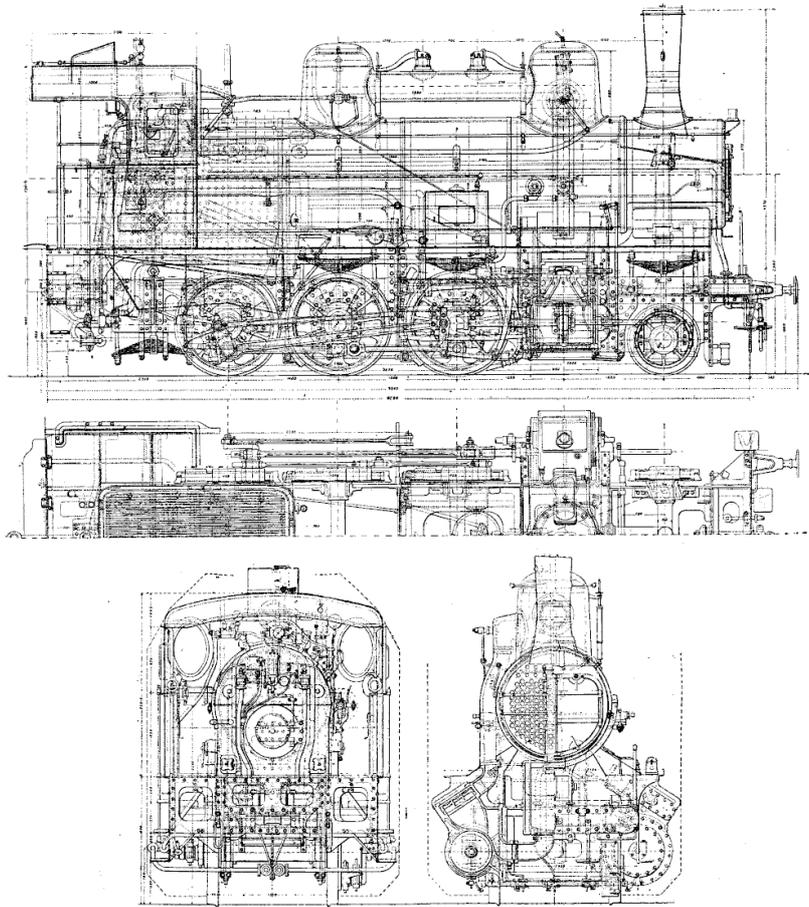


Fig. 51 — Locomotive de l'Etat Autrichien, compound à deux cylindres
(d'après la *Revue de mécanique*, oct. 1898, p. 426).

La locomotive anglaise du *Midland Ry* (fig. 53) a de même un avant-train

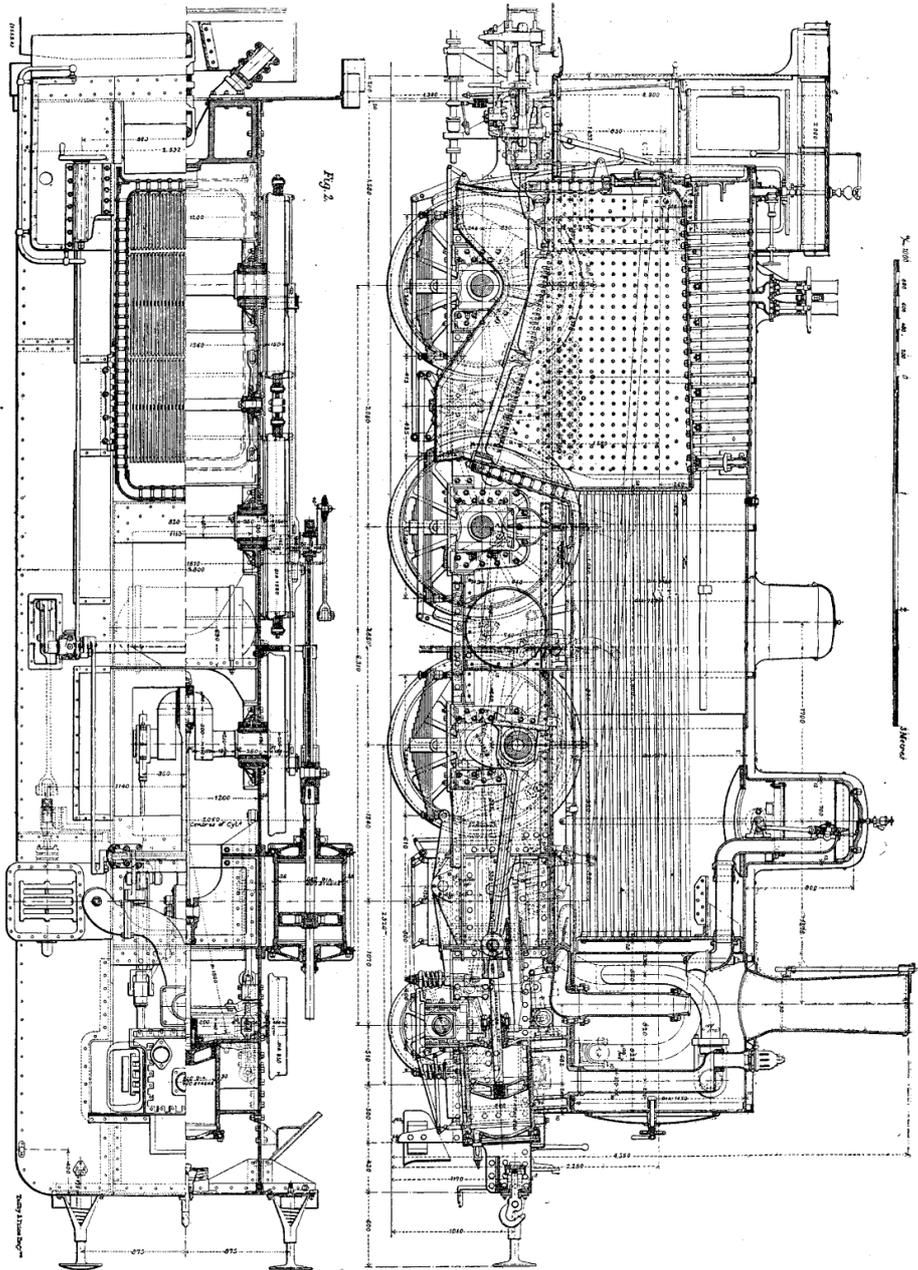


Fig. 52. — Locomotive compound à trois cylindres du Jura-Simplon (d'après la Revue de mécanique, déc. 1900, p. 745).

Bissel; mais cette locomotive, commandée aux États-Unis, est plutôt un exemple de la construction américaine légèrement modifiée.

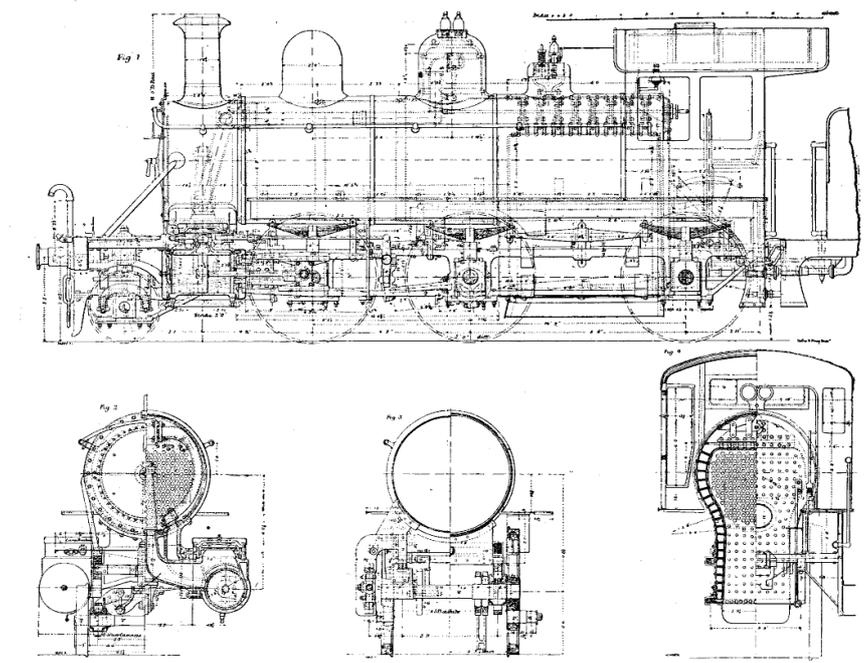


Fig. 53. — Locomotive Américaine construite pour le *Midland Ry.* d'Angleterre (d'après la *Revue de mécanique*, juillet 1899, p. 99).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	4 ^m 2,54
— de chauffe.	127 ^m 2,49
Timbre.	41 ^{kg} 2,25
Cylindres : diamètre.	437 mm.
— course.	510 mm.
Diamètre des roues motrices.	4 ^m ,524
Poids total en service.	45 ^t ,5
— adhérent.	37 ^t ,7

Quelquefois l'essieu porteur a été placé à l'arrière, comme dans les locomotives du P.-L.-M., construites en 1881. (Voir *Revue générale des chemins de fer*, décembre 1882, p. 415.)

C'est surtout avec le bogie à l'avant, et avec des roues motrices assez grandes, que les locomotives à trois essieux couplés conviennent pour la remorque de

trains de voyageurs : ces machines deviennent parfois de véritables machines à grande vitesse. Il est intéressant de les rapprocher du type *Atlantic* qui vient d'être examiné.

Malgré l'augmentation de la charge par essieu, qui dépasse 20 tonnes dans certains cas, le rapport du poids adhérent à l'effort de traction risque d'être un peu faible dans ces locomotives *Atlantic* à deux essieux couplés. D'ailleurs, sur la plupart des chemins de fer, on n'admet pas de charges aussi grandes, et souvent, même avec des voies très solides, on ne dépasse guère 17 à 18 tonnes. On

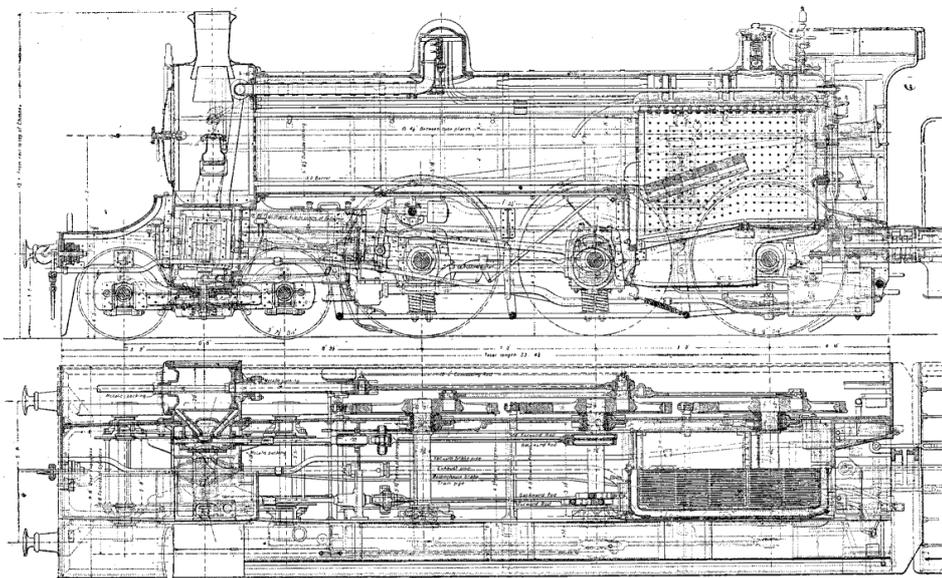


Fig. 34. — Locomotive à trois essieux couplés du *North Eastern Ry* (d'après la *Revue de mécanique*, avril 1900, p. 472).

se demande alors s'il ne conviendrait pas de rendre moteur l'essieu d'arrière en le munissant de roues de grand diamètre; on arrive ainsi à la locomotive à grande vitesse à trois essieux couplés, aux roues de deux mètres environ. Avec des roues de diamètre moindre, ces locomotives font d'ailleurs un excellent service, et sont déjà employées pour des vitesses assez grandes. La pratique semble démontrer, comme le raisonnement d'ailleurs, qu'il n'y a aucun inconvénient à employer trois essieux accouplés pour les locomotives à grande vitesse. Dans cet ordre d'idées, le type *Atlantic* apparaîtrait comme un type de transition, dont les applications sont assez limitées, et auquel on préférerait en principe la locomotive à 3-3 essieux, ayant une meilleure adhérence, et plus convenable pour

des services variés. Toutefois la disposition du type *Atlantic* donne, pour l'élargissement des foyers, des facilités qu'on ne retrouve pas avec trois essieux à grandes roues.

Jusqu'ici, c'est surtout avec des roues de diamètre moyen, de 1^m,500 à 1^m,800, que la locomotive à trois essieux couplés et à bogie a été construite.

En Angleterre, la locomotive du *Highland Ry*, qui remonte à 1894, est un exemple de ce type de machines avec cylindres extérieurs.

La locomotive du *North-Eastern Ry* (fig. 54) a des roues de 1^m,85. Le poids adhérent, de 45^t,35 n'est pas très également réparti entre les trois essieux couplés, car le premier essieu porte 11^t,5 et le second 19^t,35. Cette locomotive, qui figurait à l'Exposition universelle de 1900, remorque des charges de 370 à 375 tonnes à la vitesse de 85 kilomètres à l'heure.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	2 ^m 2,13
— de chauffe.	167 ^m 2,08
Timbre.	14 kg.
Cylindres : diamètre.	507 mm.
— course.	660 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,85
Poids total en service.	62 ^t ,4
— adhérent.	45 ^t ,35

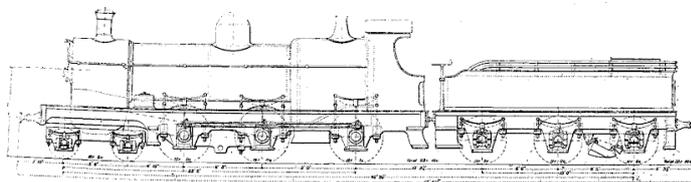


Fig. 55. — Locomotive à trois essieux couplés du *Great Western Ry* (d'après la *Revue d. mécanique*, nov. 1897, p. 1111).

La locomotive à trois essieux couplés du *Great Western Ry* (fig. 55) a les dispositions spéciales de ce réseau, et notamment les longerons extérieurs.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	3 ^m 2,25
— de chauffe.	240 ^m 2,88
Timbre.	11 ^{kg} ,6
Cylindres : diamètre.	510 mm.
— course.	610 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,37
Poids en service.	58 ^t ,5
— adhérent.	46 ^t ,2

La boîte à feu passe au-dessus des longerons, ce qui augmente un peu la largeur de la grille; la chaudière est munie de 150 tubes à ailettes. Cette locomotive est destinée principalement à la remorque des trains de houille.

La locomotive autrichienne compound à deux cylindres, du système Gælsdorf, a des roues d'assez grand diamètre; les cylindres sont intérieurs, disposition assez rare en Autriche; les longerons sont extérieurs.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	3 ^m 2,10
— de chauffe.	244 ^m 2,7
Timbre de la chaudière.	14 kg.
Diamètres des cylindres	530 et 840 mm.
Course.	720 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,82
Poids en service.	69 ^t ,8
— adhérent.	43,405

Un réservoir cylindrique de vapeur communique par deux cuissards avec le corps cylindrique de la chaudière. Cette construction est plus simple que celle de deux dômes reliés par un gros tuyau rectiligne souvent usitée en Autriche. Le dôme unique paraît d'ailleurs suffisant en général.

En France, c'est sous forme de locomotive compound à quatre cylindres, que le type à trois essieux couplés et à bogie s'est beaucoup répandu. Les dimensions principales de ces locomotives sont les suivantes :

	NORD N ^{os} 3 121-3 170	OUEST N ^{os} 2 501-25	P. O. N ^{os} 1 701-1 725	MIDI N ^{os} 1 402-1 415	P.L.M. N ^{os} 3 401-3 550	EST N ^{os} 3 425-3 450
Surface de grille, m ²	2,34	2,45	2,38	2,49	2,48	2,51
— de chauffe, m ²	180,7	194	187,97	181,74	189,51	205,31
Timbre, kg.	15	14	15	15	15	16 ¹
Cylindres : diamètres, mm.	350 et 550	350 et 550	350 et 550	350 et 550	340 et 540	350 et 550
— course, mm.	640	640	640	640	650	640
Diamèt. des roues motr., m.	1,750	1,720	1,750	1,600	1,650	1,750
Poids en service, tonnes.	38,57	58,4	»	59,9	»	65,4
Poids adhérent, tonnes.	42,47	41,5	»	41,1	»	47,1

Sur le réseau du Midi, d'autres locomotives analogues ont des roues de 1^m,750; elles pèsent 60^t,1. Sur le chemin de fer du Nord, ces locomotives à trois essieux couplés servent depuis longtemps à la remorque du train express de

(1) Les soupapes des locomotives de l'Est sont réglées pour la pression de 15 kilogrammes.

Paris à Bruxelles, partant à 6 h. 20 du soir, entre Paris et Quévy : ce train, qui a de nombreux arrêts, marche dans ce parcours à la vitesse commerciale de 71 kilomètres à l'heure; le trajet de Paris à Compiègne (84 km.) se fait en 4 h. 6 min.

La Compagnie de l'Ouest met en service un nouveau lot de machines analogues, avec roues de

Les figures 56 à 58 représentent les locomotives du Nord, du Midi et de l'Est.

La locomotive construite par l'atelier de Chemnitz pour l'État Norvégien

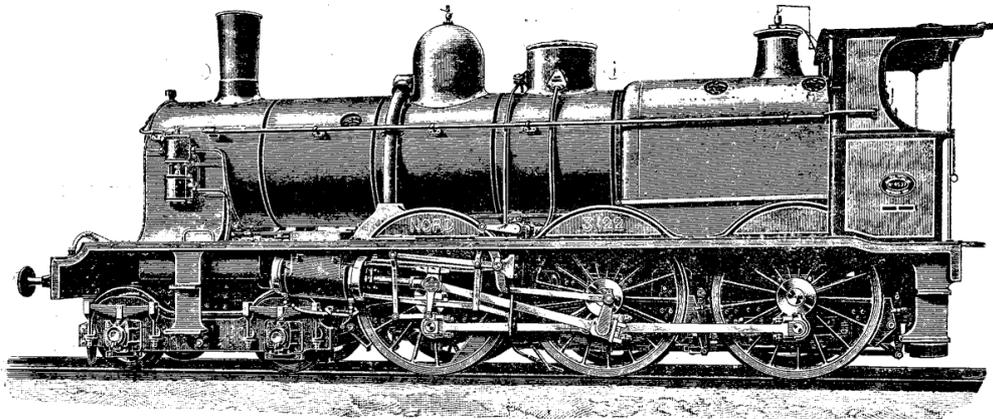


Fig. 56. — Locomotive compound à quatre cylindres et à trois essieux couplés des chemins de fer du Nord (d'après la *Revue de mécanique*, janvier 1899, p. 97).

(fig. 59 et 59 bis), compound à deux cylindres, est de dimensions modérées; elle est destinée à des lignes ayant des rampes de 17 à 20 mm. par mètre et des courbes de 250 m. Le démarrage se fait à l'aide d'une valve von Borries (Voir *Revue générale des chemins de fer et des tramways*, avril 1901, p. 410.)

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	1 ^m 2,90
— de chauffe	117 ^m 2,3
Timbre	13 kg.
Cylindres : diamètres	450 et 670 mm.
— course	630 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,445
Poids total en service	51 t.
Poids adhérent	36 t.

La locomotive compound (1), du réseau méditerranéen d'Italie, à 3-5 essieux exposée en 1900, a deux cylindres extérieurs. Cette machine est munie d'une valve de démarrage von Borries. Une injection d'eau et de vapeur dans

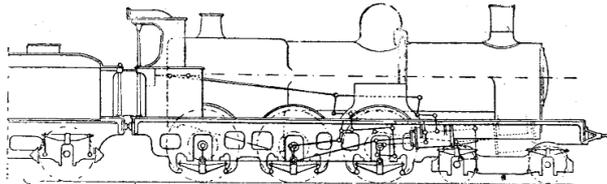


Fig. 37. — Locomotive compound à quatre cylindres et à trois essieux, à roues de 1^m,750, des chemins de fer du Midi. (d'après la *Revue de mécanique*, juillet 1900, p. 87).

l'échappement, pour la marche à contre-vapeur, est reliée à la valve de démarrage, de telle sorte que la communication entre les deux cylindres est nécessairement ouverte lorsque l'injection fonctionne. La grille s'étend non seulement

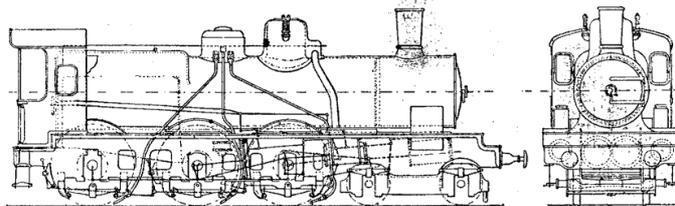


Fig. 38. — Locomotive des chemins de fer de l'Est (d'après la *Revue de mécanique*, juillet, 1900. p. 887).

au-dessus de l'essieu d'arrière, mais au-dessus de deux essieux. Les dimensions principales sont les suivantes :

Surface de grille	2 ^m 2,60
— de chauffe	121 ^m 2,26
Timbre	13 atm.
Cylindres : diamètres	540 et 800 mm.
— course	680 mm.
Diamètre de roues motrices	1 ^m ,834
Poids total en service	66 t.
Poids adhérent	45 t.

La locomotive (fig. 60 et 60 bis) du *Sud-Est Russe* (2), compound à deux cylindres, est disposée pour brûler exclusivement du naphte.

(1) Voir *Revue générale des chemins de fer et des tramways*, juin 1901, p. 365.

(2) Voir *Revue générale des chemins de fer et des tramways*, août 1900, p. 301.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de chauffe.	152 ^{m²} ,44
Timbre	41 ^{kg} ,88
Cylindres : diamètres.	300 et 730 mm.
— course	630 mm.
Diamètre des roues motrices	4 ^m ,830
Poids total en service.	63 ^t ,2
— adhérent	42 ^t ,9

Le réseau adriatique des chemins de fer d'Italie a exposé en 1900 une remarquable locomotive à 3 essieux couplés et à bogie (fig. 61 à 64), qui présente plusieurs dispositions nouvelles (1). Cette locomotive, soumise à des essais sur le chemin de fer de l'Ouest, à la suite de l'Exposition, s'est fort bien comportée; elle fait grand honneur aux ingénieurs qui l'ont étudiée et aux ateliers qui l'ont exécutée. La construction d'un lot de locomotives semblables a été décidée.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	3 m ² .
— de chauffe	165 m ² .
Timbre	45 kg.
Cylindres : diamètres.	380 et 570 mm.
— course	630 mm.
Diamètre des roues motrices.	4 ^m ,94
Poids total en service.	66 ^t ,5
Poids adhérent	43 ^t ,5

La position de la chaudière sur le châssis est inverse de la position usuelle, le foyer se trouvant vers l'avant, au-dessus du bogie, et la cheminée vers l'arrière. On a pu ainsi élargir la grille, qui a 2 m. sur 4^m,50, en la plaçant au-dessus des roues du bogie. Cet arrangement oblige la locomotive à porter le combustible dans des soutes latérales, le tender, réduit à un châssis avec réservoirs cylindriques, contenant l'eau seule (2). Comme on est parfois gêné, à cause des limites de poids, pour donner aux locomotives des dimensions suffisantes, il est clair que cette obligation de porter le combustible doit être considérée comme un inconvénient du système.

Les deux cylindres à haute pression sont groupés d'un côté de la machine, les deux cylindres à basse pression de l'autre : dans chaque groupe, les deux pistons commandent deux manivelles opposées, et un seul tiroir cylindrique

(1) Revue générale des chemins de fer et des tramways, août 1901, p. 148.

(2) Le tender de la locomotive de l'*Illinois Central*, à foyer ondulé Vanderbilt, est également constitué par un réservoir cylindrique sur lequel est rapportée la soute à charbon. Ce réservoir de 2^m,28 de diamètre, en tôles de 15 mm., peut contenir 27 m³ d'eau; la soute à charbon en reçoit 12 tonnes (Voir *Bulletin de la Société d'Encouragement*, juin 1901, p. 872).

suffit pour les deux cylindres d'un groupe. Comme l'axe des cylindres intérieurs

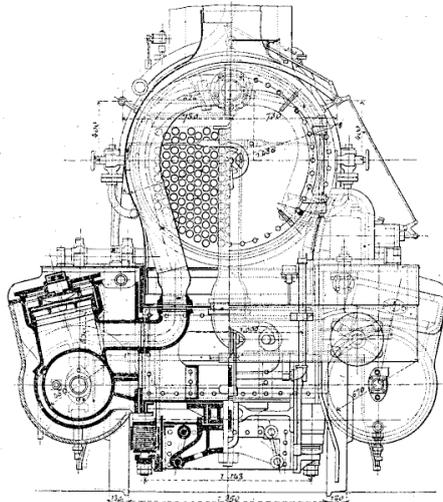
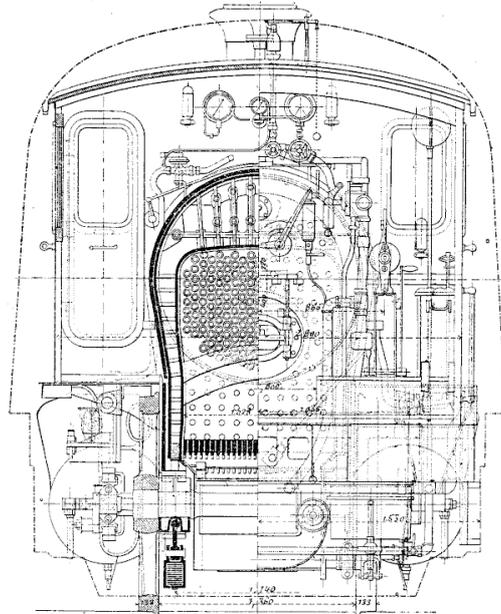


Fig. 59 bis. — Locomotive de l'État Norvégien, vues transversales.

est incliné, tandis que l'axe des cylindres extérieurs est horizontal; les deux manivelles opposées ne sont pas calées exactement à 180° l'une de l'autre, mais de telle sorte que les pistons arrivent en même temps aux fonds de course opposés. Pour le démarrage, le régulateur démasque un petit orifice d'envoi direct de vapeur au réservoir intermédiaire, mais la contre-tige du tiroir cylindrique des cylindres à haute pression obture le passage de cette vapeur quand ce tiroir est dans le voisinage de ses fonds de course, c'est-à-dire quand les pistons à haute pression sont voisins du milieu de leur course.

Les deux distributions sont liées par un arbre de relevage

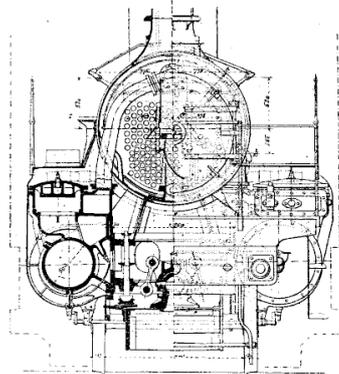


Fig. 60. — Locomotives du Sud-Est Russe : coupes transversales.

unique; mais, à titre de comparaison, on a muni d'autres locomotives du même

type de relevages indépendants. Le déplacement latéral du bogie est contrôlé par des bielles obliques, suivant une disposition fréquente en Amérique. On pourrait souhaiter qu'une partie du poids qui le charge fût reportée sur les roues motrices.

A de très grandes vitesses, malgré la masse des cylindres placée en porte-à-

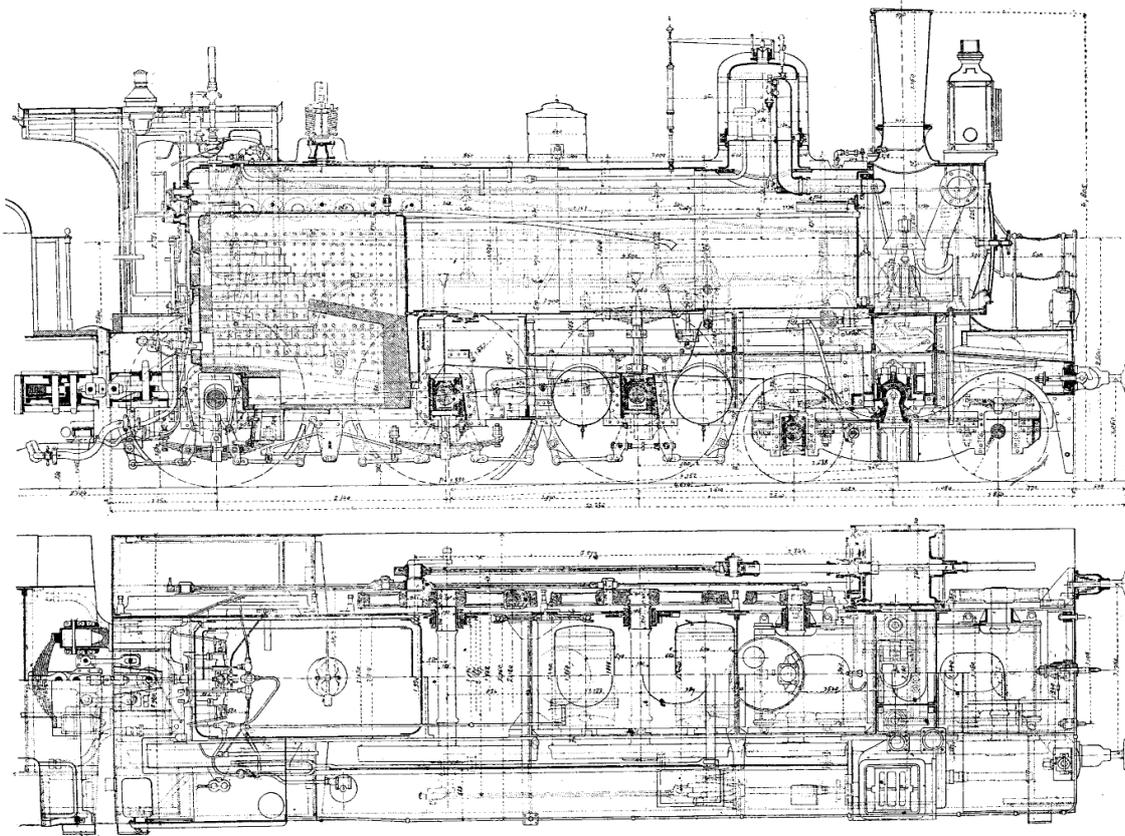
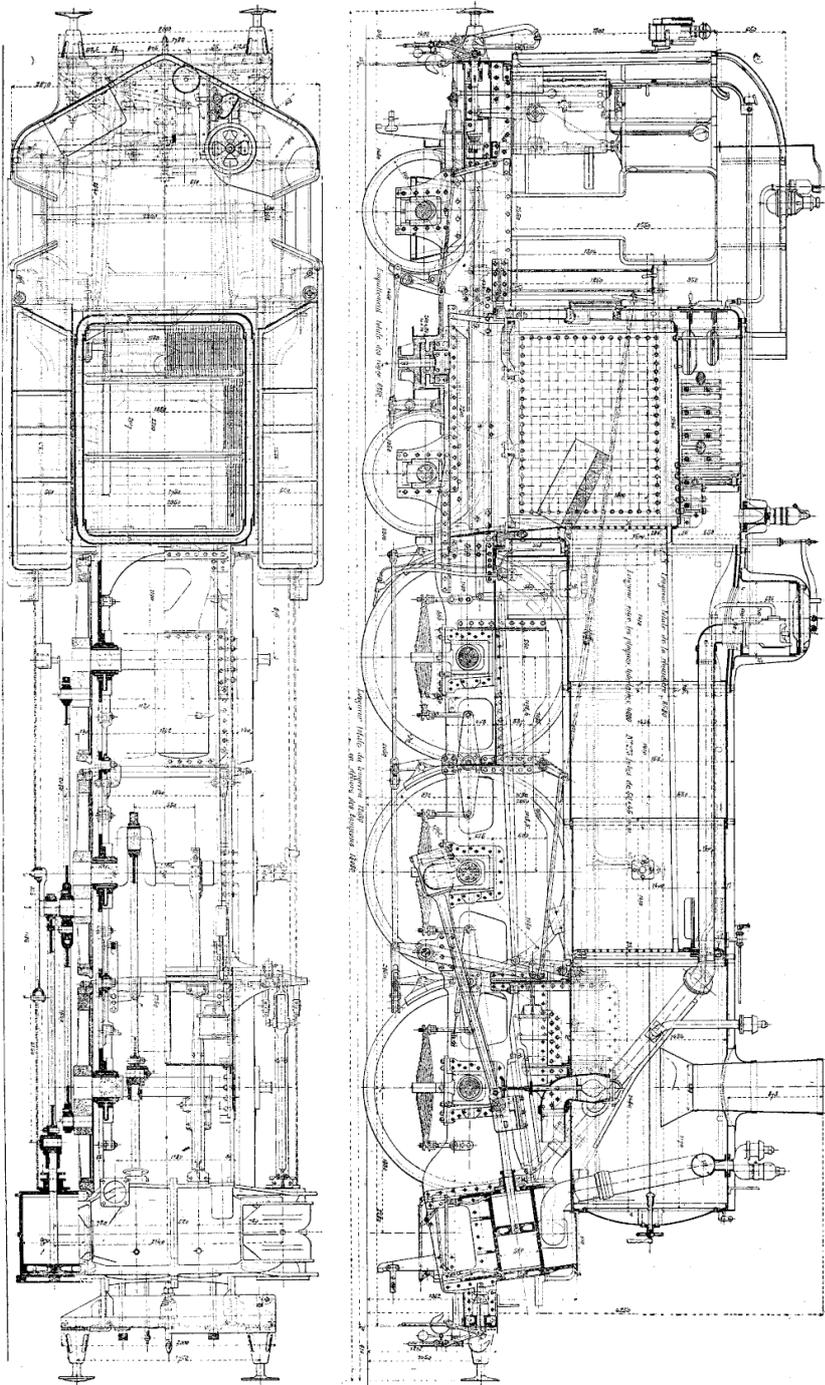


Fig. 60 bis. — Locomotive à 3-5 essieux du *Sud-Est Russe*
(d'après la *Revue mécanique*, sept. 1901, p. 340).

faux à l'arrière, et malgré l'inclinaison des cylindres intérieurs, cette locomotive est très stable et très douce.

Les machines à trois essieux couplés et à bogie sont fort en faveur auprès des ingénieurs américains. Le diamètre des roues varie entre des limites assez étendues et atteint des dimensions qui font de ces machines de véritables ma-

Fig. 61. — Locomotive compound à quatre cylindres du réseau Adria-tique (d'après la Revue de mécanique, oct. 1900, p. 306).



chines d'express. Les foyers sont plongeants ou débordants; cette seconde dis-

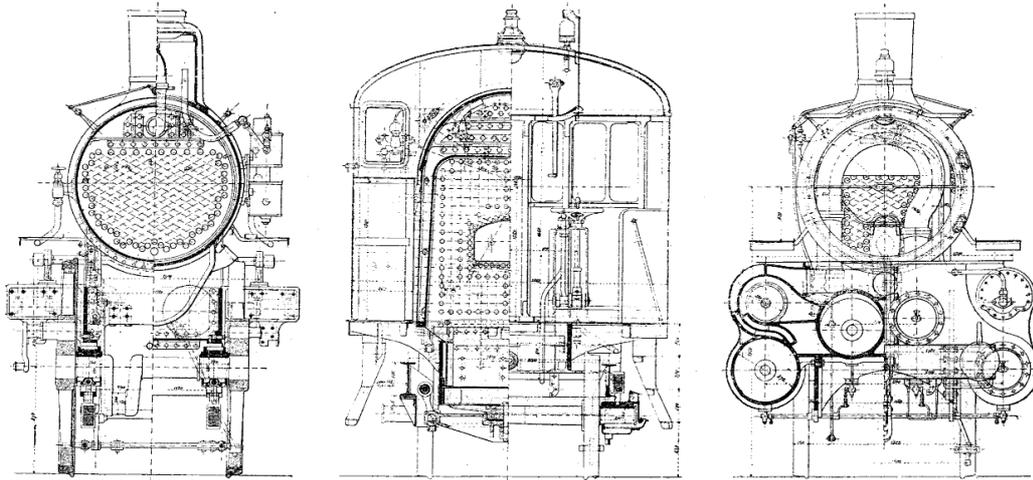


Fig. 62. — Locomotive compound à quatre cylindres, du réseau Adriatique; coupes transversales; vues d'avant et d'arrière.

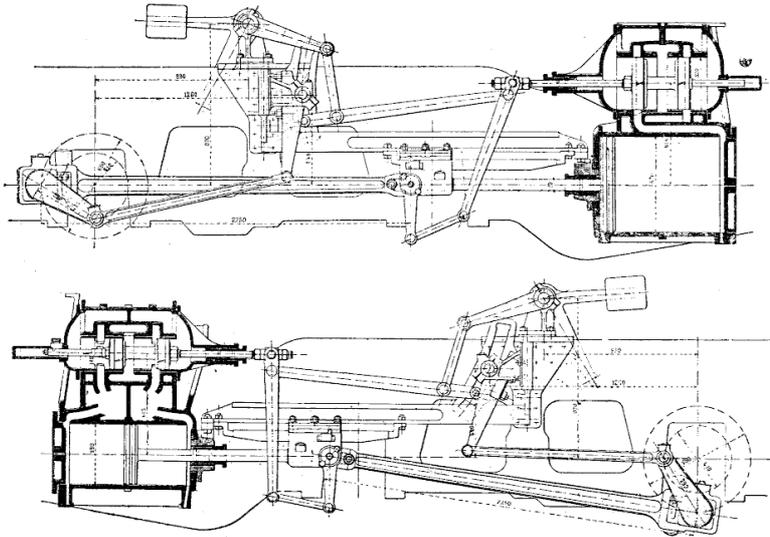


Fig. 63. — Locomotive du réseau Adriatique; distribution.

position se trouve surtout quand les roues ne sont pas de très grand diamètre. Parfois les foyers débordants sont du système Wootten.

La figure 65 représente une locomotive de l'*Union Pacific R. R.*, à 3-5 essieux, mais avec roues de petit diamètre (1^m,45) et grande adhérence (60,5 t.). Le corps cylindrique a un diamètre de 1^m,72; les tôles, épaisses de 18 mm., tra-

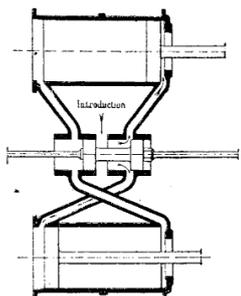


Fig. 64. — Locomotive du réseau Adriatique; disposition d'un distributeur.

vallent à 6,4 kg par mm², sous la pression de 14 kg; la chaudière contient 342 tubes de 50 mm, longs de 4 m.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	2 ^m 2,9
— de chauffe	249 ^m 2,5
Timbre	14 kg.
Cylindres : diamètre	533 millim.
— course	711 millim.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,45
Poids total en service	77 tonnes.
Poids adhérent	60 ^t ,3

La locomotive du *Wisconsin Central Ry* (fig. 66) a des roues de même diamètre (1^m,45), avec chaudière à foyer débordant et tiroirs cylindriques.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	5 ^m 2,13
— de chauffe	242 ^m 2, car.
Timbre	14 kg.
Cylindres : diamètre	510 millim.
— course	660 millim.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,45
Poids total en service	72 tonnes.
Poids adhérent	55 ^t ,3

Le tender de cette locomotive porte 23 m³ d'eau et 9,5 tonnes de charbon.

La locomotive de l'*Atchison, Topeka and Santa Fe Ry* (fig. 67), remontant

à quelques années, peut être considérée comme d'un type de puissance relativement modérée.

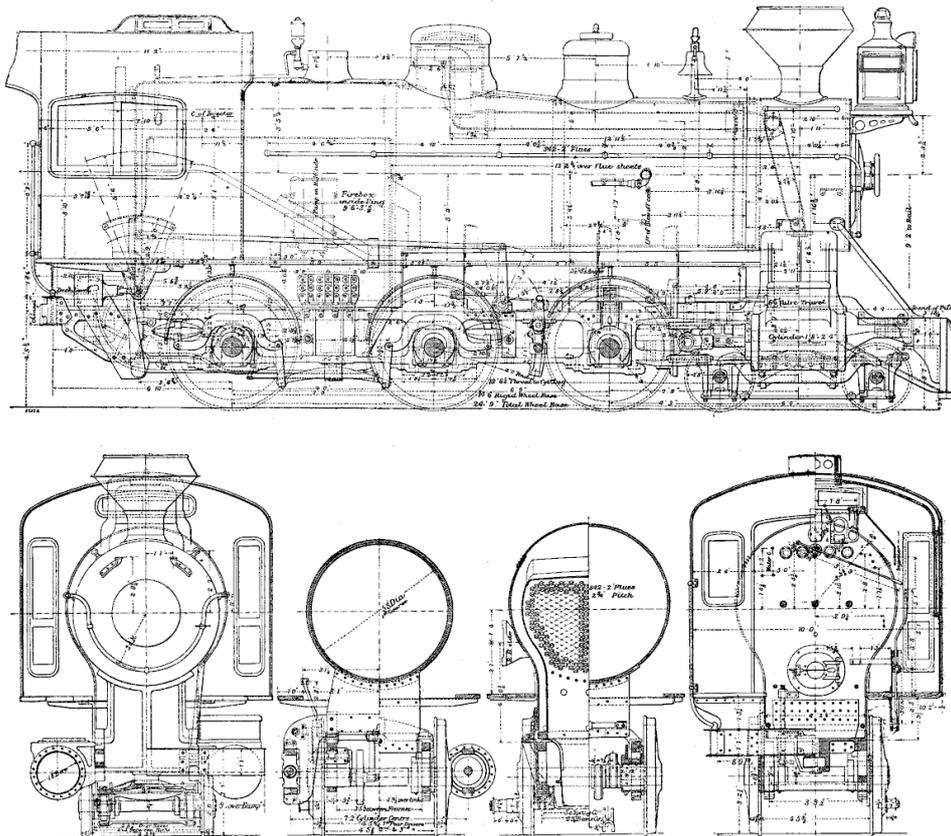


Fig. 65. — Locomotive à trois essieux couplés de l'Union Pacific R. R.
(d'après la *Revue de mécanique*, février 1900, p. 229).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	2 ^m 3,37
— de chauffe	202 m ² .
Timbre	13 kg.
Cylindres : diamètre	495 mm.
— course	710 mm.
Diamètre des roues motrices	4 ^m ,85
Poids total en service	63 ^t ,5
— adhérent	50 t.

Tome 104. — 1^{er} semestre. — Février 1903.

16

Une locomotive construite par Baldwin, pour le *Great Trunk Ry du Canada* (fig. 73), a un poids adhérent de 54 tonnes sous 3 essieux.

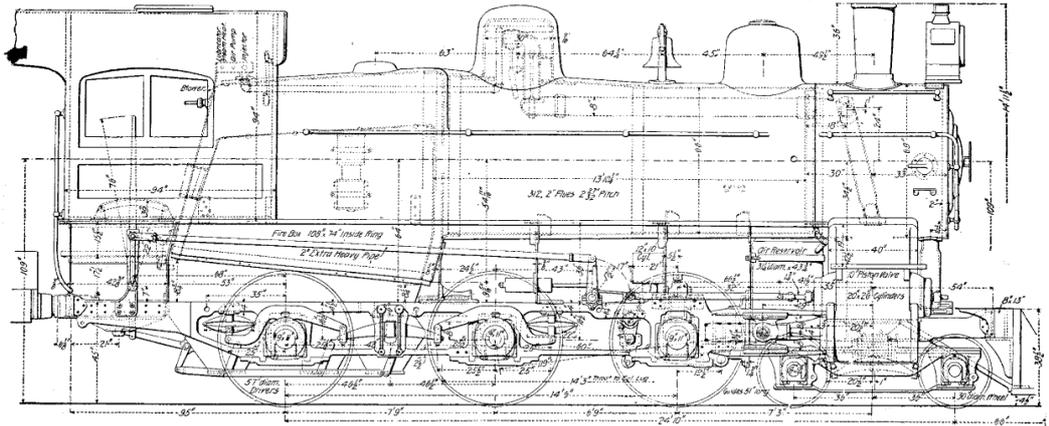


Fig. 66. — Locomotive du Wisconsin central Ry (d'après la *Revue de mécanique*, juin 1901, p. 691).

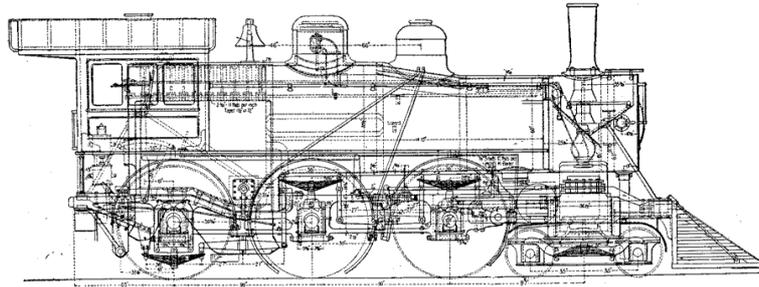


Fig. 67. — Locomotive à trois essieux couplés de l'Atchison Topeka and Santa Fe Ry (d'après la *Revue de mécanique*, nov. 1897, p. 1111).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	3 ^m 2,10
— de chauffe	226 ^m 2,7
Timbre	14 kg.
Cylindres : diamètre	310 mm.
— course	660 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,82
Poids total en service	70 t.
— adhérent	34 t.

Une autre machine est à peu près identique, sauf en ce qui concerne le diamètre des roues motrices, réduit à 1^m,60.

Analogue à la précédente est la machine du *Southern Ry* (fig. 69).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	3 ^m 2,15
— de chauffe.	223 m ² .
Timbre.	14 kg.
Cylindres : diamètre	530 mm.
— course.	710 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,83
Poids total en service.	70 t.
— adhérent.	54 ^t ,5

La locomotive du *Wisconsin Central R. R.* a des roues moyennes (1^m,75), et une grande chaudière à foyer Belpaire : le diamètre du corps cylindrique

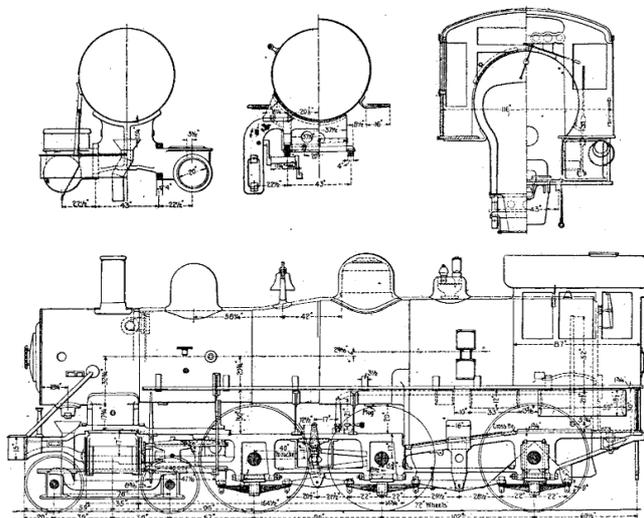


Fig. 68. — Locomotive à trois essieux couplés du *Great Trunk Ry* (d'après la *Revue de mécanique* mars 1898, p. 320).

est de 1^m,68; les tôles, épaisses de 15 mm, travaillent à 8 kg environ par mm² sous la pression de 14 kg. par cm². La hauteur de l'axe est de 2^m,70. Les tiroirs sont cylindriques (fig. 70).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	3 m ² .
— de chauffe.	217 ^m 2,6
Timbre.	14 kg.
Cylindres : diamètre.	480 mm.
— course.	660 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,75
Poids total en service.	67 ^t ,5
— adhérent.	52 ^t ,5

La locomotive du *Great Northern* (fig. 71 et 72), avec roues un peu plus petites (1^m,60) et poids adhérent de 58^t,8, est analogue à la précédente.

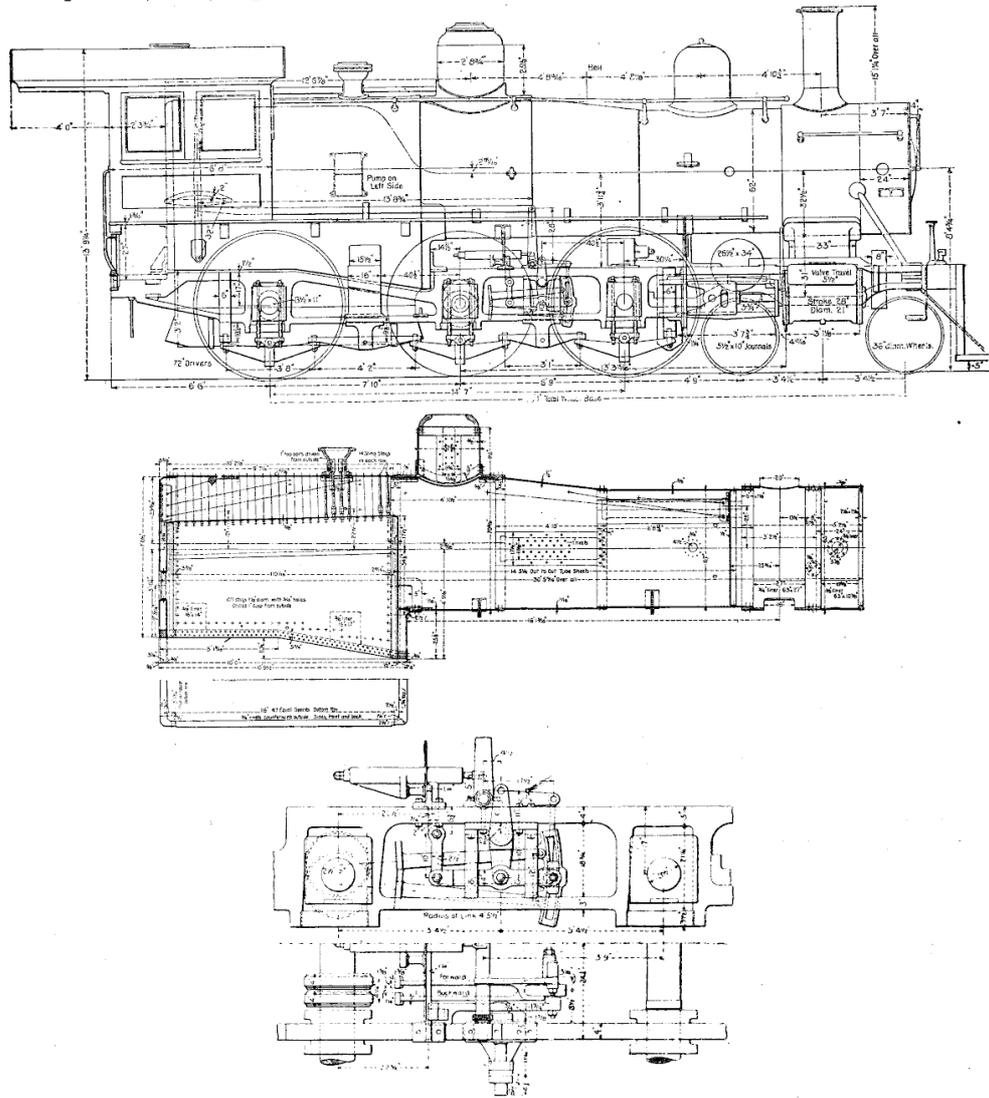


Fig. 69. — Locomotive du *Southern Ry* (d'après la *Revue de mécanique*, avril 1898, p. 429).

La locomotive du *Lake Shore and Michigan Southern Ry*, avec ses roues de 2 mètres, est, à proprement parler, une machine d'express, d'une puissance

remarquable (fig. 73). Le poids adhérent est de 60 tonnes, soit, en moyenne, 20 tonnes par essieu. Le diamètre du corps cylindrique de la chaudière est de

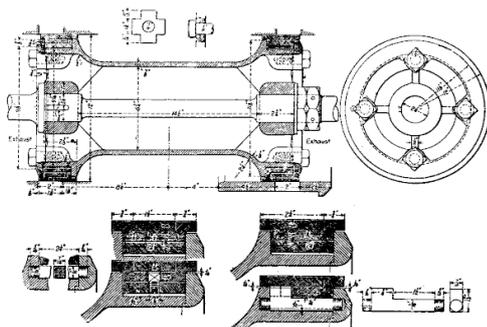


Fig. 70. — Locomotive du Wisconsin Central R. R.; tiroir cylindrique.

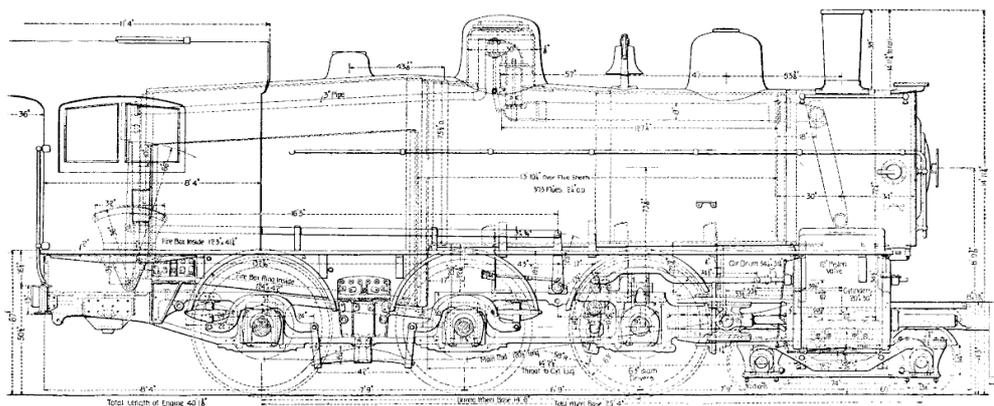


Fig. 71. — Locomotive du Great Northern Ry (d'après la Revue de mécanique, nov. 1898, p. 347).

1^m,67; l'axe en est à 2^m,80 au-dessus du rail; il contient 345 tubes de 50 mm., longs de 4^m,60 entre les plaques.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	3 ^m 2,10
— de chauffe.	272 m ² .
Timbre de la chaudière.	15 kg.
Diamètre des cylindres.	510 mm.
Course des pistons.	710 mm.
Diamètre des roues motrices.	2 ^m ,030
Poids total en service	78 t.
— adhérent.	60 t.

La locomotive de l'*Atchison, Topeka and Santa Fe Ry* est une compound à quatre cylindres en tandem (fig. 74), avec tiroirs cylindriques, du type Player (*Revue de mécanique*, juin 1899, p. 64) : la course du tiroir du grand cylindre est invariable, celle du petit cylindre peut varier.

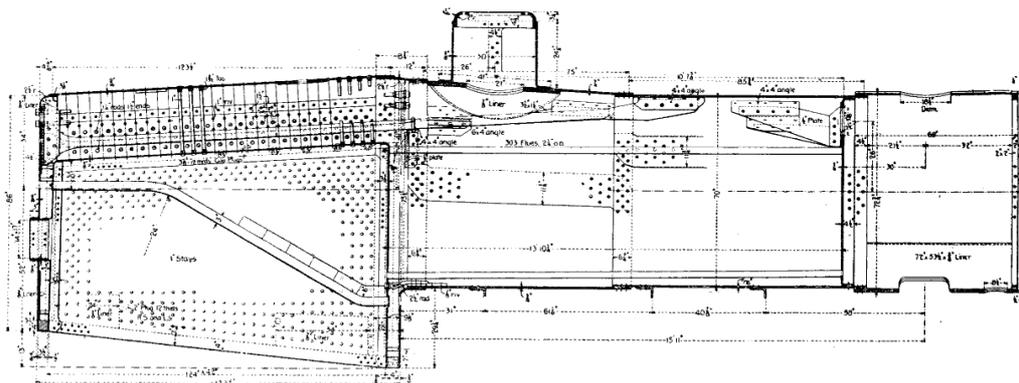


Fig. 72. — Locomotive du *Great Northern Ry*; chaudière.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	2 ^m 3,42
— de chauffe	173 ^m 2,4
Timbre	
Cylindres : diamètres	355 et 610 mm.
— course	710 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,96
Poids en service	77 t.
— adhérent	56 t.

Les figures 75 à 86 donnent une série de détails de ces locomotives à 3-5 essieux destinées à la remorque de gros trains à vitesse moyenne. Le diamètre minimum du corps cylindrique est de 1^m,65 ; il renferme 281 tubes en fer de 51 mm de diamètre extérieur, longs de 4^m,35. On a relevé, à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure, une puissance indiquée de 1435 chevaux.

La figure 87 donne un exemple de locomotives à 3-5 essieux, avec foyer Wootten. Les roues sont moyennes (1^m,76), avec poids adhérent de 51 tonnes.

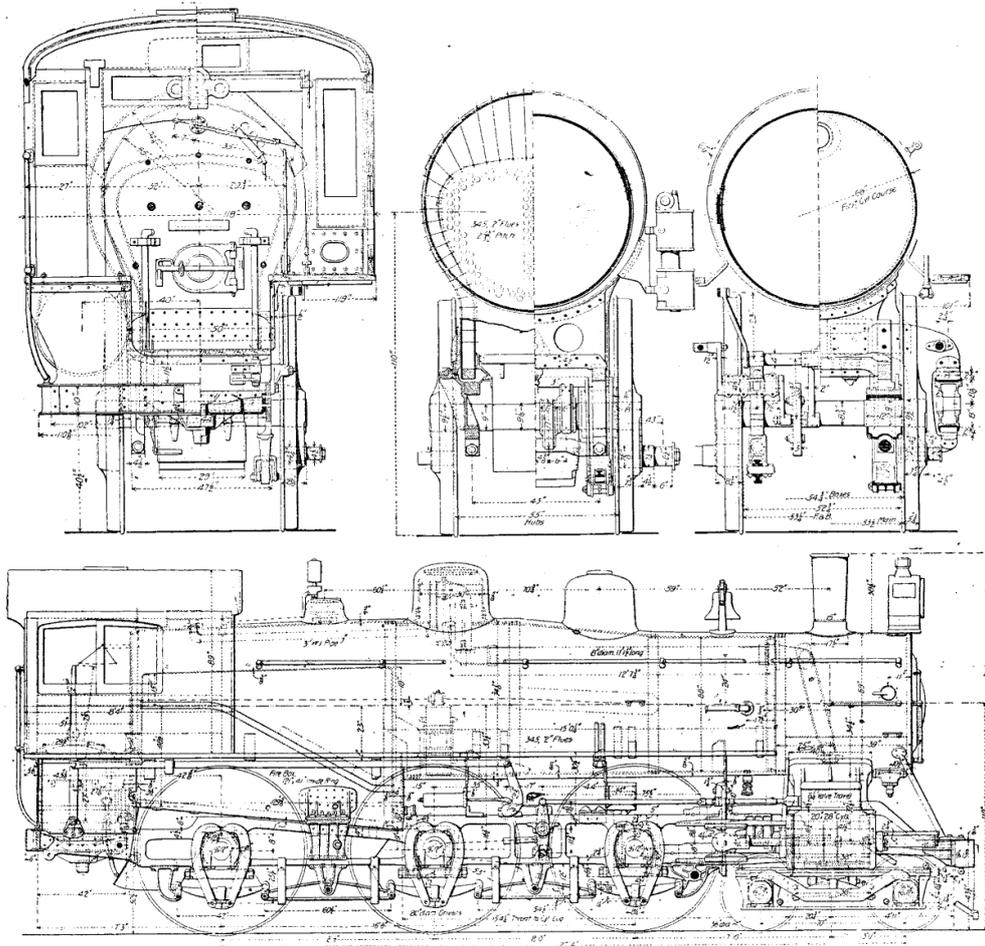


Fig. 73. — Locomotive express à trois essieux couplés du *Lake shore and Michigan Southern Ry* (d'après la *Revue de mécanique*, déc. 1899, p. 695).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille (foyer Wootte.),	7 ^m 2,943
— de chauffe	259 ^m 2,72
Timbre de la chaudière.	15 kg.
Diamètre des cylindres.	510 mm.
Course des pistons.	710 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,76
Poids en service	67 t.
— adhérent.	51 t.

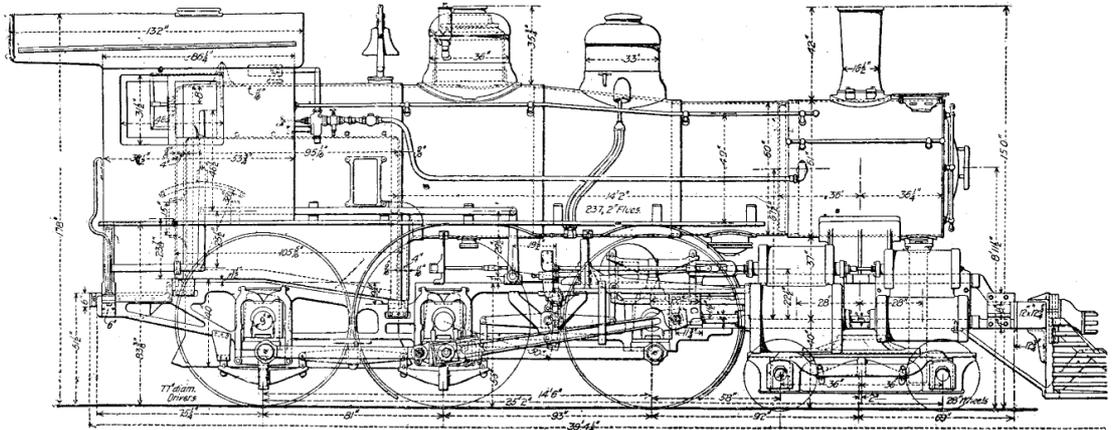


Fig. 74. — Locomotive compound tandem de l'Atchison Topeka and Santa Fe Ry (d'après la Revue de mécanique, fév. 1900, p. 229).

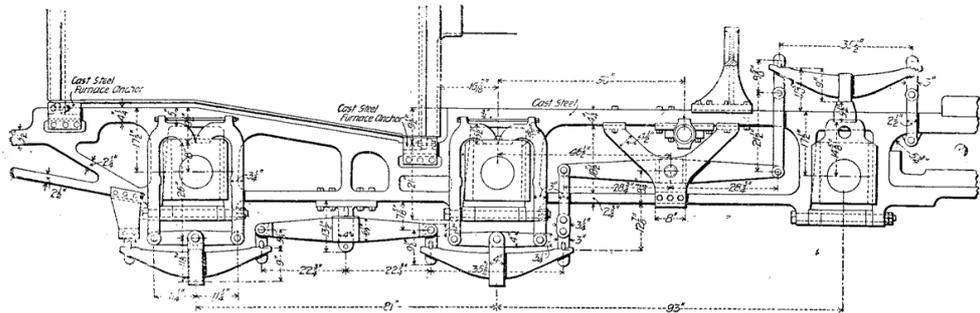


Fig. 75. - Locomotive de l'Atchison Topeka; suspension.

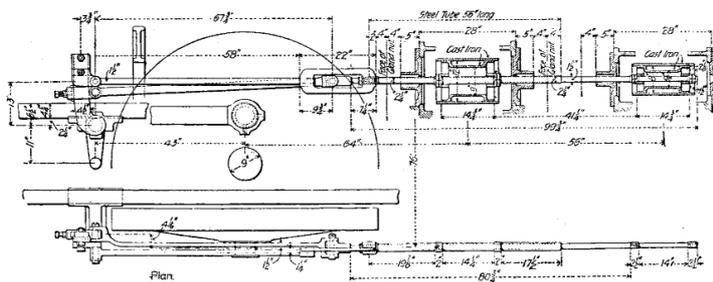


Fig. 76. — Locomotive de l'Atchison Topeka; distribution.

La locomotive, à roues de 1^m,82, de *Lehigh Valley R. R.*, pèse 82,6 tonnes, dont 61 pour l'adhérence. Elle a un foyer Wootten et 4 cylindres du système Vaucrain. Les figures 88 à 93 en représentent l'ensemble et divers détails.

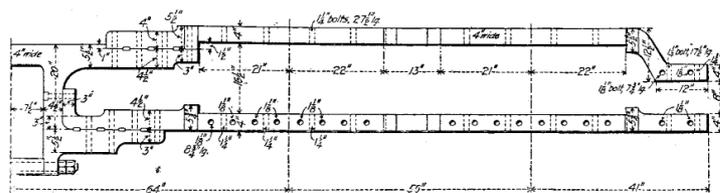


Fig. 77. — Locomotive de l'Atchison Topeka; châssis.

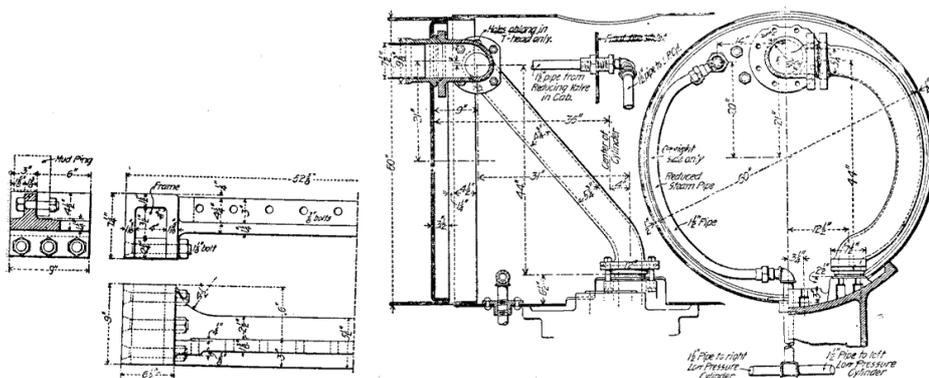


Fig. 78. — Locomotive de l'Atchison Topeka; attache du foyer.

Fig. 79. — Locomotive de l'Atchison Topeka; boîte à fumée.

Une locomotive à 3 essieux couplés et à bogie, récemment construite par la maison Baldwin pour l'*Union Pacific R. R.*, a les dimensions suivantes :

Surface de grille	2m ² ,973
— de chauffe	279m ² ,7
Timbre	14 kg.
Cylindres (système Vaucrain), diamètres	394 et 660 mm.
— — — — — course	711 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,829
Poids en service	83 ^t ,6
— adhérent	64 ^t ,6

On remarquera la charge moyenne de 21,5 tonnes par essieu moteur; l'empattement des essieux couplés est de 4^m,420.

M. W. E. Symons, ingénieur du *Plant system of railways*, a mis récemment (1) en service une locomotive à 3 essieux couplés et à bogie, construite par les ateliers Baldwin, où le système Vaucrain a été modifié de manière à se rapprocher de la disposition européenne à quatre cylindres. Les quatre cylindres

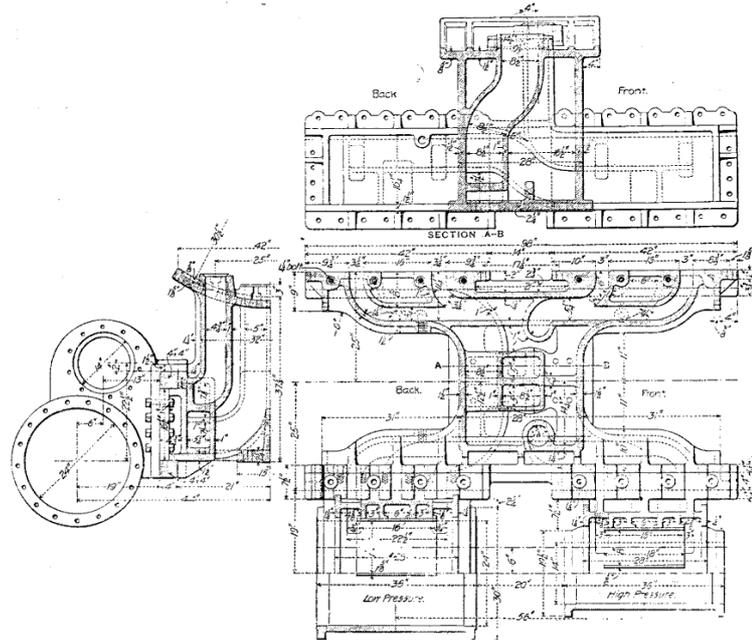


Fig. 80. — Locomotive de l'Atchison Topeka; cylindres.

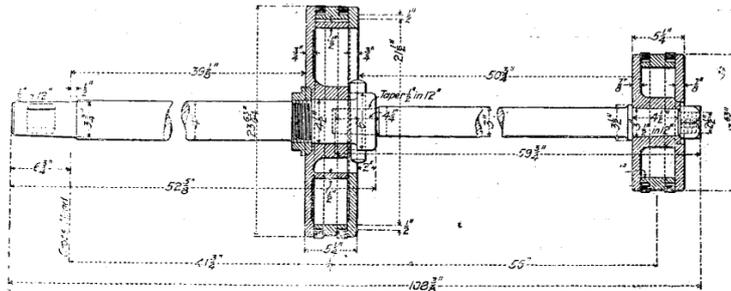


Fig. 81. — Locomotive de l'Atchison Topeka; piston.

sont rangés en ligne, en dessous de la boîte à fumée, les cylindres à haute pression à l'intérieur, les cylindres à basse pression à l'extérieur; les diamètres sont respectivement de 381 et 635 mm., avec une course de 660 mm. Les quatre

(1) *Revue de mécanique*, avril 1902, p. 370.

bielles commandent le premier essieu moteur, qui est coudé; les deux manivelles placées d'un même côté sont calées à 180° . Un distributeur cylindrique est commun à deux cylindres; les tiroirs sont commandés par le second essieu

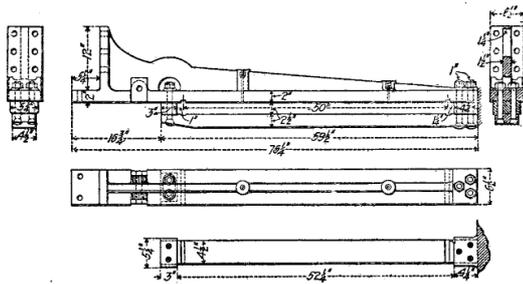


Fig. 82. — Locomotive de l'Atchison Topeka : glissières.

moteur. Les roues motrices ont un diamètre de $1^m,854$. La chaudière est du système Vanderbilt, à foyer cylindrique ondulé, avec une surface de grille de 2537 m^2 et une surface de chauffe de $259,3 \text{ m}^2$: la pression est de 14 kg par

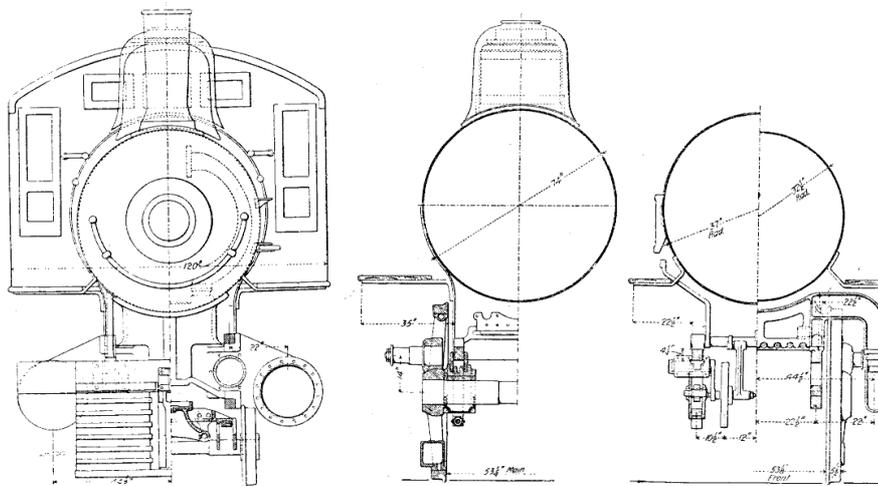


Fig. 83. — Locomotive de l'Atchison Topeka; vue d'avant et coupes transversales.

cm^2 . Le poids total en service est de 80 tonnes, dont $57,5$ sous les roues motrices. Comme conséquence du bon équilibre des pièces à mouvement alternatif obtenu sans créer aucune perturbation verticale, M. Vaclain insiste sur l'avantage que présente le système de permettre une augmentation de la charge

des roues motrices sans exagérer la fatigue des voies. Le tender de cette locomotive est aussi du système Vanderbilt : la caisse à eau est un réservoir cylindrique

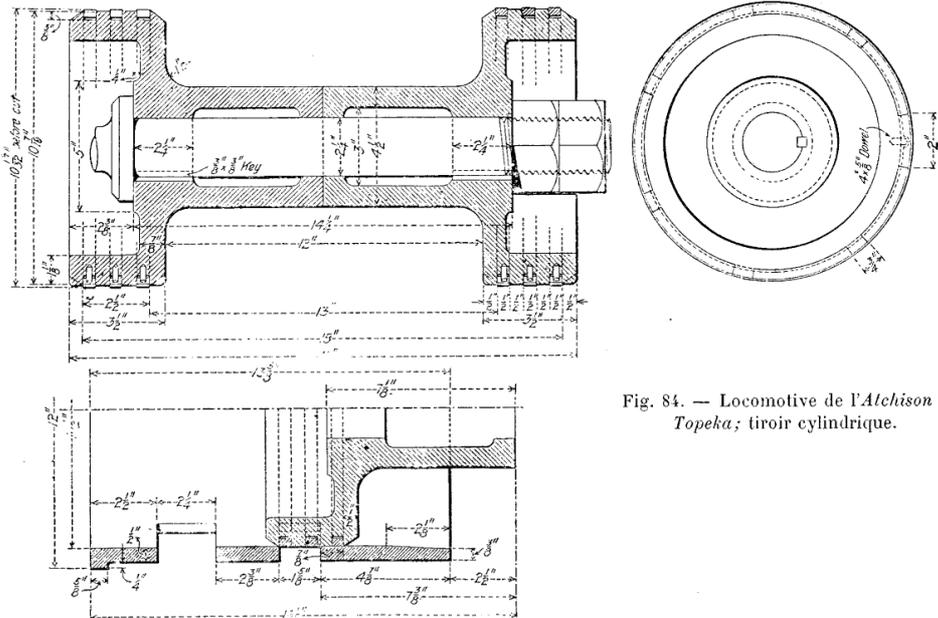


Fig. 84. — Locomotive de l'Atchison Topeka; tiroir cylindrique.

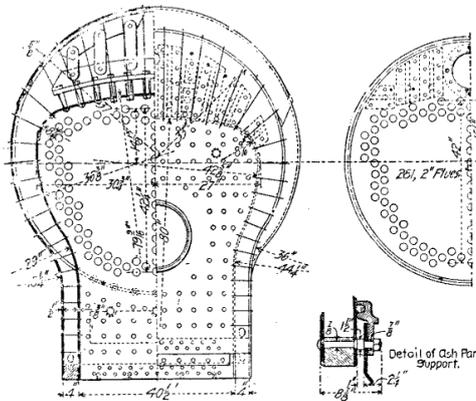


Fig. 85. — Locomotive de l'Atchison Topeka; chaudière.

drique, sur lequel est rapporté vers l'avant, une route à combustible. Les bogies de ce tender sont du système de M. Symons, en acier moulé, sans boulons.

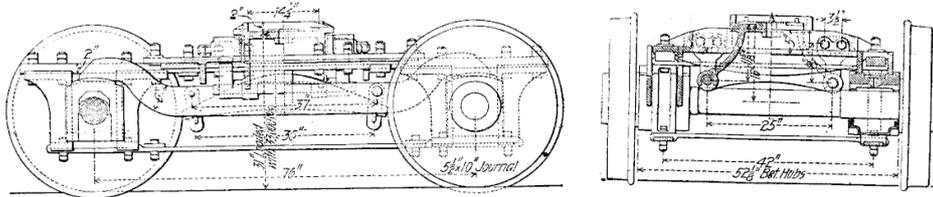


Fig. 86. — Locomotive de l'Atchison Topeka; bogie.

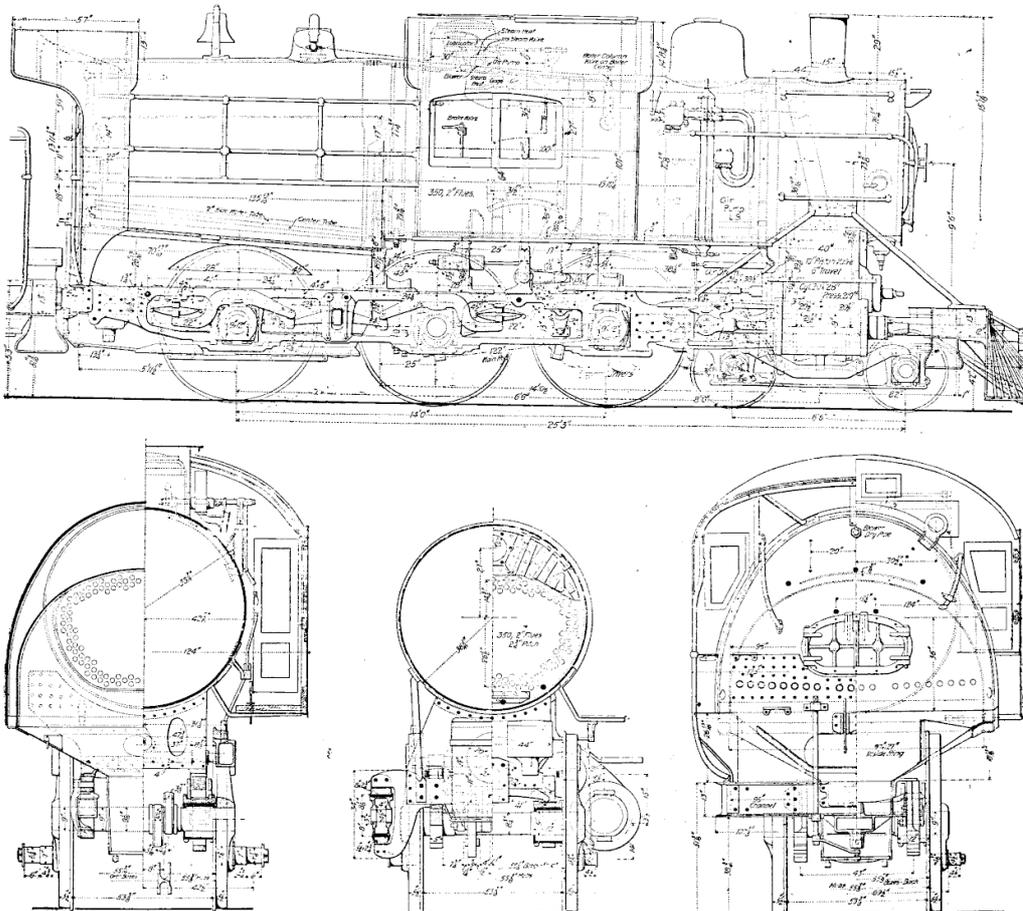


Fig. 87. — Locomotive du Delaware, Lackawanna and Western Ry, avec foyer Wootten (d'après la Revue de mécanique, juillet 1900, p. 165).

Toutes les locomotives américaines à trois essieux couplés qui viennent d'être mentionnées ont le bogie à l'avant; mais il convient de donner des

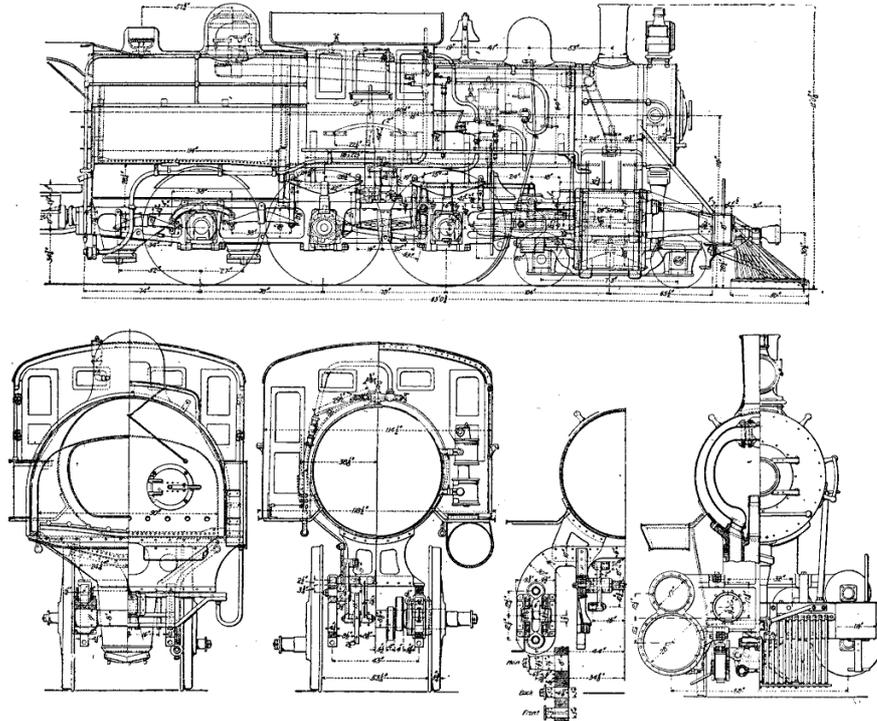


Fig. 88. — Locomotive système Vaclain, à foyer Wootten, du *Lehigh valley R. R.*
(d'après la *Revue de mécanique*, janvier 1901, p. 87).

exemples d'un type américain déjà ancien et encore fort répandu, le type *Mogul*, où un truck articulé d'un seul essieu précède le groupe moteur.

La figure 93 représente une puissante locomotive de ce genre.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	2 ^m 2,7
— de chauffe.	240 mm.
Timbre.	12 ^{kg} ,6
Cylindres : diamètre.	508 mm.
— course.	710 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,43
Poids en service.	70 t.
— adhérent.	60 t.

Cette machine doit remorquer un train de plus de 3 000 tonnes sur rampe de 2 mm. par mètre.

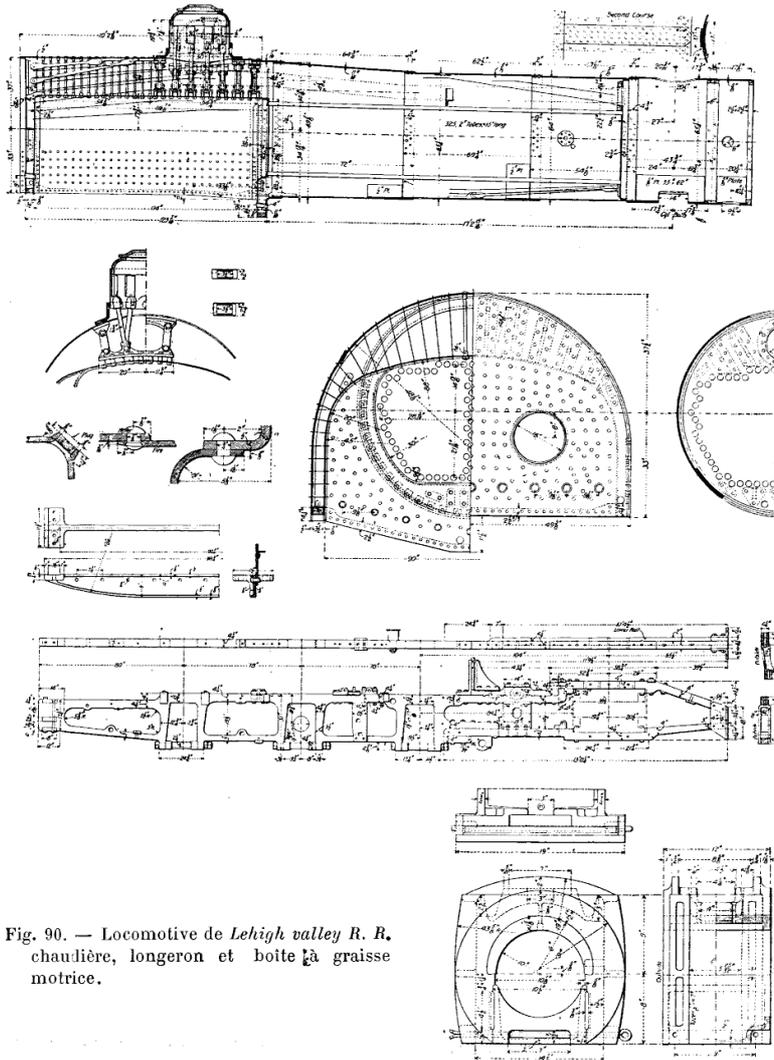


Fig. 90. — Locomotive de *Lehigh valley R. R.*
chaudière, longeron et boîte à graisse motrice.

On trouve aussi, en Amérique, des locomotives à 3 essieux couplés compris entre deux essieux porteurs, l'essieu porteur à l'arrière permettant l'élargis-

sement du foyer. Cet arrangement des roues caractérise le type dit de *Prairie*.

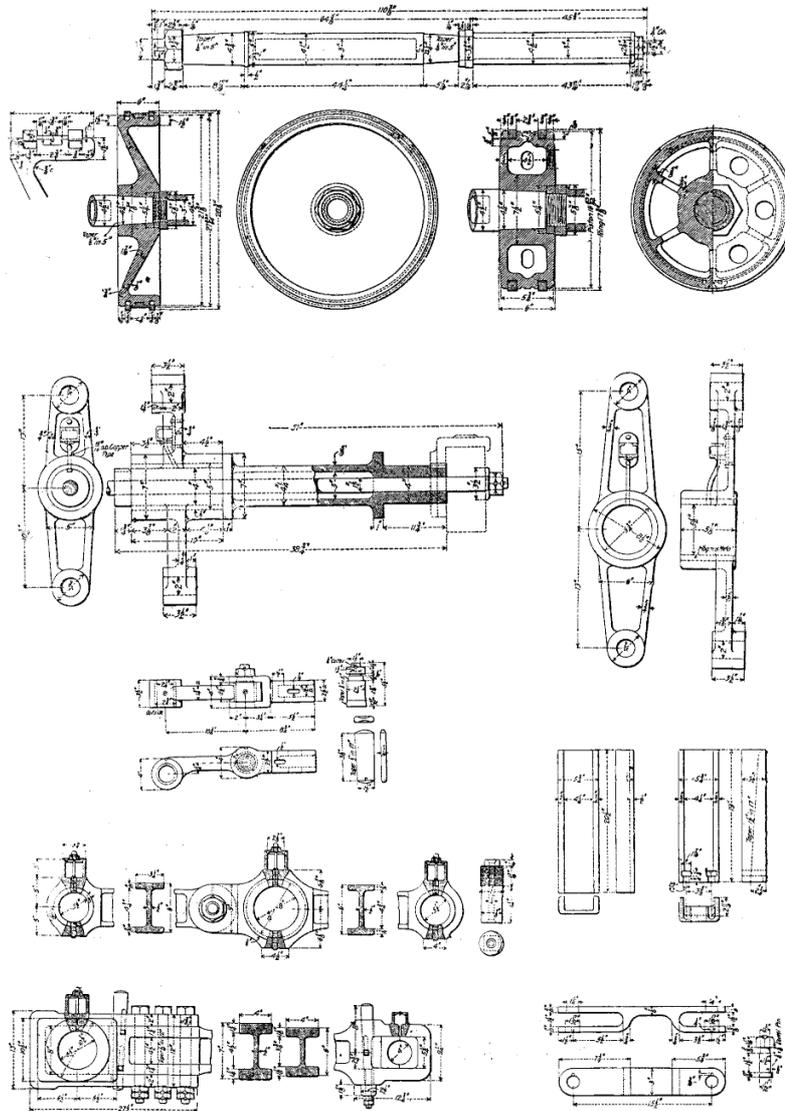


Fig. 91. — Locomotive du *Lehigh valley R. R.*, tiges des pistons; pistons; renvois du mécanisme; tige du tiroir; bielles motrices et d'accouplement, plaque de garde; menottes.

elle est la locomotive du *Chicago, Burlington and Quincy R. R.* (fig. 94 et 95).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	3 ^m 2,9
— de chauffe	197 m.
Timbre	13 ^{kg} 5,4
Cylindres : diamètre	483 mm.
— course	610 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,62
Poids en service	63 t.
— adhérent	43 ^t ,5

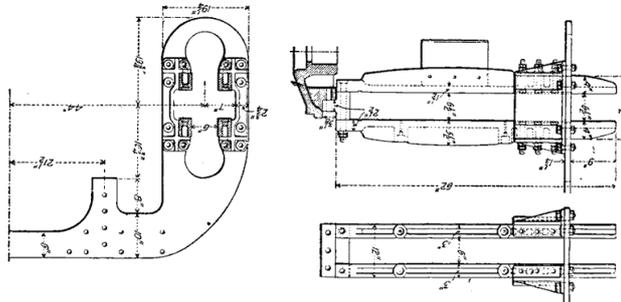


Fig. 92. —Locomotive du *Lehigh valley R. R.* : glissières des têtes de piston et support.

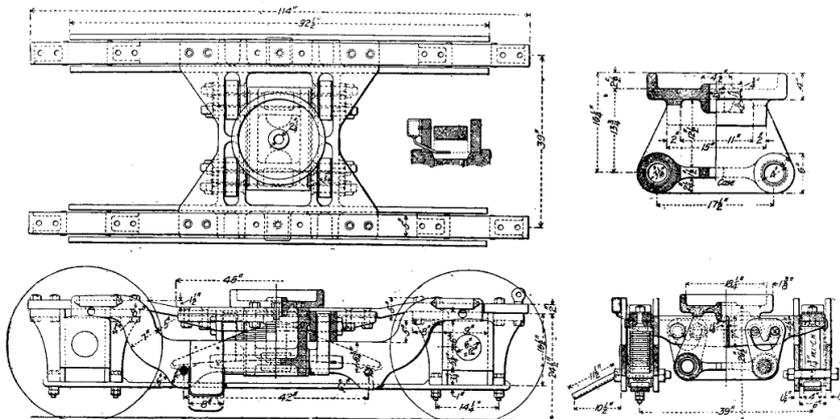


Fig. 93. — Locomotive du *Lehigh valley R. R.* : bogie.

La distribution se fait par tiroirs cylindriques. C'est une locomotive relativement légère.

Tome 104. — 1^{er} semestre. — Février 1903.

Les figures 96 et 97 représentent une très puissante locomotive de ce genre, avec roues de plus de 2 mètres de diamètre, portant près de 60 tonnes.

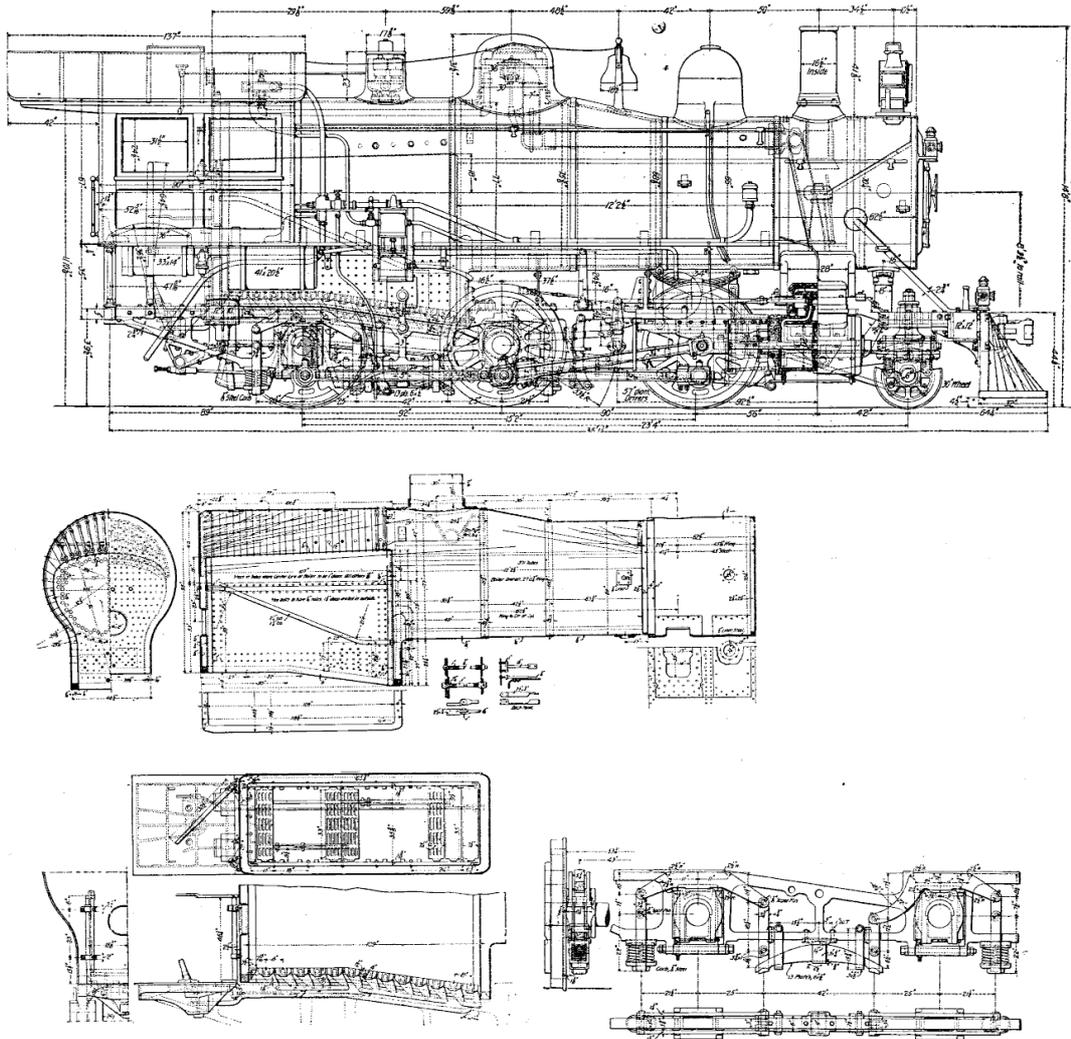


Fig. 94. — Locomotive Mogul du New York Central R. R. (d'après la *Revue de mécanique*, oct. 1899, p. 436).

Le foyer déborde au-dessus des roues porteuses d'arrière. Les tiroirs sont cylindriques. Le tender contient 27 mètres cubes d'eau et 9,5 tonnes de houille.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	4 ^m 3,5
— de chauffe	321 m ² .
Timbre	14 kg.
Cylindres : diamètre	520 mm.
— course	710 mm.
Diamètre des roues motrices.	2 ^m ,03
Poids total en service	77 t.
— adhérent	59 t.

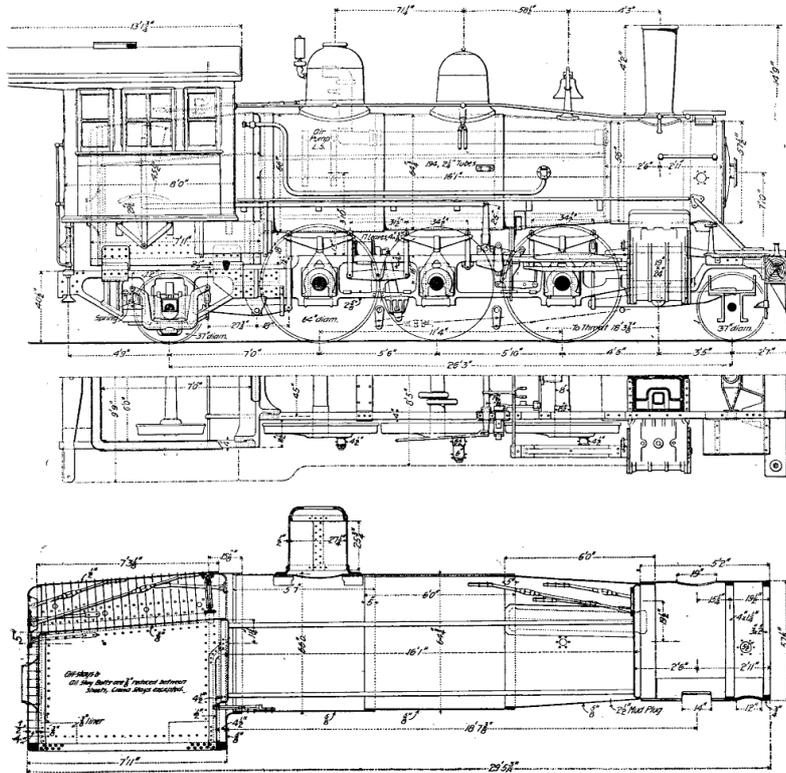


Fig. 95. — Locomotive du *Chicago, Burlington and Quincy R. R.*, type Prairie (d'après la *Revue de mécanique*, avril 1900, p. 473).

En rapprochant cette machine de la locomotive à trois essieux couplés et à bogie de la même compagnie, représentée par la figure 73 (p. 247), on voit qu'avec des mécanismes équivalents, la nouvelle disposition a donné, pour la

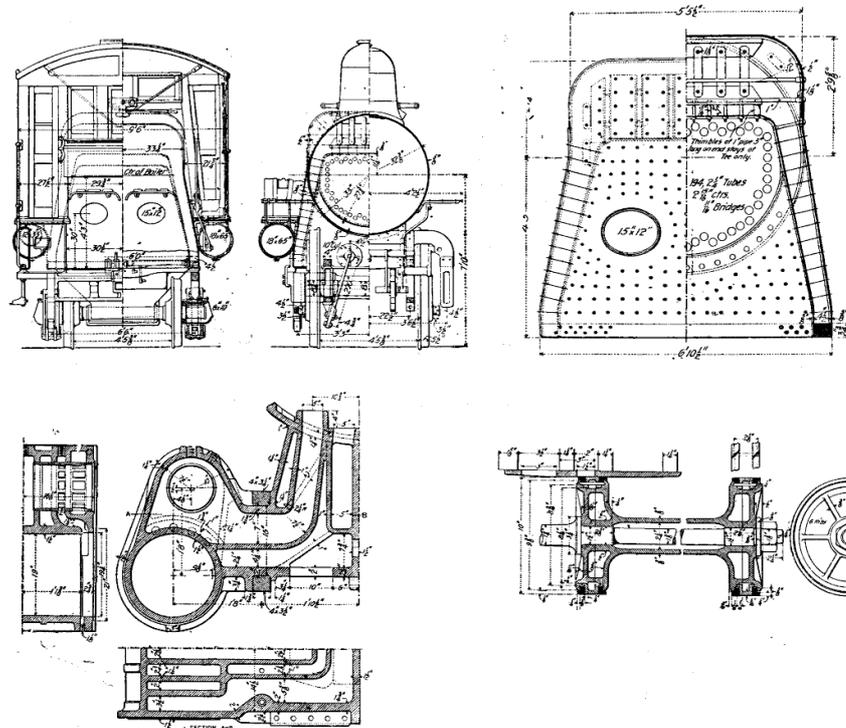


Fig. 96. — Locomotive du *Chicago, Burlington and Quincy R. R.*: vue d'arrière, coupes transversales, détails du foyer, des cylindres; tiroirs cylindriques.

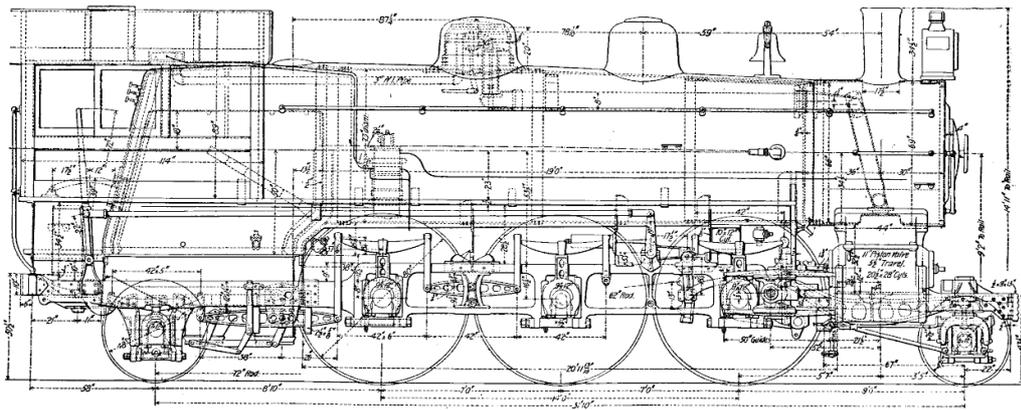


Fig. 97. — Locomotive à trois essieux couplés du *Lake shore and Michigan Southern* (d'après la *Revue de mécanique*, mai 1901, p. 560).

chaudière, des surfaces de grille et de chauffe beaucoup plus étendues, les poids étant à peu près les mêmes. Par contre, on est généralement disposé à croire

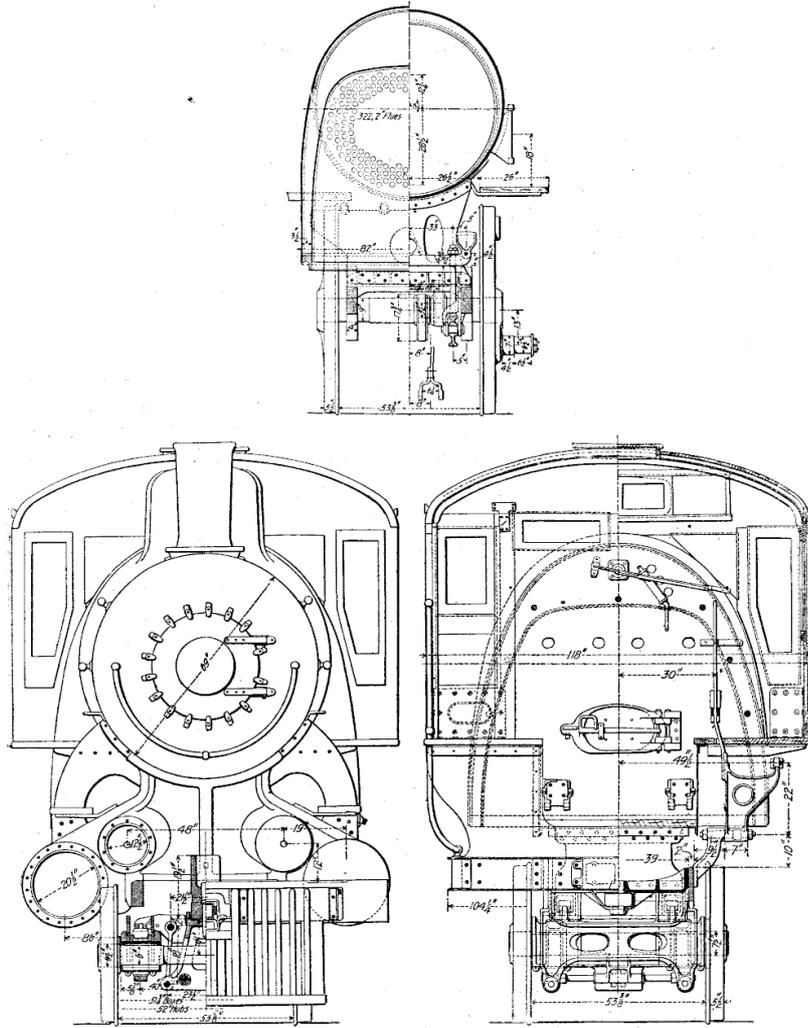


Fig. 98. — Locomotive du *Lake shore and Michigan Southern*, vues transversales.

qu'au point de vue de la stabilité et du bon roulement, le bogie est préférable.
Du même type *Prairie*, est la puissante locomotive express de l'*Atchison*,

Topeka and Santa-Fé R. R. (fig. 99), avec essieux moteurs chargés à plus de vingt tonnes; c'est une compound du système Vaucrain, destinée à remorquer

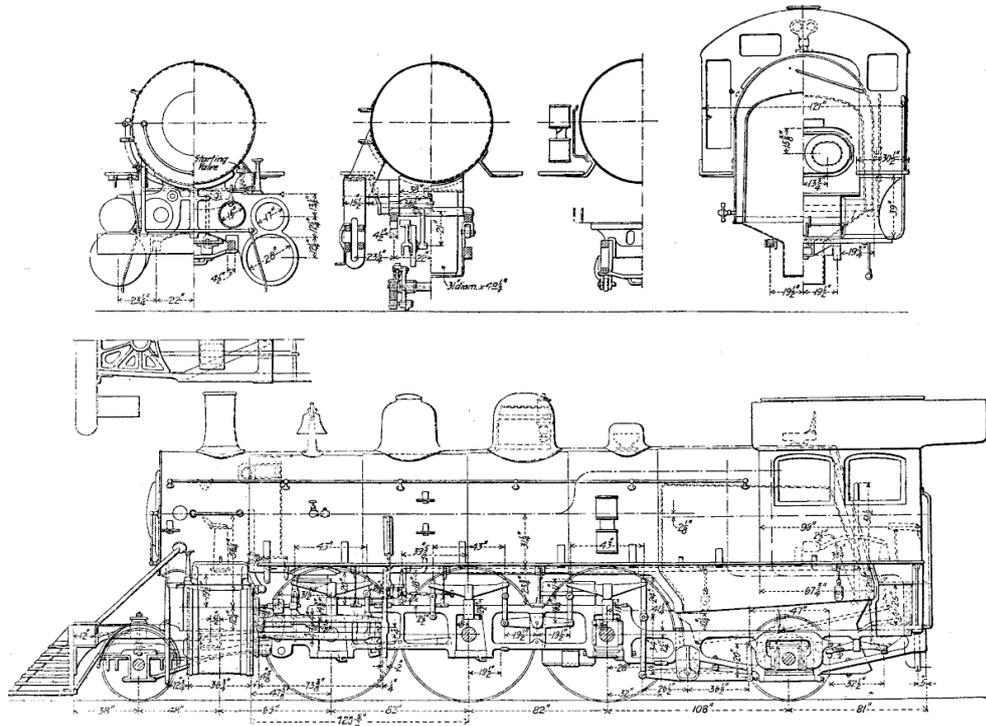


Fig. 99. — Locomotives types Prairie de l'*Atchison, Topeka and Santa-Fé R. R.*
(d'après la *Revue de mécanique*, décembre 1901, p. 703).

des trains express sur lignes accidentées, dont les rampes atteignent 33 millimètres par mètre. Le diamètre du corps cylindrique de la chaudière atteint 1^m,78.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de la grille	4 ^m 2,95
— de chauffe	348 ^m 2
Timbre	14 kg.
Cylindres diamètres	432 et 510 mm.
— course	710 mm.
Diamètre des roues motrices	2 m.
Poids total en service	86 t.
— adhérent	61 t.

(A suivre.)

NOTES DE MÉCANIQUE

FROTTEMENT DES PALIERS A GRANDE VITESSE, d'après *M. O. Lasche* (1).

L'emploi des dynamos à grande vitesse a rendu nécessaire la création de paliers spéciaux pour grandes vitesses. Les expériences faites jusqu'ici sur les coefficients de frottement et autres données nécessaires pour l'établissement rationnel des paliers n'ont porté que sur des vitesses relativement faibles.

Les stéréogrammes fig. 1 à 4 donnent les résultats des expériences de Thurston,

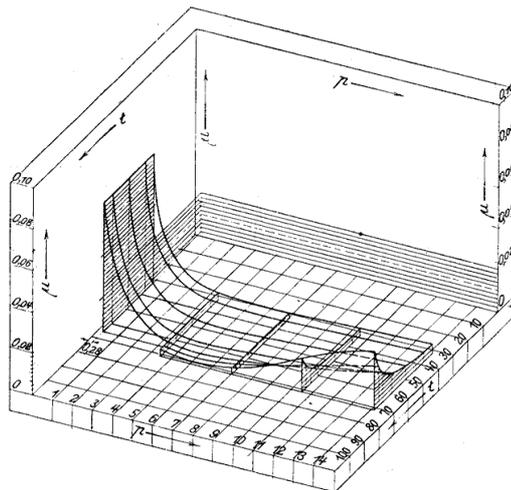


Fig. 1. — Expériences de *Thurston* avec une vitesse de glissement $v = 0^m,50$ par seconde; portée en acier sur bronze; huile de spermaceti; variation du coefficient de frottement μ avec la pression spécifique p , en kil. par centimètre carré de projection de la portée, et la température t de cette portée.

Woodbury et Beauchamp-Tower. Ainsi que le montrent ces figures, le coefficient de frottement μ diminue, toutes choses égales, lorsque la pression augmente. Les fig. 3 et 4 permettent de se rendre compte de l'influence de la vitesse. Il en résulte que μ

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 13, 20 et 27 décembre 11902 et *Revue de mécanique*, janvier 1903, p. 30.

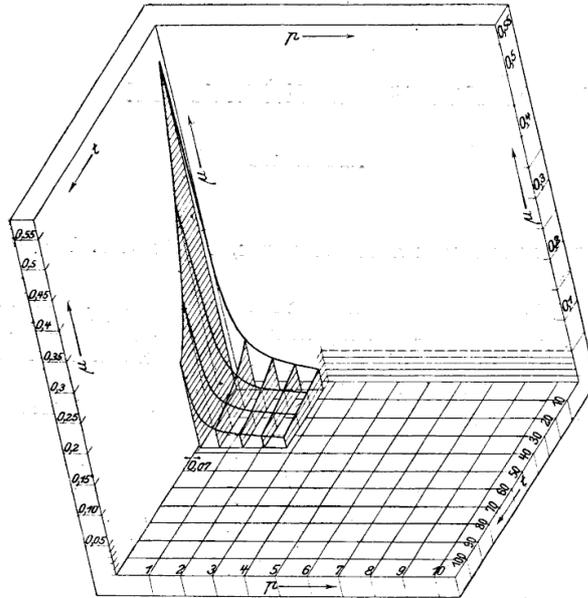


Fig. 2. — Expériences de Woodbury avec $v = 1^{\text{m}},30$ frottement d'un disque sur métal dur; variations de μ avec p et t .

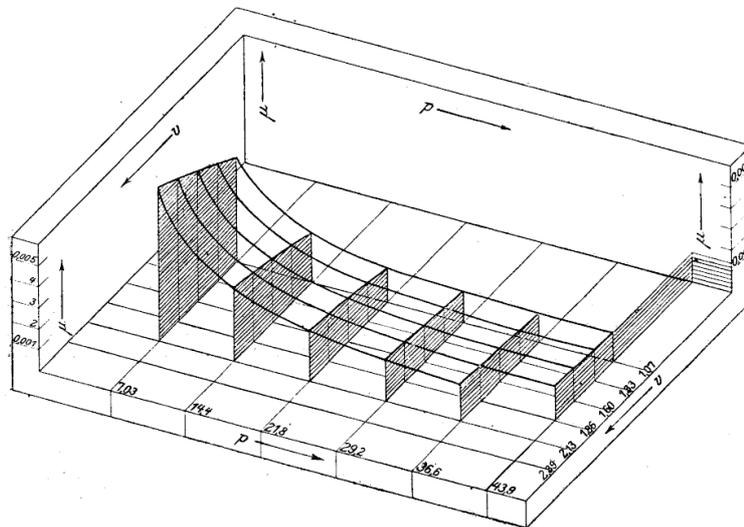


Fig. 3. — Expériences de Tower avec $t = 32^{\circ}$; portée de 102×152 mm. de long; acier sur bronze, huile minérale; variation de μ avec v et p .

s'accroît avec v , constatation faite également dans la série d'essais de l'Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft. En ce qui concerne l'influence de la température, les résultats de ces essais ne sont pas entièrement concordants; mais ils s'étendent sur un domaine trop restreint. Pour cette raison l'A. E. G. a entrepris des essais avec des appareils permettant de se rapprocher davantage de la pratique des chemins de fer électriques à grande vitesse. Les fig. 5 et 6 donnent le schéma du premier de ces dispositifs, auquel on a dû ensuite apporter quelques modifications de détail.

Les essais furent exécutés simultanément avec les deux dispositifs. Dans le premier, on employait une portée de 260 millimètres de diamètre sur 110 millimètres de long, et, dans le second, une portée de 110 millimètres sur 240 de long.

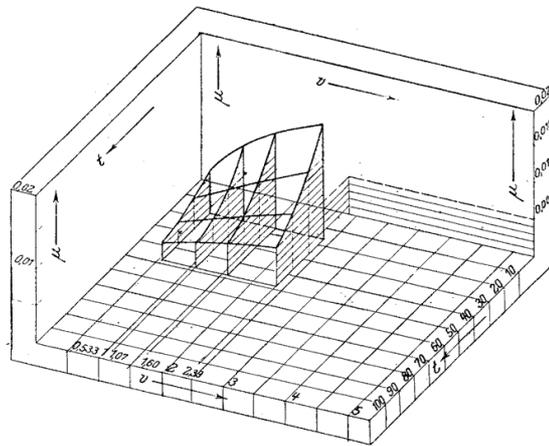


Fig. 4. — Expérience de *Tower* avec $p = 7$ kil. portée de 102×152 de long, en acier sur bronze, graisse fondue; variation de μ avec l et v .

On mesurait le frottement des portées par des balances de friction; on notait l'effort avec lequel l'arbre tendait à entraîner le corps du palier ou son coussinet. On put évaluer ensuite l'équivalent mécanique de la chaleur du travail de frottement, d'après le rayonnement des coussinets et des paliers aux différentes températures, et dans des conditions variables de fonctionnement. Finalement, on a mesuré le travail développé par le moteur actionnant directement la portée; ce travail était mesuré en volts-ampères.

Dans le dispositif n° 1, l'arbre était d'abord actionné par une courroie commandée par une dynamo à champ tournant réglable avec une grande précision par un rhéostat liquide. Le palier d'essai était disposé comme celui d'une dynamo de chemin de fer électrique à grande vitesse. Le palier était suspendu en deux points et tiré vers le haut, de sorte que la portée était chargée par la moitié inférieure du coussinet. Au haut de la moitié supérieure du coussinet, on faisait entrer l'huile; sur un côté de la moitié inférieure, on avait pratiqué un assez grand orifice pour l'écoulement de

l'huile. Le palier même était en deux pièces, maintenues par de forts boulons (1). On soulevait le palier par un câble métallique avec contrepoids enroulé sur deux poulies à frottement négligeable. Le palier d'essai fut ensuite chargé par un palan dont l'effort

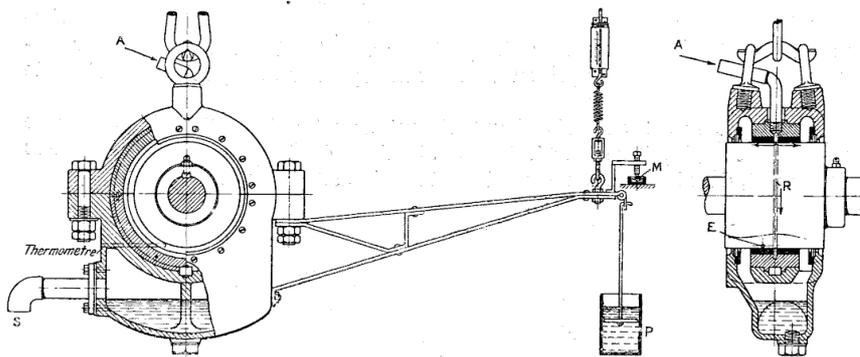


Fig. 5 et 6.

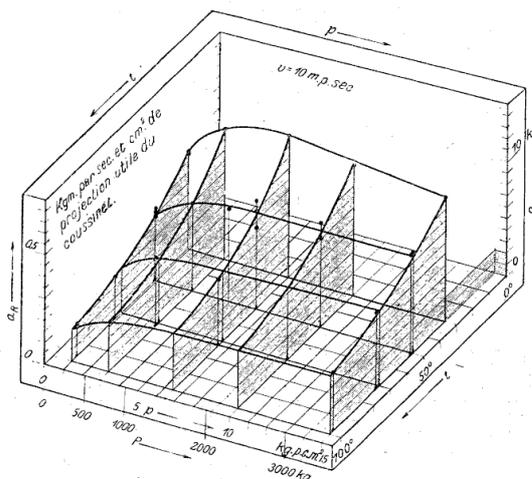


Fig. 7. — Portée d'acier au nickel de 260×110 de long sur métal blanc : projection 230 cm^3 , huile minérale; débit $0,8$ par minute.

était donné par peson; l'effort maximum était de $4\,000$ kilogrammes. Un tachymètre donnait le nombre des tours. L'effort du frottement à la périphérie de la portée était mesuré au moyen d'un levier horizontal équilibré (fig. 5), dont la pointe réglable posait sur un bain de mercure. Un ressort, auquel le levier était suspendu, était

(1) *Bulletin* de décembre 1901, p. 810.

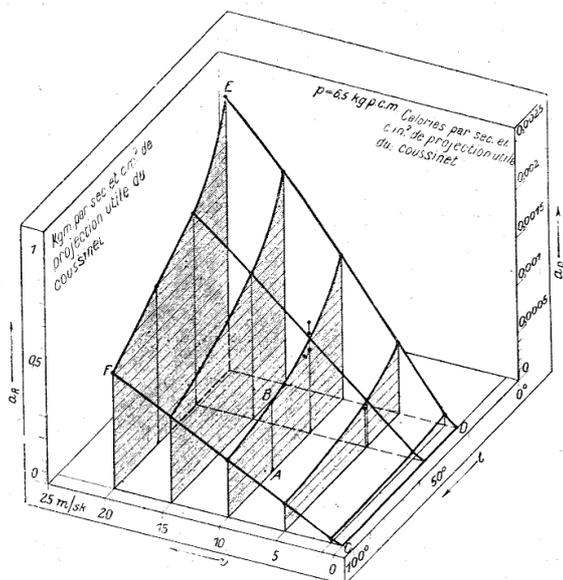


Fig. 8.

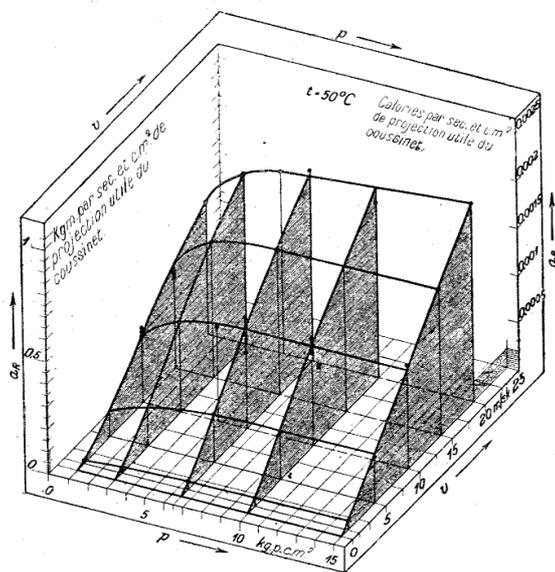


Fig. 9.

ensuite tendu avec la portée tournant dans un sens, jusqu'à ce que la pointe touchât le niveau du mercure. On faisait ensuite tourner l'arbre en sens contraire et on suspendait au levier un poids supplémentaire, opposé au ressort, que l'on tendait suffisamment pour qu'il ramenât la pointe dans sa position primitive. Le niveau du mercure était réglé de façon que, dans ces rotations en sens opposés, les mesures donnassent à peu près les mêmes résultats pour le frottement à la périphérie de la portée. La moyenne entre la tension du ressort pour un sens de rotation et la différence entre le poids supplémentaire et cette tension pour l'autre sens, réduite dans le rapport de la longueur du levier au rayon de la portée, donnait l'effort de frottement qu'il s'agissait de mesurer. Plus tard, à l'occasion du montage d'une balance à ressort plus commode pour mesurer les différentes charges, on adopta un levier vertical,

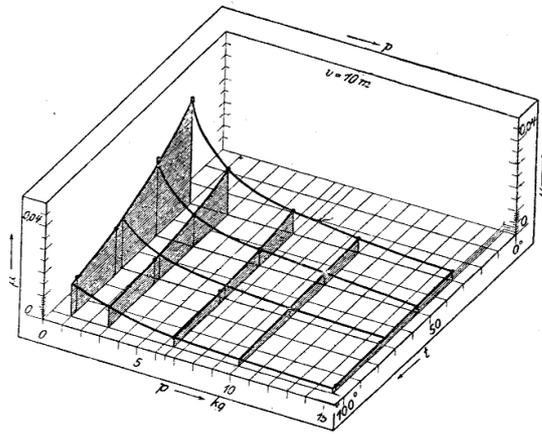


Fig. 10.

dont le zéro pouvait être déterminé à l'aide d'un miroir et l'effort de travail au moyen d'un vernier placé sur la balance à ressort.

Résistance et coefficient de frottement. — Les figures 7 à 9 donnent les valeurs de la résistance et du coefficient du frottement. Le travail de frottement A_r est le produit de la résistance de frottement par la vitesse v ; le travail spécifique de frottement, a_r est de

$$a_r = \frac{A}{f} = p \mu v.$$

f étant la surface projetée de la portée. On a employé les métaux suivants :

1° Portée en acier au nickel de 260 millimètres de diamètre et 110 millimètres de long tournant dans des coussinets :

a) de bronze; *b)* d'alliage de métal blanc; *c)* d'alliage de mercure;

2° Portée en fer fondu (Flusseisen), de mêmes dimensions, dans des coussinets en alliage de métal blanc;

3° Portée en acier de 110 millimètres sur 270 de long; coussinets de métal blanc.

L'influence des différentes huiles de graissage a été déterminée, sur la portée en acier au nickel n° 1, avec l'huile de pétrole impériale n° 0, de l'huile de colza et de l'huile spermaceti.

Pendant toute la durée de ces séries d'essais destinés à déterminer le coefficient de

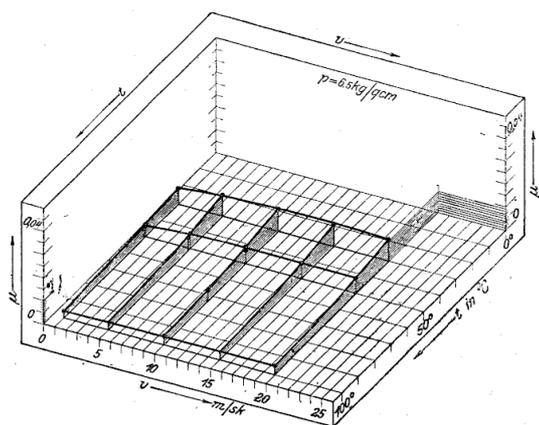


Fig. 11.

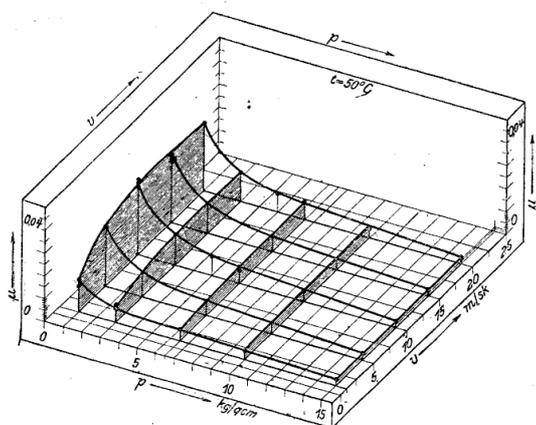


Fig. 12.

frottement, on amenait à la portée 0^{lit},8 d'huile par minute d'un récipient situé au dessus. Pour porter le coussinet aux différentes températures désirées, on chauffait ou refroidissait l'huile artificiellement.

Dans les diagrammes suivants, p désigne le quotient de la charge nette du palier,

lue sur le dynamomètre, par la projection de la portée sur un plan parallèle à l'axe, déduction faite des pattes d'araignée. Le rapport entre la surface de ces pattes et la projection totale de la portée a été déterminé au moyen d'une photographie.

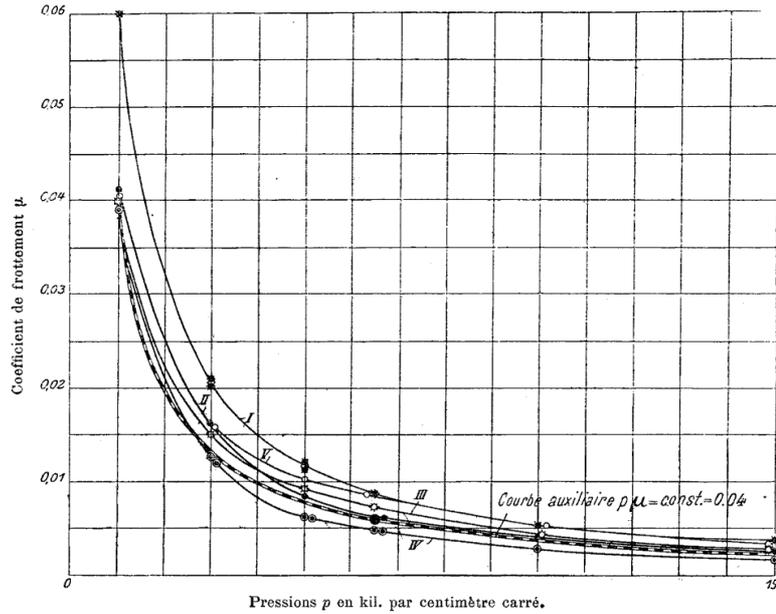


Fig. 13. — $v = 10^m$ par seconde, $t = 50^\circ \pm 1,8$ d'huile minérale par minute.

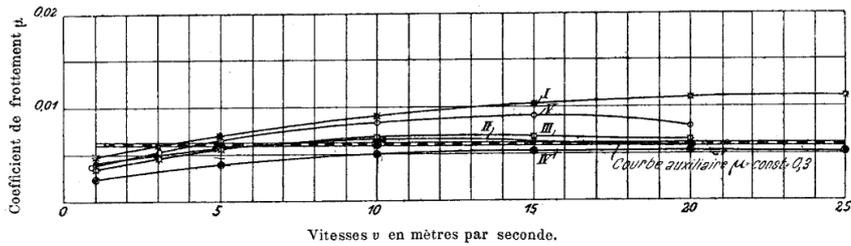


Fig. 14.

t désigne la température du palier constatée, autant que possible, près du point le plus bas, et au tiers de la longueur de la portée; v désigne la vitesse de glissement, en mètres par seconde, μ le quotient obtenu en divisant la résistance de frottement sur la périphérie de la portée par la charge nette supportée par le coussinet. Ces valeurs de μ sont données par les stéréogrammes fig. 10, 12.

a) *Pression spécifique à la surface.* — L'échelle des essais concernant les variations du coefficient de frottement μ avec la pression spécifique p et de la température du

coussinet t est comprise entre $p = 1$ et 15 kilogrammes par centimètre carré et $t = 25^\circ$ et 100° . La vitesse v était invariablement de 10 mètres par seconde. Ainsi que le montre la fig. 10, lorsque p s'accroît, t restant constant, le coefficient de frottement μ s'abaisse d'abord rapidement, puis lentement. Dans la fig. 13, les courbes désignées par I, II, ..., V sont relatives aux conditions de fonctionnement suivantes :

NUMÉROS.		DIMENSIONS DU PALIER.		MÉTAL DE LA PORTÉE.	MÉTAL DE COUSSINET.
		Diamètre.	Longueur.		
		millimètres.	millimètres.		
I	*	110	240	Acier.	Métal blanc.
II	•	260	110	Acier au nickel.	Id.
III	◊	260	110	Id.	Alliage de mercure.
IV	⊙	260	110	Id.	Bronze.
V	○	260	110	Fer fondu.	Métal blanc.

Dans tous les cas, on a employé de l'huile impériale n° 0.
La courbe auxiliaire qui satisfait à la condition.

$$\mu = \text{const.} = 0^{ks},04 \text{ par cm}^2,$$

montre que, pour tous les métaux, le coefficient de frottement s'abaisse lorsque la pression spécifique p s'accroît. Cette courbe est située à peu près au milieu entre les

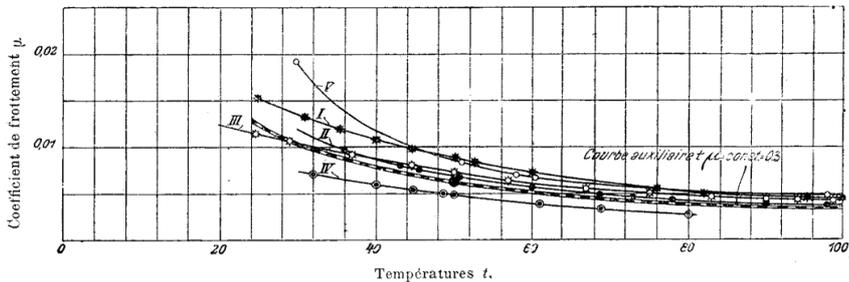


Fig. 13.

courbes I et V, et elle confirme, de plus, la règle de Tower : que le coefficient μ varie approximativement en raison inverse de la charge spécifique p .

La valeur $p \mu = \text{const.} = 0^{ks},4$ par cm^2 , trouvée pour $v = 10$ mètres par seconde et $t = 50^\circ$, est donc approximativement exacte pour toutes les matières essayées.

b) Influence de la vitesse sur le coefficient de frottement.

La figure 11 montre la dépendance du coefficient de frottement de la vitesse v et de la température t . La figure 14 donne les valeurs de μ pour $p = 6^{kil},5$ et $t = 50^\circ$, avec de l'huile impériale, n° 0. Thurston a trouvé que μ est proportionnel à $\sqrt[3]{v}$ jusqu'ici $v = 6$ m. Bach a déduit des essais de Tower la proportionnalité entre μ et $\sqrt[3]{v}$

jusqu'à $v = 2^m, 4$. Stribeck a expliqué cette contradiction apparente entre les résultats de deux expérimentateurs parce que μ s'accroît rapidement lorsque v atteint $2^m, 5$ environ, proportionnellement à $\sqrt[2]{v}$, tandis que, de $2^m, 5$ à 4 m. l'accroissement est plus lent et presque proportionnel à $\sqrt[5]{v}$. Lorsque v augmente encore, son

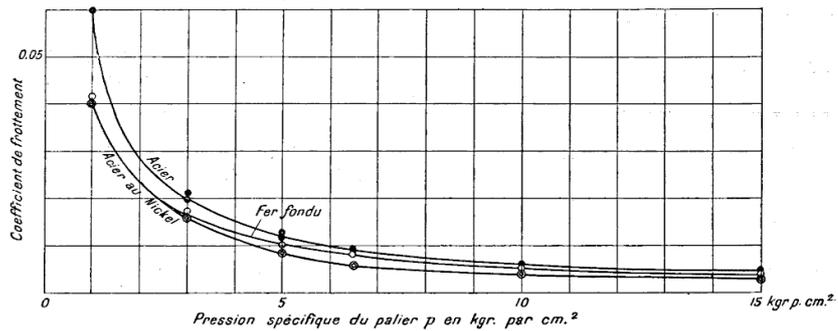


Fig. 16.

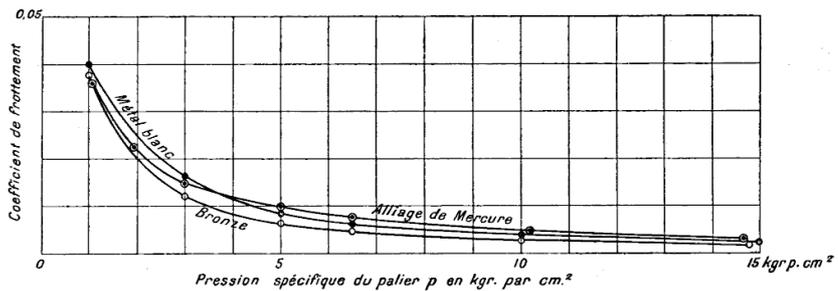


Fig. 17.

influence devient presque nulle, de sorte que l'on pourrait en conclure que, pour $v = 10$ m., μ est presque indépendant de v , comme le montre la courbe auxiliaire $\mu = 0,0006$ de la fig. 14.

c) Influence de la température sur le coefficient de frottement.

Les figures 10 et 11 montrent l'influence de la température sur μ ; dans l'une, on a pris $v = \text{const} = 6^{\text{ks}}, 5$. Dans la figure 15, on a fait ressortir la dépendance de μ de la température pour les valeurs indiquées de v et de p . Ainsi que l'a déjà montré Tower, pour les températures qui nous intéressent dans la pratique (40° à 100°), μ varie en raison inverse de la température t ; comme le montre la courbe auxiliaire de la figure 15. On peut écrire la relation entre μ et t sous la forme :

$$\mu t = \text{const.}$$

Pour $p = 6^{\text{ksi}}, 3$, on a $\mu t = 0, 3$, indépendamment de v . Comme, pour $t = \text{const.}$ et v

quelconque, le produit $p \mu = \text{const.}$ et égal à 0,04 pour $t = 50^\circ$, on peut ramener les deux formules à une seule :

$$p \mu t = \text{const.} = 2.$$

exacte entre les limites de $p = 1$ à 15 kilogrammes, $t = 30^\circ$ à 100° , $v = 1$ à 20 mètres.

d) *Métal de la portée.*

La figure 16 montre l'influence exercée par le métal de la portée sur le coefficient.

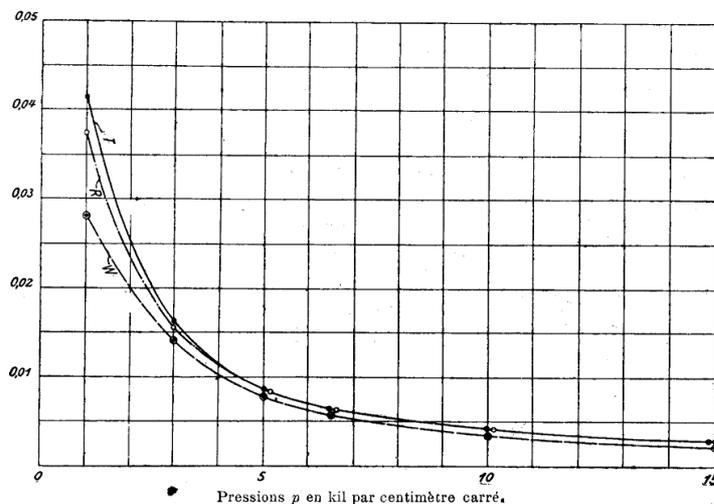


Fig. 18. — $v = 10^3$, $t = 50^\circ$, portée de 200×110 mm. de long, acier au nickel sur métal blanc.

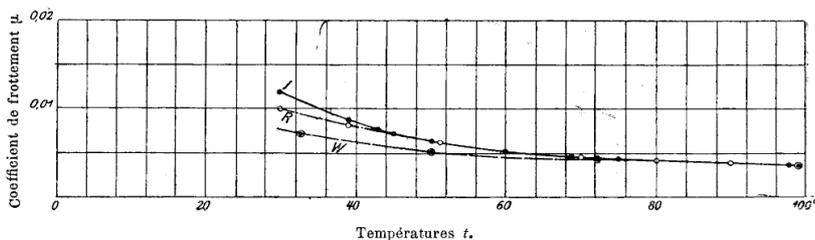


Fig. 19. — Influence de la nature de l'huile : $p = 6^k$, $v = 10$, portée en acier de 260×110 sur métal blanc. débit de l'huile 0,8 par minute.

de frottement; on voit qu'il est un peu plus grand avec l'acier ordinaire et le fer fondu (fluseisen) qu'avec l'acier au nickel. Toutefois, il n'y a pas de cause bien apparente à cette différence. On a même constaté au microscope que la surface frottante de la portée en acier au nickel présentait des rugosités plus grandes que les deux autres.

e) *Métal du coussinet.*

La figure 17 donne les coefficients de frottement d'une portée en acier au nickel, avec une température t maintenue artificiellement à 50° ; on n'a pu constater ici que de faibles différences suivant la nature du métal du coussinet.

f) *Influence du lubrifiant et de son mode d'amenée à la surface frottante.*

A l'aide du dispositif d'essai n° 1, on a étudié l'influence de 3 sortes d'huiles : l'huile impériale I, l'huile de colza et l'huile de spermaceti W (fig. 18 et 19).

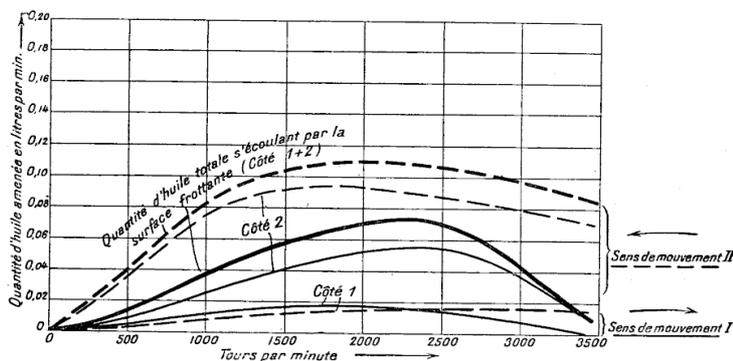


Fig. 20. — Portée en acier côté 1 (fig. 22). Sur bague en bronze de 260×90 mm. de long, et, côté 2, sur métal blanc. Deux anneaux graisseurs de 150 mm. immergés de 40 mm.

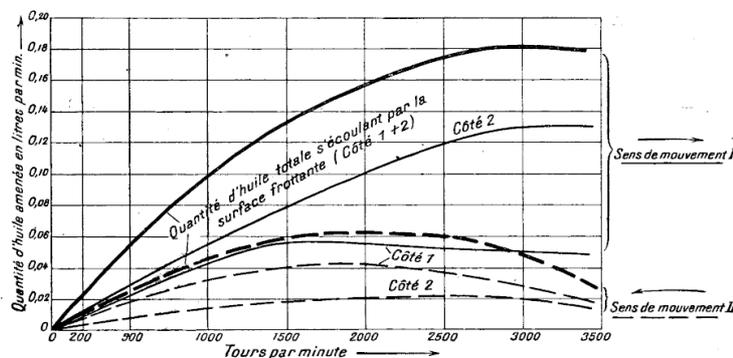


Fig. 21.

On voit, par ces figures, que l'huile de spermaceti donne les valeurs les plus basses. Mais les coefficients de frottement diffèrent si peu que l'on peut faire abstraction de ces différences, sinon, peut-être, dans les portées où les démarrages fréquents jouent un grand rôle.

Il en est de même pour le mode d'amenée de l'huile aux surfaces frottantes. Lorsque la pression p est grande, il faut de l'huile sous pression. Lorsque la vitesse v est considérable, il faut fournir de temps à autre de l'huile froide. Les figures 20 et 21

donnent des indications sur la quantité d'huile qui s'écoule entre les surfaces frottantes des paliers à anneaux graisseurs en fonction du nombre de tours. Ces essais montrent que, par les anneaux graisseurs, l'huile est amenée au palier en quantité beaucoup plus grande que par graissage à gouttes, mais qu'il n'est pas possible de déterminer exactement la quantité d'huile qui s'écoule par le palier.

La figure 22 donne le schéma de l'appareil dont on s'est servi dans ces essais.

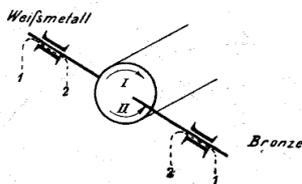


Fig. 22.

La figure 23 donne la courbe de température d'un palier de la Berliner-Anhaltische Maschinenbau avec portée de 110 sur 240 millimètres. La charge p était de 10 kilogrammes par cm^2 et l'arbre faisait 875 tours par minute, ce qui correspond à une vitesse v de 5 mètres par seconde.

Cette série d'essais était également destinée à fournir des renseignements sur l'in-

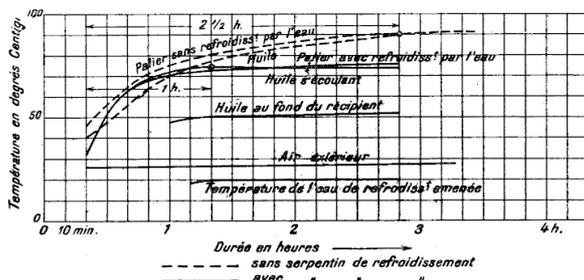


Fig. 23. — Portée de 110×240 de long; projection 225 cm^2 , en acier sur métal blanc, avec anneau de graissage de $156 \times 5 \times 14 \text{ mm}$, de large — immergé de 28 mm . : $v = 5 \text{ m}$ par seconde — $p = 10 \text{ kil}$.

fluence du refroidissement de l'huile. Lorsqu'on effectuait ce refroidissement (ligne pleine du diagramme), la température du palier montait presque à 75° en une heure ; sans ce refroidissement (ligne pointillée), le palier atteignait seulement au bout de 2 h. $1/2$ environ la température de régime de 91° .

g) *Forme et disposition des pattes d'araignée.*

Les pattes d'araignée doivent commencer au point où l'anneau graisseur fournit le plus d'huile; en ce point, il faut prévoir une niche où l'huile fournie par l'anneau peut s'accumuler et d'où elle se répartit. Pour que l'huile arrive des pattes sur la surface frottante proprement dite, il faut que les pattes ne s'y terminent pas par des

arêtes vives qui pourraient couper l'huile ou ralentir son arrivée. A partir du point où l'huile fraîche arrive sur l'arbre, il faut que les pattes ressortent vers l'intérieur

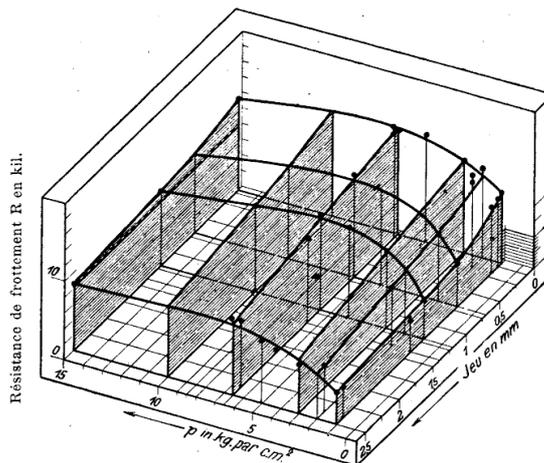


Fig. 24.

en forme de spirale. Un autre groupe de pattes doit être disposé en sens contraire du premier pour diriger une partie de l'huile vers le milieu du coussinet.

h) Influence du jeu dans les paliers.

Le stéréogramme fig. 24 montre l'influence du jeu dans les paliers sur le coefficient de frottement. On voit que, pour un jeu donné, la résistance de frottement R

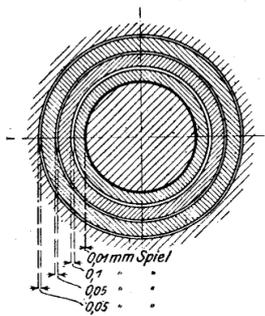


Fig. 24 bis (spiel jeu).

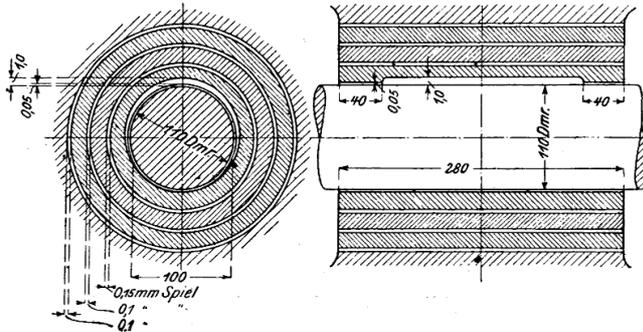


Fig. 25.

et son travail s'accroissent, au début, lentement avec la pression spécifique p , et restent ensuite constants, pour des valeurs de p comprises entre 7 et 15 kilogrammes par centimètre carré. Cette figure se rapporte à un palier d'une dynamo accouplée avec

une turbine; ce palier comporte trois bagues et fait 3000 tours par minute avec $p = 600$ kilogrammes. Plus tard, le jeu fut augmenté comme en figures 24 bis et 25.

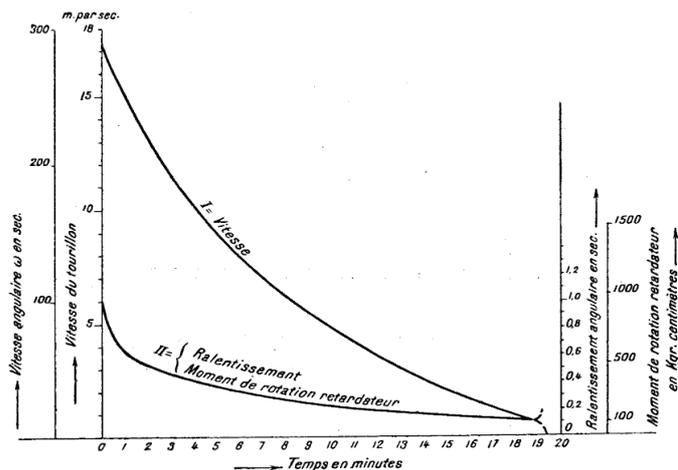


Fig. 27.

COURBES DE LA FIG. 2.	PORTÉE.	COUSSINET.	HUILE.	PARTIE CHARGÉE.
I. Thurston.	Acier.	Bronze.	Huile minérale de blanc de baleine.	Moitiés supérieure et inférieure.
II. Tower.	Acier.	Bronze : 102 mm. de diamèt. 152 mm. de long.	Saindoux. Huile minérale.	Moitié supérieure.
III. A. E. G.		Bronze : 260 mm. de diamèt. 100 mm. de long.	Huile impériale O.	Moitié inférieure.

Pendant une marche prolongée, on a trouvé les résultats suivants :

Température de l'air ambiant	fig. 24 bis 22°	fig. 25 30°
Pression de la conduite d'huile	5	5 atm.
Débit de l'huile s'écoulant :		
a) dans le coussinet central	0,16	4 ^{lit} ,5 par minute
b) dans tout le palier	1,6	6 lit. —
L'huile s'échauffait à	80	60°
et était artificiellement refroidie à	60	48°
Température de régime du coussinet	112	75°

I. — COMPARAISON DES RÉSULTATS D'ESSAIS DE L'A. E. G. AVEC CEUX DE TOWER ET DE THURSTON.

La figure 27 et sa légende montrent les résultats comparés de ces trois séries d'essais pour $p = 7$ kilogrammes. Les valeurs obtenues par Wodbury n'ont pu être comprises dans ce tableau, étant donné le peu d'étendue des pressions ($p = 0, 2$ à $2,8$ kilogrammes par centimètre carré) auxquelles elles correspondent.

B. — DÉTERMINATION DU FROTTEMENT PAR D'AUTRES PROCÉDÉS

a) *Mise en marche et arrêt spontané.* — On peut déterminer les résistances des portées au mouvement en donnant à une masse une vitesse déterminée, interrompant l'effort de mise en marche et observant la réduction progressive de la vitesse. La rapidité du ralentissement donne une mesure directe des résistances. Dans le cas qui nous occupe, le ralentissement est en raison directe du moment de ralentissement des résistances constituées par les frottements de l'air et de la portée.

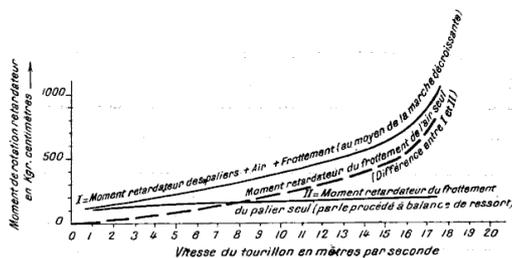


Fig. 28.

La figure 27 donne en I la courbe du ralentissement de l'induit d'une dynamo à courant triphasé de 1000 kilowatts, accouplée avec une turbine, tandis que la courbe II en représente le moment retardateur M' .

Dans la figure 28, M' est donnée, en I, en fonction de la vitesse v de glissement de la portée, tandis que II donne les moments du frottement. Ainsi qu'on le voit, I est, pour les grandes vitesses, beaucoup au-dessus de II, tandis qu'aux petites vitesses les deux courbes coïncident presque; la différence entre les ordonnées de I et de II donne aussi la résistance de l'air. La courbe du ralentissement ne fournit donc aucun moyen de déterminer le frottement des portées, tandis qu'elle permet, lorsqu'on la combine avec les données connues des essais sur les paliers, de déterminer le frottement dans l'air.

b) *Mesure directe du travail dépensé.* — Le dispositif qui a servi pour mesurer le travail dépensé était presque entièrement semblable à la balance de frottement, tou-

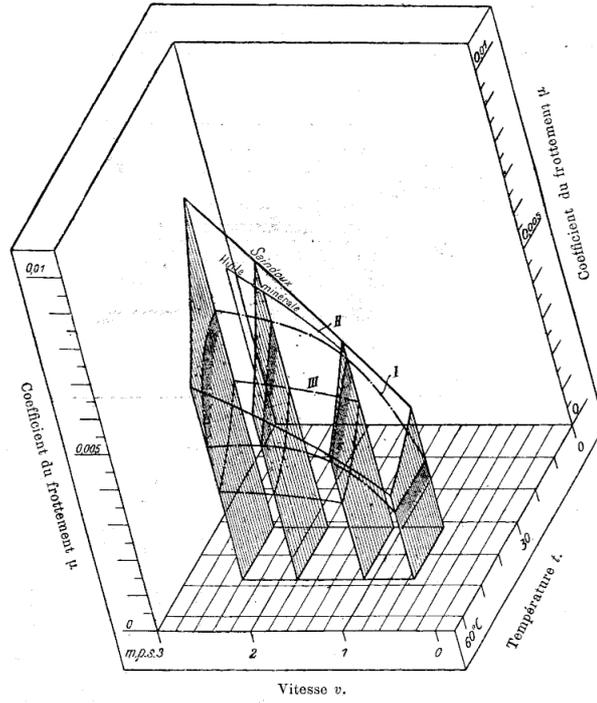


Fig. 26.

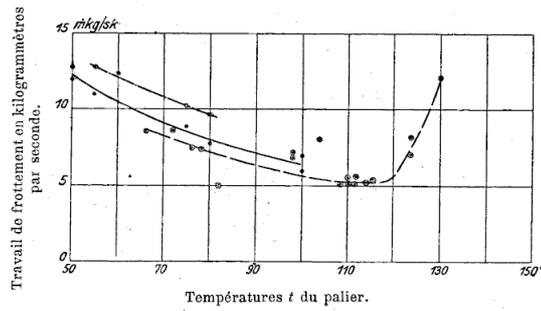


Fig. 29.

tefois l'arbre n'était pas actionné par une courroie. Les résultats de ces essais sont consignés sur la figure 29.

C. — TRAVAIL DE FROTTEMENT ET RAYONNEMENT

a) Rayonnement de la chaleur. — Chauffage du coussinet rempli d'huile, par une résistance électrique. — On chauffait la résistance (fig. 30) jusqu'à ce que le thermo-

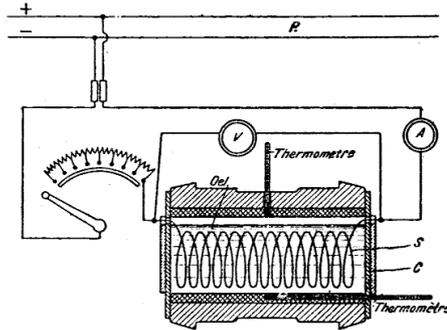


Fig. 30.

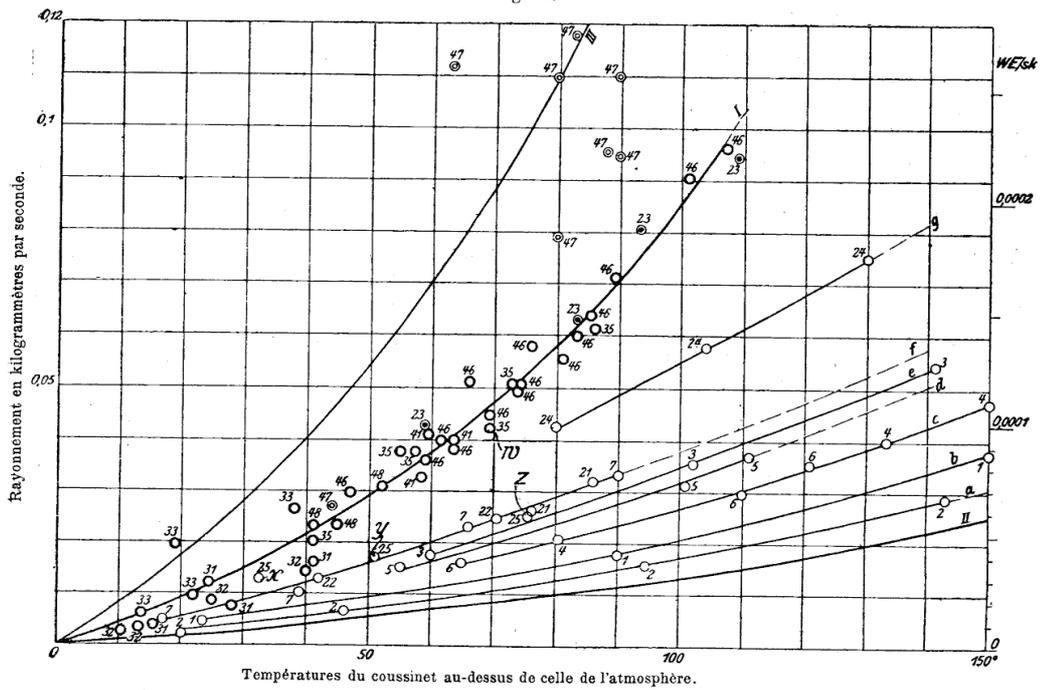


Fig. 31.

mètre indiquait la température de régime. A partir de cet instant, tout le travail de frottement est transformé en chaleur rayonnée. Les coussinets étaient disposés :

Tableau relatif aux fig. 31 à 41.

NUMÉROS DE LA FIG. 31.	DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES.		TYPE.		AVEC OU SANS		SURFACES FRONTALES ($\frac{2}{1} \pi d^2$).	MODE DE POSE sur.	PROCÉDÉ de CHAUFFAGE.
	Diamèt.	Long.	suiv. fig.		BOITTE.	ARRÊT.			
1	60	155	32	Bannag (1).	Sans.	Sans.	1° Entouré d'air.	2 linteaux en bois.	Électrique.
2	60	155	32	—	—	—	2° Isolé de la chaleur.	—	—
3	110	155	33	—	—	—	1° Entouré d'air.	—	—
4	110	155	33	—	—	—	2° Isolé de la chaleur.	—	—
5	110	240	34	—	—	—	1° Entouré d'air.	—	—
6	110	240	34	—	—	—	2° Isolé de la chaleur.	—	—
7	110	320	35	Acier sur 800.	—	—	1° Entouré d'air.	—	—
21	110	240	36	Bannag.	Avec.	—	2° Isolé de la chaleur.	Une plaque en fer.	—
22	110	240	37	—	—	—	—	—	—
23	110	280	40	Turbine avec dy- namo.	—	—	—	—	—
24	110	320	39	400 kalwatts.	—	—	—	—	—
25	450	750	41	Acier.	—	—	—	—	—
31	110	240	34	Bannag.	Sans.	Avec arbre en repos.	—	Comme en service.	Par amant de l'huile chaude.
32	110	320	35	Acier.	—	—	—	—	—
33	110	240	36	Bannag.	Avec.	—	—	—	—
35	450	750	41	—	—	—	—	—	—
41	110	240	36	Bannag.	—	Avec arbre four- nant.	—	—	—
46	111	240	36	—	—	—	—	—	—
47	110	280	40	Turbine avec dy- namo.	—	—	—	—	—
48	260	110	38	400 kilowatts.	—	—	—	—	—
49	450	750	41	Chemin de fer grande vitesse.	—	—	—	—	—

(1) Berliner Anhaltische Maschinenbau. Aktiengesellschaft.

1° sur des linteaux en bois avec les surfaces frontales des coussinets accessibles à l'air extérieur (n^{os} 1, 3, 5 et 7) ou isolées de l'air ambiant au moyen de disques soit en amiante (n^{os} 2, 4 et 6) soit en bois; 2° sur une plaque en fonte dans le sol en béton (n^{os} 22 à 25).

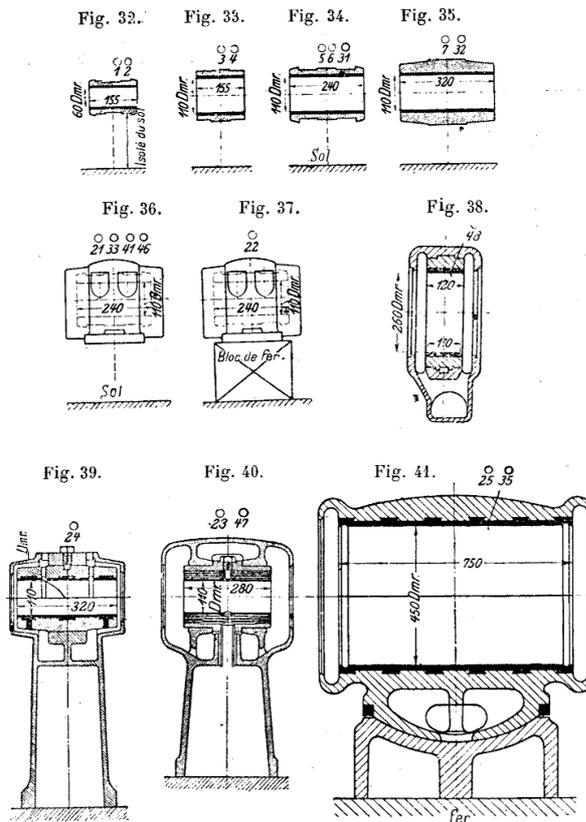


Fig. 32 à 41.

Chauffage par l'huile chaude. — Ce procédé de chauffage a été employé avec les n^{os} 31, 32, 33 et 35.

Rayonnement des paliers en pleine marche. — On calculait au moyen des coefficients de frottement précédemment obtenus l'énergie transformée en chaleur dans le palier soit en n'enlevant pas de chaleur au palier par l'huile (anneaux graisseurs, n^o 41) soit en lui enlevant une chaleur mesurée. L'huile était amenée par grande quantité (n^{os} 46 et 48), ou sans pression (n^{os} 47 et 49). La durée de l'essai était de vingt-

quatre heures divisées en trois intervalles de valeur inégale ainsi que le montre le tableau suivant :

INTERVALLE DE TEMPS.		I	II	III
Chauffage par l'électricité.	watts.	1900	10 000	
Pendant.	heures.	5	5	
Puis chauffage avec.	watts.	1340	2750	1810
	kgm. par sec.	137	262	184
Pendant.	heures.	3	4	6
Après quoi le coussinet a atteint la température moyenne de.	—	45,5	90,5	66°
Température de l'air ambiant.	—	16	15	15
Différence entre la température du coussinet et celle de l'air.	—	32,5	75,5	51
Énergie rayonnée par cm ² de surface frottante de la portée.	kgm. par sec.	0,0128	0,0247	0,0174
Ces valeurs ont été portées dans la fig. 31 aux points.		X	Y	Z

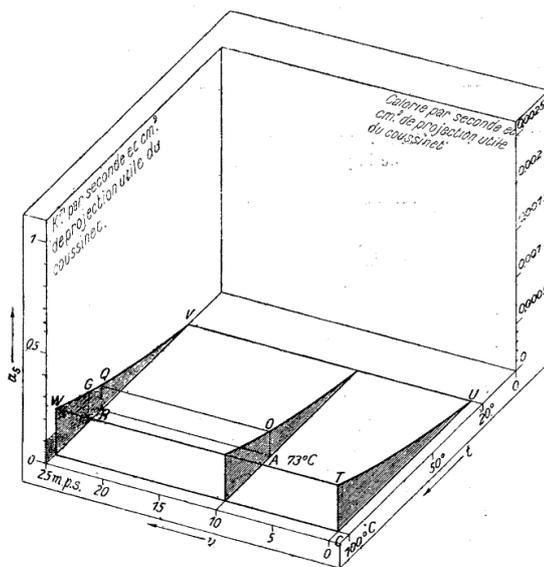


Fig. 42.

La courbe I (fig. 31) permet de déterminer si un palier est capable de dissiper la chaleur de frottement par son seul rayonnement ou si l'on doit employer un refroidissement artificiel.

La fig. 13 donne le travail spécifique du frottement en fonction de la température

du palier et de la vitesse v . La courbe VW (fig. 42) donne, en fonction de la température t , le pouvoir rayonnant aR du palier par centimètre carré de la projection

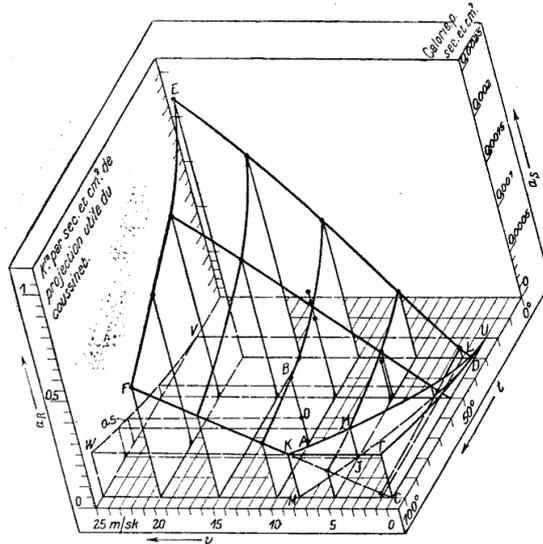


Fig. 43. — aR , Travail de frottement en kilogrammètres par seconde et par centimètre carré de la projection de la portée.

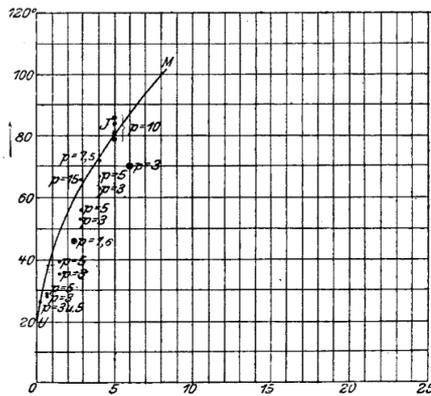


Fig. 44.

utile du coussinet. On obtient cette courbe VW en multipliant les ordonnées de la courbe I (fig. 31) par π et par le rapport de la projection de la portée à celle de la surface utile du coussinet. Les fig. 13 et 42 sont résumées dans le stéréogramme

fig. 53. On a tiré de la fig. 48 la courbe UM (fig. 44) dont la signification est la suivante. Si un arbre doit tourner avec une vitesse v quelconque (par exemple de 10 mètres par seconde) et si la température de régime ne doit pas dépasser une certaine valeur (par exemple 70°), ces conditions sont remplies par un point déterminé (A) de la fig. 44, situé dans la fig. 42 sur l'axe des abscisses, et que l'on retrouve encore

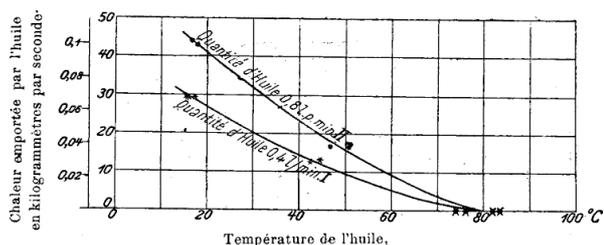


Fig. 45.

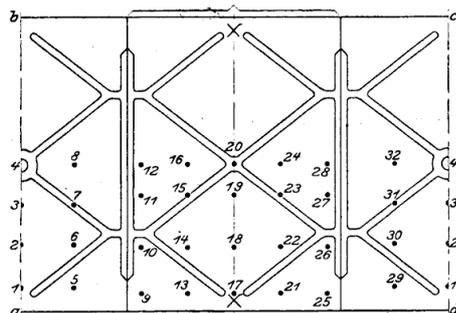


Fig. 46.

dans la fig. 43. Le pouvoir rayonnant du palier est alors de $AO = RQ = 0,111$ kilogrammètres par seconde.

Rendement du graissage par grandes quantités d'huile.

La fig. 45 donne le rendement du graissage par grandes quantités d'huile. On a mesuré la température de l'huile qui s'écoulait du coussinet et ensuite calculé la quantité de chaleur enlevée par l'huile; cette quantité est donnée, dans la fig. 45, en fonction de la température de l'huile amenée.

d) Répartition de la température sur le coussinet.

Finalement, on a étudié de quelle manière se répartit la température sur la surface frottante du coussinet. A cet effet, on a développé cette surface (fig. 46). Les points où la température a été mesurée sont numérotés de 1 à 32. L'arbre tournait à une

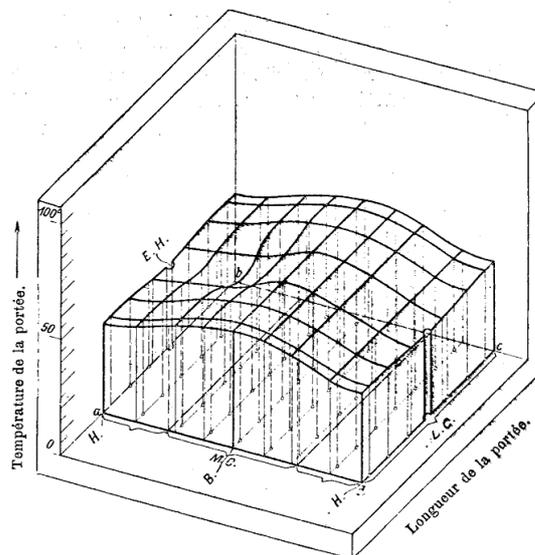


Fig. 47. — Échauffement d'une portée de 110×240 de long sur métal blanc, comme en fig. 46
 $p = 10^8$, $v = 3^m : 0,8$ d'huile minérale introduite en EH à 57° et sortant à $67,5$.

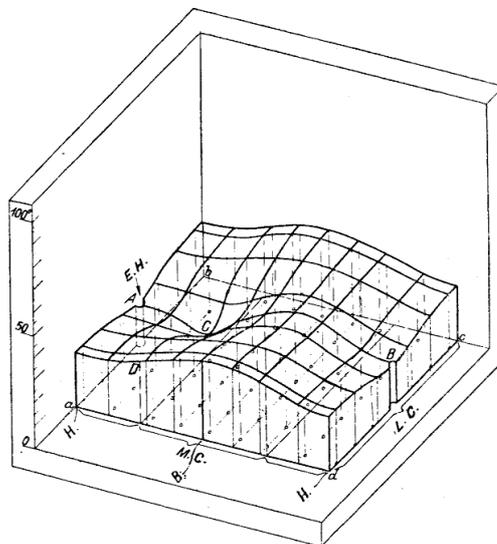


Fig. 48. — Échauffement d'une portée de 110×240 , en acier sur métal blanc (fig. 46) avec $p = 10^8$,
 $v = 3^m$. Température $t = 24^\circ : 0,8$ d'huile minérale par minute, entrant à 24° en EH et sortant
à 50° .

vitesse de 5 mètres par seconde, avec une pression p de 10 kilogrammes, et on lui amenait 0^m,8 par minute d'huile à 57° et 24°, et cette huile s'écoulait du coussinet aux

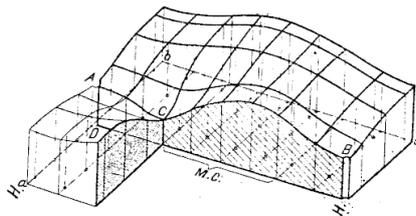


Fig. 49. — Coupe Dc B fig. 48.

températures de 67,5° et de 50°. Les fig. 47 à 49 montrent cette répartition de la température sur la surface frottante du coussinet.

LES ANGLES DE COUPE DES OUTILS, d'après *M. H.-F. Donaldson* (1).

Le travail dont est capable un outil et les angles de coupe qu'il faut lui donner à cet effet sont fonction de la matière travaillée, de celle de l'outil, de la vitesse et de la profondeur de sa coupe et de l'avance de l'outil, c'est-à-dire de la longueur dont il se déplace parallèlement à sa coupe dans l'unité de temps : par minute ou par seconde.

Les outils expérimentés étaient en acier ordinaire d'outils; l'on n'a pas encore fait d'expériences sur les meilleurs angles à donner aux outils en acier pour grandes vitesses, mais tout donne à penser que ces angles devraient être un peu moins aigus que ceux des outils ordinaires. Dans tous les cas, il y a grand intérêt à pouvoir reproduire indéfiniment et d'une façon sûre et précise les angles reconnus expérimentalement les meilleurs, et il faut, pour cela, avoir recours à des machines à affûter spéciales, dont on ne saurait trop recommander l'emploi (2).

Les angles des outils, l'angle de coupe proprement dit surtout (*Front Cutting*, fig. 1 à 3), dépendent principalement de la dureté et de la nature du métal travaillé, mais aussi de la profondeur de la coupe et de la grandeur de l'avance; les coupes légères et les avances fines doivent s'attaquer par des angles plus aigus que les grosses coupes, et, d'autre part, pourvu que l'outil puisse les supporter, les grosses coupes à faibles vitesses sont d'une production plus efficace.

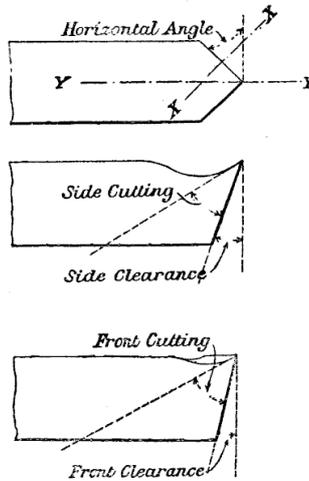


Fig. 1 à 3.

(1) *Institution of mechanical engineers*, janvier 1903.

(2) Exemple celles de Sellers et de Conradson : G. Richard, *Traité des machines-outils*, vol. II, p. 322, et *Bulletin* de mai 1900, p. 822.

Les expériences ont porté sur quatorze échantillons de matières, dont sept en acier, un en fonte, un en fer, cinq en laitons et bronzes de compositions et de duretés diverses; les angles de coupe ont varié de 57°,5 à 75° et ceux de dépouille (*Clearance*, fig. 2) beaucoup moins, ils ne doivent pas descendre au-dessous de 3° et augmenter un peu avec le diamètre des pièces tournées. L'on essaya aussi des outils dégrossisseurs à pointes plus ou moins arrondies. Les différents angles sont définis en figures 1 à 3.

On employa, pour mesurer l'effort exercé sur la pointe de l'outil, l'appareil représenté par les figures 4 à 7, monté sur le chariot porte-outil B. L'outil repose sur le couteau A, avec son extrémité prise entre la taquet B et la vis C, qui lui laissent un jeu réglable, et saisi latéralement entre les pointes I et J; la réaction verticale de la coupe est reçue par le piston réglable E D du manomètre F, la réaction latérale par la pointe du manomètre H et celle de bout par la pointe du manomètre G. Après avoir serré modérément les vis I et J, et ajusté C de manière que l'outil ne puisse prendre qu'une faible inclinaison sur l'horizontale, on entamait la coupe, et, une fois la profondeur voulue atteinte, on serrait à fond E, de manière que l'outil ne touchât plus B et C et que la réaction verticale fût presque totalement transmise à l'huile de F, déduction faite des très faibles frottements de I J H et G.

Avec de l'acier mi-dur, un outil présentant les angles suivants :

	Degrés.
Angles de coupe frontale (<i>Front. Cutting</i>) (fig. 1 à 3)	60
— de dépouille latérale (<i>Side Clearance</i>)	5
— de coupe latérale (<i>Side Cutting</i>)	60
Angle horizontal	40

a donné les résultats du tableau n° 1 avec une vitesse de coupe de 75 millimètres par seconde et de l'acier demi-dur.

TABLEAU I

Avances.	Profondeur de la coupe.	Pression par centimètre carré.
0 ^{mm} ,8	2 ^{mm} ,5	5 ^k ,6
0 ^{mm} ,8	3	6
1	3	11,5

On voit, d'après ce tableau, combien la grandeur de l'avance influe sur la pression de la pointe, et que, dans un cas au moins, cette pression augmente considérablement au commencement de la coupe.

Les outils à pointes arrondies exigent plus de force que les autres, mais ils durent plus longtemps et enlèvent plus de métal, principalement dans le travail des aciers durs, parce qu'ils s'échauffent moins en raison et de la plus grande masse de leur pointe et de l'accroissement de sa surface rayonnante. L'outil doit être fixé le plus rigidement possible, avec sa pointe la plus proche possible de son serrage; éviter l'introduction d'une élasticité au voisinage de la coupe. Pour les grosses coupes rapides, l'outil droit à pointe ronde est incontestablement supérieur.

Les principaux résultats des expériences sont donnés aux tableaux II et III.

Les résultats II et VI de ce tableau indiquent bien que les angles doivent varier avec la puissance, la vitesse et l'avance de la coupe; ces deux essais ont, en effet, porté sur des métaux de même dureté, avec des angles de coupe différant de 4 degrés seulement. Plus le métal à travailler est dur, plus les angles doivent être obtus; c'est ainsi que les

TABLEAU II. — Analyse et propriétés mécaniques des métaux travaillés.

DEGRÉ DE DURCIE. (Voir tableau III.)	COMPOSITION.										RÉSISTANCE EN KIL. par mm ² .	ALLONGEMENT P. 100 sur 50 ^{mm} .	
	CARBONE.	SILICIUM.	MANGANE.	NICKEL.	PHOSPHOR.	SOUFRE.							
I. Acier HHH.	p. 100. 1,1 à 1,35	p. 100. "				86 à 94	10 à 15						
II. — H.	0,6 à 0,75	"	"	"	"	"	"				70 à 82	12 à 15	
III. — HHN.	0,6	0,2	0,5	0,5	"	"	"				79 à 94	10 à 15	
IV. — Fondu HH.	0,35 à 0,45	0,2 à 0,3	0,7 à 0,9	"	"	"	"				44 à 60	4 à 9	
V. — HH.	0,3 à 0,35	0,1 à 0,2	0,5 à 0,7	"	"	"	"				35	30	
VI. — H.	0,33	0,06	0,54	"	0,04	0,02	"				49	23	
VII. — H.O.	0,33	0,06	0,54	"	0,04	0,02	"				61	20,5	
VIII. — Fer M.	0,08	trace	trace	"	"	"	"				36 à 40	40 à 60	
IX. — Fonte.	0,36	0,25	0,7	"	0,1	"	"				16 à 19	"	
X. Bronze dur HH.	p. 100. 90	p. 100. 8	p. 100. 2	p. 100. "	p. 100. 2	p. 100. 2	p. 100. "	p. 100. "	p. 100. "	p. 100. "	31	30	
XI. — moyen M.	87 ± 2	3,5 ± 1	6 ± 2	3,5 ± 1	"	"	"	"	"	"	23	18	
XII (1). — doux S.	87 ± 2	3,5 ± 1	6 ± 2	3,5 ± 1	"	"	"	"	"	"	23	28	
XIII. — forgé HH.	60	"	40	"	"	"	"	"	"	0,25	42	22	
XIV. — H.	60	"	40	2	"	"	"	"	"	"	50	35	

(1) HHH. Très dur. HH. Dur moyen. H. Dur. O. Trempé à l'huile. M. Moyen. S. Doux. F. Forgé. N. Nickel.

MATIÈRE et degré de dureté.	DIAMÈTRES.		VITESSE DE LA PIÈCE.		TRAVAIL DE L'OUTIL.			OUTILS ET LEURS ANGLES.						GRAISSAGE PAR	ÉTAT DE L'OUTIL Après le travail.		COPREUX.	
	Avant.	Après.	Tours par minute.	Mètres par minute.	Avance.	Course.	Durée.	Nature de l'outil.	De coupe frontale.	De coupe latérale.	Dépeuille frontale.	Dépeuille latérale.	Horizontale.		Intacts.	Dégagement endommagé.	Longs.	Courts.
I. Acier. HHH.	86	81	48	4,30	0,6	76	6,75	25 Acier.	75	69	2	2	33	"	Oui	"	Oui	
II. Acier. H.	46	43	70	9,60	0,36	150	6	—	59	62 1/2	3	3	33	"	—	Oui	"	
III. Acier. HHN.	145	125	48	8,10	0,4	76	9	—	62 1/2	62 1/2	4	1	32	"	Dégradé.	"	Oui	
IV. C. Acier. HH.	152	130	48	7,50	0,6	25	2,25	—	65	63	2 1/2	1	42	"	—	Oui	"	
V. Acier. HH.	38	31	70	8,40	0,4	25	0,44	—	62 1/2	62 1/2	3	3	42	Non	"	Oui	"	
VI. C. Acier. H.	210	19	5 1/2	3,60	3,0	250	15	30	55	52	4	5	35	—	"	—	"	
VII. Acier. HO.	170	157	5 1/2	3,0	1,8	160	44	—	57 1/2	55	8	8	40	—	"	—	"	
VIII. Fer. M.	76	69	70	16,50	0,36	50	2	25	57 1/2	55	4	3	42	—	"	—	"	
IX. Bronze. X.	125	110	18	6,30	1,0	50	3	—	60	64	1 1/4	1	35	"	Oui	"	Oui	
X. G. M. F. HH.	86	76	140	67,0	0,5	100	4,45	—	61	64	3	0	35	"	Oui	Oui	"	
XI. Bronze. M.	76	68	320	76,0	0,75	150	0,6	—	61	64	3	0	35	Non	"	Oui	"	
XII. Bronze. S.	66	59	320	66,0	0,75	150	0,6	—	73	74	2	2	35	—	"	"	Oui	
XIII. Bronze. F.	89	82	320	88,0	0,75	127	0,5	—	73	74	2	5	35	—	"	"	—	
XIV. Bronze. HH.	67	62	224	48,0	0,5	100	0,75	—	78	78	1	0	35	—	"	"	—	
XV. Bronze. F. H.	61	54	224	42,0	0,5	76	0,55	—	62 1/2	64	3	3	35	—	"	Oui	"	

TABLEAU III

métaux travaillés en II, V et I, classés comme dur, H, demi-dur, HH, et très dur HHH, ont donné, avec des vitesses et des avances appropriées, les meilleurs résultats pour des angles de 59, 63 et 75 degrés, la profondeur de la coupe, la nature et les dimensions des outils étant à peu près les mêmes; les conclusions sont les mêmes pour les essais VI et VII. Les métaux les plus doux exigent les angles les plus aigus, mais, pour le finissage, l'avance doit être faible, de sorte que, toutes choses égales, les angles doivent varier avec la vitesse et l'avance.

Le travail des bronzes montre très clairement l'influence de la nature de ces

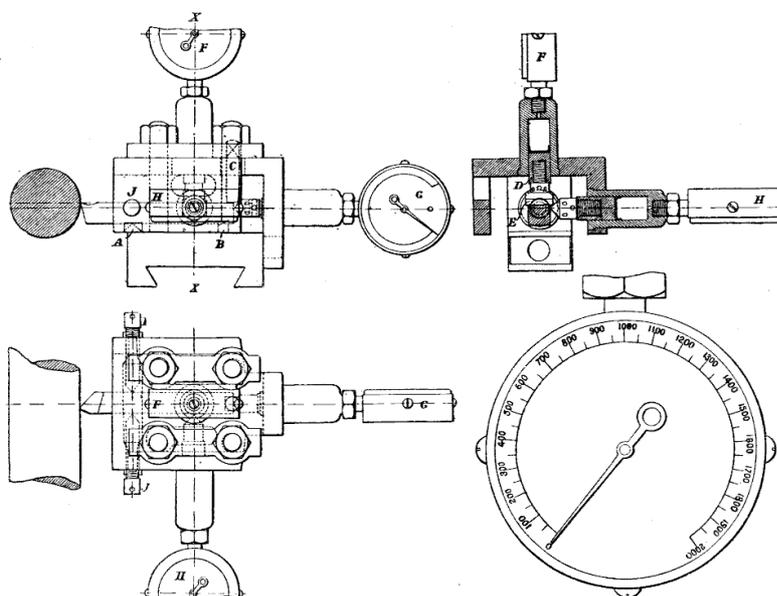


Fig. 4 à 7.

alliages, mais, avec les types moyens et doux XI et XIII, l'on a pu conserver les mêmes angles; c'est la tendance des métaux doux à rester sur les pointes des outils qui force à les rendre obtuses. Le tableau IV donne les angles limites à adopter en pratique pour les aciers à outils ordinaires.

TABLEAU IV. — Angles limités (fig. 1 à 3).

MÉTAL A COUPER.	DE COUPE FRONTALE.	DE COUPE LATÉRALE.	DÉPOUILLE FRONTALE.	DÉPOUILLE LATÉRALE.	HORIZONTAL.
Acier doux.	52 à 60°	50 à 60	3 à 8	3 à 8	33 à 43
Acier moyen.	54 à 63	60 à 65	3 à 8	3 à 8	33 à 43
Acier dur.	65 à 78	60 à 70	3 à 8	3 à 8	33 à 43
Bronze doux.	62 à 74	62 à 74	3 à 8	3 à 8	33 à 38
Bronze moyen.	62 à 74	70 à 75	3 à 8	3 à 8	33 à 38
Bronze dur.	60 à 80	60 à 80	3 à 8	3 à 8	33 à 38

TABLEAU V

NUMÉRO de l'acier.	VITESSE DE COURSE en mètres.	PROFONDEUR de la coupe	AVANCE DE l'OUTIL par tour.	POIDS DE MATIÈRE enlevée par heure.	DURÉE du TRAVAIL.	COURSE de l'outil.	ÉTAT DE l'OUTIL APRÈS l'ESSAI.	ORDRE DE l'OUTIL.	MATIÈRE AYANT DONNÉ les meilleurs résultats.
W	5,2	6	1,16	9,5	0,116	38 mm.	Exige un réaffûtage.	"	"
I	5,2	6	1,16	9,2	2,405	380 mm.	Id.	"	Acier doux.
E	4,0	13	4,16	8,2	7,6	"	Exige un réaffûtage.	"	Id.
B	10,2	25	1,35	100	1,315	180 mm.	Id.	"	Id.
D	10,2	25	1,35	36	7,1	"	Bon.	"	Id.
J	10,2	25	1,25	120	5,8	1 ^{re} , 80	Exige un réaffûtage.	2 ^e acier dur.	Aciers doux et dur.
K	10,2	25	1,25	67	4,96	"	Bon.	2 ^e acier doux.	Id.
L	10,2	25	1,25	64	4,25	"	Id.	"	Id.
N	10,2	25	1,25	57	4,8	"	Id.	"	Id.
M	10,2	25	1,25	36	9	"	Mauvais.	"	Id.
O	10,7	5	2,5	65	2,85	"	Exige un réaffûtage.	"	Aciers moyens.
R	8,5	5	2,5	77	9	"	Bon.	"	Acier moyen.
A	43,6	8	2,5	36	3,95	"	Exige un réaffûtage.	"	"
S	5,2	6	2,5	140	4,62	5 ^{me} , 40	Id.	"	"
T	5,2	6	1,16	42	12,5	1 ^{re} , 04	Pointe brisée par accident.	1 ^{er} acier doux.	Acier coulé.
Y	5,2	6	4,16	9	3,71	390 mm.	Exige un réaffûtage.	"	"
Q	5,2	6	1,5	11,3	1,37	No coupant pas.	Id.	"	"
F	38,5	7	2,5	90	2,04	150 mm.	Exige un réaffûtage.	"	"
V	41,7	1	2,5	100	4,78	"	Faillant usé.	"	"
X	10,2	25	1,25	83	2,42	"	Légerement usé.	4 ^e acier doux.	Aciers moyens.
K	8	25	1,25	74	0,83	"	Mauvais.	"	"
C	8,5	5	1	2	0,25	"	Beau.	"	"
G	13	40	0,5	11	0,116	"	Très usé.	1 ^{er} acier doux.	Acier doux.
H	14	6	2,5	160	13,5	"	Exige un réaffûtage.	"	Acier doux.
I	6,4	5	1,16	103	5,5	680 mm.	Bon.	"	"
II	12,8	5	1,16	146	1,34	"	Id.	"	"
G	6,4	3	1,16	48	2,75	1 ^{re} , 92	Id.	"	"
P	10,7	4	2,5	50	3,64	"	Id.	"	Aciers doux et durs.
P	6,4	5	1,16	48	2,5	1 ^{re} , 30	Id.	"	"

Les tableaux V et VI donnent les résultats de quelques essais d'acier à grande vitesse; ils démontrent, notamment, qu'il faut employer de ces aciers de qualités très différentes pour les métaux doux et pour les durs. Sur les vingt-sept échantillons d'acier essayés, deux seulement conviennent pour les aciers durs et quatre pour les doux et moyens.

TABLEAU VI

MARQUES de L'ACIER.	MATIÈRE TRAVAILLÉE.	VITESSE DE COUPE par minute.	PROFONDEUR de LA COUPE.	AVANCE DE L'OUTIL par tour.	MATIÈRE ENLEVÉE par heure.	DURÉE du TRAVAIL.	ÉTAT DE L'OUTIL.
A (1)	Très dure.	mètres. 5,18	millim. 0,6	millim. 1,5	kilogr. 12	heures. 12,5	Brisé par accident.
B		5,18	0,6	1,2	9	5,8	Exige un réaffutage.
C	Trempeée à l'huile.	4,28	0,10	2,5	160	13,5	Id.
D		1,52	0,6	2,5	122	8,5	Bon.
E		10,0	1,5	2,0	104	7,1	Exige un réaffutage.
F		11,6	0,7	2,5	98	4,78	Un peu usé.

(1) Le tour se brise par une insuffisance de résistance.

L'acier du tableau II avait la même dureté que les types travaillés par les outils A et B du tableau VI, qui en ont enlevé, par heure, 10 kilogrammes au lieu de 3^{kg},4. Les outils C, D, E et F ont enlevé, sur le métal VII du tableau I, respectivement 159, 122, 104 et 98 kilogrammes par heure, au lieu de 16, de sorte que ces outils nouveaux abattent de six à dix fois plus de besogne avec les aciers moyens et trois fois plus seulement avec les aciers très durs, pour le travail desquels on n'a pas encore trouvé l'acier à outil convenable au même point que pour les aciers moyens. L'avantage des pointes arrondies est encore plus sensible avec ces aciers à grand travail.

L'ACIER A OUTILS *Taylor-White*. — RAPPORT DE LA COMMISSION DU FRANKLIN INSTITUTE (1).

On connaît deux classes des aciers à outils : ceux au carbone et ceux qui se trempent d'eux-mêmes à l'air; ces derniers, les *auto-trempeurs*, ont entièrement remplacé les premiers pour les gros travaux de dégrossissage, avec une supériorité de rendement de 1,5 à 1; ils sont dus à Mushet. Cet ingénieur découvrit que l'addition de manganèse et de tungstène permettait aux outils de conserver leur tranchant à des températures et à des vitesses de coupe beaucoup plus élevées, mais on ne fit qu'un usage restreint de cette précieuse propriété faute de données précises à ce sujet.

Les expériences, entreprises depuis trois années environ, aux aciéries de Bethléem, par MM. Taylor et White, sur les différents types d'aciers à outils et sur les leurs ont pour objet de déterminer ces données.

Elles ont montré que les résultats donnés par différents outils d'un même acier varient grandement, ce qui ne pouvait s'expliquer que par les variations de leurs pro-

(1) *Journal of the Franklin Institute*, Février, p. 127. Voir aussi la *Revue de mécanique* de septembre 1901, p. 361, et le *Bulletin* d'octobre 1901, p. 539.

cédés de trempe, dont l'influence est prédominante. Des essais sur des outils tirés du même acier, forgés et chauffés à différentes températures, ont montré que ceux refroidis d'une température très élevée donnent des résultats infiniment supérieurs à ceux connus jusqu'à ce jour. Jusqu'à ces essais, au contraire, on recommandait bien de ne jamais dépasser la température du rouge cerise pour ces aciers auto-trempeurs et de les laisser se refroidir graduellement dans l'air calme ou dans un courant d'air.

On se servit, pour ces essais, d'un tour spécial de Bement, extrêmement puissant, entraîné à friction par une dynamo de 40 chevaux. On adopta, comme règle, une coupe de 4^{mm},76 de profondeur, avec avance de 1^{mm},6, prolongée pendant vingt minutes; on découpa ainsi environ 200 tonnes de métal, avec une dépense totale de 500 000 francs.

Dans leurs brevets, MM. Taylor et White revendiquent, comme objet de leur invention, la « fabrication d'outils pour le travail des métaux dans lequel l'outil est très fortement échauffé par ce même travail, le but de l'invention étant de fournir des outils capables de travailler à une température plus élevée et, par conséquent, avec un plus grand débit par unité de temps que les outils antérieurs », ce qui montre bien qu'il s'agit, ici, d'outils adaptés au dégrossissage seul, et ne pouvant augmenter le rendement qu'à partir d'une certaine vitesse.

En outre, dans la première page du brevet (1), on lit que « notre invention est basée sur notre découverte que, s'il est vrai que tous les outils se trempant à l'air se détériorent à des températures supérieures au rouge cerise vif, mais pas tous exactement à la même température, il est aussi vrai que, lorsque l'on incorpore à ces aciers certains constituants, en certaines proportions, cette détérioration ne se produit qu'entre certaines limites de températures restreintes, au-dessus du rouge cerise vif, entre 845 et 920°, par exemple correspondant à la couleur saumon claire » et qu'en outre, « nous avons aussi découvert que, au delà de cette température, que nous appellerons la température au point d'écrasement « *breaking down point* » où l'acier cède ou s'écrase quand on le touche avec un métal (entre 1000 et 1100° environ), l'efficacité de ces outils, c'est-à-dire leurs vitesses de coupe et l'uniformité de leur rendement, sont considérablement accrues, et ce, proportionnellement à l'élévation de la température à laquelle ils sont portés. Il en est tellement ainsi que leur vitesse de coupe est de 1,5 à 2,5 fois celle d'un outil chauffé à une température inférieure à celle de l'écrasement, comme le montre très clairement la courbe (fig. 1), qui donne, en même temps, la raison pour laquelle on recommandait auparavant de ne pas dépasser la température du rouge cerise, où la courbe se déprime brusquement. »

L'acier Taylor-White doit, pour se bien comporter au traitement indiqué, renfermer au moins 0,5 p. 100 de chrome, et au moins 1 p. 100 des autres métaux du groupe du chrome, tels que le tungstène ou le molybdène, et l'on a parfois intérêt à forcer cette proportion. Les brevets discutent avec soin la valeur relative des différents membres du groupe du chrome et il est intéressant de remarquer que la teneur en carbone ne semble exercer que très peu d'influence entre les valeurs de 0,8 à 2 p. 100 de carbone.

D'après le brevet « l'on ne peut définir avec certitude les changements chimiques et moléculaires qui se produisent dans les aciers de cette composition au delà de la température d'écrasement et aux températures élevées caractéristiques de notre pro-

(1) Brevet anglais 10738 de 1900. *Revue de mécanique de novembre 1900*, p. 664.

cé, mais nous signalerons, comme caractéristique et dû à notre procédé, ce fait que dans les outils, après exposition à ces hautes températures, la teneur en carbure de chrome diminue; c'est ainsi que, dans des aciers à 1,5 p. 100 de chrome et 0,7 p. 100, de carbure de chrome avant ce traitement, le carbure tombe à 0,2 p. 100 après les hautes températures; dans des aciers à 0,75 p. 100 de chrome et 0,9 de carbure de chrome, la teneur en ce carbure tombe, de même, à 0,3 p. 100. La cassure de ces aciers est comme celle des aciers auto-trempeurs ordinaires (en leur état normal, d'un grain caractéristique velouté très fin. Les hautes températures de notre procédé ont tendance à changer notablement la structure du métal, à enlever l'aspect velouté du grain, rendu plus grossier avec interposition fréquente de grains brillants. Après avoir subi

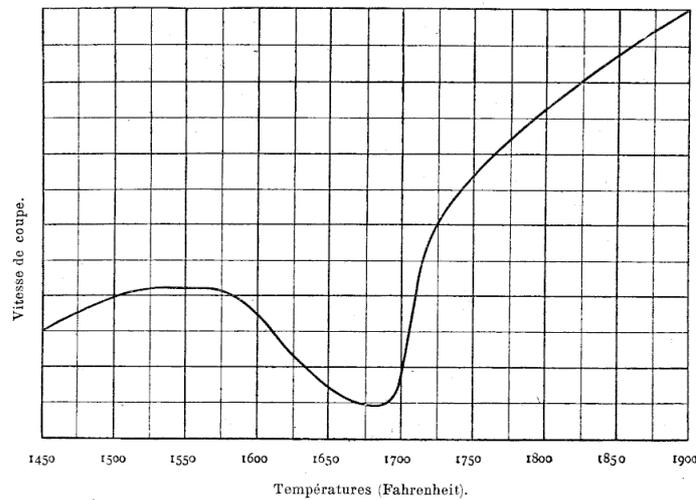


Fig. 1.

les températures les plus élevées, nécessaires à l'obtention des meilleurs résultats, l'acier des outils présente, au microscope, une structure distincte à gros grains, souvent coupée d'austenite, micro-constituant de l'acier découvert par Osmond, dont la composition chimique est inconnue et qui, d'après les meilleures autorités, ne s'est jamais rencontré dans le traitement industriel des aciers. »

La question de refroidissement de l'outil est considérée en détail, et l'on propose, suivant les travaux, différentes méthodes, qui peuvent se ramener à la suivante. L'outil est refroidi rapidement de sa haute température au-dessus de celle de l'écrasement dans un bain de plomb puis, lentement, dans l'air ou de la chaux, sans jamais laisser la température se relever, ce qui compromettrait sérieusement l'outil. Après ce refroidissement, on augmente encore la qualité de l'outil en le maintenant, pendant dix minutes, entre 370 et 650° environ. L'une des propriétés avantageuses revendiquées par MM. Taylor et White pour leurs outils est leur grande uniformité, qui permet de les employer tous avec leur rendement maximum, et cette uniformité est due à l'appareil

employé, qui permet de préciser exactement les températures. L'outil, après son forgeage, est placé dans un four à coke, où il est porté graduellement à une température élevée, celle de l'écrasement; l'acier est alors au blanc incandescent, et doit s'observer au moyen de verres colorés.

Après ce chauffage, l'outil est plongé dans un bain de plomb maintenu à une température constante dans une cornue en fonte (fig. 2 et 3) chauffée par un feu de coke dont l'intensité est réglée par une soufflerie; si la température s'élève de trop, on plonge dans le bain de plomb le tube fermé P, à circulation d'eau. Les températures

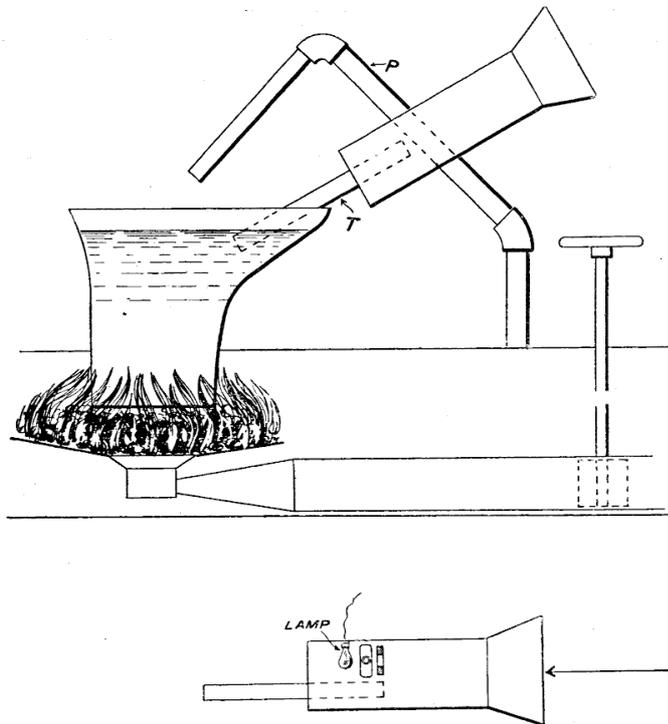


Fig. 2 et 3.

se déterminent au moyen du tube T, plongé dans le bain de plomb, et enfermé dans un gros tube en bois noirci à l'intérieur; ce dernier tube renferme un flacon éclairé par une lampe à incandescence et disposé de manière que sa couleur puisse se comparer facilement avec celle du bain vue en T. Les liquides de ces flacons ont été choisis de manière à correspondre, par leurs colorations, à des températures données; les lampes sont étalonnées et leur voltage est maintenu constant par un rhéostat. Il n'est pas d'ailleurs nécessaire de disposer d'un appareil aussi précis; on obtient d'excellents résultats d'aciers traités dans un simple feu de forge et refroidi dans un jet d'air, mais sans pouvoir obtenir au même point l'uniformité désirable, et qui justifie pleinement l'emploi de cet appareil.

Afin de vérifier les affirmations des inventeurs, la commission de l'Institut de Franklin se rendit aux forges de Bethléem, en décembre 1901, puis se procura des échantillons de différents aciers auto-trempeurs, qui furent trempés en sa présence suivant les instructions de leurs fabricants, affûtés aux angles du tableau ci-contre, et essayés au tour de Bethléem sur deux pièces d'acier et une de fonte; tous ces aciers furent prélevés sur des échantillons qui se trouvaient en vente au moment de la prise des brevets Taylor-Withe.

Dans ces essais, afin d'en rendre les résultats comparables, la profondeur de la coupe et l'avance restaient constantes, la vitesse seule variant de manière que chacun des outils pût supporter son travail pendant vingt minutes. Les tableaux ci-dessous donnent les résultats de ces essais, et permettent de comparer les différents aciers à ceux de Taylor-White (T.-W).

Aciers des outils essayés.	Date.	Numéro de l'essai.	Numéro de la pièce travaillée.	Durée de l'essai.	Vitesse de coupe moyenne(1).		État de l'outil après l'essai.	Course.
					min.	par seconde.		
T W H 2313	19 déc.	1	7238 C	20	55		Bon.	150
Mushet.	»	2	»	(a) 13 1/2	25		Pointe enlevée.	30
—	»	3	»	(b) 12 1/2	17		—	40
Sanderson	»	4	»	20	17		—	48
Boreas.	»	5	»	20	23		—	50
Mushet.	»	16	»	4	15		—	»
Bachurn.	»	17	»	20	15		Bon.	45
Mushet.	»	18	»	20	15		Pointe enlevée.	45
T W M E 2806. . .	20 déc.	6	19788 B ₁	20	700		Bon.	1 ^m
Sanderson	»	8	»	20	350		—	500 ^{mm}
Mushet.	»	9	»	1 3/4	360		Pointe enlevée.	45
Boreas.	»	10	»	6 1/2	360		—	160
Mushet.	»	11	»	19	300		—	400
Sanderson	»	17	»	19 1/4	410		—	565
Beng Atha.	»	13	»	13	410		—	385
T W M E. 2757 . .	»	14	»	20	780		Bon.	1 ^m
T W B O 3	»	19	1506 A	20	350		—	420 ^{mm}
Boreas.	»	20	»	20	380		—	330
—	»	21	»	4	»		Pointe enlevée.	520
Mushet.	»	22	»	20	250		—	293
Beng. Atha. . . .	»	23	»	20	250		Bon.	293
T W B O 3	»	24	»	20	350		—	420
Beng Atha. . . .	»	25	»	3 1/2	»		Pointe enlevée.	55

(1) Avance, 1^{mm}, 6. Pénétration, 4^{mm}, 8.

(a) Pointe arrachée avant la fin de l'essai.

(b) Pointe portée au rouge pour 13 minutes.

Composition chimique des pièces travaillées.

	Barre		N° 1506 A (fonte).	Total.
	Barre 7238 C.	19788 B ₃ .		
	p. 100.	p. 100.	p. 100.	
Carbone.	0,876	0,105	Combiné. 0,906	3,834
Manganèse	0,62	0,36	0,43	
Silicium.	0,24	0,025	0,98	
Phosphore.	0,025	0,023	0,298	
Phosphore.	0,028	0,035	0,055	

Angles des outils essayés.

Angles de	Sur acier dur.	Sur acier doux.	Sur fonte.
Dépouille	6°	6	6
Coupe frontale	5	8	14
— latérale	9	12	18

Les essais sur l'acier 86° C., forgé, ont donné, aux outils traités par le procédé Taylor-White, une supériorité d'environ 3,5 sur les meilleurs aciers non traités par ce procédé; cette supériorité s'abaisse à 2,2 pour l'acier doux, et à 1,3 pour la fonte; pour les fontes dures, elle remonte parfois à 2; les roues de chaînes en fonte durcie de la Link Belt C° sont alésées deux fois plus vite avec l'acier Taylor-White.

Dans l'un des essais sur acier doux, la vitesse de la coupe atteignit 0^m,78 par seconde sur une profondeur de 4^{mm},8 et une avance de 1^{mm},6; l'outil, qui enlevait ainsi 160 kilogr. de métal par heure, était rouge à 8 millimètres de la pointe; après les vingt minutes de travail, la pointe en était intacte au point qu'on y reconnaissait à la loupe les marques de son affûtage. Les affirmations des inventeurs, en ce qui concerne la supériorité de leurs outils pour les travaux de dégrossissage, sont donc pleinement confirmées avec ces aciers essayés, et c'est là un résultat dont on ne saurait trop signaler l'importance à tous les constructeurs. Il permet, en effet, de doubler le rendement des machines-outils employées au dégrossissage.

A la suite de ce rapport, le Franklin Institute a décerné à MM. Taylor et White sa médaille Elliott-Cresson « pour la découverte et le développement d'une méthode permettant de traiter une certaine composition d'acier à outils, qui a rendu possible d'augmenter considérablement la production des machines-outils employées au dégrossissage. »

MACHINE A VAPEUR SURCHAUFFÉE *Schmidt* DE 300 CHEVAUX (1)

Cette machine, construite par *Easton*, à Erith, a été essayée par *M. J.-A. Ewing*. C'est une machine horizontale compound tandem (fig. 1) à cylindres de 380 et 610 × 685 mm. de course, vitesse normale 140 tours; distribution par soupapes au petit cylindre et par robinets genre Wheelock au grand cylindre; entre les deux cylindres, se trouve un réchauffeur Schmidt, qui réchauffe par de la vapeur surchauffée celle qui passe du petit au grand cylindre. La machine est alimentée par une chaudière Lancashire timbrée à 10 kilogrammes, et dont la vapeur, portée à 430 degrés environ par un surchauffeur Schmidt séparé (2) n'arrive qu'à 400 degrés au réchauffeur intermédiaire. d'où elle passe au petit cylindre à 305 degrés environ. La pompe à air est du type Edwards sans clapets de pied (3).

Les principaux résultats des essais sont représentés par les courbes des figures 2 et 3 qui donnent la dépense de vapeur par heure et par puissance indiquée (fig. 3), puis (fig. 2) par puissance effective en kilowatts de la dynamo commandée directement par la machine. La machine exigeait, pour se traîner à vide, environ 28 chevaux, ce qui

(1) *The Engineer* 3 et 10 janvier 1901.

(2) Sur les machines à vapeur surchauffée Schmidt, voir le *Bulletin*, mai 1896, p. 686.

(3) *Bulletin* d'août, 1896, p. 1182.

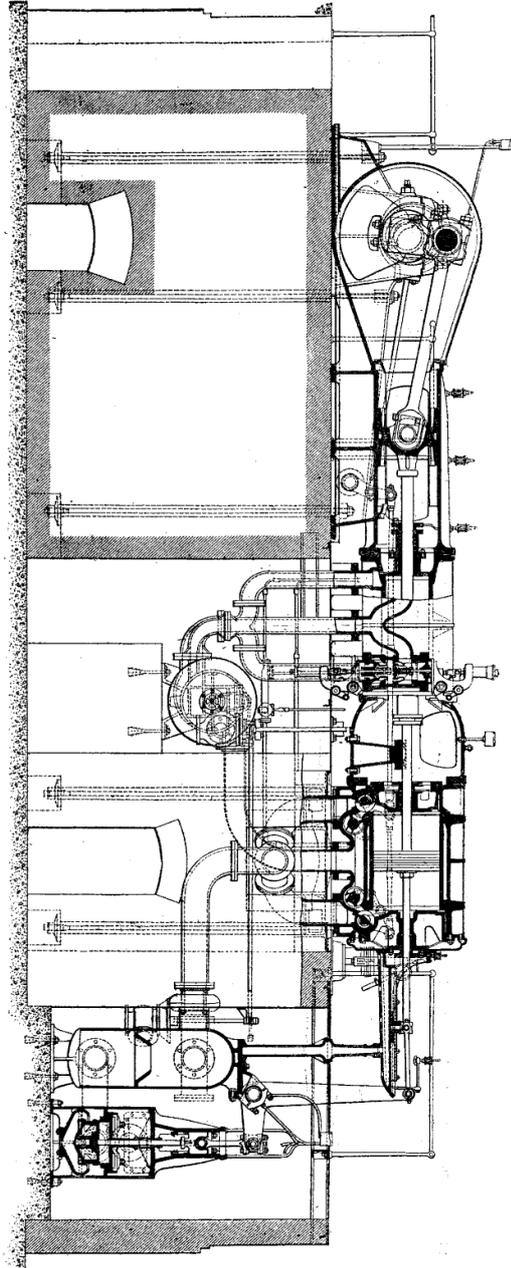


Fig. 1. — Machine à vapeur surchauffée Schmidt.

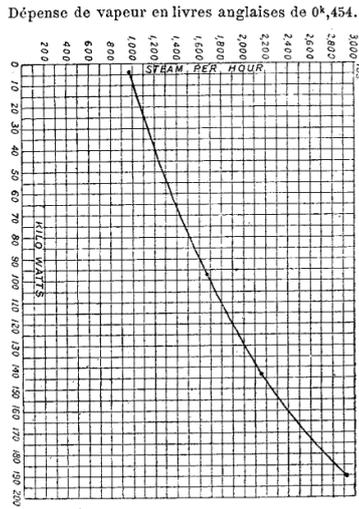


Fig. 2.

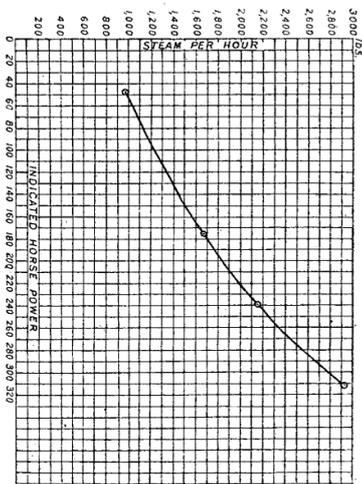


Fig. 3.

donne, pour son rendement organique, y compris les frottements de la dynamo, et en pleine charge de 312 chevaux, une valeur de $\frac{312 - 28}{312} = 91$ p. 100 environ. Les courbes (fig. 2 et 3) montrent que la dépense de vapeur reste, pendant toutes les variations si considérables de ces essais, sensiblement proportionnelle à la puissance indiquée ou effective, ce qui est un excellent résultat, et aux environs du minimum de 4^{kg},08 par cheval indiqué et de 6^{kg},8 par kilowatt-heure, entre 120 et 170 kilowatts. Cette dépense de 4^{kg},08 de vapeur par cheval indiqué est des plus remarquables dans une compound à deux cylindres et de 300 chevaux.

La chaudière vaporisait environ 8^{kg},7 par kilogramme de charbon, et le surchauffeur portait à 425 degrés 24 kilogrammes de vapeur par kilogramme de charbon dépensé, ce qui porte à 0^{kg},157 la dépense de charbon totale par kilogramme de vapeur surchauffée fourni à la machine, ou à 0^{kg},630 par cheval indiqué à la puissance de 239 chevaux (1).

CONDENSEUR Weiss (2).

Le condenseur de M. Joseph Weiss, ingénieur à Bâle, est du type atmosphérique à injection et à contre-courant, c'est-à-dire où la vapeur admise par B (fig. 1 à 3) marche, dans le corps C du condenseur, en sens contraire de l'eau froide admise par D; l'air est enlevé par une pompe à air sèche, c'est-à-dire n'aspirant pas d'eau, en E, au haut du condenseur; l'eau chaude et la vapeur condensée s'évacuent par le tube barométrique A.

La marche à contre-courant assure l'intime mélange de l'eau et de la vapeur en réduisant au minimum la dépense d'eau et le volume d'air à extraire, ainsi que le volume et le travail de la pompe à air. La température décroissant du bas vers le haut du condenseur, la proportion d'air mélangé à la vapeur et la densité de cet air augmentent du bas en haut du condenseur, de sorte que l'air en est extrait au point où sa densité est la plus grande, ce qui réduit d'autant le travail de refoulement ou de compression de cet air. En outre, au bas du condenseur, la température de l'eau est presque celle correspondante au vide indiqué, de sorte que la quantité d'eau à employer par kilogramme de vapeur condensée est presque réduite à son minimum théorique.

Le travail des pompes serait ainsi réduit, dans les condenseurs Weiss, d'environ 70 p. 100; en fait, dans un exemple cité par M. Weiss, la dépense d'eau aurait été, avec de l'eau à 18 degrés et un vide de 640 millimètres de mercure, de quinze fois le poids de la vapeur condensée au lieu de cinquante-quatre fois avec un condenseur à

(1) D'après M. Unwin (*The Engineer*, 20 fév., p. 186) la dépense de charbon serait descendue, avec une bonne chaudière et un surchauffeur mieux installé, à 0^{kg},53 par cheval indiqué; avec une dépense de charbon de 1/5 à 1/6 en plus de celle de la chaudière, l'on obtient une augmentation de 50 p. 100 de la puissance indiquée. Cette économie de la surchauffe est due non seulement à la diminution de la perte par les parois, mais aussi à celle de la perte par fuites des distributeurs à l'échappement. La vapeur doit être surchauffée non seulement à son admission au cylindre de haute pression, mais aussi à celle du cylindre de basse pression, comme cela a lieu par le réchauffeur intermédiaire Schmidt, qui fait tomber la température de la vapeur surchauffée de 430° — limite extrême compatible avec la durée des surchauffeurs — à 320° par exemple; ces surchauffeurs Schmidt paraissent pouvoir durer très longtemps.

(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, IV (1902, p. 883; note de M. P. Nugue; *V. Deutscher Ingenieure*, 4 octobre 1902, p. 1494, et l'ouvrage de M. Weiss, *Kondensation*, en train de publication à la librairie Dunod.

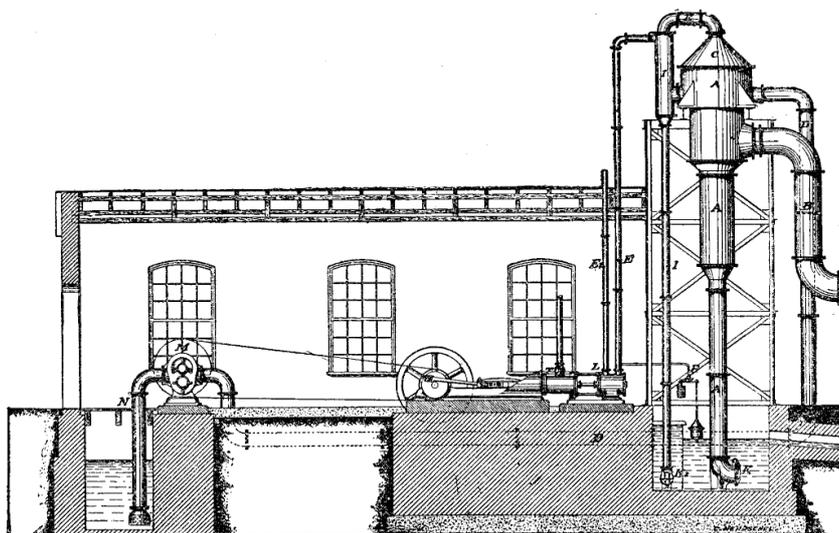


Fig. 1. — Installation d'un condenseur Weiss, AC, Condenseur avec clapet de pied K. D. entrée de l'eau. B, entrée de la vapeur. L, pompe à air sèche. M, pompe à eau d'injection. I, tube barométrique auxiliaire avec clapet K₂.

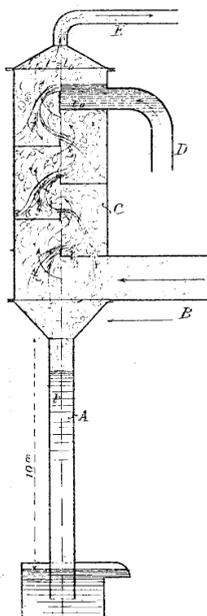


Fig. 2. — Condenseur Weiss.

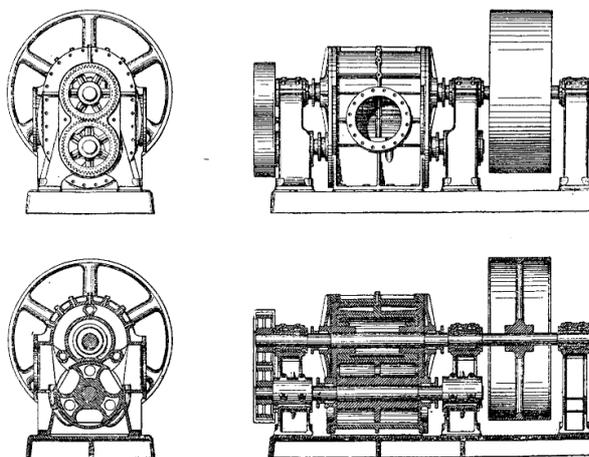


Fig. 3. — Détail de la pompe d'injection M. (fig. 2).

injection ordinaire. Le condenseur Weiss peut encore donner de bons résultats avec des eaux à températures élevées, allant jusqu'à 60 degrés.

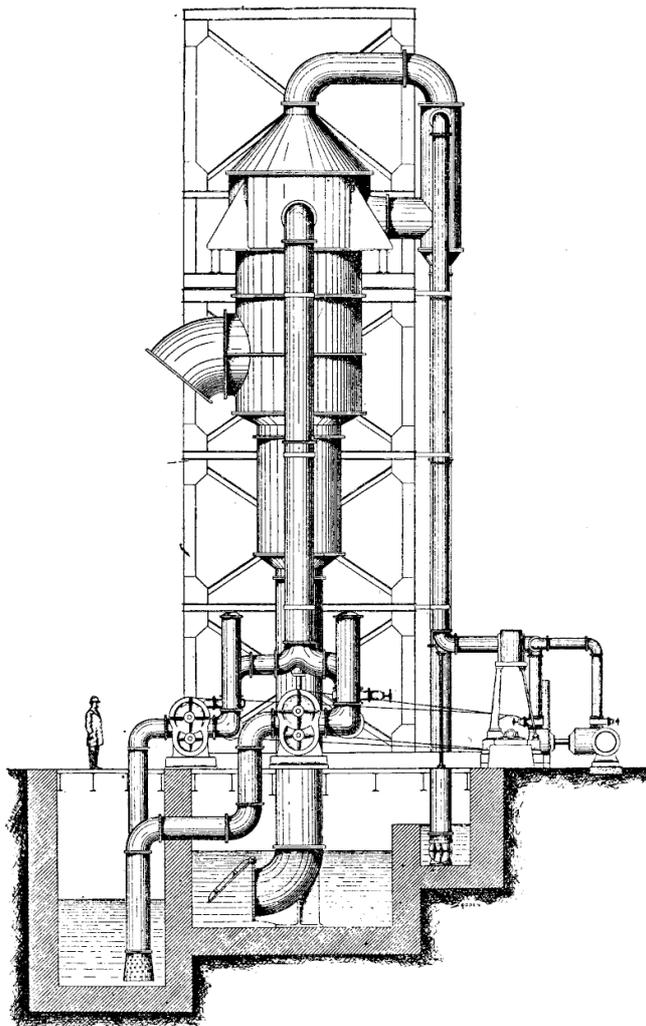


Fig. 4. — Condenseur Weiss pour 150 000 kil. de vapeur par heure.

En outre, M. Weiss a, pour les installations à puissances très variables, comme on en rencontre souvent dans les mines, complété ses condenseurs par l'addition d'accumulateurs d'eau qui en régularisent la marche (1).

(1) *Revue de mécanique*, juillet, 1902, p. 94.

Les condenseurs Weiss sont très répandus, principalement aux États-Unis, et sur une grande échelle ; c'est ainsi que l'on peut citer, aux aciéries de Carnegie, six installations de 15000 chevaux chacune, et, à l'Illinois Steel C°, deux installations de 22750 chevaux chacune (fig. 4). La puissance de ces installations montre à quel point les condenseurs Weiss se prêtent à la solution du problème si important des condensations centrales desservant un grand nombre de machines, pour les mines, forges... à partir de puissances même modérées : 500 chevaux par exemple.

ESSAIS SUR DES MOTEURS *Banki*, d'après *M. Schemanek* (1)

Les moteurs en question sont construits par MM. Ganz et C^{ie}, de Budapest, et la plupart sont du type *Banki*, dans lequel on obtient une forte compression grâce à l'action réfrigérante d'eau injectée qui, pendant l'aspiration, est pulvérisée avec le mélange détonant et introduite dans le cylindre. Comme on a employé, dans ces essais différents combustibles, on a dû faire varier beaucoup cette quantité d'eau, pour éviter des allumages prématurés ou des explosions trop violentes, les compressions restant identiques.

Le tableau I donne les températures et les rendements des cycles à quatre temps qui correspondent à un même degré de compression et à différentes quantités d'eau injectée.

Le degré de compression (rapport entre le volume initial et le volume de compression) était, dans tous les cas, de 10 : 1. Pour plus de simplicité on a effectué le calcul pour un mélange d'air et de vapeur humide en tenant compte de la variation des chaleurs spécifiques pendant la combustion.

On a désigné par $m = \frac{Gr}{G_1}$ le rapport entre le poids de l'eau injectée (*Gr*) et celui de l'air *G*₁ ; *m* a été successivement de 0,177 ; 0,12 ; 0,08 ; 0,0383 et 0.

Ainsi que le montre le tableau I, lorsque les chaleurs spécifiques sont variables, le rendement s'abaisse pendant que la quantité d'eau injectée augmente.

TABLEAU I

	CHALEURS SPÉCIFIQUES CONSTANTES.					CHALEURS SPÉCIFIQUES VARIABLES.				
	$\frac{G_1}{G_2} = m$	0	0,0363	0,08	0,12	0,177	0	0,0363	0,08	0,12
Température avant la compression <i>T_s</i>	400	308	308	308	308	400	308	308	308	308
Température après la compression <i>T_k</i>	1030	775	503	395,6	393	892	712	548	396	393
Température après la combustion <i>T_c</i>	3400	3045	2705	2485	2260	2320	2145	1966	1838	1700
Température après la détente <i>T_e</i>	1320	1210	1100	1020	950	1370	1260	1150	1069	985
Rendement thermique η	61,4	60,2	58,4	56,3	52,7	46,97	47,95	47,68	46,79	44,24

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 17 janvier 1903.

Les quantités d'eau ont été prises de façon que la plus grande d'entre elles ($m = 0,177$) corresponde à celle nécessaire pour que le moteur puisse fonctionner avec de la benzine. Pour $m = 0,12$ presque toute l'eau est vaporisée à la fin de la période de compression. Pour $m = 0,0363$ toute l'eau est transformée en vapeur avant la compression, c'est-à-dire à la fin de l'aspiration. Plus tard, M. Schimonek (fin 1901) a essayé un

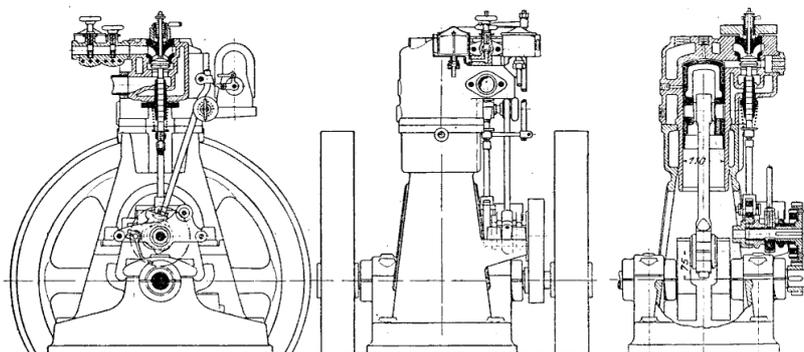


Fig. 1 à 3. — Moteur *Banki* de 3 chevaux.

moteur *Banki* de 16 chevaux et a trouvé un rendement de 79,8 p. 100 : dépense de benzine, 207 grammes par cheval-heure. Le pouvoir calorifique de la benzine était déterminé au moyen du calorimètre de Junker. Dans le cas du moteur de 16 chevaux, il était de 10 720 calories et dans celui du moteur de 29 chevaux, de 10 180 calories.

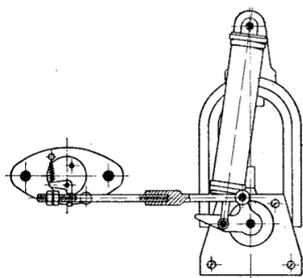


Fig. 4.

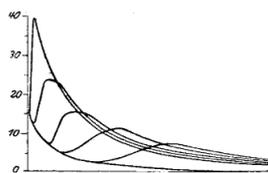


Fig. 5.

Par suite, dans le premier cas, le moteur a transformé 29,6 p. 100 de chaleur en travail effectif et 28 p. 100 dans le second.

Un petit moteur de 3 chevaux est représenté par les fig. 1 à 4. Le diagramme figure 5 montre la façon dont le point d'allumage pouvait être varié. Les figures 6 et 7 représentent un moteur de 10 chevaux pour automoteurs, à quatre temps et à deux cylindres. Ce moteur a consommé 218 grammes de benzine par cheval-heure. Au frein, on a obtenu, à 537 tours par minute, 12,7 chevaux avec 10 p. 100 de passages à vide.

L'eau injectée était de 220 grammes par cheval-heure. Cette quantité relativement faible s'explique par le fait que, dans les moteurs de faible puissance, le refroidissement du cylindre se fait plus facilement.

2° *Alcool*. — Pour les essais avec l'alcool on employa un moteur Banki de 10 chevaux du même type que ceux fonctionnant avec de la benzine. Les pulvérisateurs (fig. 8) n'ont également pas été modifiés. Dans ces essais, on s'est surtout préoccupé

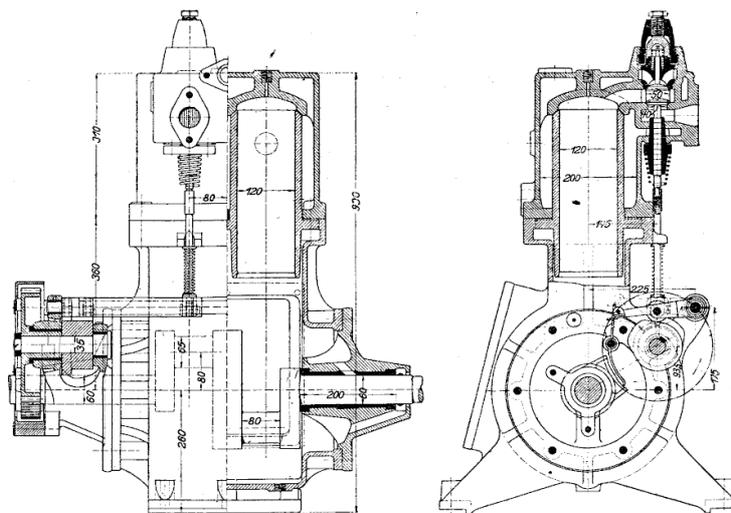


Fig. 6 et 7. — Moteur Banki de 10 chevaux pour automoteur.

d'élucider la question de savoir si l'introduction de l'alcool chauffé au préalable n'exerce pas une influence défavorable sur le moteur fonctionnant avec une forte compression.

Les résultats des essais sont consignés dans les tableaux II et III.

TABLEAU II

NUMÉRO DE L'ESSAI.		I	II	III	IV	V
Durée de l'essai.	min.	60	60	45	60	60
Nombre moyen de tours par min.	—	225	225,6	226	226,4	227,1
Puissance au frein.	chevaux.	32,13	24,13	16,05	5,93	»
Dépense d'alcool par heure.	kgr.	12,501	10,085	7,805	4,701	3,006
— de l'eau d'injection par heure.	—	6,503	4,445	3,211	1,413	0,505
— de l'alcool par cheval-heure.	gr.	389,1	418	486	793	»
Dépense d'eau par cheval-heure.	—	202,4	184,2	200	221,4	»
Puissance calorifique de l'alcool transformée en travail en p. 100.		30,18	28,1	24,16	14,81	»

TABLEAU III

NUMÉRO DE L'ESSAI.	I.	II.	III.	IV.	V.
Dépense d'eau d'injection pour le refroidissement du cylindre par heure	622	450	420	305	458
Température d'admission de l'eau injectée	14,2	14,2	14,2	14,1	14,1
Température de sortie de l'eau injectée	43,3	52,2	50	48,2	48,1
De toute la chaleur développée l'eau d'injection a absorbé	32,1	31,6	35,8	41,24	33,2

Le pouvoir calorifique de l'alcool était de 5 370 calories.
 Ces tableaux montrent que le moteur fonctionnait en meilleur rendement avec de

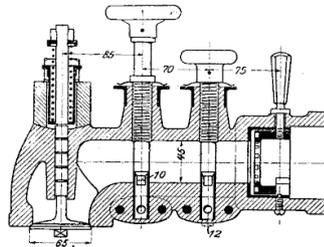


Fig. 8.

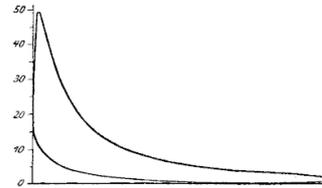


Fig. 9.

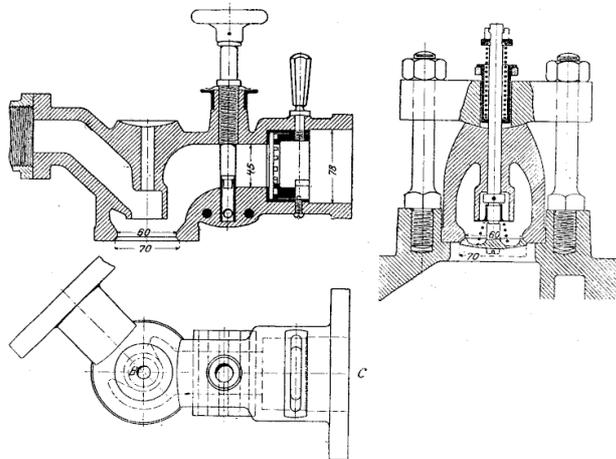


Fig. 10.

l'alcool qu'avec de la benzine. On pourrait se demander si les pulvérisateurs sont bien nécessaires dans les moteurs à alcool, puisque cette substance contient déjà de l'eau.

A cette question il faut reprendre affirmativement; en effet, si l'on se contentait simplement d'additionner d'eau en excès l'alcool employé dans les moteurs il serait très difficile de déterminer d'avance la quantité de cette eau supplémentaire et on s'exposerait à produire des allumages prématurés.

Quant à l'action de l'alcool non réchauffé au préalable elle peut être négligée.

3° *Gaz.* — On a expérimenté un moteur Banki de 16 chevaux que l'on avait muni au préalable d'une boîte à soupape d'aspiration (fig. 10). Diamètre du cylindre : 220 millimètres, course : 350 millimètres.

Le tableau IV donne les résultats de ces essais.

TABLEAU IV

NUMÉRO DE L'ESSAI.		I	II	III	IV	V
Durée de l'essai.	min.	90	45	60	45	60
Nombre moyen de tours par minute.	—	255	255,6	256	257,2	258
— d'aspirations par minute	—	122,5	98,3	76	48,5	22
Puissance au frein	chev.	17,03	12,5	8,73	4,08	»
Dépense de gaz par heure, réduite à 5 000 calories, à 0° centigr. et 760 ^{mm}	litres.	6 922,7	5 522,8	4 318	2 780	1 516
Dépense de l'eau injectée par heure.	kgr.	10,33	8,13	7,52	3,01	0,855
— de gaz par cheval-heure.	litres.	406,5	441,8	494,6	683,8	»
— d'eau injectée par cheval-heure.	kgr.	0,607	0,650	0,861	0,738	»
Chaleur contenue dans le gaz transformée en puissance au frein.	p. 100.	31	28,5	25,5	18,45	»
Dépense d'eau injectée par heure.	kgr.	520,4	502,9	413,3	253	»
Température d'admission de cette eau.	Deg. C.	18,2	18	17,9	18	»
Température de sortie.	—	36	35	34,8	35,1	»
De toute la chaleur développée il a été absorbé par l'eau.	p. 100.	27,97	32,36	35,24	33,42	»

Le tube d'allumage était chauffé avec de la benzine.

La figure 9 donne le diagramme pris sur ce moteur à puissance maximum.

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Séance du 23 janvier 1903

Présidence de *M. Linder*, président.

M. Collignon, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. Montupet, 19, rue de la Voûte, présente un *sifflet universel de manque d'eau* pour chaudières. (Arts mécaniques.)

M. P. Durand, 11, avenue de la Grande-Armée, présente un *raccord de tuyauterie*. (Arts mécaniques.)

M. C. Robert, 41, avenue du Maine, demande une annuité de brevet pour un *moteur rotatif*. (Arts mécaniques.)

M. Carré, 9, rue Bernard, les Lilas, demande une annuité de brevet pour un *tamiseur domestique*. (Arts économiques.)

M. Paindavoine, 167, route de Calais, à Saint-Lucien-les-Beauvais, demande une annuité de brevet pour une *pompe hydrostatique*. (Arts mécaniques.)

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la page 149 du *Bulletin* de janvier.

NOMINATIONS DE MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ. — Sont nommés membres de la Société d'Encouragement :

MM. Coquelet (Georges), chef des travaux graphiques de l'École des Mines, présenté par *MM. Carnot et Sauvage*.

E. Gaumont, directeur du Comptoir général de photographie à Paris, présenté par *MM. le général Sebert et Pector*.

CONFÉRENCE. — *M. Hitier* fait une conférence sur « La culture de la betterave en Allemagne ».

M. le Président remercie vivement *M. Hitier* de sa belle conférence, qui sera reproduite au *Bulletin*.

Séance du 13 février 1903

Présidence de *M. Linder*, président.

M. le Président donne lecture d'une lettre par laquelle *M. Osmond* offre à la Société d'Encouragement, comme *subvention aux recherches qu'elle patronne*, le montant du prix *Schneider* pour la métallurgie, que la Société des Ingénieurs civils de France vient de lui attribuer. M. le Président remercie vivement *M. Osmond* de ce généreux usage d'un prix si bien mérité.

M. Collignon, secrétaire, dépouille la correspondance.

L'*Association cotonnière coloniale*, dont le but est l'étude et le développement de la culture du coton dans les colonies françaises, se recommande à l'attention de la Société d'Encouragement pour l'attribution du prix de la classe 27, à l'Exposition de 1867. (Agriculture.)

M. Régnier remercie la Société du brevet qu'elle lui a accordé pour un nouveau procédé de photocopie.

M. B. H. Brough, secrétaire de l'*Iron and Steel Institute*, adresse à la Société d'Encouragement la circulaire suivante :

Une ou plusieurs bourses de recherches dont l'importance sera toujours laissée à l'appréciation du Conseil de l'Institut du Fer et de l'Acier (Iron and Steel Institute) et qui est due à la munificence de son Vice-Président, *M. Andrew Carnegie*, sera accordée annuellement, sur la recommandation du Conseil de l'Institut et sans distinction de sexe ou de nationalité. *M. Andrew Carnegie* a fait don à l'Institut du Fer et de l'Acier, en vue d'assurer le service de cette bourse, de soixante-quatre bons hypothécaires 3 p. 100 de mille dollars chacun, de la Compagnie « Pittsburg, Bessemer and Lake Erie Railway ». Les candidats, qui devront avoir moins de trente-cinq ans, devront adresser leur demande sur bulletin spécial, au Secrétaire de l'Institut, 28, Victoria St. London, avant la fin du mois de février.

Le but de ces bourses n'est pas de faciliter des études ordinaires, mais de permettre aux étudiants qui ont passé par le collège ou qui ont un stage dans des établissements industriels de se livrer à des recherches sur la métallurgie du fer et de l'acier et sujets s'y rapportant, en vue d'aider à son progrès et à son application industrielle. Il n'est apporté aucune restriction en ce qui concerne l'endroit où les recherches se poursuivront, université, école ou usine, pourvu qu'il soit équipé de façon à permettre les recherches métallurgiques.

La bourse sera attribuée pour une année, mais le Conseil pourra, à sa discrétion, la renouveler s'il le juge bon, au lieu d'en faire une attribution nouvelle. Le résultat des recherches sera communiqué sous forme de mémoire à l'Institut du Fer et de l'Acier, 28, Victoria Street, Londres, et sera soumis à l'Assemblée générale annuelle des membres. Dans le cas où le Conseil jugerait que le mémoire est d'un mérite suffisant, la médaille d'or *Andrew Carnegie* sera attribuée à son auteur. La médaille ne sera pas décernée si, dans une année quelconque, le mémoire n'en justifie pas l'attribution.

M. Queffélecant, 300, rue de Charenton, demande un brevet pour *articles de voyage et panneaux de carrosserie*. (Beaux-Arts.)

M. J. Vicère, à Casse-de-Pène (Pyrénées-Orientales), demande le concours de la Société d'Encouragement, pour un appareil de *Force et mouvement universel*. (Arts mécaniques.)

M. H. Roussy, 6, rue Merlin, demande le concours de la Société d'Encouragement, pour la construction *d'une échelle de pompiers*. (Constructions.)

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la page du présent *Bulletin*.

NOMINATION D'UN MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ. — Est nommé membre de la Société d'Encouragement :

M. Lafosse (Henri), inspecteur des Eaux et Forêts, présenté par *M. Daubrée*.

RAPPORTS DES COMITÉS. — Sont lus et approuvés les rapports de :

M. Baclé, au nom du Comité des Arts chimiques, sur l'ouvrage de *M. Dumas* : *Recherches sur les aciers au nickel à haute teneur*.

M. Barbet, au nom du Comité des Arts mécaniques, sur les *expériences de M. Canovetti relatives à la résistance opposée par l'air aux corps en mouvement*.

COMMUNICATIONS. — Sont présentées les communications suivantes :

M. Surcouf. *La navigation aérienne*. Les dernières expériences. *Le Lebaudy*.

M. Marquet. *Le moteur rotatif Becht*.

M. le Président remercie vivement *MM. Surcouf* et *Marquet* de leurs intéressantes communications, qui sont renvoyées au *Comité des Arts mécaniques*.

LIVRES ET OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN FÉVRIER 1903

Du *Ministère du Commerce*, **Rapport sur l'application, pendant l'année 1901, des lois réglementant le travail**. In-8°, 642 p. Paris, Imprimerie nationale.

Jéna Glass. Its scientific and Industrial Applications, par M. H. Hovestadt (Traduction Evereth). In-8°, 420 p. Londres, Mac Millan.

Du *New York State Department of Labor*, « **Labor statistics Factory Inspection** » et « **Board of Mediation and Arbitration** », 3 vol. in-8°, Albany, J. B. Lyon.

La Pompe centrifuge, par M. C. Belluzzo. In-8°, 49 p., 3 pl. Milan, Typ. degli Ingegneri.

Congrès international du pétrole, 1^{re} session. Paris, 1900. In-8°, 210 p. Paris, imprimerie du journal *le Pétrole*, 37, rue Scheffer.

L'Électricité industrielle. Notions élémentaires théoriques et pratiques, par M. G. Lebois. In-8°, 390 p., 265 fig. Paris, Delagrave.

De l'*University of Texas*, **Mineral Survey**, par M. Simonds, **The Minerals and Mineral Localities of Texas**. In-8°, 106 p. Austin.

Du *Ministère de l'Instruction publique*, **Bibliographie des travaux historiques et archéologiques publiés pour les Sociétés savantes de la France**. Vol. IV, 7^e livraison. In-4°, 200 p., Imprimerie nationale et **Expéditions scientifiques du « Travailleur » et du « Talisman »**, années 1880-1883. In-4°, 350 p., 22 fr. Paris, Masson. **Bulletin du comité des travaux scientifiques et historiques. Section des Sciences économiques et sociales**. Congrès des Sociétés savantes de 1902. In-8°, 327 p. Imprimerie nationale.

De *l'Electricité à l'Exposition*. **Distribution, transmission et transport de l'énergie électrique**, par M. Hospitalier, et **Applications diverses**, par MM. Chalon, Dary, Bagnères, Rodary, Bainville. In-4°, 40 et 160 p. Paris, Dunod.

Le péril américain, par M. Paul Sée. In-8°, 140 p., 4 pl., Lille, Danel.

Les Marines de guerre modernes, par M. D. Chasseloup-Laubat. In-4°, 375 p. 216. Paris, Dunod.

La traction électrique, par M. P. Dupuy. In-8°, 500 p., 270 fig. Paris, Naud.

Heating and Ventilating Buildings, par M. R. C. Carpenter. In-8°, 562 p., 267 fig. New-York. J. Wiley.

Barretas ranuradas para pruebas de metales, par M. F. C. J. Cuervo. In-8°, 24 p. Madrid.

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Janvier au 15 Février 1903

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

<i>Ag.</i>	Journal de l'Agriculture.	<i>Ms.</i>	Moniteur scientifique.
<i>Ac.</i>	Annales de la Construction.	<i>MC.</i>	Revue générale des matières colorantes.
<i>ACP.</i>	Annales de Chimie et de Physique.	<i>N.</i>	Nature (anglais).
<i>AM.</i>	Annales des Mines.	<i>PC.</i>	Journal de Pharmacie et de Chimie.
<i>AMa.</i>	American Machinist.	<i>Pm.</i>	Portefeuille économ. des machines.
<i>Ap.</i>	Journal d'Agriculture pratique.	<i>RCp.</i>	Revue générale de chimie pure et appliquée.
<i>APC.</i>	Annales des Ponts et Chaussées.	<i>Rgc.</i>	Revue générale des chemins de fer et tramways.
<i>Bam.</i>	Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.	<i>Rgds.</i>	Revue générale des sciences.
<i>BMA.</i>	Bull. du ministère de l'Agriculture.	<i>Ri.</i>	Revue industrielle.
<i>CN.</i>	Chemical News (London).	<i>RM.</i>	Revue de mécanique.
<i>Cs.</i>	Journal of the Society of Chemical Industry (London).	<i>Rmc.</i>	Revue maritime et coloniale.
<i>CR.</i>	Comptes rendus de l'Académie des Sciences.	<i>Rs.</i>	Revue scientifique.
<i>DoL.</i>	Bulletin of the Department of Labor, des États-Unis.	<i>Rso.</i>	Réforme sociale.
<i>Dp.</i>	Dingler's Polytechnisches Journal.	<i>RSL.</i>	Royal Society London (Proceedings).
<i>E.</i>	Engineering.	<i>Rt.</i>	Revue technique.
<i>E'</i>	The Engineer.	<i>Ru.</i>	Revue universelle des mines et de la métallurgie.
<i>Eam.</i>	Engineering and Mining Journal.	<i>SA.</i>	Society of Arts (Journal of the).
<i>EE.</i>	Eclairage électrique.	<i>SAF.</i>	Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
<i>Élé.</i>	L'Électricien.	<i>ScP.</i>	Société chimique de Paris (Bull.).
<i>Ef.</i>	Économiste français.	<i>Sie.</i>	Société internationale des Électriciens (Bulletin).
<i>EM.</i>	Engineering Magazine.	<i>SiM.</i>	Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse
<i>Es.</i>	Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).	<i>SiN.</i>	Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
<i>Fi.</i>	Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).	<i>SL.</i>	Bull. de statistique et de législation.
<i>Gc.</i>	Génie civil.	<i>SNA.</i>	Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
<i>Gm.</i>	Revue du Génie militaire.	<i>SuE.</i>	Stahl und Eisen.
<i>IC.</i>	Ingénieurs civils de France (Bull.).	<i>USR.</i>	Consular Reports to the United States Government.
<i>Ie.</i>	Industrie électrique.	<i>VDI.</i>	Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
<i>Im.</i>	Industrie minérale de St-Étienne.	<i>ZOI.</i>	Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten-Vereins
<i>IME.</i>	Institution of Mechanical Engineers (Proceedings).		
<i>IoB.</i>	Institution of Brewing (Journal).		
<i>La.</i>	La Locomotion automobile.		
<i>Ln.</i>	La Nature.		
<i>Lo.</i>	Locomotion.		

AGRICULTURE

- Bétail.** Race bovine bretonne. *Ap.* 5 Fév., 187.
 — Engraissement des veaux en Hollande. *Ag.* 14 Fév., 232.
 — Fièvre aphteuse et sulfate de fer. *Ap.* 29 Janv., 147.
 — Valeur alimentaire de la pail mil. Expériences sur le cheval (Grandeau). *Ap.* 5-12 Fév., 177, 208.
Betteraves. Fermes de la Saxe (Hitier). *Ap.* 29 Janv., 136, 5-12 Fév., 179, 213.
Cartes agronomiques (Carnot). *SNA.* 10 Déc., 778.
Cultures chinoises (Serre). *SNA.* 10 Déc., 808.
Engrais. Répression de la fraude. *Ap.* 22 Janv., 105.
 — Emploi du sulfate cuivrique (Prillieux). *Rs.* 31 Janv., 142.
 — Transports sur les chemins de fer français. *SNA.* 3 Déc., 751.
Faucheuse à pétrole pour canaux de Dion. *Lo.* 24 Janv., 54.
Figuier. (Maladie du) (Prunet). *CR.* 9 Fév., 395.
Fruits. Cultures fruitières dans l'arrondissement de Château-Thierry. *Ag.* 7 Fév., 201.
 — (Organisation coopérative du commerce des) en Californie (Grandeau). *Ap.* 29 Janv., 145.
Grêle (Tirs au canon contre la) au congrès de Gratz. *SNA.* 10 Déc., 800.
Hydraulique et améliorations agricoles. Nouvelle direction. *Ap.* 5 Fév., 183.
Luzerne en arbre (André). *SNA.* 10 Déc., 769.
Orges de brasserie dans la Haute-Loire. *Ap.* 12 Fév., 215.
Plantes potagères nouvelles. *Ag.* 24 Janv., 139.
Pommes de terre. Triage des semences. *Ap.* 22 Janv., 107.
Prairies annuelles permanentes (Création des). *Ap.* 12 Fév., 210.
Restauration des places dévastées par les ouragans dans les sapinières de Gérardmer (Mer). *SNA.* 3 Déc., 753.
Vigne. Aldéhyde acétique dans le vieillissement des vins (Trillat). *CR.* 19 Janv., 171.
 — Acidification de la vendange. *Ag.* 24 Janv., 132.
 — Vins de Xérès et de Malaga (Composition des) (Rocques). *RCp.* 25 Janv., 43.
 — Traitement d'hiver. *Ag.* 31 Janv., 180.

CHEMINS DE FER

- Chemins de fer** de l'Afrique du Sud. *E.* 23 Janv., 116.
 — Métropolitain de Vienne. *Ge.* 31 Janv., 209, 7 Fév., 225.
 — Suisses en 1900. *Rgc. Fév.*, 107 au 1^{er} Janvier 1902 (id.) 116.
 — Du Sud-Afrique. Influence de la guerre anglo-boer. *Rgc. Janvier* 119.
 — Électriques (les). *EE.* 14 Fév., 247.
 — — De la Valteline. *E'.* 30 Janv., 110; 6 Fév., 138. *VDI.* 7 Fév., 185.
 — — Washington-Baltimore. *EE.* 6 Fév. 217.
 — Réglage de la vitesse (Léonard). *EE.* 6 Fév., 217.
 — — A courants alternatifs simples. Nouveau matériel (Latour). *EE.* 14 Fév. 223.
Charges et vitesses les plus favorables pour trains de marchandises (Barbier). *Ge.* 14 Fév. 247.
Locomotives Compound (les) (von Borries). *VDI.* 24 Janv., 116. A 4 cylindres. *G. N. Ry. E'.* 23 Janv., 88. A 3 cylindres roues libres Smith du Midland. *E.* 6 Fév. 170.
 — Françaises en Angleterre. *E'.* 30 Janv., 119.
 — De banlieue Holden à 3 cylindres et 10 roues couplées.
 — Enveloppes de chaudière. Essais (Ledoux). *Rgc. Fév.*, 91.
Services de trains français et anglais en 1902 (Rous Marten). *E'.* 13 Fév. 159.
Signaux automatiques Smiliter. *E.* 13 Fév., 217.
 — Cabine électrique du London and N. W. (Delpine). *AM. Nov.*, 459.
 — Intercommunication des trains en marche et avec les stations. Basanta. *Ri.* 14 Fév., 62.
Tampon Mattheros. *E.* 30 Janv., 157.
Voie. Crampons de fixation des rails. *Qc. Fév.* 32.
Wagons de 40 tonnes en acier et à bogies de Leeds Forge. *E'.* 13 Fév. 177.

TRANSPORTS DIVERS

- Automobiles.** Exposition de Paris. *E.* 23, 30 Janv., 200, 133: 6, 14 Fév., 167, 201.

- Automobiles.** De Cristal-Palace, id., 183.
E'. 6, 13 *Fév.*, 140, 160.
 — Principales épreuves en 1902. *Ge.* 31 *Janv.*, 215.
 — Développement en France. *E'*. 13 *Fév.*, 162.
 — Freins. *Ri.* 17, 24, 31 *Janv.*, 23, 34, 41; 14 *Fév.* 64.
 — Électriques Jeanteau. *Lo.* 31 *Janv.*, 73.
 — A pétrole. Sneider, 1903. *Lo.* 24 *Janv.*, 52. G. Richard. *Lo.* 22 *Janv.*, 64. Thornycroft. *E.* 30 *Janv.* 145. Mors. *La.* 12 *Fév.*, 104.
 — Mise en marche. *La.* 12 *Fév.*, 109.
 — A vapeur Serpollet. *Lo.* 24, 31 *Janv.*, 58, 78, 14 *Fév.*, 107. Thornycroft (wagon). *E.* 30 *Janv.*, 143. Straker. *E.* 14 *Fév.*, 212.
Pneumatique Invictus. *Lo.* 7 *Fév.* 91.
Roulements en acier. Essai à New-York. *Ge.* 31 *Janv.*, 221.
Tramways électriques de Naples (de Backer). *Ru. Déc.*, 246.
 — Sud de Londres. *Rgc. Janv.* 119.
 — A contacts Dolfer. *Ic.* 10 *Fév.*, 53.
 — Du Bois de Boulogne. *Rt.* 10 *Fév.* 65.
 — Fonctionnement des convertisseurs rotatifs dans les stations de tractions avec accumulateurs stationnaires (Banti). *EE.* 14 *Janv.*, 113.
 — Échauffement des moteurs. *EE.* 14 *Fév.*, 253.
 — Protecteurs Scyferth. *EE.*, 7 *Fév.*, 199.
 — Types d'automotrices (Lelarge). *Rgc. Fév.*, 73.
 — à vapeur Purrey. Vincennes-Louvre. *Ln.* 14 *Fév.*, 168.
 — Chasse-corps. *Ge.* 14 *Fév.*, 253.
- CHIMIE ET PHYSIQUE**
- Acétylène.** Dissous. *E'*. 30 *Janv.*, 112.
 — Carburé. *Cs.* 16 *Fév.*, 137.
 — Divers. *Cs.* 31 *Janv.*, 87.
Alcool. Mélanges hydro-alcooliques. Variations des densités (Vittenet). *ScP.* 30 *Janv.*, 89.
Acides. *Sulfurique.* Formation du trioxyde de soufre par l'action de contact de l'oxyde de fer (Lunge et Pollitt). *Cs.* 31 *Janv.*, 79.
 — Déplacement par l'eau de l'acide sulfurique des bisulfates alcalins (Colson). *CR.* 9 *Fév.*, 366.
Amidon. Production par la cassave (Archbold). *Cs.* 31 *Janv.*, 63.
Acétates de cobalt et de manganèse. Oxydation par le chlore (Copaux). *CR.* 9 *Fév.*, 373.
Air. Atmosphérique (hydrogène de l') influence sur la détermination des autres gaz (Gautier). *ScP.* 5 *Fév.*, 108.
Ammoniac liquide. Fabrication. *Cs.* 16 *Fév.*, 142.
Arsenic. Pentachlorure d' (Baskerville et Bennett). *CN.* 6 *Fév.*, 65.
Brasserie. Divers. *Cs.* 31 *Janv.*, 106.
 — Reproduction des levures (Delbruck). *Cs.* 16 *Fév.*, 151.
Caoutchouc. Divers. *Cs.* 31 *Janv.*, 103; 16 *Fév.*, 151.
Céramique. Divers. *Cs.* 31 *Janv.*, 94.
Chaleur. Propagation par convection dans un cylindre d'eau à axe vertical chauffé ou refroidi par sa surface latérale. Application à la détermination de la température du maximum de densité de l'eau et des dissolutions aqueuses (Coppet). *ACP. Fév.*, 145.
 — Chaleur spécifique des métaux. Relation avec le poids atomique (Tilden). *RSL.* 13 *Fév.*, 220.
Chaux et ciments. Ciment Portland artificiel de Haiphong. *Ge.* 24 *Janv.*, 193.
 — Le silicate tricalcique dans la composition des ciments (Kossmann). *Le Ciment, Janv.*, 9.
 — Fabrication du portland aux États-Unis. *Le Ciment, Janv.*, 11.
Combustibilité. Limites de (Petit et Jomini). *Ms. Fév.*, 94.
 — Température d'inflammation et combustion dans l'oxygène des trois variétés de carbone (Moissan). *ScP.* 5 *Fév.*, 101.
Égouts. Épuration bactérienne (Langumier). *Ban. Janv.*, 61.
Essences et parfums. Divers. *Cs.* 31 *Janv.*, 109; 16 *Fév.*, 160.
 — Détermination de l'indice d'iode (Cun-casse). *Pc.* 15 *Fév.*, 169.
Explosifs. Nitrates de cellulose (Luck et Cross). *Ms. Fév.*, 114.
 — Stabilité de la nitrocellulose (Will). *Ms. Fév.*, 117.

- Explosifs.** Explosion d'une bombe renfermant du protoxyde d'azote (Lange). *Ms. Fév.*, 123.
- Farines.** Phosphore contenu dans les (Balland). *CR. 2 Fév.*, 332.
- Fermentation.** Bactérie lactique industrielle. *Cs. 31 Janv.*, 106.
- Gaz d'éclairage.** Chargement des cornues (Sarrasin). *Bam. Janv.*, 92.
- Gaz comprimés.** Bouteilles inexplorables (Lange). *Cs. 16 Fév.*, 135.
- Graisses et huiles.** Diverses. *Cs. 16 Fév.*, 149.
- Hydrolyse par les acides dilués (Lewkowitsch). *Cs. 31 Janv.*, 67.
- Huile d'olive. Mélanges de glycérides dans l'. *Cs. 31 Janv.*, 101.
- — de *Sambucus Racemosa* (*id.*). 101.
- Hydrogène.** Nature métallique (Martin). *CN. 13 Fév.*, 74.
- Industrie chimique en Russie** (Pedotijew). *RCp. 8 Fév.*, 61.
- Laboratoire.** Divers. *Cs. 31 Janv.*, 111.
- Analyse des gaz. Appareil Hempel modifié (Richards). *CN. 23 Janv.*, 37.
- Plomb. Détermination dans les minerais (Bull.). *CN. 23-30 Janv.*, 40, 53; 6 *Fév.*, 66.
- Réaction de l'acide chromique sur le réactif Caro (Bach). *Ms. Fév.*, 104.
- Erreur dans le dosage de la silice (Hillebrand). *Ms. Fév.*, 128.
- Arsenic. Détermination dans le fer et l'acier.
- Cyanure de potassium. Titration par le permanganate de potasse (Gruetzner). *Ms. Fév.*, 136.
- Dosage volumétrique du tannin et analyse des bois et extraits tanniques (Thompson). *ACP. Fév.*, 282.
- — du soufre dans les sulfures (Fournier). *RCp. 8 Fév.*, 77.
- Papier.** Divers. *Cs. 16 Fév.*, 139.
- Photographie.** Emploi du trioxyméthylène en (Lumière et Seyewetz). *Ms. Janv.*, 109.
- Plaques extra-rapides Houdaille. *Gc. 7 Fév.*, 236.
- Physique.** Revue de (Poincaré). *Rgc. 30 Janv.*, 95.
- Platine.** Sels complexes. Platooxalonitrites (Verès). *ScP. 23 Janv.*, 83.
- Poids atomique.** Rapport du Comité international. *CN. 13 Fév.*, 78.
- Poids atomique** du lanthonium (Brauner). *CN. 30 Janv.*, 49; 6-13 *Fév.*, 61, 73.
- Radio-activité.** Déviabilité magnétique de certains rayons par le radium et le polonium (Becquerel). *CR. 26 Janv.*, 199.
- Radio-activité induite et émanation du radium (Curio). *CR.*, 26 *Janv.*, 223.
- Rubis.** Synthèse du. État actuel (Muramont). *RCp. 8 Janv.*, 72.
- Soja.** Fabrication au Japon (Porre-Escot). *RCp. 8 Fév.*, 64.
- Siliciure** de manganèse (Lebeau). *CR. 24 Janv.*, 231.
- Sucrerie.** Divers. *Cs. 16 Fév.*, 133.
- Fermentation du jus de canne (Sprankling). *Cs. 31 Janv.*, 78.
- Fabrication pendant la campagne de 1901-1902. *SL. Janv.*, 11.
- Séchage en moules Passburg. *Cs. 31 Janv.*, 105.
- Filtre Danca (*id.*), 105.
- Teinture.** Influence de certains réactifs sur la résistance et la tinctorialité du coton (Hubner et Pope). *Cs. 31 Janv.*, 70.
- Teinture avec acétate de sodium (Prudhomme). *MC. 5 Fév.*, 40.
- Divers. *Cs. 31 Janv.*, 88, 91; 16 *Févr.*, 139, 141.
- Action des solutions d'hypochlorite et de perchlorures acides sur les métaux (White). *Cs. 16 Fév.*, 132.
- Procédé Vidal, au sulfure de sodium et au soufre (Vidal). *Ms. Janv.*, 114.
- Teinture en indigo. *La* (J. Garçon). *RIC. 1^{er} Fév.*, 35.
- Méthode spectroscopique d'analyse des matières colorantes : historique. *MC. 5 Fév.*, 37.
- Tétraoxyde d'hydrogène** et acide ozonique (Bach). *Ms. Janv.*, 106.
- Thermochimie.** Réfutation des théories de M. Berthelot (Duhem, Thomsen, Favre). *Ms. Fév.*, 81, 93.
- Tannerie.** Analyse des tannants (Teas). *Cs. 16 Fév.*, 128.
- Verre.** Appareils de soufflage (Wendler). *Dp. Fév.*, 105.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

- Afrique du Sud.* Au point de vue de l'ingénieur. *Ef.* 23-30 Janv., 81, 107; 6-13 Fév., 133, 157.
- Allemagne.* État de la marine marchande en. *Ef.* 17 Janv., 76.
- Industrie mécanique. *Ef.* 30 Janv., 120.
- Finances publiques. *Ef.* 31 Janv., 143.
- Argent.* Avenir du métal argent. *Ef.* 17 Janv., 6.
- Assurances.* Rôle de l'État. *Ef.* 14 Fév., 211.
- Algérie.* Industries d'art (indigènes en). *Ef.* 7 Fév., 177.
- Bienfaisance* privée. Contrôle de l'État. *RSo.* 1^{er} Fév., 240.
- Boissons hygiéniques et alcool* à Paris, avant et depuis la réforme de l'impôt. *Ef.* 14 Fév., 214.
- Angleterre.* Commerce de l'. *SL.* Janv., 109.
- Coopération de la viticulture* en France. *Ef.* 17 Janv., 74.
- Droit de l'Enfant* (Brunetière). *Rso.* 1^{er} Fév., 202.
- Enseignement supérieur des femmes* aux États-Unis (Jordav). *Rs.* 31 Janv., 142.
- États-Unis.* Mouvement de la population. *Ef.* 17 Janv., 9.
- Exploitations municipales.* Prix des (Dawis). *SA.* 30 Janv., 189.
- France.** Droits sur les alcools et consommation par habitant en 1901. *SL.* Déc., 704.
- Vins et cidres. Production en 1901 (*id.*), 705.
- Monnaie de Paris en 1902 (*id.*), 756.
- Budget. Avenir des recettes. Droits de douane. *Ef.* 31 Janv., 137.
- Enregistrement (*id.*), 7 Fév., 173.
- Commerce extérieur en 1902 (*id.*), 140.
- Grèves depuis vingt ans dans l'industrie houillère.* *Ef.* 7 Fév., 175.
- Inde.* Vie domestique dans l' (Rees). *SA.* 6 Fév., 213.
- Librairie et éducation* (Cockerill). *SA.* 13 Fév., 249.
- Manufactures.* Méthodes modernes de fabrication. *E.* 6 Fév., 181.
- Madagascar.* Situation à. *Ef.* 31 Janv., 141.
- Maroc.* Production. Industries (Bernard). *Rgds.* 30 Janv., 73.
- Monnaies françaises* en 1902 à la Monnaie de Paris. *SL.* Janv., 96.
- Retraite* (Livret individuel de) et réformes nécessaires. *Ef.* 31 Janv., 146.
- Russie.* Budget de 1903. *Ef.* 17 Janv., 72.
- Industrie sucrière en 1900-1901. *SL.* Déc., 777.
- Sardiniers de Concarneau.* *Rso.* 1^{er} Fév., 231.
- Syndicat.** Unification des forces syndicales en France. Congrès corporatif de Montpellier. *Musée social.* Janvier.
- de la rue des Petits-Carreaux. *Rso.* 16 Fév., 322.
- Système métrique* (Le) (Sonneuschein). *SA.* 23 Janv., 169; *E.* 30 Janv., 152.
- Trades Unions* et la loi de conspiration. *E.* 6 Fév., 185.
- Trust* (Les). *Rso.* 16 Fév., 291.

CONSTRUCTIONS ET TRAVAUX PUBLICS

- Chenaux en acier* Joachim. *Gc.* 14 Fév., 252.
- Ciment armé.** Le (Linse). *SuE.* 1^{er}-15 Fév., 191, 265. Réglementation des constructions en Allemagne. *Le Ciment,* Janv., 1.
- à l'Exposition de Dusseldorf. *Ac.* Fév., 25.
- Dragages** à succion dans l'estuaire de la Seine. *Gc.* 14 Fév., 241.
- Fermes en treillis* à 2 tirants. Théorie (Ramische). *Société d'Encouragement de Berlin.* Janv., 50.
- Ponts** de Londres. Élargissement des. *Ef.* 23 Janv., 83.
- Construction aux États-Unis. *Ef.* 23-31 Janv., 84, 109; 6 Fév., 136.
- A treillis à points flexibles Mesnager. *Ln.* 24 Janv., 113.
- Viaduc du Vaur. Résultat des épreuves. *Rgc.* Fév., 231.
- Rouleaux compresseurs* à traction électrique. Sarrasin. *Gc.* 7 Fév., 231.
- Poutres droites.* Déformation des. *Ac.* Fév., 29.
- Voûtes.* Théorie graphostatique des voûtes élastiques en arc de cercle (Schreier). *ZOI.* 6 Fév., 81.

ÉLECTRICITÉ

- Accumulateurs.** Apte. *EE.* 24 Janv., 129.
- Porter. *EE.* 7 Fév., 197.

- Accumulateurs.** Fabrication des plaques à matière Leuner. *EE.* 14 Fév., 238 (Redding). *Id.*, 240.
- Bobine d'induction.** Interrupteur Wenhelt. *EE.* 24 Janv., 135.
- Distribution.** Répartition de l'électricité dans Paris en 1901. *Ie.* 22 Janv., 34.
- Réglage de tension des conducteurs Highfield. *EE.* 7 Fév., 197.
- Dynamos.** asynchrone polyphasé Gratzmuller. *Sie.* Janv., 19.
- à courants continus compensés Deri. *EE.* 14 Fév., 234.
- continues. Calcul des (Mavor). *EE.* 7 Fév., 205.
- Théorie de la commutation (Punga). *EE.* 21 Janv., 123.
- Alternateurs auto-exciteurs asynchrones par condensateurs. *Ie.* 10 Fév., 55.
- Caractéristiques (Herdt). *EE.* 14 Fév., 259.
- Calcul de la force électromotrice et du facteur de forme (Guilbert). *Rt.* 10 Fév., 74.
- Commutatrices. Expériences (Thornton). *EE.* 24 Janv., 147.
- Résistance au contact des balais en charbon (Bourguignon). *Sie.* Janv., 26.
- Moteurs. Réglage de la vitesse par variation de la reluctance (Packard). *EE.* 14 Fév., 262.
- — alternatifs simples en série (Girault). *Ie.* 25 Janv., 31.
- — asynchrones, essais (Meunier). *EE.* 14 Fév., 228.
- Éclairage.** Photométrie des lampes électriques (Fleming). *E.* 23-30 Janv., 129, 159; 6-13 Fév., 192, 226.
- Arc. Lampes à charbons métallisés. *Elé.* 7 Fév., 89.
- Lampe à vapeur de mercure Hewitt. *Elé.* 22 Janv., 29.
- — à incandescence. Photomètre intégrateur. *EE.* 6 Fév., 215.
- Électro-chimie.** Réduction électrolytique du chlorate de potasse (Brochet). *CR.* 19 Janv., 155.
- Préparation électrolytique de l'antimoine. Izart. *EE.* 31 Janv., 128.
- Électrodes bipolaires à anode insoluble (Brochet et Barillet). *ScP.* 20 Janv., 73, 77, 82.
- Électro-chimie.** Divers. *Cs.* 31 Janv., 98.
- Emploi des accumulateurs. *Elé.* 24 Janv., 55; 7 Fév., 86.
- Application de la théorie des piles à la séparation des métaux (Hollard). *ScP.* 5 Fév., 116.
- Electrolyseur Tommasi. *Elé.* 24 Janv., 61.
- Interrupteurs et disjoncteurs** à haute tension. *Ie.* 10 Fév., 57.
- Mesures.** De l'écart angulaire dans les machines motrices (Klonne). *EE.* 24 Janv., 119.
- Des grandes différences de phase (Breslau). *EE.* 7 Fév., 200.
- Instruments de mesure Craus et Goldschmidt. *Elé.* 7 Fév., 81.
- Parafoudre de haute tension** Scœn et Félix. *Elé.* 31 Janv., 65.
- Piles sèches.** État actuel (Zacharias). *EE.* 24 Janv., 129.
- Théorie des piles (Rosset). *EE.* 31 Janv., 119.
- Stations centrales.** San Francisco. *Elé.* 24-31 Janv., 49, 70.
- américaines. *E'.* 30 Janv., 127.
- Niagara. *E'.* 6 Fév., 142.
- Filature Lawson. *E.* 13 Fév., 223.
- Filature et tissage de la Société de Mirecourt. *EE.* 7 Fév., 191.
- Téléphones.** Station centrale de Lausanne. *EE.* 24 Janv., 131.
- à grande distance Pupin. *EE.* 30 Janv., 165; *Elé.* 14 Fév., 104.
- Télégraphie sous-marine.** Relais. *Elé.* 24-31 Janv., 53, 68; 7 Fév., 89.

HYDRAULIQUE

- Compteur d'eau** Kent. *E.* 6 Fév., 177.
- Distribution d'eau** de Matelay. Moteurs à gaz. *E'.* 6 Fév., 147.
- Laboratoire d'hydraulique** fluviale de l'Institut de Carlsruhe. *Gc.* 24 Janv., 200.
- Pompes nouvelles** (Freytag). *Dp.* 34 Janv., 59.
- directes Heisler. *Ri.* 16 Janv., 21.
- Tangye pour Alexandrie. *E'.* 23 Janv., 89.
- de l'asile de Kesteven. *E'.* 23 Janv., 109.
- électriques pour irrigations. *Cl.* 24 Janv., 57.

- Pompes** de Dion. *Lo.* 31 Janv., 68.
— rapides. Riedler. *Rin.* Fév., 24.
Turbines. Barrage du canal de Jonage. *Ri.* 7 Fév., 59.
— En montagne (Lelheule). *EM.* Fév., 673.

MARINE, NAVIGATION

- Brise-glaces* Ermack. *E'*. 6 Fév., 152.
Congrès de navigation de Dusseldorf. *IC.* Déc., 790.
Courants océaniques. (Nyst). *Ru.* Déc., 331.
Électricité à bord. *Rmc.* Janv., 189.
— Feux flottants des côtes de France, *Ln.* 7 Fév., 151.
Loire navigable. *Ln.* 31 Janv., 139.
Gouvernail électrique. *Rmc.* Janv., 177.
— De la Wathalla. *Eté.* 7 Fév., 85.
Hélices. Théorie des (Rigg). *E'*. 30 Janv., 123.
Machines marines. Essais du King Alfred. *Rmc.* Janv., 155.
— Utilisation et rayon d'action des navires (Joubert). *Bram.* Janv., 5.
— Vibrations des navires. (Melville). *E.* 30 Janv., 135. 15 Fév., 199.
— Essai du Good Hope. *E.* 30 Janv., 131.
— Arbres d'hélices, torsions et vibrations (Frahm). *E.* 6 Fév., 189.
Marines de guerre. Critique des cuirassés. *E.* 30 Janv., 149.
— Allemande. *Rmc.* Janv., 219.
— Anglaise. *Rmc.* Janv., 220.
— Américaine. *Rmc.* Janv., 223.
— Chilienne. Cuirassés. Constitution. *E'*. 23 Janv., 90. *E.* 23 Janv., 122. Libertad. *E.* 23 Janv., 106.
— Française. *E'*. 13 Fév., 170.
— Russe. *Rmc.* Janv., 234. Croiseur Bogatyr. *E.* 30 Janv., 143. 14 Fév., 202.
— Sous-marins américains. *Rmc.* Janv., 160.
Paquebots Oronte, ligne du Pacifique Orient. *E'*. 23 Janv., 85.
— à faibles tirants d'eau pour navigation fluviale. *Rmc.* Janv., 216.
Ports de Londres. *E.* 13 Fév., 214. *IA.* 13 Fév., 269.
— de pêche hollandais. *Rmc.* Janv., 241.
— Pêcheries maritimes anglaises en 1901 (*id.*), 249.

- Typhons des mers de l'Extrême-Orient* (Verron). *Rmc.* Janv., 33.
Torche marine Wason. *Ri.* 7 Fév., 46.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

- Aéroplane* Faber. *La.* 3 Fév., 86.
Air comprimé. Avantages du rechauffage. *RM.* Janv., 97.
— Compresseurs Reavell. Philadelphia works, Blake. *RM.* Janv., 98-104. Nordberg. Essai à la mine de Barra. *Eam.* 31 Janv., 182. Walker. *E'*. 13 Fév., 166.
Calcul. Machine Merlin à résoudre les équations. *RCp.* 8 Fév., 57.
Câbles sans fin. Transmissions avec tension par contrepoids. *Gc.* 31 Janv., 218.
Changement de marche Johnson, Rudge, Herbert-Vernon, Lie Ross, Veule, Renault Vestover, Tyler, Brown, Upton. *RM.* Janv., 86-97.
Chaudières à tubes d'eau, à la mer. *E'*. 23 Janv., 94. Yarrow. *E.* 23 Janv., 122.
— Instantanés. *E'*. 23 Janv., 98. 13 Fév., 172.
— Détendeur Grouvelle. *Ri.* 14 Fév., 61.
— Épurateur d'eau Pulima. *Ri.* 31 Janv., 45.
— Explosions. Principales causes (Bach). *VOI.* 31 Janv., 160.
— Pompe alimentaire. Chapmann. *E'*. 23 Janv., 97.
— Surchauffeurs (les Sugden). *E'*. 13 Fév., 172. *E'*. 23 Janv., 100.
Embrayage Churchill. *E.* 23 Janv., 123.
Engrenages hélicoïdaux (les). *AMA.* 31 Janv., 92.
Froid. Frigorifère Linde de la Bourse de Commerce. *Ln.* 14 Fév., 164.
Graissage pour coussinets à grandes vitesses (Lasche). *RM.* Janv., 50.
Indicateurs divers. *Dp.* 14 Fév., 98.
Levage. Appareils de levage à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 31 Janv., 149. *Dp.* 7 Fév., 84.
— Grues électriques Royce. *E.* 6 Fév., 165. Stohert et Pitt. *E'*. 6 Fév., 150. Postel Vinay. de 1800 et 9000 kil. *Ri.* 24 Janv., 35. 14 Fév., 63. Bechem et Keetman. *E.* 30 Janv., 147.

- Levage.** Transporteurs divers (Hauffstengel). *Dp.* 24-31 Janv., 50-72. 14 Fév., 101.
- Machines-outils.** Ateliers américains. *E'*. 6 Fév., 151. de l'« Éclairage électrique ». *Ac. Fév.*, 18. Vulcan à Stettin. *VDI.* 24-31 Janv., 109-152. 14 Fév., 231.
- à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 24 Janv., 123. 14 Fév., 238.
 - Alésoir double Binnse. *E.* 23 Janv., 99.
 - Clé Contal. *Lo.* 31 Janv., 77.
 - Électriques. *EE.* 7 Fév., 249. Archdale. *E'*. 13 Fév., 174.
 - Étau limeur à main Jacquot et Taverdon. *Ln.* 7 Fév., 157.
 - Fraiseuses. Vitesses des. *E'*. 30 Janv., 108.
 - — universelle Scheuter. *BM. Janv.*, 76. Cincinnati. *AMa.* 31 Janv., 82. Garvin (*id.*), 84.
 - — à pignons hélicoïdaux Gould-Eberhardt. *AMa.* 7 Fév., 117. Coniques Browne et Sharpe. *AMa.* 14 Fév., 145.
 - Mortaiseuse Colburn. *AMa.* 14 Fév., 152.
 - Meulage (le) (Horner). *E.* 30 Janv., 139.
 - Meule-aléuseuse Mayer et Smith. *AMa.* 7 Fév., 119.
 - — Meules en carburendum, résistance des (Grubler). *VDI.* 7 Fév., 195.
 - Outils à grande vitesse. *E'*. 30 Janv., 119.
 - Perceuses. Critique des. *AMa.* 7-14 Fév., 67.
 - — pour chaudière Coates. *Ri.* 24 Janv., 33.
 - — radiale Roos. *AMa.* 31 Janv., 88. Lodge (*id.*), 7 Fév., 121.
 - Poinçonneuse multiple Allstatter. *AMa.* 7 Fév., 113.
 - Presse à écrous. Burdict. *AMa.* 24 Janv., 51.
 - — à découper (Woodworth). *AMa.* 24 Janv., 52.
 - — à emboutir. Schuter. *Ri.* 7 Fév., 56.
 - — à monnaie, de New-York. *AMa.* 24 Janv., 56.
 - Tour à fosse de 13 m. 50. *E.* 30 Janv., 162. Revolver. Lodge. *AMa.* 7 Fév., 122.
 - à fileter américain (*id.*), 124.
 - Raboteuse American. *AMa.*, 31 Janv., 81.
- Machines-outils.** Tubes. Coupe-tubes. Cou-
ter. *AMa.* 24 Janv., 59.
- Mécanique** (Évolution de la) (Duhem). *Rge.* 30 Janv., 63.
- Moteurs à vapeur** à l'Exposition de 1900. *ZOI.* 23 Janv., 49.
- Compound grande vitesse. Hoy. *E'*. 30 Janv., 125.
 - Débit de la vapeur. Expériences de MM. Rateau et Parenty. *AM. Nov.*, 403.
 - Régulateurs. Théorie (Dwelschauvers). *RM. Janv.*, 5.
 - Bielles (les) (Pazz). *E'*. 23 Janv., 86.
 - diagrammes (Géométrie des) (Baills). *Rmc. Janv.*, 5.
 - distributions par soupapes (Svilokossith). *Rt.* 23 Janv., 37.
 - Pistons à segments entiers. Yarrow. *E'*. 30 Janv., 122.
 - Turbines (les) (Stodola). *VDI.* 31 Janv., 164. 7 Fév., 202.
 - — progrès des (Bibbins). *EM. Fév.*, 745.
 - à gaz. Détente complète. *Lo.* 14 Fév., 104.
 - — Allumage Arnoux et Guerre. *Ie.* 23 Janv., 36.
 - à acétylène (Pignet). *RCp.* 8 Fév., 69.
 - Gazogènes par aspiration. *Pm. Fév.*, 48.
 - à pétrole. Cotereau 15 ch. *Lo.* 7-14 Fév., 85-101.
 - — Équilibrage. *Rt.* 10 Janv., 8.
 - à alcool, *E'*. 13 Fév., 169.
 - Phénomènes de la combustion (Sorel). *RM. Janv.*, 33.
- Résistance des matériaux.** Essais au choc par barreaux entaillés (Abraham). *Rt.* 10-25 Janv., 5. 32. 10 Fév., 72.
- Rivets.** Four à chauffer les. *Pm. Fév.*, 30.
- Vis.** Pas Porter. *E.* 14 Fév., 207. Vérificateur Herbert. *E'*. 13 Fév., 165.
- Sténodactyle** Lafaurie. *Gc.* 14 Fév., 249.
- Transmissions hélicoïdales.** Étude des (Bach et Roser). *VDI.* 24 Fév., 221.

MÉTALLURGIE

- Argent.** Alimentation mécanique des cubilots à. *Eam.* 17 Janv., 114.
- Raffinage en Mongolie. *Eam.* 24 Janv., 147.

- Fer et acier.** En Allemagne en 1902. *SuE.* 15 *Fév.*, 236.
- Cémentite et ferrite. Effet de leur présence simultanée dans les aciers (Lange). *The Metallographist. Janv.*, 9.
 - Cristaux particuliers dans la fonte (Johnson). *Metallographist. Janv.*, 14.
 - Aciers au nickel (Richards) (*id.*), 64. Micrographie des (Guillet). *CR.* 24 *Janv.*, 227. Dilatation (Guillaume). *CR.* 2 *Fév.*, 303. Changements passagers et permanents (*id.*), 9 *Fév.*, 336.
 - Photo-microscopie dans les aciéries (Richards) (*id.*), 71.
 - Procédé Talbot à Frodingham. *SuE.* 1 *Fév.*, 170.
 - Fonderie moderne (Buchmann). *EM. Fév.*, 695. En Amérique (Osann). *SuE.* 15 *Fév.*, 248.
 - Ferro-manganèses: technique des (Nask et Westermann). *SuE.* 15 *Fév.*, 243.
 - Acier au creuset. *Pm. Fév.*, 25.
 - Laminoir Carnegie nouveau. *SuE.* 1 *Fév.*, 177. — à roues de la Gutehoffnungshutte. *Gc.* 14 *Fév.*, 251.
 - Machines soufflantes de la Lilleshall. *C. E.* 13 *Fév.*, 174.
 - Hauts fourneaux. Emplois des combustibles sulfurés. *SuE.* 1 *Fév.*, 163.
 - — Explication de quelques phénomènes (Osann). *Ru. Janv.*, 92.
 - Valves de fours à régénérateurs. *SuE.* *Fév.*, 66.
- Or.** Usines de Kalgoorlie. *Eam.* 24 *Janv.*, 151.
- Nouveaux procédés d'extraction. *Gc.* 7-14 *Fév.*, 235-244.
 - Fusion au plomb des slimes de zinc aurifère (Tavener). *Eam.* 31 *Janv.*, 184.
- Zinc.** Traitement des slimes (Tavener). *Eam.* 24 *Janv.*, 150.

MINES

- Australie occidentale.* Statistique minérale. *AM. Nov.*, 475.
- Diamant.* Mines de Kimberley. *E.* 30 *Janv.*, 112.
- Épuisement électrique* de la mine Kaiserthull. II. Clé. 14 *Fév.*, 97.
- Extraction.** Fermeture de recettes. *Ri.* 31 *Janv.*, 43.
- *Électrique* à l'Exposition de Dusseldorf (Habits). *Ru. Janv.*, 1.
- Grèce.* Gîtes et industrie minérale. *AM. Nov.*, 478.
- Japon.* Législation des mines (Taffanel). *AM. Nov.*, 446.
- Mines métallurgiques.* Organisation générale (Williams). *EM. Fév.*, 729.
- Nouveau-Mexique* (Mines du). *Eam.* 17 *Janv.*, 117.
- Or.** Mines de Mother Lode (Californie). *Eam.* 24 *Janv.*, 148.
- de Cripple Creek. *Eam.* 31 *Janv.*, 179.
 - Région de l'Aloso. Côte d'Ivoire (Armas). *AM. Nov.*, 468.
- Plomb* stannifère à Derby (Tasmanie). *Eam.* 17 *Janv.*, 119.
- Roulage* à l'Exposition de 1900 (Habets). *Ru. Déc.*, 225.
- Préparation mécanique.** Emploi de l'électricité statique. *Eam.* 24 *Janv.*, 147.
- État actuel de la préparation des minerais (Linicque). *IC., Janv.*, 805.

Le Gérant: GUSTAVE RICHARD.

BULLETIN
DE
LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

CONSTRUCTIONS ET BEAUX-ARTS

RAPPORT présenté au nom du *Comité des Constructions et des Beaux-Arts*, par
M. Voisin Bey, au sujet du MÉMOIRE de **M. Jean Hersent**, *Ingénieur civil*, sur les travaux du port de Bizerte et de l'arsenal de Sidi-Abdallah.

Le Mémoire accompagné de dessins, présenté par M. Jean Hersent à la Société d'Encouragement, fait connaître d'abord les dispositions générales adoptées pour la création du port de Commerce de Bizerte et des établissements militaires annexés; il contient ensuite une description détaillée des procédés employés pour l'exécution des ouvrages du port et de ses annexes.

Dans la première partie de son mémoire, l'auteur donne, sur le port de Bizerte, sur les améliorations qui y ont été déjà réalisées et sur celles en cours d'exécution les renseignements suivants :

Le port de Bizerte, autrefois réputé comme l'un des meilleurs de la côte barbaresque, avait, depuis plusieurs siècles, beaucoup perdu de son importance. Il ne pouvait plus recevoir que des barques ou des navires de faible tonnage, lorsque l'Administration des Travaux publics de Tunisie fit effectuer, en 1886, une série de dragages dans le port et sur la barre dans le but d'assurer en tout temps l'accès des bâtiments calant moins de trois mètres; en même temps, les anciens quais étaient restaurés et la vieille jetée qui

abritait l'entrée était prolongée dans la direction de l'Est de manière à atteindre près de deux cent cinquante mètres de longueur.

À la même époque, étaient commencées les études d'un port de commerce en eau profonde en vue de créer, pour les grands navires, un accès au lac de Bizerte, rade magnifique, parfaitement abritée, d'une superficie de 117 kilomètres carrés, recevant les eaux du lac Iskeul, d'une superficie un peu moindre.

À la suite de ces études, en 1888, une commission concluait :

1° Au creusement d'un chenal entre la mer et le lac ayant une direction sensiblement N.45°E. ;

2° À l'établissement d'un avant-port compris entre deux jetées, l'une dirigée à peu près O.-E., l'autre à peu près E.-N., laissant entre elles une passe d'au moins trois cents mètres située dans le prolongement du chenal.

Le gouvernement concéda en 1889 la construction du nouveau port de commerce et son exploitation pendant soixante-quinze ans à MM. H. Hersent et A. Couvreur, qui, l'année suivante, constituèrent la Compagnie du port de Bizerte, à l'effet d'entreprendre les travaux concédés et les exploiter.

Le nouveau port comprenait :

Deux jetées en enrochements ; un canal d'accès de la mer au lac, creusé à neuf mètres de profondeur, et d'une largeur au plafond de soixante-quatre mètres, des appontements, des quais avec grues et terre-pleins, cinq feux de port, des bouées, des hangars, voies ferrées, égouts, un barrage métallique, etc.

Le gouvernement concédait, en outre, la fourniture d'eau douce aux navires et à la ville ; la propriété perpétuelle des terrains conquis par suite des travaux et l'exploitation des pêcheries du lac de Bizerte et du lac Iskeul.

Les dragages du port se sont élevés à un total d'environ 2 110 000 mètres cubes ; le poids total des enrochements et des maçonneries, approximativement, à 1 300 000 tonnes.

Les travaux étaient terminés et définitivement reçus en 1898.

L'Administration fit établir un pont transbordeur du système Arnodin pour mettre en communication les deux rives du canal, en laissant entre les culées une largeur libre de quatre-vingt-dix-sept mètres.

Dès l'ouverture du port, on put faire les constatations suivantes :

1° La largeur de trente-huit mètres de la passe des pêcheries était insuffisante. Il fallut la porter à cinquante mètres.

2° Le chenal n'avait pas une largeur suffisante pour parer à toutes les

éventualités de guerre : un seul navire échoué par le travers en intercepterait, en effet, le passage, ainsi que le fait s'était produit à Santiago-de-Cuba pendant la guerre hispano-américaine. Il se produisait en outre dans le chenal, au moment du jusant et du flot, des courants atteignant trois et même quatre nœuds et demi, trop violents pour une navigation régulière. Enfin, la forme dissymétrique du chenal, par suite de son élargissement au droit du quai Nord, provoquait de véritables embardées, capables d'occasionner des échouages.

3° La passe libre de quatre cent vingt mètres entre les musoirs des jetées était trop considérable; elle permettait aux grosses lames de faire sentir leurs effets jusque dans le chenal, dont elle favorisait ainsi l'ensablement. En outre, on avait à considérer qu'un navire ennemi pouvait, en temps de guerre, s'engager à toute vitesse par cette entrée, traverser l'avant-port en ligne droite, malgré le feu des batteries, et enfiler le chenal avant d'être atteint; il importait donc de briser son trajet et de le forcer à plusieurs changements de route entraînant pour lui une diminution de vitesse et l'obligeant à présenter son flanc aux batteries établies sur les hauteurs qui bordent la mer.

Une Commission chargée de rechercher les moyens de remédier aux inconvénients qui viennent d'être signalés présenta des conclusions à la suite desquelles un programme de travaux complémentaires fut arrêté, dont le devis s'élevait à 8 600 000 francs.

Ces travaux furent confiés, en 1899, à la compagnie du port de Bizerte qui, à son tour, chargea MM. Hersent et fils de leur exécution.

A peu près dans le même temps (en 1898), la Marine mit au concours la construction d'un port dans le fond du lac de Bizerte, à Sidi-Abdallah, situé à 15 kilomètres de distance de la ville et du port de commerce, afin d'y établir un arsenal pour la réparation des navires de guerre. Un peu plus tard, fut décidée la construction d'un port des artifices, non loin de l'arsenal, puis à la baie Ponty, l'installation de la défense mobile devant servir à abriter les torpilleurs. Enfin, deux bassins de radoub, à Sidi-Abdallah, de 200 mètres de longueur, furent mis en adjudication.

Les travaux du port de Sidi-Abdallah, du port des artifices et de la baie de Ponty ont été confiés à MM. Hersent et fils. Ceux des deux bassins de radoub ont été adjugés, l'un à la Compagnie des ports de Tunis, Sousse et Sfax, l'autre à la Société marseillaise de travaux publics.

Description des nouveaux travaux du port de commerce. — Les nouveaux travaux décidés et en cours d'exécution au port de commerce comprennent, savoir :

Le prolongement de la jetée Nord sur une longueur de 200 mètres ;

La construction, au large de l'entrée de l'avant-port, d'un môle isolé de 640 mètres de longueur, laissant entre ses musoirs et ceux des jetées une passe Nord de 320 mètres environ de largeur et une passe Sud d'environ 680 mètres ;

Enfin, des dragages pour l'approfondissement, à la cote — 10 mètres, de l'avant-port ; du canal d'accès au lac, avec élargissement à 200 mètres ; enfin, de la baie de Subru, également avec élargissement à 200 mètres, entre le débouché du canal dans le lac et les fonds naturels de 10 mètres.

Le profil adopté pour le prolongement de la jetée et pour le môle comporte les dispositions suivantes :

1° Un massif inférieur en enrochements ordinaires, arasé à la cote — 7^m,50 et d'une largeur en couronne de 23 mètres ;

2° Au-dessus du massif d'enrochements, une digue en maçonnerie constituée par un soubassement en blocs artificiels, arasé à la cote + 1 mètre, et d'une largeur de 8^m,20 ; puis une superstructure arasée à la cote + 3 mètres, et d'une largeur de 7 mètres ;

3° Enfin, au pied du soubassement en maçonnerie, de chaque côté, une défense en enrochements de 1^{re} classe disposés en risberme, du côté du large sur une largeur de 10 mètres et une hauteur de 2^m,50, du côté de l'avant-port sur une largeur de 5 mètres et une hauteur de 1^m,50.

La jetée doit être terminée par un musoir de 20^m,66 de longueur, dont le soubassement en maçonnerie aura une largeur de 16 mètres. Les dimensions des musoirs du môle ne sont pas encore arrêtées.

Dans la seconde partie du mémoire, relative aux procédés d'exécution des ouvrages du port, l'auteur, après des considérations générales sur les différents modes de construction des jetées à la mer, fait de suite la remarque, qu'à Bizerte, on emploie, pour le prolongement de la jetée Nord et la confection de la digue du large, des blocs artificiels du poids de 5 000 tonnes, posés sur enrochements à 7^m,50 sous basse mer, et que ce mode de construction donne toute garantie contre l'action de la mer en raison du poids énorme de chaque unité. Nous croyons pourtant qu'il y aurait intérêt à renforcer les risbermes projetées au pied des blocs, surtout la risberme du large.

L'auteur insiste principalement, dans son mémoire — comme on va le faire ici — sur l'outillage servant à la fabrication et à la mise en place de ces blocs de 5 000 tonnes, outillage spécial utilisé, dit-il, pour la première fois à la confection d'unités aussi fortes.

Ainsi qu'il est dit précédemment, les blocs en maçonnerie de 5 000 tonnes formant la partie supérieure de la digue doivent reposer sur un massif inférieur en enrochements naturels arasé à la cote — 7^m,50.

Ce lit d'enrochements est préparé de la manière suivante :

Dès que le massif d'enrochements est établi à ses dimensions, jusqu'à la cote moyenne — 7^m,50, au moyen de bateaux à clapets et suivant la méthode habituelle, un premier régilage de la face supérieure est fait au moyen de râteaux manœuvrés par des treuils placés sur un grand radeau.

Puis, à l'approche du moment où un bloc doit être mis en place, une équipe de scaphandriers vient opérer un régilage plus précis en procédant au répandage : d'abord, d'une couche de 0^m,20 d'épaisseur de débris de carrière, ensuite d'une couche de 0^m,15 de galets provenant d'un oued voisin, le tout formant un matelas de 0^m,35, sur lequel doit venir s'échouer le bloc.

Cette opération, fait remarquer l'auteur du mémoire, a, jusqu'ici, bien réussi, puisque les blocs, en place, sont échoués à 1 centimètre près de différence de niveau d'un angle à un autre.

Les blocs artificiels sont exécutés dans des caissons à ossature métallique, surmontés de hausses mobiles ayant 31 mètres de longueur, 8^m,20 de largeur, et cubant environ 2500 mètres cubes.

Ils sont constitués par des murailles formant enveloppe sur tout le pourtour du bloc et par trois murs transversaux formant cloisonnement dans la longueur.

Ces murs sont construits en maçonnerie de moellons et de mortier de chaux du Teil, au dosage de 400 kilogrammes de chaux par mètre cube de sable; les compartiments des puits constitués par les murs transversaux sont, le moment venu, remplis de béton composé de 3 parties de pierres cassées et de 2 parties du même mortier que pour les maçonneries.

Pour satisfaire aux conditions nécessaires d'étanchéité, de flottabilité, de rigidité et de solidité des blocs, avant leur mise en place, les murs en maçonnerie n'ont pas moins de 1 mètre d'épaisseur; les parements intérieurs en sont établis en arrachement.

Le béton de remplissage des puits, mis en œuvre à sec, ainsi qu'il sera expliqué plus loin, est employé par couches horizontales bien damées et

reliées avec soin aux parements intérieurs des murs en maçonnerie.

Le caisson métallique, construit dans un atelier central situé à la Kasbah, à l'enracinement de la jetée Nord, a les dimensions suivantes : 31 mètres de longueur, 8^m,20 de largeur et 2 mètres de hauteur. Il est construit en tôle et cornières et porte extérieurement sur son pourtour, à la partie supérieure, une cornière percée de trous pour permettre l'attache des hausses ou batardeaux mobiles.

Le caisson étant lancé et à flot, son fond est recouvert d'une couche de mortier de chaux de 0^m,05 destinée à servir plus tard de matelas entre la maçonnerie du bloc et le lit d'enrochements sur lequel le bloc sera échoué.

Sur ce lit de mortier, est fait un bétonnage sur une hauteur variant de 0^m,50 à 1 mètre. On a soin de répartir les charges de sorte que les fers et les tôles du caisson n'aient à subir aucun travail par suite des sous-pressions et des pressions latérales. On monte ensuite en maçonnerie de moellons, jusqu'à hauteur de la cornière extérieure, un mur de pourtour de 1 mètre d'épaisseur destiné à résister aux pressions latérales.

Le caisson, ainsi chargé de béton et de maçonnerie et calant 4^m,50, est surmonté de 8 panneaux mobiles métalliques en tôles et cornières de 7^m,50 de hauteur. Les 6 panneaux qui surmontent les côtés longitudinaux ont chacun 10^m,30 de largeur; les panneaux d'extrémités ont juste la largeur du caisson. Les uns et les autres portent des tiges de 6 mètres de haut, filetées à leur partie inférieure afin de pouvoir se boulonner sur le caisson et carrées à leur partie supérieure pour pouvoir être manœuvrées par une clef. Les panneaux sont boulonnés entre eux verticalement, et horizontalement sur le caisson. Ils portent à leur partie supérieure 4 vannes destinées à remplir d'eau les puits du caisson au moment de l'échouage, ou en cas de mauvais temps, si l'on est obligé d'interrompre momentanément le travail du remplissage en béton des puits. Des portes de 0^m,50 sur 0^m,50 sont, en outre, ménagées pour permettre l'introduction des matériaux destinés aux maçonneries.

Les panneaux sont mis en place et enlevés au moyen d'une mâture flottante de 50 tonnes. Les quatre panneaux d'extrémités des côtés longitudinaux sont placés les premiers et étayés entre eux, puis les deux panneaux du milieu et enfin les deux panneaux des côtés latéraux.

L'ensemble du caisson surmonté de ses hausses représentant le volume extérieur du bloc est amené, flottant, au chantier du lestage, où arrivent les moellons et le mortier qui sont introduits par les portes des panneaux. Le

lestage, au moyen de la construction des murs en maçonnerie du pourtour et des murs transversaux, est conduit de manière que le niveau extérieur de l'eau reste toujours à 0^m,50 au-dessous de la partie supérieure des murs.

Des radeaux flottants de 4 mètres de profondeur, reliés entre eux, forment une enceinte qui abrite le bloc contre la houle en cas de mauvais temps.

Dès que le bloc cale de 7^m,20 à 7^m,50 suivant les marées, son lestage est terminé et le bloc est prêt à être transporté à sa place pour l'échouement. Le transport s'effectue au moyen de remorqueurs en profitant d'un temps relativement calme.

Lorsque le bloc est en place, on ouvre deux vannes qui remplissent d'eau deux des puits afin d'échouer le bloc sur la plate-forme d'enrochements préalablement préparée comme il est dit précédemment.

L'opération la plus délicate du nouveau mode d'exécution consiste à remplir de béton les puits, du bloc dans le délai le plus court possible. On est arrivé à remplir ces puits en quatre jours.

L'opération du remplissage s'exécute au moyen de transbordeurs placés au nombre de quatre sur chaque bloc, destinés à prendre, au moyen de bennes de 400 à 500 litres, le béton amené dans des chalands et à vider ces bennes d'abord dans les deux puits du bloc ne renfermant pas d'eau. Une fois ces deux puits bétonnés sur une hauteur de 3 mètres, on épuise l'eau des deux autres puits, que l'on remplit à leur tour de béton sur la même hauteur de 3 mètres. Enfin, on termine le remplissage des quatre puits avec les quatre transbordeurs.

Les transbordeurs se composent d'une charpente métallique légère, qui permet le passage facile de la houle par-dessus le bloc en cas de mauvais temps.

Lorsque le bloc est rempli de béton jusqu'à la cote 0, on termine le soubassement avec de la maçonnerie de moellons jusqu'à la cote + 1.

Les batardeaux métalliques du pourtour sont alors enlevés au moyen de la mâtire et replacés sur un autre caisson.

On termine par la construction en maçonnerie de la superstructure.

Comme il est dit précédemment, les blocs courants des deux ouvrages, prolongement de la jetée Nord et môle du large, sont du poids d'environ 5 000 tonnes. Le contre-bloc du musoir de la jetée Nord aura, comme les blocs courants, 31 mètres de longueur, mais une largeur de 10 mètres et pèsera environ 6 000 tonnes; le bloc même du musoir aura 20^m,66 de longueur sur 16 mètres de largeur et pèsera environ 6 500 tonnes.

Actuellement, 16 blocs ont été mis en place conformément au programme qui vient d'être décrit. Les 10 blocs destinés à compléter les deux ouvrages doivent être mis en place pendant l'été de l'année courante.

Le Comité des Constructions et des Beaux-Arts estime que MM. Hersent et fils, par les procédés d'exécution qu'ils ont imaginés pour la construction des jetées du port de Bizerte, ont réalisé un très important progrès dans l'art des constructions de digues à la mer, et qu'il y a grand intérêt à porter ces procédés d'exécution à la connaissance des membres de la Société.

J'ai l'honneur, en conséquence, au nom du Comité, de proposer au Conseil de décider que le mémoire de M. Jean Hersent sera inséré au *Bulletin* de la Société avec les dessins utiles à l'appui.

Signé : VOISIN BEY, rapporteur.

Lu et approuvé en séance, le 13 Mars 1903.

MÉMOIRE DE M. JEAN HERSENT

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES JETÉES A LA MER

L'expérience des travaux de défense à la mer, pour la construction des jetées et môles, a démontré que les blocs naturels de plusieurs tonnes offraient souvent autant de résistance que les blocs de maçonnerie notablement plus forts et, dans certains cas, les ingénieurs ont admis le remplacement de blocs artificiels de 12 à 15 mètres cubes, prévus pour un revêtement, par des blocs naturels de 12 à 15 tonnes.

Quelle que soit la nature des matériaux employés, il faut toujours choisir, pour le chargement des talus ou des plates-formes, les matériaux les plus volumineux et les plus lourds, afin qu'ils présentent une meilleure défense à l'action de la mer.

A Cherbourg, la grande digue qui ferme la rade absorbait, pour son entretien, 5 à 6 000 tonnes de blocs chaque année, quand chacun de ces blocs ne pesait pas plus de 2 000 kilogrammes. Depuis qu'on y emploie des blocs sensiblement plus gros, la quantité nécessaire aux rechargements a diminué.

A Philippeville, où le revêtement de la grande jetée est formé de blocs artificiels de 40 à 200 tonnes, il n'y a pas trace de déplacements depuis plusieurs années malgré des coups de mer absolument extraordinaires comme amplitude et comme violence.

A Bizerte, le revêtement des premières jetées est fait de pierres naturelles de 5 000 kilogrammes et au-dessus ; il y en a de 10 000 à 12 000 kilogrammes. Depuis plusieurs années que les travaux ont été exécutés, ils se sont généralement bien comportés et permettent de faire l'appréciation de la bonne tenue des blocs naturels de grosse

dimension, dont l'emploi est plus économique que celui des blocs artificiels en maçonnerie.

Pour l'exécution des travaux à la mer, on est limité, dans l'emploi des gros blocs naturels, par la puissance des engins de manutention, et quelquefois aussi par la nature des carrières, qui ne produisent pas toujours une assez grande quantité de blocs de grosse dimension.

Dès le siècle dernier, les ingénieurs s'étaient préoccupés de lutter contre la mer avec de grosses masses ; en 1783, l'ingénieur de Cessart fit construire à Cherbourg des troncs de cône en bois de 43^m,50 de diamètre à la base et 19^m,50 de hauteur, remplis d'enrochements.

Actuellement, les ingénieurs américains construisent encore leurs jetées en *cribworks* composés de caisses remplies de pierres.

Aujourd'hui, on cherche, dans ces constructions, à remplacer le bois par le fer et, le plus souvent, on fait des caisses à ossature métallique qu'on lèste à l'abri et qu'on échoue en place par le beau temps.

Au port de La Pallice, on a construit des blocs sur place au moyen de caissons-cloches ; mais, pour employer ce système, il faut compter que tout le travail doit être fait à l'emplacement même de la jetée, avec toutes les conséquences d'arrêts et d'avaries causées par le mauvais temps.

Plusieurs ingénieurs, il est vrai, critiquent encore l'interposition du fer dans les maçonneries.

A ce sujet, nous signalerons les conclusions techniques de M. Guiffart, ingénieur des Ponts et Chaussées, qui a dirigé la construction du troisième bassin de radoub de Missiessy, à Toulon (1).

Nous indiquerons aussi le développement qu'ont pris les constructions en ciment armé, ainsi que les études de M. Lefort, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (2).

Nous ajouterons que, personnellement, ayant à réunir en 1899, par une conduite immergée, le bassin n° 3 de Missiessy avec les bassins n°s 1 et 2, que nous avions exécutés en 1876, nous avons été amenés à démolir une partie du caisson du bassin n° 2 pour raccorder la conduite avec ce bassin.

Dans cette démolition, nous avons extrait des fers emprisonnés dans la maçonnerie qui étaient en parfait état de conservation ; sur certaines parties, on retrouvait même la peinture au minium.

Ce qui ferait croire pourtant qu'un doute subsiste encore dans l'esprit de certains ingénieurs, c'est, qu'à prix égal, la préférence pour l'exécution d'un bassin de radoub, à Bordeaux, a été donnée dernièrement, par le gouvernement, au procédé de fondation par cloche, procédé dans lequel le fer ne reste pas incorporé dans la maçonnerie.

Au contraire, si on construit des blocs dans des caisses soit à sec dans un bassin, soit en flottant dans l'eau par un procédé analogue à celui qui sert à lester les caissons de fondation, on peut préparer d'avance des blocs plus ou moins évidés, de manière à les faire flotter et à les amener à leur lieu d'emploi, où il ne reste plus qu'à les remplir pour constituer des massifs de 3, 4, 5 000 tonnes et même plus, sans courir les mêmes risques qu'en les construisant sur place.

Il est intéressant de relater ici qu'à Toulon, en 1896-1897, on a pu construire, pour

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1893, n° 3.

(2) *Nouvelles Annales de constructions* (3^e série, t. V, année 1898).

le troisième bassin de Missiessy, 40 000 tonnes de maçonnerie dans un grand caisson, d'une surface de 200×41 mètres, à 300 mètres du lieu d'échouage définitif, ce qui prouve que, dans certains cas, on pourrait donner aux gros blocs flottants des dimensions considérables.

A Lisbonne, en 1888, nous avons construit, tant pour les murs de quai que pour les môles-abris, des blocs artificiels de 560 mètres cubes, pesant 1 400 tonnes environ, qui ont été transportés à flot et immergés avec succès.

La partie inférieure des blocs était maçonnée dans une caisse en tôle; les parois verticales de la caisse étaient surmontées de hausses mobiles ou batardeaux, destinées être démontées pour servir plusieurs fois. L'ensemble, une fois lesté convenablement, était remorqué à son emplacement définitif pour recevoir le complément de la maçonnerie intérieure.

Les batardeaux servant d'abri pour construire les gros blocs flottants peuvent être remplacés par des tôles perdues; le travail de construction est alors analogue à celui d'un caisson de fondation dont on aurait supprimé la chambre de travail.

Depuis quelques années, les applications de ce procédé ont été faites dans différents ports, à Bordeaux, en 1893, pour la construction des quais verticaux et, depuis, à Heyst, en Belgique, où ils servent actuellement à l'établissement d'un port en eau profonde.

A Bizerte, nous employons, pour le prolongement de la jetée nord et la confection d'une digue au large, des blocs de 5 000 à 6 000 tonnes posés sur enrochements, à 8 mètres sous basse mer.

On peut considérer que ce procédé, pour la construction des ouvrages, est avantageux en raison de la garantie qu'il donne par les poids énormes de chaque unité. La masse de ces blocs artificiels est alors suffisante pour résister, d'une manière efficace, aux effets de la mer ou des courants.

Cette disposition, pour la confection de brises-lames, est très avantageuse au point de vue du prix de revient, comparativement à ce que serait une jetée tout en pierres avec le couronnement seul en maçonnerie.

On augmente encore la résistance de la jetée en reliant les blocs entre eux par un joint de béton coulé dans l'eau.

Ces considérations nous font croire, qu'à l'avenir, les constructions à la mer seront exécutées en employant notablement plus de gros matériaux et surtout des blocs artificiels de plus grandes dimensions que par le passé.

Nous insisterons principalement, dans cette brochure, sur l'outillage qui sert à l'exécution des blocs de 5 000 tonnes, outillage spécial, utilisé pour la première fois à la confection d'unités aussi fortes.

PORT DE BIZERTE

DESCRIPTION SOMMAIRE DES TRAVAUX

Les travaux comprennent (fig. 1 à 8) :

A. Pour le prolongement de la jetée nord;

1° La confection d'un massif d'enrochements ordinaires, arasés à la cote — 7,50, ayant leurs talus naturels et offrant en couronne une largeur de 23 mètres;

2° L'établissement, sur ce massif, d'une digue en maçonnerie comportant un sou-

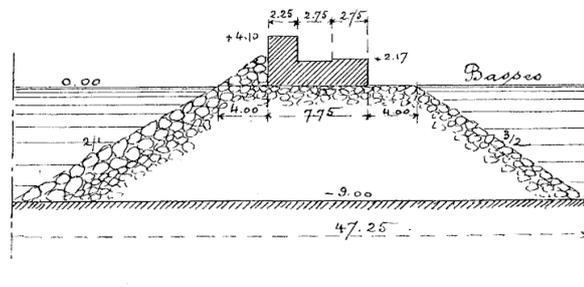


Fig. 1. — Coupe de la jetée Nord.

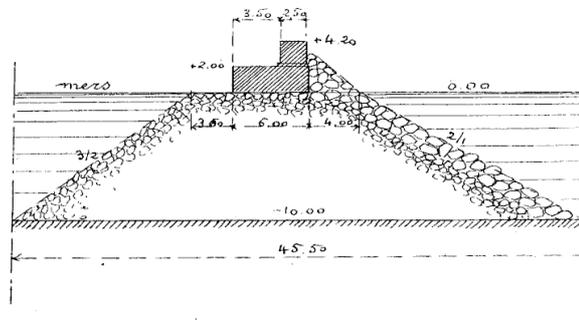


Fig. 2. — Coupe de la jetée Est.

bassement en blocs artificiels arasés à la cote + 1,00 et une superstructure élevée à la cote + 2,95.

Le bassement aura une largeur de 8^m,20 et la superstructure une largeur de 7 mètres.

Le prolongement de la jetée aura un développement total de 200 mètres et se terminera par un contre-musoir de 31,00 × 10,00 et un musoir de 20,66 × 16^m,00.

Le musoir existant sera raccordé avec les nouveaux ouvrages par des blocs artificiels ordinaires placés sur un cordon d'enrochements.

B. Pour le môle au large :

1° La confection du massif d'encrochement, comme précédemment;

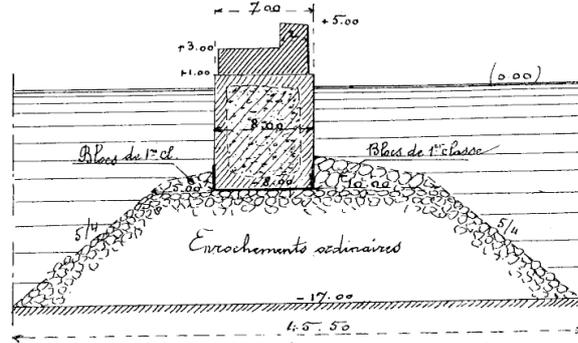


Fig. 3. — Coupe du môle du large.

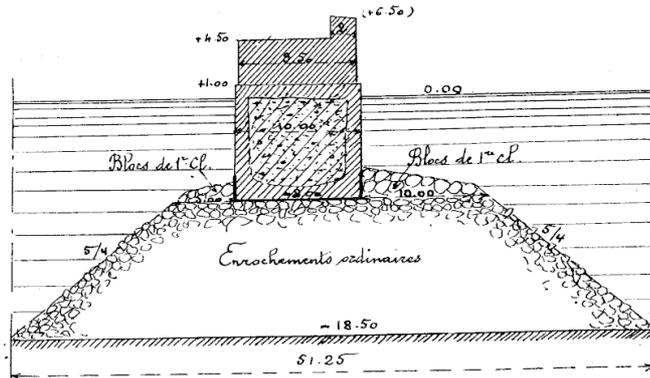


Fig. 4. — Coupe CD (fig. 5) du môle.

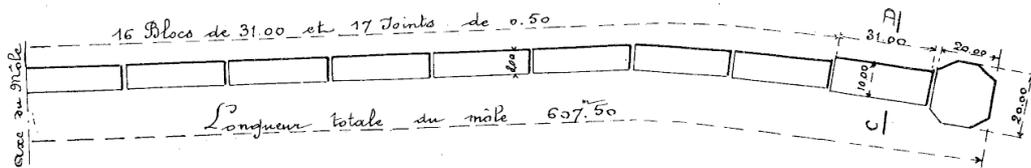


Fig. 5. — Plan du môle du large.

2° L'établissement, sur ce massif, d'une digue, comme précédemment, arasée à + 3,00.

Le soubassement et la superstructure du môle offriront les mêmes largeurs que le soubassement et la superstructure du prolongement de la jetée nord.

Le môle aura un développement total de 610 mètres environ. Il se terminera, à

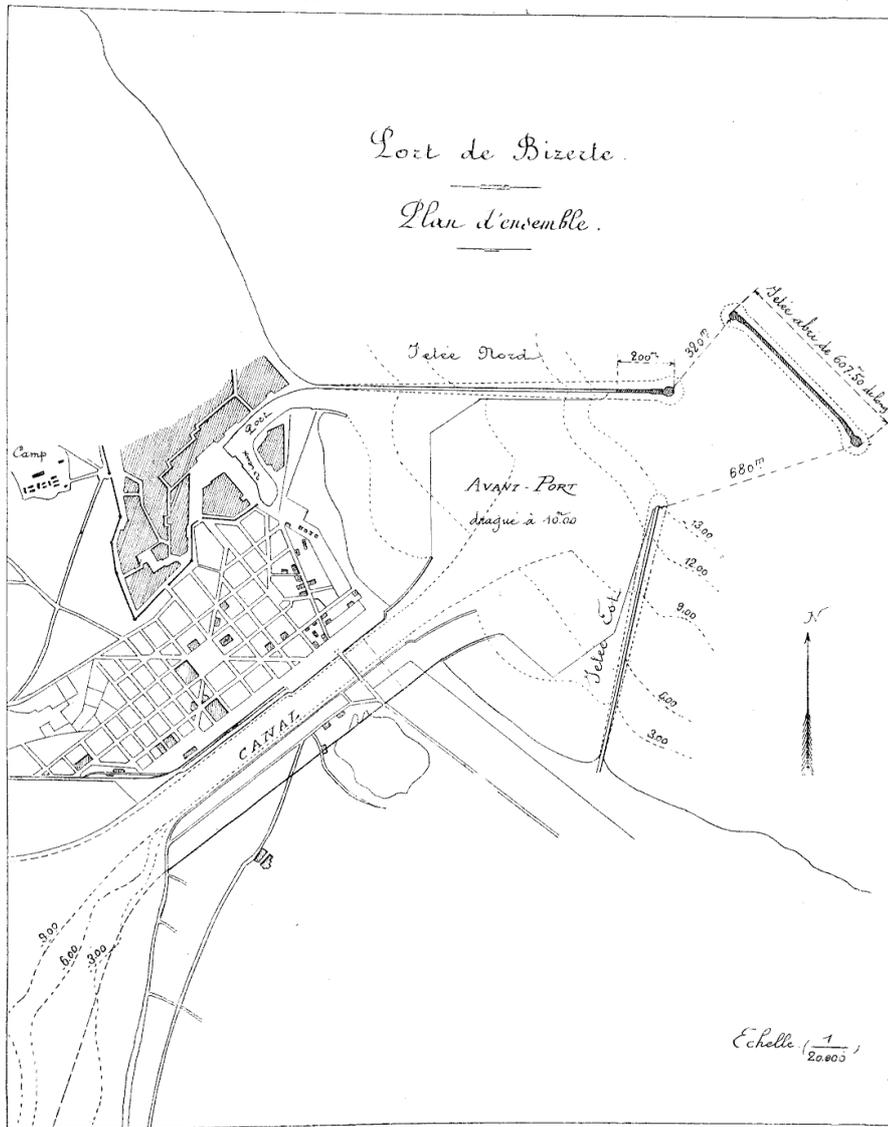


Fig. 6.

chaque extrémité, par un musoir, dont les dimensions ne sont pas encore arrêtées, mais seront vraisemblablement celles du musoir de la jetée nord.

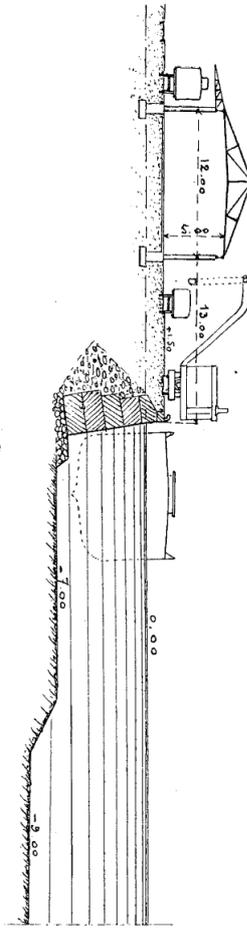


Fig. 1. — Coupe des quais.

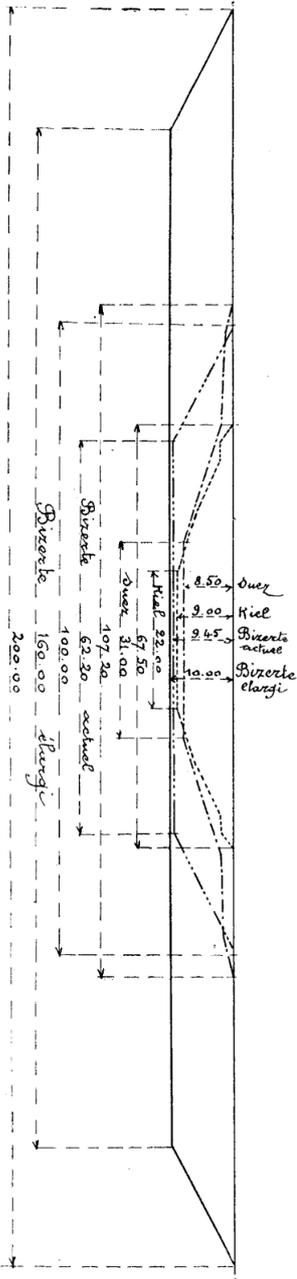


Fig. 8. — Profils comparatifs des canaux de Suez de Kiel et de Bizerte (actuel et élargi).

Du côté du large, le prolongement de la jetée nord et du môle seront défendus par des blocs d'enrochements de 1^{re} classe, mis en risberme sur une largeur de 10 mètres et une hauteur de 2^m,50 contre le soubassement.

Du côté de l'avant-port, ils seront protégés par une risberme en enrochements ordinaires ayant 5 mètres de largeur et une hauteur de 1^m,50 contre le soubassement.

Le soubassement de la digue sera formé, tant à la jetée nord qu'au môle, par des blocs artificiels composés, environ par moitié, de maçonnerie et de béton.

La superstructure de la digue sera faite en maçonnerie ordinaire avec parements de moellons de choix.

La largeur des passes de navigation entre les musoirs du môle et ceux des jetées déjà existantes sera :

Pour la passe nord, de 320 mètres environ, mesurés au couronnement des ouvrages ;

Pour la passe sud, de 680 mètres environ.

C. Pour les dragages :

1° L'approfondissement de l'avant-port à la cote — 10,00 au-dessous des plus basses mers, sur une surface d'environ 40 hectares, comprise entre les sommets des talus naturels des excavations.

2° L'approfondissement à la cote + 10,00 et l'élargissement en plafond du canal d'accès au lac, de manière à lui donner une largeur au plus égale à 200 mètres.

3° L'approfondissement à la cote + 10,00, et sur une largeur d'au plus 200 mètres au niveau de cette cote, de la baie de Sebra entre le débouché du canal dans le lac et les fonds naturels de 10 mètres.

EXÉCUTION DES TRAVAUX

CHANTIER CENTRAL

Le chantier central se trouve à la Kasbah, à l'enracinement de la jetée nord.

Il comporte des estacades de chargement des enrochements et blocs naturels, sur lesquels sont installés des culbuteurs.

Une estacade pour le service courant du chantier, munie de grues pour le déchargement de la chaux, du sable et des pièces de réparations.

Des ateliers et installations, des bureaux, magasins, etc...

Installations et ateliers. — Les installations et ateliers comprennent :

1° Un atelier de construction de caissons situé sur la rive gauche du canal ;

2° Un atelier de réparation situé au chantier central ;

3° Une usine de force électrique ;

4° Une installation de fabrication de mortier ;

5° Une installation de fabrication de béton.

Atelier de construction. — Cet atelier comprend les machines nécessaires aux travaux de chaudronnerie et une cale de construction.

Atelier de réparations. — Cet atelier est établi dans le genre des ateliers de chantiers de travaux publics et comprend des tours, machines à percer, cisailles, machines à cintrer, scies, etc.

Usine de force électrique. — Cette usine, d'une force de 150 chevaux, comprend : deux chaudières de Naeyer et une machine verticale Weyher et Richmond à condensation; trois génératrices Hillairet et Huguet, chacune de 500 volts, 50 ampères, 25 000 watts et d'une force de 34 chevaux-vapeur, et fournissant le courant électrique aux réceptrices de l'installation des bétonnières, des broyeurs et des transbordeurs.

Ces dynamos fournissent également la lumière nécessaire aux différents chantiers.

L'usine se trouve à 100 mètres de l'installation des broyeurs et bétonnières et de 1 500 à 3 000 mètres des transbordeurs pour l'exécution du prolongement de la jetée nord et de la digue au large.

Le courant électrique est envoyé aux transbordeurs de la digue au moyen d'un câble sous-marin échoué dans la passe nord.

Ce câble, d'une section de 60 millimètres, se compose de : 2 câbles de 40 millimètres, 4 câbles de 20 millimètres, 2 câbles téléphoniques.

Cette disposition de six câbles conducteurs d'électricité, de différents diamètres, permet de les utiliser, suivant les besoins du service, 2 câbles de 20 millimètres servent à la lumière, puis 2 de 20 millimètres et 2 de 40 millimètres au fonctionnement des treuils.

Les 4 réceptrices actionnant les transbordeurs, proviennent de la maison Hillairet et Huguet, et ont chacune 500 volts, 14,7 ampères, 7 360 watts et une force de 10 chevaux-vapeur.

Un tableau permet de faire fonctionner chaque installation indépendamment ou simultanément, avec ou sans lumière.

Installation de fabrication de mortier. — Cette installation comprend deux broyeurs à meules mobiles circulant dans une cuve de 2^m,50 de diamètre, et pouvant faire chacun, par jour, 50 mètres cubes de mortier.

Le remplissage des cuves se fait à la main et la vidange du mortier automatiquement.

Le mortier est envoyé, par voie ferrée, directement à l'installation de lestage ou à l'extrémité de la jetée pour l'exécution des maçonneries de superstructure.

Le mortier est envoyé en chaland pour la confection de la superstructure des jetées du large, qui ont également à leur disposition une installation flottante de confection de mortier.

Installation de fabrication de béton. — Cette installation comprend une charpente en bois supportant, à 2 mètres du sol, deux bétonnières cylindriques, qui reçoivent, au moyen d'une chaîne à godets, les cailloux, la chaux et le sable, qu'elle puise dans une fosse où ils ont été préalablement disposés par des wagons dosés d'avance.

L'ensemble des bétonnières, chaîne à godets et pompe, est actionné par une réceptrice.

Cette installation peut produire, avec chaque bétonnière, 200 mètres cubes de béton par jour.

Le béton est chargé directement, à la sortie de la bétonnière, dans des chalands spécialement aménagés pour le transport au lieu d'emploi.

Il est accordé un délai maximum de deux heures, entre la fabrication et l'emploi du béton.

ENROCHEMENTS

Les enrochements, d'un poids total de 540 000 tonnes, se subdivisent en trois classes :

Première classe. — Blocs naturels pesant plus de 600 kilogrammes et, en moyenne, 1 600 kilogrammes.

Deuxième classe. — Blocs naturels pesant de 75 à 600 kilogrammes et, en moyenne, 400 kilogrammes.

Troisième classe. — Blocs naturels pesant plus de 5 kilogrammes et moins de 75 kilogrammes et, en moyenne, 40 kilogrammes.

Ces enrochements proviennent de la carrière d'Aïn-Mérien, qui se trouve à 3 kilomètres de l'enracinement de la jetée nord, où ils sont amenés en wagons et embarqués sur des bateaux-clapets qui les mènent à pied d'œuvre.

Cette carrière présente un front de 5 à 600 mètres, sur 60 mètres de hauteur.

L'abatage se fait au moyen de galeries horizontales dans lesquelles on place 6 300 kilogrammes de poudre à chaque opération.

Les extrémités de la jetée nord et de la digue sont marquées par des bouées lumineuses du gaz d'huile, pouvant éclairer pendant un mois sans rechargement de gaz.

BLOCS ARTIFICIELS DE 5 000 A 6 500 TONNES

Description. — Les blocs artificiels sont exécutés dans des caissons, à ossature métallique, munis de hausses mobiles (batardeaux) ayant de 20 à 31 mètres de longueur, 8 à 16 mètres de largeur et de 2 500 à 3 250 mètres cubes de volume environ (fig. 9 à 14).

Ils sont constitués par une enveloppe extérieure et par des cloisonnements transversaux en maçonnerie de moellons et de mortier de chaux du Teil au dosage de 400 kilogrammes de chaux par mètre cube de sable; les compartiments ainsi formés sont remplis de béton composé de trois parties de pierres cassées et de deux parties du même mortier que celui des maçonneries.

Pour satisfaire aux conditions d'étanchéité, de flottabilité, de rigidité et de solidité nécessaires avant leur mise en place, la maçonnerie n'a pas moins de un mètre d'épaisseur, tant sur le fond que sur la partie supérieure. Les parements intérieurs sont établis en arrachements.

Le béton de remplissage est employé par couches horizontales bien damées et reliées avec soin aux parements intérieurs des maçonneries des blocs, de façon à former avec celles-ci un massif compact et solidaire.

Les caissons sont surmontés de leurs batardeaux dans l'avant-port, où ils reçoivent une partie de leur chemise en maçonnerie; lorsque celle-ci a pris une consistance suffisante, le caisson est amené, flottant, à sa place d'immersion, où il est lesté et échoué.

Cette dernière opération n'est effectuée que lorsqu'on s'est assuré de la parfaite régularité et de l'horizontalité du lit d'enrochements destiné à recevoir le bloc; afin de parer aux tassements qui pourraient se produire en cours d'exécution, les massifs d'enrochements ordinaires sont tenus à la cote — 7,30, sur l'emplacement des blocs et sur un mètre en dehors.

Il est ménagé, entre les blocs, un joint de 0^m,40 environ de largeur. Après l'achèvement des blocs, les hausses du caisson sont enlevées et les joints sont faits en béton

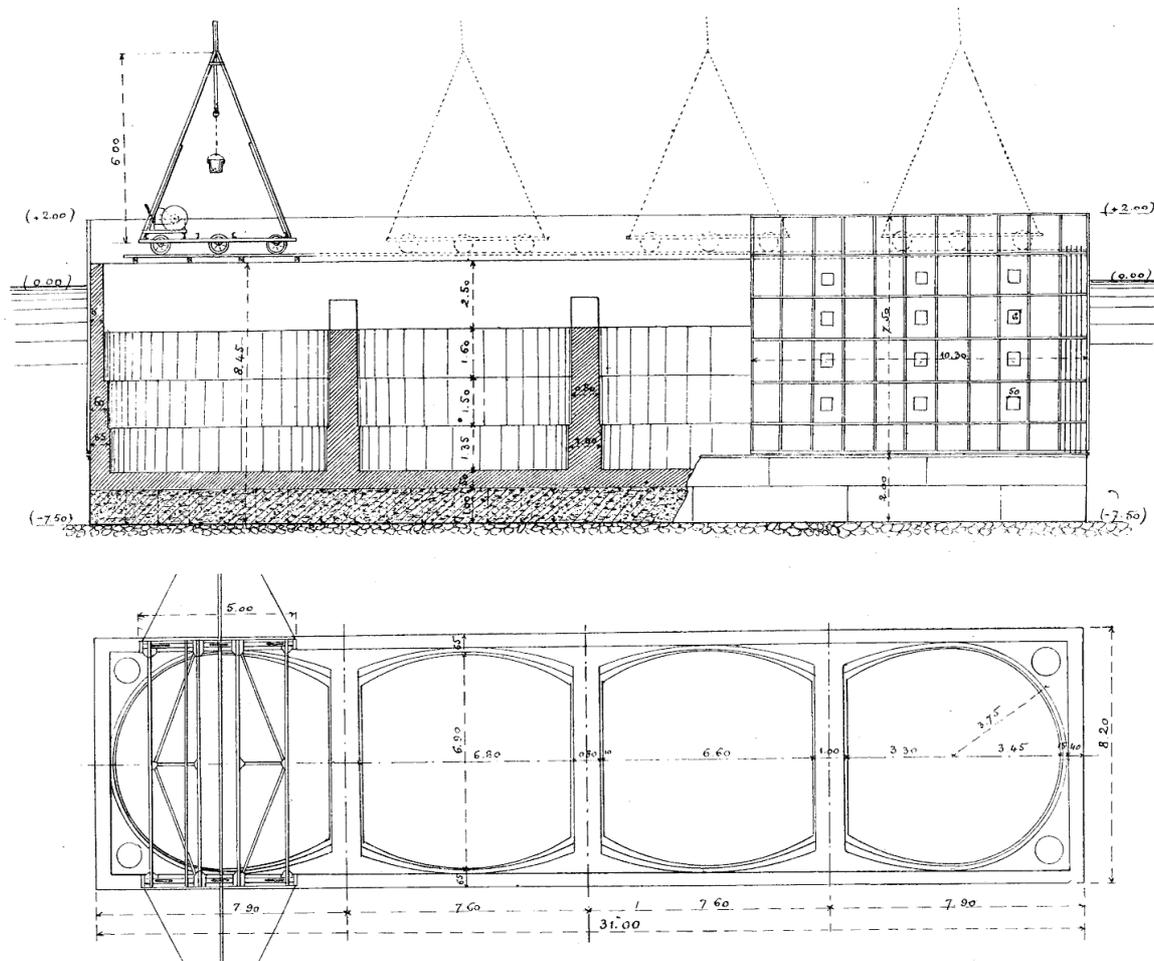


Fig. 9 et 10. — Port de Bezerte, Blocs de 5 000 tonnes. Élévation et plan-coupe.

riche, composé de parties égales de pierres cassées et de mortier de chaux du Teil dosé à 400 kilogrammes par mètre cube de sable.

Blocs courants. Caissons. — Les caissons construits à l'atelier central ont les dimensions suivantes : 31 mètres de longueur, 8^m,20 de largeur et 2 mètres de hauteur.

Ils sont constitués en tôles et cornières et portent sur leur pourtour supérieur une cornière extérieure, percée de trous, permettant de les surmonter de batardeaux mobiles.

Lestage préalable. — Le caisson, lancé et à flot, est amené au chantier central, où l'on recouvre son fond d'une couche de mortier de chaux de 0^m,05 qui servira plus tard de matelas entre la maçonnerie intérieure et le lit d'enrochements sur lequel sera échoué le bloc.

Sur ce lit de mortier, on procède au bétonnage sur une hauteur variant de 0^m,50 à

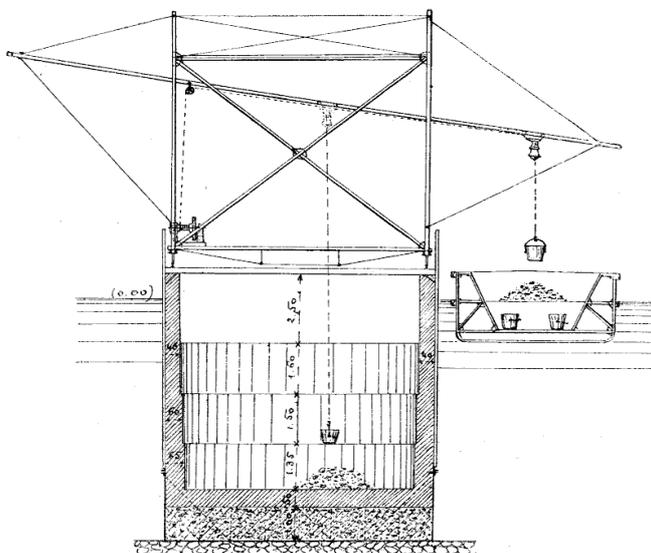


Fig. 11. — Bloc de 5 000 tonnes. Coupe transversale.

1 mètre en répartissant les charges de façon que les fers et tôles ne subissent aucun travail, par suite des sous-pressions et des pressions latérales.

On monte ensuite, en maçonnerie et moellons, une banquette circulaire de 0^m,50 de hauteur et 1^m,00 de largeur, pour maintenir les pressions latérales jusqu'à la cornière de boulonnage (fig. 12 à 14).

Batardeaux. — Le caisson, ainsi chargé de béton en maçonnerie, calant 1^m,50, est surmonté de 8 panneaux mobiles métalliques (fig. 15).

Les 6 panneaux qui surmontent les côtés longitudinaux ont chacun 10^m,30 × 7^m,50, et sont composés de tôles et cornières. Ils portent des tiges de 6 mètres de hauteur, filetées à la partie inférieure, de façon à pouvoir se boulonner sur le caisson, et carrées à la partie supérieure, de façon à pouvoir être manœuvrées par une clef de l'extérieur.

Ces panneaux sont boulonnés entre eux verticalement et sur le caisson, horizontalement.

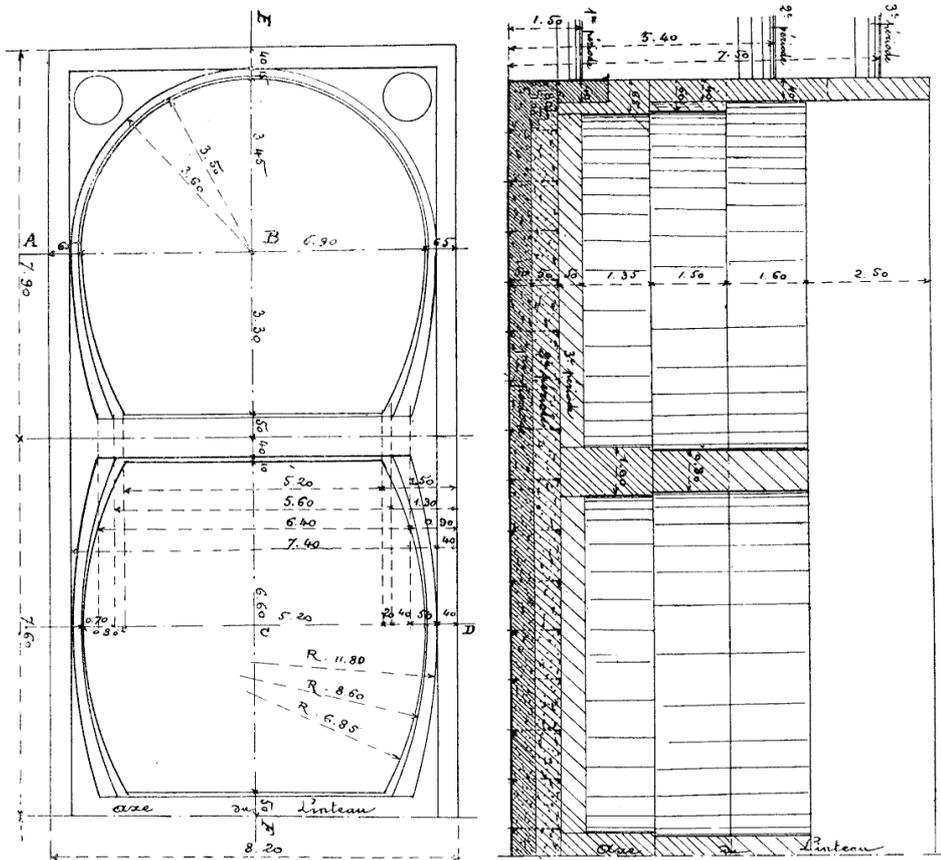
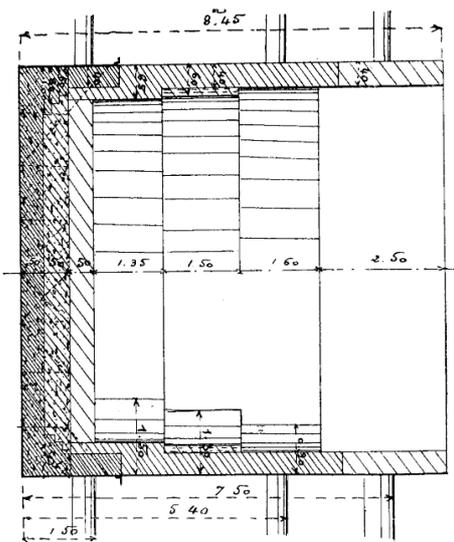


Fig. 12 et 14. — Blocs de 5 000 tonnes. Lestage des linteaux enfoncement de 1^m.50 3^m.40 et 7^m.50.



Les panneaux des extrémités ont $7^m,50$ et se boulonnent de la même façon que les panneaux longitudinaux.

Ces panneaux portent à leur partie supérieure 4 vannes destinées à remplir d'eau le caisson, au moment de l'échouage ou en cas de mauvais temps, si l'on est obligé d'abandonner le travail de remplissage des puits.

Des portes de $0^m,50 \times 0^m,50$ sont ménagées dans ces panneaux pour l'introduction des matériaux destinés aux maçonneries.

Ces panneaux sont mis en place et enlevés, deux à deux, au moyen d'une mâtine

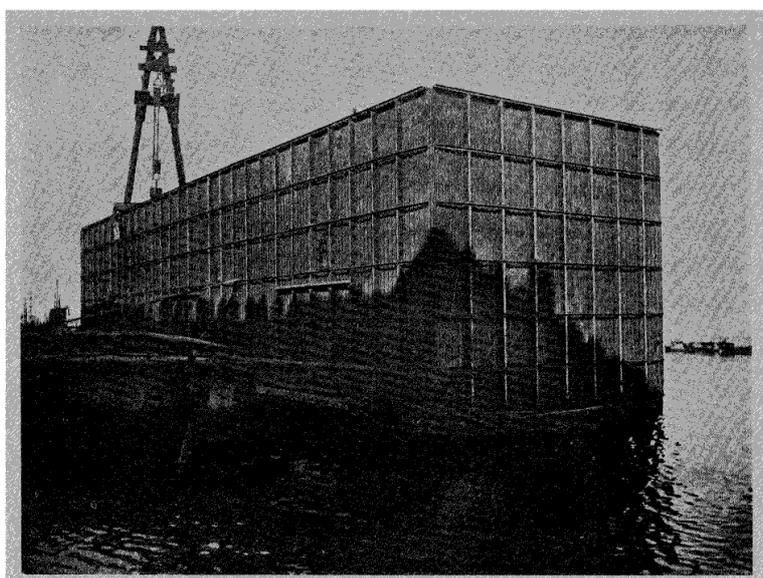


Fig. 15.

flottante de cinquante tonnes, qui est utilisée pour la mise en place de blocs artificiels de ce poids.

Les quatre panneaux d'extrémités des côtés longitudinaux sont placés les premiers et étayés entre eux, puis les deux panneaux du milieu formant voussoirs et enfin les deux panneaux d'extrémités latérales (fig. 16).

Lestage définitif. — L'ensemble du caisson surmonté de ses batardeaux représentant (fig. 15) le volume extérieur du bloc est amené flottant à l'installation de lestage, où arrivent les moellons et le mortier qui sont introduits par les portes des panneaux.

Le lestage se poursuit en ménageant dans le bloc quatre grands et quatre petits puits, de façon que le niveau extérieur de l'eau soit toujours à $0^m,50$ au-dessous de la tranche supérieure des maçonneries des murettes latérales.

Des radeaux flottants de 4 mètres de profondeur, reliés entre eux, forment une enceinte qui abrite le bloc contre la houle du large, en cas de mauvais temps.

Dès que le bloc cale de $7^m,20$ à $7^m,50$, suivant les marées, son lestage est terminé

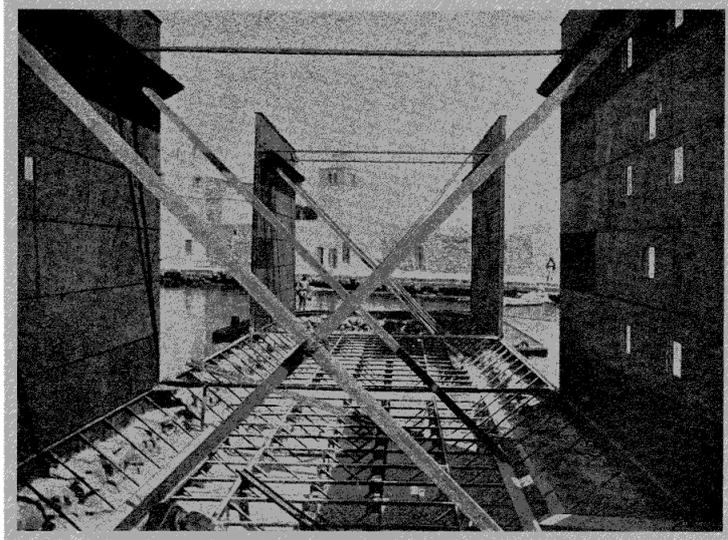


Fig. 16.

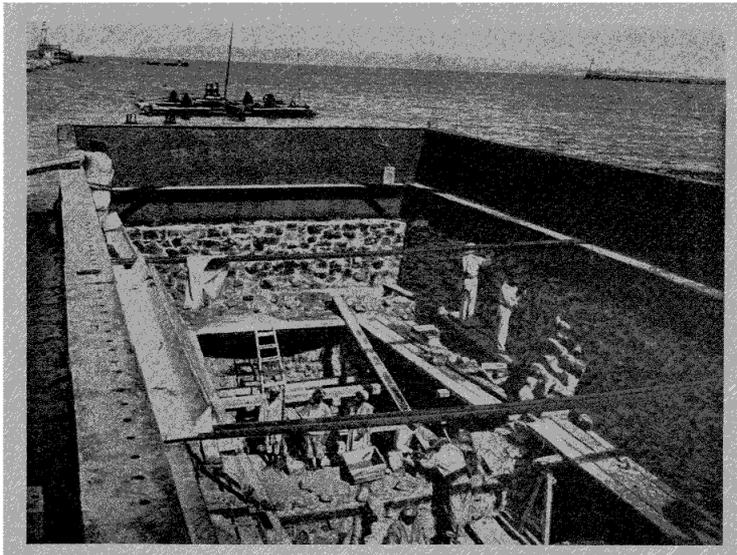


Fig. 17.

et le bloc est prêt à être transporté à sa place définitive pour l'échouement (fig. 17).

Transport du bloc. — Le bloc ainsi lesté est conduit à son emplacement, au moyen de remorqueurs en profitant d'un temps relativement calme.

Échouage. — Dès que le bloc se trouve dans l'alignement de la jetée, on ouvre deux vannes qui remplissent d'eau deux des puits, afin de l'échouer sur la plate-forme d'enrochements, dont nous indiquerons plus loin la préparation.

Actuellement seize blocs ont été mis en place conformément au programme tracé.

Les dix blocs qui compléteront les ouvrages seront exécutés et mis en place pendant la saison d'été de l'année 1903.

Remplissage. — L'opération la plus délicate du procédé consisté à remplir de béton les puits du bloc dans le délai le plus court possible.

Nous sommes arrivé à remplir ces puits en quatre jours et comptons mettre encore moins de temps.

Cette opération de remplissage s'exécute au moyen de transbordeurs qui sont placés (fig. 18), au nombre de quatre, sur chaque bloc, de façon à prendre au moyen de bennes de 400 à 500 litres le béton amené dans des chalands, et les vider à sec, d'abord dans les deux puits du bloc qui ne renferment pas d'eau, sur une hauteur de 3 mètres.

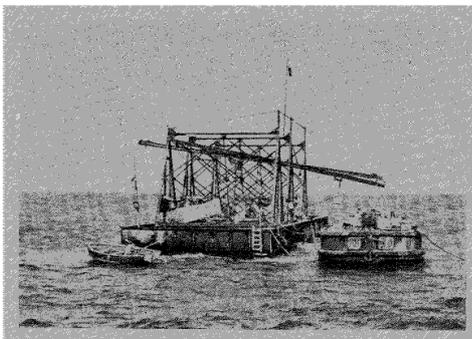


Fig. 18.

Après de nombreux essais, nous avons constaté que le béton de chaux mis à sec était de meilleure qualité, que celui coulé dans l'eau.

Une fois ces deux puits bétonnés jusqu'à 3 mètres on épuise l'eau des deux autres compartiments, que l'on remplit de béton à leur tour, et on termine le remplissage des quatre puits avec les quatre transbordeurs (fig. 19).

Ces transbordeurs se composent d'une charpente métallique légère, de façon qu'en cas de mauvais temps, la houle puisse balayer le bloc et passer au travers des charpentes sans les renverser.

Contrairement à ce qui a été fait jusqu'à ce jour, où l'emploi du Titan, appareil lourd et coûteux, est d'un usage courant pour la construction des jetées enracinées à la côte, nous avons cherché un appareil très léger, inattaquable à la houle et pouvant rendre le même service.

Cet appareil peut être avantageusement utilisé aussi bien pour les jetées que pour la digue, qui se trouve très exposée à la mer et, par ce seul fait, rend l'emploi du Titan impossible.

Chaque charpente supporte une poutre métallique débordant de 4 mètres de chaque côté du bloc, sur laquelle se meut un chariot de suspension des bennes, actionné par des câbles métalliques mus eux-mêmes par un treuil électrique qui reçoit le courant de 500 volts de l'usine centrale.

Par ce dispositif, le béton est fait à sec, pilonné et, par conséquent, bien fait.

Le mauvais temps nous ayant surpris dans le remplissage d'un de ces blocs, nous

avons rempli d'eau les puits de ce bloc, et avons repris le travail après la tempête, sans que rien n'ait bougé.

Achèvement des maçonneries. — Dès que le bloc est rempli de béton jusqu'à la cote zéro, on termine, en maçonneries de moellons, de zéro à la cote + 1.

Enlèvement des batardeaux. — Les batardeaux sont enlevés ensuite au moyen de la mâture et replacés sur un autre caisson.

Blocs des môles et contre-môles. — Le contre-bloc du môle de la jetée nord aura 31×10 et pèsera 6 000 tonnes.

Le môle de la jetée nord aura $20,66 \times 16$, et pèsera 6 600 tonnes.

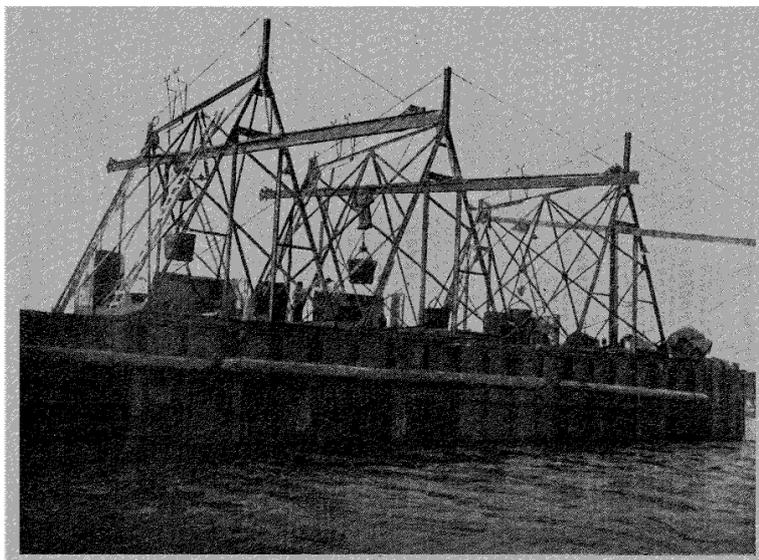


Fig. 19.

Ces blocs seront exécutés et mis en place par les mêmes procédés indiqués précédemment.

Les deux môles de la jetée du large n'ont pas encore des dimensions arrêtées, mais auront vraisemblablement les mêmes dimensions que celui de la jetée nord.

Plate-forme des enrochements. — Dès que les enrochements sont établis, au moyen de bateaux à clapet, jusqu'à la cote moyenne de $-7,50$, ils sont régalez au moyen de râteliers manœuvrés par des treuils placés sur un grand radeau pour obtenir un premier régalez.

Une équipe de trois scaphandriers vient ensuite opérer un régalez plus précis, et procèdent à l'exécution d'une couche de $0^m,20$ de débris de carrière, puis de $0^m,15$ de galets provenant d'un oued voisin, de façon à former un matelas de $0^m,35$, sur lequel viendra s'échouer le bloc.

Cette opération a jusqu'ici bien réussi, puisque les blocs en place sont échoués à $0^m,01$ près de différence de niveau d'un angle à un autre.

Joints. — Les blocs doivent être réunis par des joints en béton de chaux coulée entre deux panneaux, mais il se pourrait que l'Administration abandonnât la liaison des blocs de façon à laisser, au contraire, la houle traverser les digues, ce qui en diminuerait la force.

DRAGAGES

Les dragages sont entrepris en même temps que les jetées ; ils sont poussés avec activité dans l'avant-port, au moyen de dragues suceuses.

L'élargissement du canal et son raccordement avec les fonds de 10 mètres, tant dans la baie de Sebra que dans l'avant-port, s'opèrent, en raison des forts courants qui règnent dans le canal, au moyen de passes longitudinales régulières et successives d'au moins 40 mètres de largeur, de manière à obtenir progressivement les cotes et dimensions prévues.

A ce sujet, nous ferons remarquer que les avis des ingénieurs sont très partagés sur la question de savoir si les courants dans le canal, une fois ce dernier élargi, seront augmentés ou diminués.

D'accord avec les officiers de la marine, qui connaissent le régime des marées, en nous appuyant sur les résultats d'observation qu'ils ont obtenus, tant sur le canal actuel que sur les marées de la mer et du lac, et notamment les résultats d'observations recueillies depuis deux années, nous pensons que la vitesse du courant dans le canal sera atténuée d'un quart à un cinquième de la vitesse actuelle.

Exécution des travaux. — Les terrains à draguer se composent de vase, sable fin, pierres agglomérées et rocher.

Les fonds sont arasés horizontalement aux cotes prescrites, avec tolérance de 0^m,40.

Les dragages de sable dans l'avant-port sont exécutés au moyen de deux dragues de 210 chevaux chacune en moyenne, et d'une drague suceuse de 300 chevaux ; leur production journalière est de 1 200 mètres cubes.

Cette production, qui peut paraître faible, tient à la finesse du sable et au mélange d'algues et cailloux rencontrés dans les produits dragués qui sont déversés en mer ; à l'est de la jetée est de l'avant-port, à une distance moyenne de 3 kilomètres du musoir de cette jetée.

Les dragages de l'élargissement du canal sont exécutés au moyen de cinq dragues à godets, dont la force varie de 70 à 150 chevaux, et qui produisent journellement, en moyenne, 3 500 mètres cubes dans le terrain ordinaire.

La production, en terrain rocheux, est de 200 à 300 mètres cubes par jour.

Le produit de ces dragages est emmené, partie en mer dans des bateaux clapets, partie déversés dans la baie de Sebra, au moyen d'un débarquement fixe.

Les parties rocheuses, trop dures pour être enlevées à la drague sont, au préalable, disloquées par la dynamite.

Le matériel d'extraction et de transport est assez puissant pour que le volume mensuel effectué atteigne, en moyenne, 150 000 mètres cubes.

Par suite de ces travaux d'élargissement du canal, le transbordeur Arnodin sera démoli dans le courant de l'année prochaine, et remplacé par un service de bacs à vapeur qui desserviront les deux rives.

ARSENAL DE SIDI-ABDALLAH
PORT DES ARTIFICES, ET DÉFENSE MOBILE

DESCRIPTION SOMMAIRE DES TRAVAUX

Sidi-Abdallah. — Les travaux à exécuter comprennent (fig. 20 à 23) :

1° L'exécution de trois jetées en enrochements et maçonnerie, savoir :

La première, ou jetée nord, de 500 mètres environ de longueur, s'avance jusqu'aux fonds de 7 mètres ; elle est couronnée par un massif de maçonnerie et terminée par un musoir.

La deuxième, ou jetée est, de 850 mètres environ, est terminée par un musoir maçonné.

La largeur de la passe de navigation, entre ces musoirs, est d'environ 100 mètres.

La troisième, ou jetée sud, de 500 mètres environ, présente en son milieu une passe de navigation de 75 mètres ;

2° L'exécution de 650 mètres de murs de quai en blocs artificiels, reposant sur une couche de 1 mètre de hauteur d'enrochements de troisième catégorie et de pierrailles pour régaler la plate-forme à la cote (3,00).

Ces blocs sont superposés par assises horizontales, et sont d'une hauteur de 1^m,75 ;

3° Creusement de la darse comportant l'exécution de plus de 2 millions de mètres cubes de dragages, jusqu'à la cote (10 00) ;

4° La confection des terre-pleins défendus par des perrés.

Port des artifices. — Les travaux à exécuter comprennent (fig. 24-26) :

1° L'exécution de 3 jetées en enrochements et en maçonnerie, d'une longueur totale de 250 mètres, terminées par des musoirs ;

2° L'exécution de dragages à la cote (- 3,00) dans l'intérieur des jetées ;

3° La confection de terre-pleins défendus par des perrés.

Défense mobile. — La défense mobile, installée à la baie Sans-Nom, comprend des dragages et remblais au moyen de débarquement flottant.

Les procédés employés à l'arsenal, au port des artifices et à la défense mobile, sont les mêmes, aussi décrivons-nous seulement ceux employés à Sidi-Abdallah.

EXÉCUTION DES TRAVAUX.

Enrochements. — Les enrochements, d'un poids total de 350 000 tonnes, se subdivisent en 3 classes, savoir :

1^{re} classe. Blocs naturels pesant plus de 600 kilogrammes, en moyenne 1 600 kilogrammes.

2^e classe. Blocs naturels pesant de 75 à 600 kilogrammes, en moyenne 400 kilogrammes.

3^e classe. Blocs naturels pesant de 5 à 75 kilogrammes, en moyenne 40 kilogrammes.

Ces enrochements sont transportés de la carrière de Djebel-Koudiat, qui se trouve au bord du lac de Bizerte, au lieu d'emploi, sur des clapets pour les petits blocs à

immerger au-dessous de (- 3,00), sur des mahones pour ceux à mettre au-dessus, et

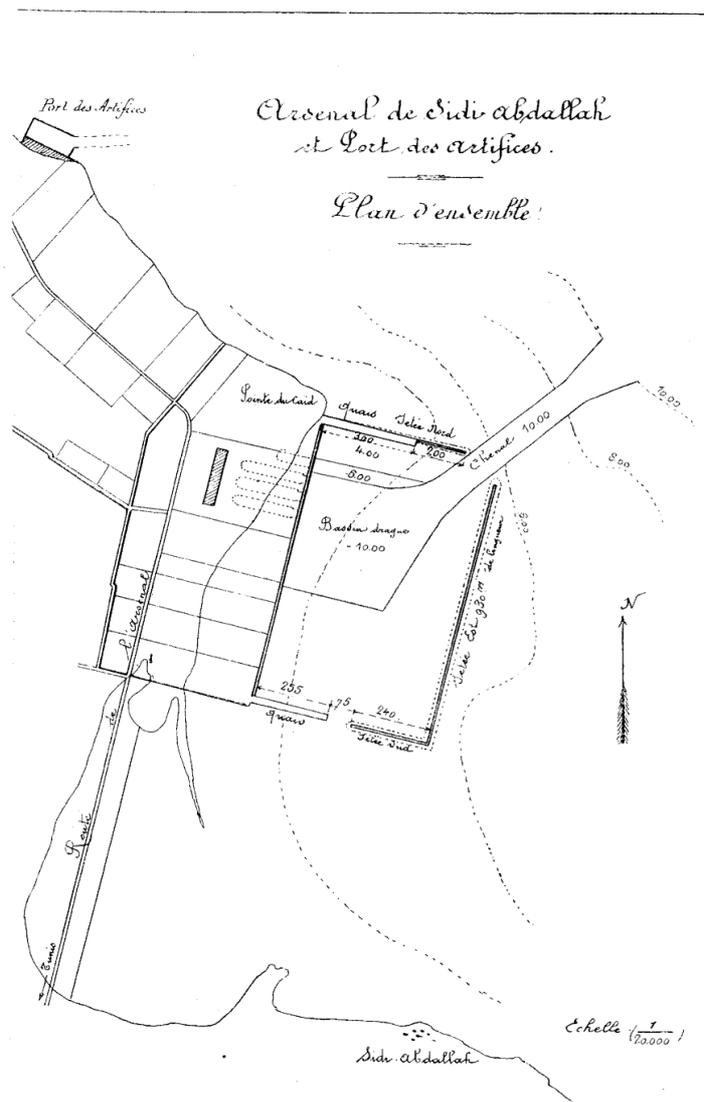


Fig. 20.

sur des porte-blocs pour les gros blocs immergés sous la cote (- 1,00); enfin, au moyen de grues de 10 tonnes circulant sur les jetées pour les revêtements extérieurs.

L'abatage en carrière s'effectuait également à l'aide de grosses mines, la carrière présentant un front de 500 mètres à 800 mètres, sur 30 mètres de hauteur.

La plate-forme d'enrochements sur laquelle doivent être échoués les blocs artificiels est nivelée au préalable par une équipe de scaphandriers.

Murs de quai. — Les murs de quai sont construits à l'aide de blocs artificiels de 15 mètres cubes, exécutés en maçonnerie de moellons avec mortier dosé à 400 kilogrammes de chaux par mètre cube de sable.

Les blocs artificiels construits sur le chantier, en parc, sont enlevés au moyen d'un appareil à presse hydraulique qui les charge sur wagons pour les amener au

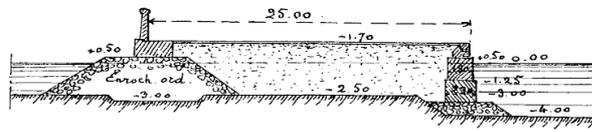


Fig. 21. — Profil du quai Nord.

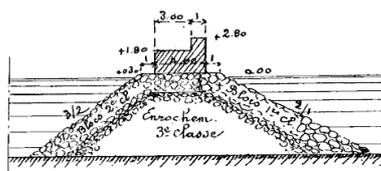


Fig. 22. — Coupe de la jetée Est.

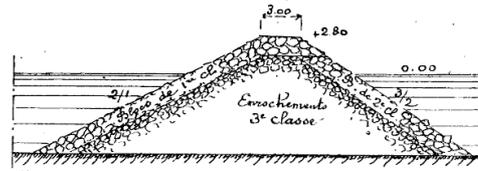


Fig. 23. — Coupe de la jetée Nord.

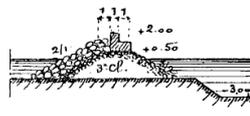


Fig. 24. — Coupe de la jetée Sud.

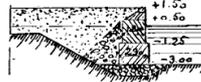


Fig. 25. — Coupe de la jetée Ouest.

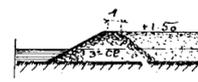


Fig. 26. — Coupe du perré.

Fig. 24, 25, 26. — Port des artifices.

mur du quai, où une mâture flottante de 50 tonnes les reprend pour les placer sur un porte-bloc.

Ce bateau, chargé de 4 blocs et accompagné de la mâture, se rend au lieu d'échouage où ils sont mis en place définitivement par cet appareil.

Ce procédé permet de mettre en place dix à douze blocs par jour.

Dragages. — Les dragages des terrains argileux, vaseux, sableux et calcaires sont exécutés au moyen de deux dragues à godets et d'une drague suceuse.

Les parties sableuses seules sont enlevées à la drague suceuse porteuse.

Les parties calcaires rocheuses sont, au préalable, désagrégées au moyen de cartouches de dynamite.

Les produits enlevés par les dragues à godets ou à la grue flottante si les blocs sont trop gros sont portés dans le lac ou déversés sur les terre-pleins à construire aux abords de la darse à créer, au moyen de débarquements fixes et flottants.

Nous n'insistons pas sur ces procédés qui sont devenus d'un usage courant.

Travaux accessoires. — L'entreprise actuelle, par suite de l'élargissement du canal, comporte en outre les travaux accessoires suivants :

1° Remplacement du siphon actuel de la Compagnie du port, qui amène les eaux de la rive droite à la rive gauche pour l'alimentation de la ville, par deux nouvelles conduites de même diamètre, égal à celui de la conduite ancienne ;

2° Démolition des piles du transbordeur, dont la partie métallique sera démontée.

Siphon. — Chaque conduite en fonte, du système Chameroi, de 135 millimètres de diamètre intérieur et pouvant supporter une pression hydraulique de 10 kilogrammes par centimètre carré, est immergée au fond du canal dans une rainure préparée à la drague à la cote (— 12,00) puis recouverte de sable et d'enrochements.

Les conduites portent des robinets vannes à chaque extrémité et sont reliées aux conduites de terre par des joints en plomb.

Transbordeur. — Les piles seront vraisemblablement enlevées au moyen de la cloche à dérochement ou par dislocation préalable à la dynamite et dragage des débris.

Une partie des dragages servent à constituer en amont de la ville de Bizerte des terre-pleins qui, tout en contribuant à son développement, régularisent l'entrée des eaux du lac dans le canal.

FORCE MOTRICE DES CHANTIERS

L'outillage général des chantiers de Bizerte et de Sidi-Abdallah se compose d'appareils divers, dont la nomenclature suivante permettra d'apprécier l'importance des travaux en donnant le rapport du travail mécanique mis en œuvre avec le personnel employé.

	Bizerte.		Sidi-Abdallah.	
Atelier de réparations	»	35 chevaux	»	35 chevaux
Usine électrique	»	250 —	»	»
Broyeurs	»	25 —	»	»
Grues à vapeur	»	20 —	»	50 —
Dragues à godets	»	240 —	»	»
— suceuses	3	720 —	1	70 —
— — refoulantes	»	35 —	»	»
Remorqueurs	»	730 —	»	»
Débarquements flottants	»	60 —	»	»
— fixes	»	60 —	»	»
Locomotives	4	200 —	»	»
Mâtire	»	25 —	»	»
Appareil	»	25 —	»	»
		<hr/> 2 425		<hr/> 155
		2 580 chevaux.		

Nombre d'ouvriers employés : à Bizerte	1 100
— — — à Sidi-Abdallah	370
TOTAL	<hr/> 1 470

L'outillage mécanique correspond donc à $\frac{2\ 580}{1\ 470} = 1,7$ chevaux-vapeur par homme.

ESTIMATION DES TRAVAUX

L'estimation totale des travaux de Bizerte peut s'évaluer de la façon suivante :

	Francs.
1 ^o Travaux concédés à la Compagnie du port de Bizerte.	12 000 000
2 ^o Travaux rétrocédés à MM. H. Hersent et fils.	9 280 000
3 ^o Travaux de Sidi-Abdallah et du port des artifices.	5 200 000
TOTAL.	<u>26 480 000</u>

ARTS CHIMIQUES

RAPPORT présenté par **M. Ach. Livache**, au nom du *Comité des Arts chimiques*, sur l'émaillage à chaud des pièces de fonte de grandes dimensions, d'après le procédé de **M. P. Dupont**.

La Société se rappelle certainement l'ingénieux appareil de M. Dormoy pour l'émaillage à chaud de la fonte (*Bulletin de la Société* 1901, p. 17) qui supprimait pour les ouvriers toute incommodité et tout danger d'intoxication saturnine. Cet appareil constituait un progrès important pour cette industrie meurtrière, mais il ne s'appliquait qu'à des pièces de dimensions moyennes. Le même problème se posait donc pour l'émaillage des pièces de très grandes dimensions, peu maniables, dégageant une chaleur intense et devant être émaillées sur des surfaces importantes; tel est le cas pour les baignoires en fonte, que l'on émaille par saupoudrage, après les avoir amenées à une température de 1 100° environ et qui ne pèsent pas moins de 90 à 110 kilogrammes.

M. P. Dupont, qui dirige une importante fabrique de baignoires émaillées au Cateau (Nord), a cherché une solution, et il présente à la Société un ensemble de dispositions qui suppriment pour les ouvriers l'incommodité de cette haute température et le danger du dégagement de poussière. En même temps, les émaux à base de plomb et d'arsenic, ordinairement employés, sont remplacés par des émaux ne renfermant plus ces deux éléments si dangereux.

Pour le moulage des baignoires, on fait usage d'une fonte spéciale, soigneusement choisie, car elle doit être suffisamment résistante sous une faible épaisseur (4 millimètres pour le fond et les flancs, et 6 millimètres pour la gorge) et, en même temps, assez poreuse pour que l'émail y adhère bien.

Les baignoires sont d'abord soumises à un décapage; mais, au lieu de les décaper à l'acide sulfurique, on trouve un grand avantage à effectuer cette opération au moyen d'un jet de sable entraîné par de l'air comprimé. Ce

décapage, très rapide et très complet, ne présente du reste aucun danger pour l'ouvrier, grâce à la mesure de protection qui lui est imposée : au lieu d'un masque gênant, toujours difficilement accepté, l'ouvrier est simplement coiffé d'une large cloche renversée, en cuir, reposant sur ses épaules, munie d'une plaque de mica à la hauteur des yeux, et au sommet de laquelle aboutit un tuyau de caoutchouc amenant un petit jet d'air comprimé. Grâce à cette disposition, le sable qui se répand dans l'atelier ne peut entrer dans l'intérieur de la cloche ; en outre, l'ouvrier n'éprouve aucune gêne, la compression de l'air ayant eu pour effet de l'échauffer suffisamment pour que son arrivée ne donne pas de sensation de froid.

La baignoire ayant été décapée, on commence par faire une *mise à la masse*, par voie liquide, opération qui consiste à recouvrir la surface intérieure, destinée à être émaillée, d'un lait très léger d'émail additionné d'une petite quantité de terre de pipe en vue de maintenir l'émail en suspension ; ce lait est simplement versé avec une poche, l'excédent s'écoulant par le trou de vidange de la baignoire. C'est cet émail très fin qui, pénétrant dans les pores de la fonte, établira la liaison avec les couches suivantes mises par voie sèche.

Après égouttage, la baignoire est simplement placée auprès du four, de manière à chasser la majeure partie de l'eau ; en même temps, sur la partie extérieure, qui ne doit pas être émaillée, on a fait une réserve avec un lait de kaolin.

Lorsque le séchage est suffisant, on passe dans un four à moufle la baignoire qui doit être amenée à la température de 1 100°. Le chauffage se fait au moyen d'un gazogène à récupérateur, et le moufle est disposé de manière à répartir la chaleur aussi également que possible ; la partie supérieure est en forme de toit afin de bien chauffer les surfaces intérieures qui recevront l'émaillage.

On comprend facilement que la manœuvre nécessaire pour introduire une pièce aussi lourde dans un four où règne une telle température soit très pénible ; on est parvenu cependant à l'exécuter en supprimant toute incommodité pour les ouvriers. A cet effet, le four est fermé par une lourde porte, formée de carreaux réfractaires et supportée par des galets placés à la partie supérieure qui roulent sur des rails parallèles à la face antérieure du four ; d'autre part, de chaque côté de la porte sont des chaînes munies de contrepoids tels que l'un, plus lourd, maintienne la porte devant le four de manière à produire une fermeture complète, tandis que l'autre, moins

lourd, placé à l'extrémité d'une chaîne plus longue, permettra à un ouvrier, placé à huit mètres au moins du four, de compenser par un léger effort la différence entre les deux contrepoids de manière à faire glisser la porte et à ouvrir le four.

Quant à la baignoire, elle a été placée (fig. 1) sur une fourche qui peut basculer en sa partie médiane sur un pivot porté par un chariot roulant sur rails; il suffit alors de déplacer un contrepoids placé sur le bras opposé de ce véritable fléau pour faire remonter la fourche chargée de la baignoire au

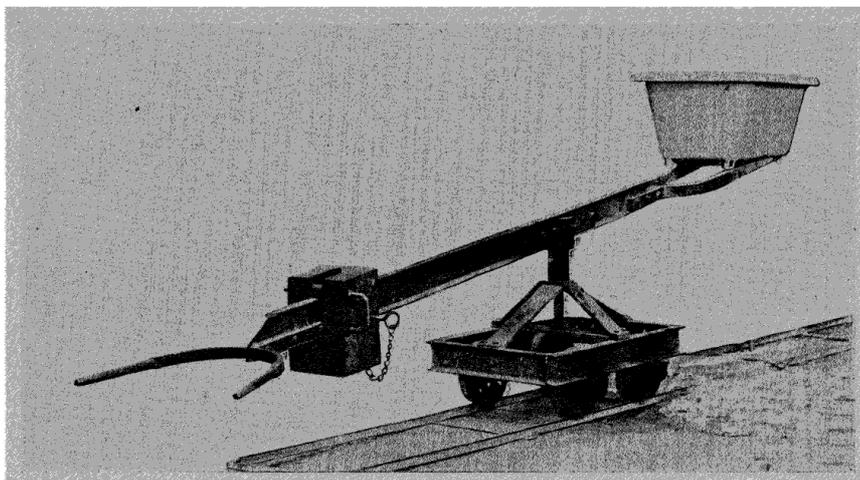


Fig. 1. — Fourche à baignoire.

niveau de la sole du four; un ouvrier, tenant les deux poignées de l'extrémité de la fourche et éloigné, par suite, de 6 à 7 mètres du four, pousse très facilement la fourche dans le four, et l'abaisse de manière à déposer la baignoire sur deux rails placés sur la sole. On retire la fourche et on laisse la porte se refermer. On voit que cette opération qui sera plusieurs fois répétée pendant l'émaillage d'une baignoire n'a jamais amené les ouvriers à une distance du four inférieure à 6 ou 8 mètres, d'où résulte une facilité de travail remarquable.

Lorsque la baignoire est restée un temps suffisant pour fondre la première couche d'émail qui en recouvre l'intérieur, on la sort du four pour appliquer par saupoudrage plusieurs couches successives d'émail en poudre,

en remettant au four après chaque saupoudrage. C'était là, jusqu'à ce jour, l'opération la plus délicate et, en même temps, la plus pénible pour les ouvriers; nous avons pu constater, en effet, qu'à deux mètres, il nous était très difficile de rester quelques instants auprès de cette masse portée au rouge; or, l'ouvrier doit saupoudrer l'intérieur en calculant exactement la quantité d'émail nécessaire pour ne pas avoir de manque ou d'excédent; de plus, les déplacements de la baignoire nécessaires pour répartir également l'émail doivent se faire par des manœuvres à l'aide de leviers en fer creux tenus à bout de bras; en particulier, pour les deux extrémités, la baignoire arrive à être placée presque verticalement. On comprendra encore mieux combien le travail est pénible lorsque nous ajouterons que les ouvriers doivent se préserver le corps au moyen d'un tablier en amiante, éloigné de leurs vêtements par une carcasse en fil de fer, et la figure au moyen d'un masque en mica.

Des quatre fabriques de baignoires émaillées qui existent en France, celle du Cateau est la seule où l'on ait remplacé cette manœuvre si dangereuse par un saupoudrage mécanique s'effectuant dans un espace clos, de manière à éviter tout rayonnement et tout dégagement de poussière d'émail.

La machine à émailler, établie par M. P. Dupont en 1901, dont on trouvera une description détaillée à la suite de ce rapport, se compose essentiellement (fig. 2) d'une table métallique destinée à recevoir la baignoire et pouvant tourner sur un axe central, soit horizontalement, soit sous une inclinaison aussi grande qu'il sera jugé convenable; quant à l'émail en poudre, il est renfermé dans un tamis placé à la partie supérieure; enfin, une cloison en tôle permet, en s'abaissant, d'isoler le tamis et la table, supprimant ainsi toute communication avec l'atelier.

Mais c'est ici que se place une disposition très ingénieuse qui rend le saupoudrage pour ainsi dire mathématique; le tamis, en effet, est formé de trois bandes tamisantes séparées par des parties pleines, et chacune de ces bandes tamisantes est munie de frappeurs spéciaux et indépendants, le numéro de la toile ayant été choisi de telle manière que l'émail ne passe que là où les frappeurs correspondants agissent. On voit donc que, la baignoire étant placée sur la table, il suffira d'amener chaque surface, du fond ou des flancs, successivement sous les bandes tamisantes en donnant l'inclinaison nécessaire pour qu'elle occupe exactement tout le champ de la pluie d'émail dont chaque parcelle vient se coller sur la fonte chaude, à l'endroit où elle la rencontre; au moyen d'une disposition très simple, on fait marcher

du dehors les frappeurs et l'on recouvre ainsi successivement chaque partie de la baignoire, de la façon la plus régulière et sur une épaisseur proportion-

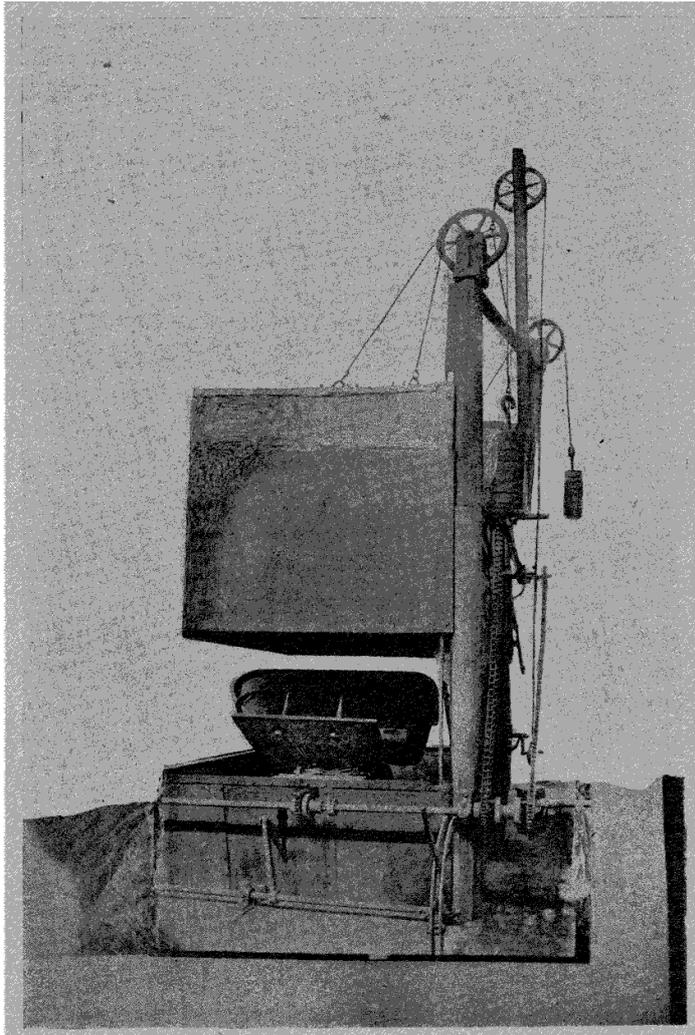


Fig. 2. — Machine à émailler.

nelle au nombre de coups de ces frappeurs. Tout se passe dans un espace clos; on a déterminé une fois pour toutes les inclinaisons successives à don-

ner à la table, le nombre de coups des frappeurs pour les diverses surfaces et, chaque fois, avec des ouvriers soigneux, travaillant à leur aise, sans hâte, sans incommodité, on a la certitude d'obtenir un travail régulier et identique à celui qui aura précédemment donné des résultats satisfaisants.

Lorsque l'on fait passer la baignoire du four sur la table ou inversement, on se conforme toujours à la règle de maintenir les ouvriers éloignés de cette source de chaleur si gênante. A cet effet, la fourche ayant saisi la baignoire dans le four, son chariot est amené sur une plaque tournante qui le dirige vers la table de saupoudrage. Mais il faut alors fixer rapidement cette baignoire au rouge sur la table de telle façon que celle-ci puisse prendre les inclinaisons les plus variées. Dans ce but, la baignoire est maintenue d'un côté par une ceinture portée par la table et épousant parfaitement sa forme tandis que, du côté opposé, sont disposées des équerres de serrage passant dans des coulisses pratiquées dans la table et sur lesquelles le poids de la baignoire, quand l'inclinaison se fait de ce côté, agit comme sur des loquets dont le talon coince dans le fond de la coulisse et produit un serrage complet. Il suffira donc qu'un ouvrier, armé d'une longue tige, les abaisse ou les relève, ce qui se fait presque instantanément, et fasse ensuite manœuvrer la cloison d'isolement.

L'émaillage ne se pratique pas en une seule fois, mais en trois fois, la baignoire étant reportée chaque fois dans le four pendant une ou deux minutes afin de fondre complètement l'émail en poudre qui s'était seulement ramolli au contact de la paroi; enfin, on termine par une dernière mise au four de cinq à six minutes, produisant une fusion complète; après refroidissement, la baignoire présente une couche d'émail parfaitement lisse et continue, sans coulures ni bavures.

L'exécution si simple de l'émaillage par saupoudrage est déjà digne d'attention, mais on a cherché, en outre, à n'employer que des émaux sans plomb ni arsenic, ne présentant aucun danger pour les ouvriers. Quoiqu'il soit admis que les émaux sans plomb offrent une résistance moindre au craquellement lors du refroidissement, on a cependant réussi à en composer une gamme très complète et nous avons pu constater que les produits finis, conservés dans les magasins, ne présentaient aucune trace de craquelure. M. Dupont nous a demandé de garder le silence sur la composition de ces émaux, mais il nous a autorisé à prendre des échantillons tant au cours des opérations d'émaillage que dans l'atelier de fabrication des émaux et nous avons pu y constater l'absence complète de plomb et d'arsenic. Il est à sup-

poser que l'application d'une première couche liquide permet d'établir une liaison intime entre le métal assez mince et les dernières couches mises à sec, dont le coefficient de dilatation a été soigneusement étudié. Si le refroidissement peut se faire sans craquelures, la surface restera lisse, à l'usage, parce que les baignoires ne sont jamais soumises qu'à des écarts de température très limités.

Lorsque l'émaillage est terminé, il suffit, au moyen d'un jet de sable, d'enlever la couche de kaolin qui préservait la surface extérieure et d'envoyer la baignoire à l'atelier de peinture où l'on pratique les décorations les plus variées, mais en proscrivant encore tout emploi de couleurs à base de plomb. Outre le désir de protéger la santé des ouvriers, on comprend facilement l'intérêt que l'on trouve à éviter la présence du plomb puisqu'il s'agit d'objets qui pourront être fréquemment exposés à des émanations sulfurées.

L'émaillage à la machine ne présente pas seulement de très grands avantages au point de vue de l'hygiène, mais il est plus rapide et plus économique. On peut, en effet, émailler de 25 à 30 baignoires en 24 heures au lieu de 12 par le procédé à la main.

Autrefois, l'équipe d'émailleurs d'un four était composée de cinq ouvriers et touchait 9 francs pour la façon d'une baignoire faite à la tâche; aujourd'hui, avec l'émailleuse mécanique, trois hommes suffisent et ont une rétribution de 1 fr. 90 par baignoire, ce qui leur procure un salaire quotidien supérieur.

L'émaillage, pour une baignoire qui mesure environ 2 mètres carrés de surface à émailler, exige 7 à 8 kilogrammes d'émail fournissant une couche totale de 1 millimètre d'épaisseur. Le prix de l'émail varie de 1 franc à 1 fr. 25 le kilogramme suivant les nuances.

La production annuelle de l'usine du Cateau, qui a été de 7500 baignoires en 1902, atteindra probablement le chiffre de 9000 baignoires en 1903, présentant une variété de 112 modèles.

On pourrait encore citer de nombreuses améliorations très intéressantes, en particulier pour la fabrication et la pulvérisation des émaux, mais ce serait trop s'écarter de l'opération qui était soumise à notre examen.

En résumé, on se trouve en présence d'une fabrication qui a supprimé complètement pour les ouvriers les difficultés et les dangers d'un travail très pénible, tout en donnant des produits remarquables, obtenus à un prix plus rémunérateur tant pour l'ouvrier que pour l'industriel. Votre Comité

des Arts chimiques, toujours heureux de constater les perfectionnements répondant à ce double point de vue, a l'honneur de vous proposer de féliciter M. P. Dupont des résultats obtenus et d'ordonner l'insertion au *Bulletin* du présent rapport, avec la description de la machine à émailler et les figures qui y sont jointes.

Signé : A. LIVACHE, rapporteur.

Lu et approuvé en séance le 13 mars 1903.

MACHINE A ÉMAILLER MÉCANIQUEMENT PAR SAUPOUDRAGE DE M. P. Dupont.

La machine se compose d'une chambre métallique constituée par une partie fixe A et une partie mobile verticalement B équilibrée par des contrepoids P. P. qui permettent de l'élever et de l'abaisser suivant les besoins. Trois côtés de la partie fixe A s'élèvent jusqu'à la hauteur de la table tournante dont ils enveloppent le mécanisme : le quatrième côté H est compris entre les deux montants CC; il occupe toute la hauteur de la machine constituant un fond commun aux deux parties A et B de la chambre. Les trois autres côtés de la partie mobile B servent d'enveloppe au tamis de la machine; ils sont solidaires d'un cadre métallique D supporté par des chaînes E qui passent sur les galets de renvoi F, soutenus par des supports G fixés sur les montants CC; chaque chaîne E est terminée par un contrepoids P. La chambre de la machine est fermée à sa partie supérieure par un toit I à deux pentes articulées au sommet.

Sur le toit I est disposé horizontalement un tamis J porté par deux supports K fixés aux montants C de la machine, ce tamis est formé de trois bandes tamisantes *a b c* séparées par des parties pleines. Au-dessus du tamis J sont disposés à 15 centimètres d'intervalle deux cadres *d* et *d'* divisés en compartiments carrés formés par des bandes plates longitudinales et transversales (voir fig. 4 et 8); ces deux cadres sont reliés entre eux à chaque angle des carrés des cadres par des tiges verticales *e*. Sur les tiges *e* des cadres agissent les frappeurs qui sont disposés de façon à faire vibrer le tamis à l'endroit seulement où il doit laisser tomber de la poudre d'émail, suivant la position occupée par la baignoire.

Pour cela, sur un côté du tamis sont placés cinq frappeurs *f* munis d'un marteau *g* et actionnés par un arbre à cames *h* disposé le long du tamis; les cames qui sont munies de galets *h'* pour adoucir les frottements, sont montées en hélices sur l'arbre *h* afin que les frappeurs viennent marteler successivement et sans arrêt, au-dessus de la bande tamisante *a*.

De l'autre côté du tamis est également monté un arbre à cames en hélice *i* qui agit sur des frappeurs *j k*, mais ceux-ci sont plus nombreux; de plus quelques-uns *j* sont plus longs que les autres *k*, et ne sont pas munis de marteau, ceux-là agissent au-dessus de la bande tamisante *b*, en même temps que les frappeurs *k* agissent sur la bande *c*. De cette manière, par un simple embrayage on actionne l'arbre *h* des frappeurs *f* ou l'arbre *i* des frappeurs *j* et *k* ou les deux en même temps, suivant la position de l'objet à émailler.

Fig. 1. — Vue d'arrière montrant la commande du tamis.

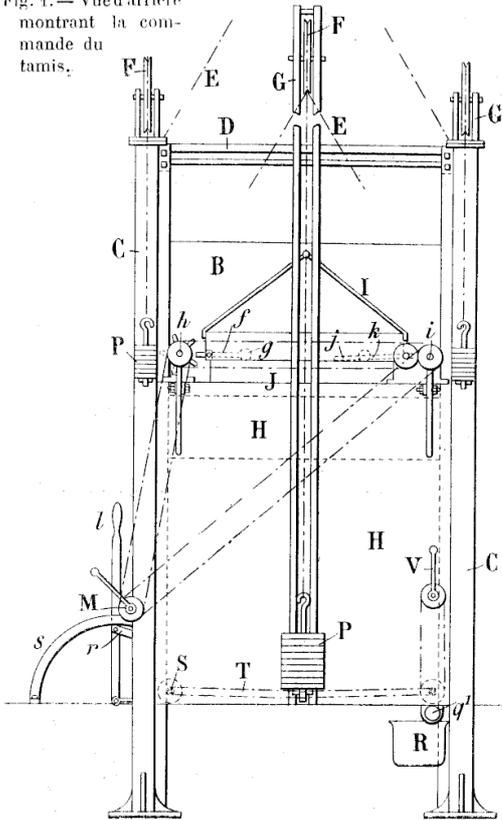


Fig. 2. — Vue de côté avec enveloppe relevée et la partie fixe enlevée pour laisser voir le mécanisme de la plaque tournante.

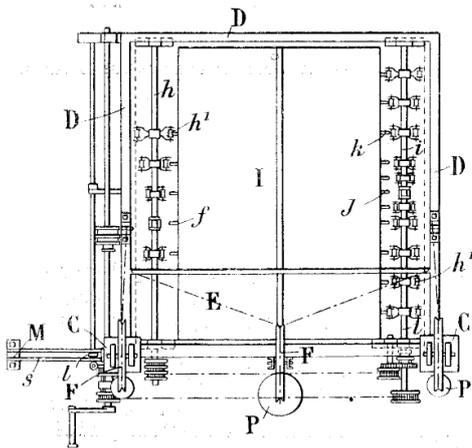
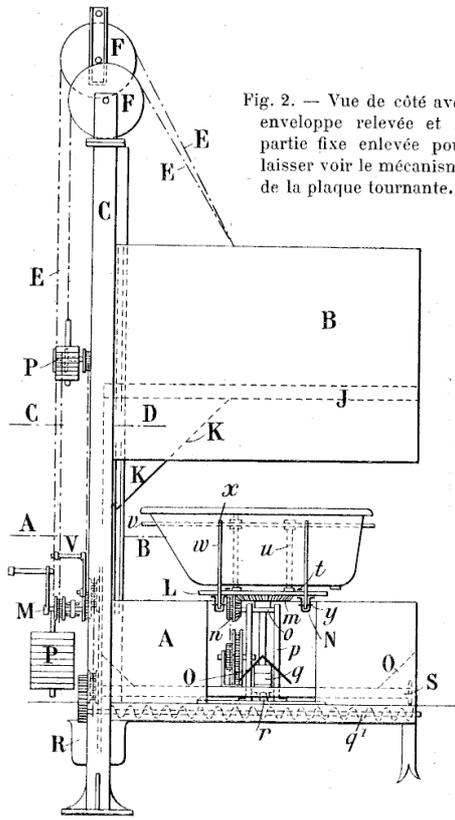


Fig. 3. — Plan.

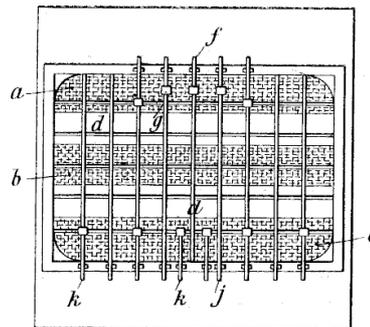


Fig. 4. — Plan du tamis.

Les arbres *h* et *i* sont commandés par des engrenages à chaînes et un renvoi de mouvement ou manipulateur *m* que l'on peut actionner à la main par des manivelles ou autrement.

L'objet à émailler, qui doit être tourné dans tous les sens, est disposé en dessous du tamis *J* sur une table tournante *L* solidaire d'une roue dentée *m* qui engrène avec

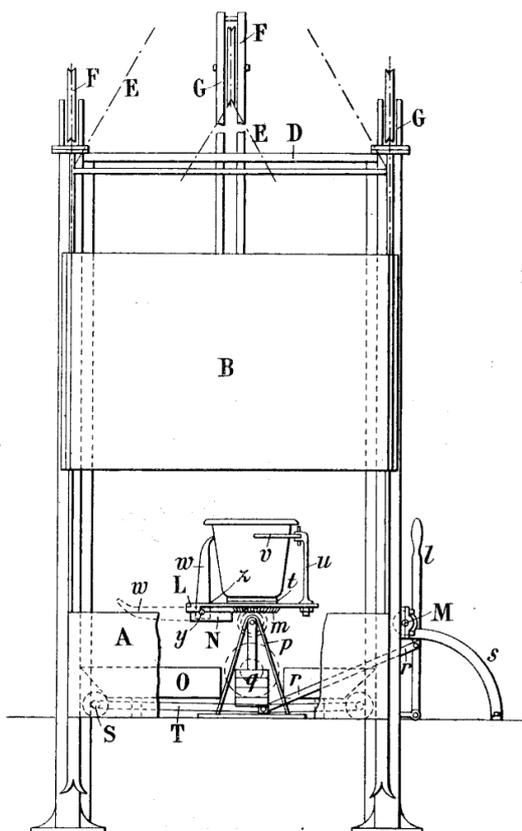


Fig. 5. — Vue de face en coupe partielle.

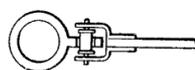


Fig. 6. — Coupe A B (fig. 2).

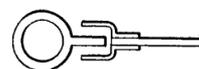


Fig. 7. — Coupe C D (fig. 2).

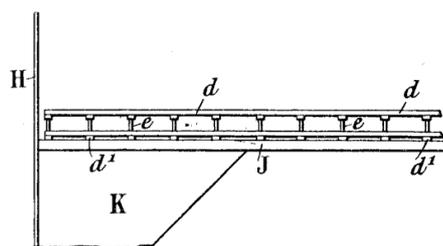


Fig. 8. — Détail des cadres au-dessus du tamis.

un pignon *n* actionné par l'intermédiaire d'engrenages à chaînes par le manipulateur *M* monté sur une des parois de la partie fixe *A* de la chambre. La roue dentée *m* tourne sur un pivot qui porte une traverse *o* terminée par des tourillons engagés dans les coussinets du support *p*; la traverse *o* porte une forte lige terminée par un contre-poids *q* qui équilibre l'objet placé sur la table. Le contre-poids est relié par un tirant *v* aboutissant au levier d'abatage *l* que l'on manœuvre pour incliner la plaque tournante suivant les besoins. A cet effet le manipulateur est muni d'un secteur gradué *s* percé de trous repérés, en regard desquels on amène le levier d'abatage que l'on

immobilise par l'introduction d'une cheville dans le trou du secteur correspondant à l'inclinaison que doit avoir la table après l'avoir fait tourner par suite de l'embrayage du pignon n afin que la poudre qui tombe du tamis soit répandue sur la partie qui doit être émaillée. Comme la table L doit être immobile à certains moments de l'opération du saupoudrage, on débraye pour cela l'engrenage n , la table cesse de tourner, et on embraye l'arbre à cames qui doit actionner les frappeurs.

Dans le cas où l'objet à émailler est une baignoire, elle est posée sur les supports t fixés sur la table et elle y est maintenue au moyen de deux porte-ceinture u maintenus par vissage et munis d'une ceinture v amovible épousant parfaitement la forme de l'objet à émailler, et par des loqueteaux ou équerre de serrage w qui passent dans des coulisses pratiquées dans la table. Par son poids, la pièce à émailler appuyant sur le bec x des loqueteaux, tend à les faire tourner autour de la goupille y ; mais le talon du loquet coince dans le fond de la coulisse N et la pièce à émailler se trouve fortement assujettie; pour la dégager une légère traction au moyen d'un crochet, au point z fait coulisser le loqueteau en arrière; comme le fond de la coulisse ne s'étend pas sur la longueur de celle-ci, le talon du loqueteau, en dépassant le fond n'a plus d'appui, le loqueteau retombe de lui-même et prend la position horizontale, indiquée en trait ponctué; la pièce émaillée peut alors être facilement retirée.

Afin que la poudre qui tombe à côté de la pièce à émailler ne soit pas perdue, on dispose dans le fond de la chambre des panneaux O placés obliquement, dont la pente conduit la poudre non utilisée sur deux toiles sans fin T qui passent sur des rouleaux horizontaux S dont un est actionné par une chaîne commandée par un engrenage monté sur l'axe de la manivelle V disposée à cet effet. L'émail est amené par les toiles sans fin dans un canal muni d'une vis sans fin qui le prend au fur et à mesure et le déverse dans un récipient spécial R .

La machine fonctionne de la manière suivante :

On place sur la table tournante la baignoire que l'on a préalablement chauffée au rouge dans le four, puis on l'assujettit solidement; la table occupe une position horizontale, la baignoire est placée comme il est représenté sur les figures 2 et 5 du dessin et on baisse la partie mobile B , ce qui rend la chambre complètement close.

On actionne alors le manipulateur M et on embraye seulement l'arbre à cames h qui met en mouvement les cinq frappeurs g ; une pluie fine d'émail tombe et garnit régulièrement le fond de la baignoire; pour cela, douze tours de manivelle, régulièrement comptés par le chef d'équipe, sont suffisants. On débraye la chaîne des frappeurs g , on incline le levier l qui fait basculer la table, et la baignoire est de ce fait amenée sous les frappeurs j et k .

On embraye la commande de la table et de l'arbre i sur lequel les cames sont disposées, de telle façon que les frappeurs ne peuvent distribuer qu'utilement l'émail. Quand un des bouts de la baignoire se présente, dans la rotation, à ce moment précis, les frappeurs du centre de la rangée seuls donnent, tandis que lorsqu'un flanc est présenté, la ligne des frappeurs a le temps d'agir pour le recouvrir de poudre d'émail. Cette opération nécessite juste trente-six tours de manivelle. Pour la dernière opération on débraye l'arbre i , on varie l'inclinaison de la table L , et après rembrayage, on actionne les frappeurs g , ceux-ci déversent l'émail juste sur le bord de la baignoire; pour cette opération, on arrête un instant la table tournante chaque fois qu'un des bords est venu se placer sous les frappeurs.

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT présenté par **M. Diligeon**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*,
sur le *changement de vitesse pour bicyclette*, de **M. Jean-Marie Roullot**,
mécanicien à Saint-Étienne, 61, rue Saint-Roch (Loire).

Ce changement de vitesse permet d'obtenir plusieurs vitesses tout en n'employant qu'une seule chaîne. Une roue à denture intérieure est fixée à la roue de chaîne, la roue à denture intérieure est montée avec roulement à billes sur une couronne mobile reliée au moyeu arrière par deux bielles et ces bielles sont montées sur le moyeu arrière de façon à leur permettre un mouvement transversal et un mouvement vertical d'oscillation.

Les pignons de changement de vitesse sont fixés sur l'axe du pédalier.

Sur la couronne mobile, est fixée une crémaillère que mène un pignon relié à la tringle de commande guidée par deux supports reliés au cadre de la machine.

En grande vitesse, le grand pignon fixé au pédalier est en prise avec la roue à denture intérieure. Pour passer à la 2^e vitesse, on fait manœuvrer le pignon commandant la crémaillère au moyen de la tringle de commande ; à ce moment, la couronne mobile subit un mouvement transversal qui amène la roue à denture intérieure dans le même plan que le pignon de 2^e vitesse ; cela fait, on appuie sur la tringle de commande et on fait ainsi descendre l'engrenage intérieur jusqu'à ce qu'il soit engrené avec le pignon de 2^e vitesse. Il sera fait de même pour les autres vitesses. Pour reprendre la grande vitesse, on opère en sens inverse, c'est-à-dire qu'on lève d'abord la roue à denture intérieure et qu'on effectue ensuite le mouvement transversal.

Ces déplacements verticaux et transversaux sont réglés par des rainures pratiquées sur la tringle de commande.

Avec ce changement de vitesse, on obtient également la roue libre, c'est-à-dire que la roue arrière continue à tourner quand les pédales sont

immobiles ; pour cela, il suffit de débrayer la roue à denture intérieure sans embrayer les pignons fixés au pédalier.

Ce changement de vitesse est simple et fonctionne bien, le montage en est facile et la visite des pièces ne nécessite aucun démontage. Le seul point qui pourrait être, à première vue, discuté, c'est que, dans le cas de trois vitesses, la chaîne ne se trouve dans l'axe du pignon arrière qu'à la 2^e vitesse ; dans la 1^{re} et la grande vitesses, elle se trouve déportée de 4 à 5 millimètres soit à gauche, soit à droite de l'axe du pignon arrière, mais il ne semble pas qu'il y ait lieu, en pratique, d'attacher quelque importance à cette objection.

Ce changement de vitesse a l'avantage sur ceux généralement employés, d'avoir trois vitesses tout en conservant l'attaque directe à la grande. En petite et moyenne vitesses, il n'est que deux engrenages en prises au lieu d'avoir, comme dans les autres systèmes, quatre satellites, une couronne à denture intérieure et un pignon de commande. Nous remarquons également dans l'appareil qui fait l'objet de ce rapport, que le système de commande des vitesses est moins compliqué que dans les appareils courants, lesquels sont munis d'embrayages divers qui, dans la pratique, ont donné de nombreux déboires.

En conséquence, votre Comité de Mécanique vous propose de remercier *M. Roullot* de son intéressante communication et de voter l'insertion du présent rapport au *Bulletin*, avec ses dessins nécessaires à l'explication de son appareil.

Signé : DILIGEON, rapporteur.

Lu et approuvé en séance le 13 mars 1903.

DESCRIPTION

Dans son application aux bicyclettes, ce système de changement de vitesse se compose de :
a, une roue d'engrenage dentée intérieurement et fixée à la roue dentée *J*, comme l'indique le dessin.

b, *b*¹, *b*², deux, trois ou un nombre quelconque de roues dentées de diamètres différents

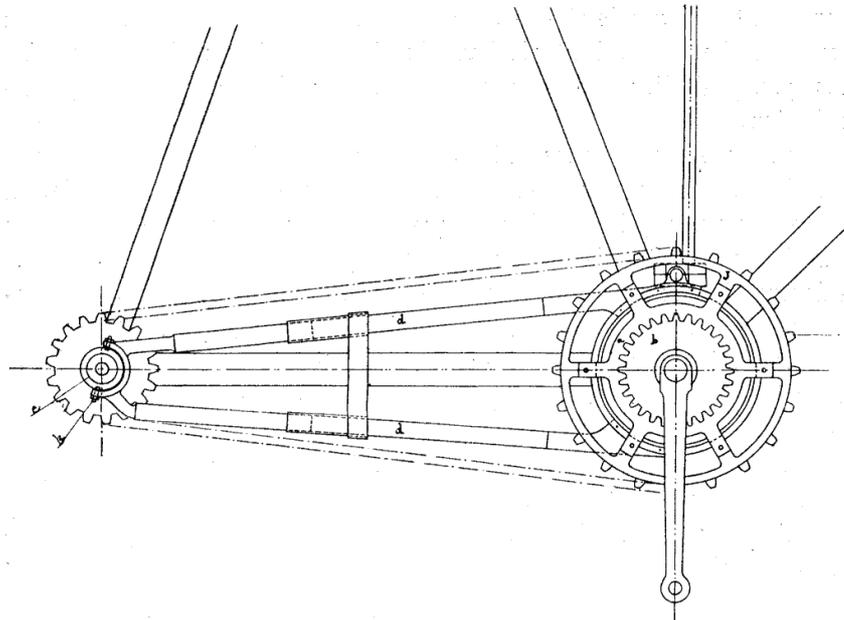


Fig. 1.

(fixées à l'arbre des manivelles), suivant que l'on veut obtenir, deux, trois ou un nombre quelconque de vitesses.

c, *c*¹, *c*², couronnes pour le roulement de l'engrenage intérieur *A*.

d, deux bielles de longueurs réglables et reliant la couronne *e* au moyeu de la roue *R*.

l, une rondelle mobile autour du moyeu de la roue *R*.

f, une crémaillère fixée à la couronne *e*.

g, une petite roue dentée, pour le déplacement transversal du changement de vitesse.

h, support guide de la crémaillère et de la roue.

i, poignée de manœuvre du changement de vitesse.

MANŒUVRE DU CHANGEMENT DE VITESSE

En marche à grande vitesse, la roue dentée *b* est engrenée avec la roue *a* comme l'indiquent les figures 2 et 3; cette roue *b* ne sert que d'embrayage, la roue *a*, et par suite la roue *J*, commandant la chaîne, faisant le même nombre de tours que l'arbre à manivelle.

Pour changer de vitesse, il faut que la roue *a* soit engrenée avec *b*¹ ou avec *b*².

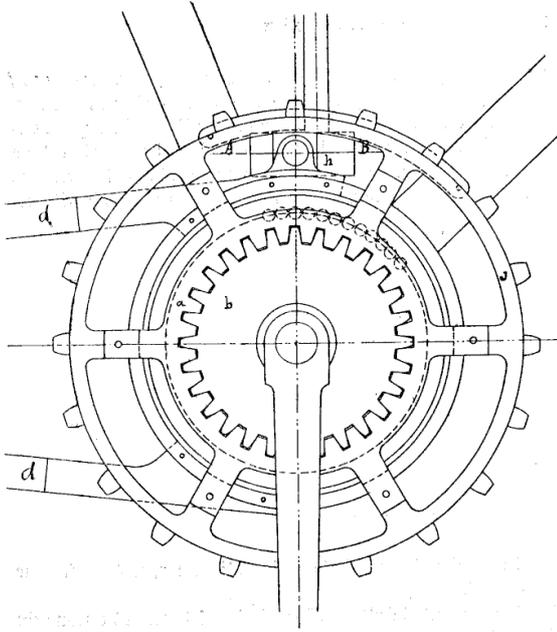


Fig. 2.

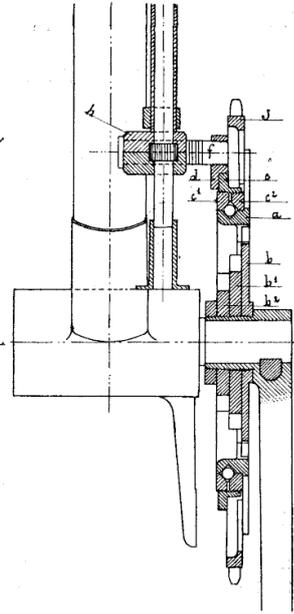


Fig. 3.

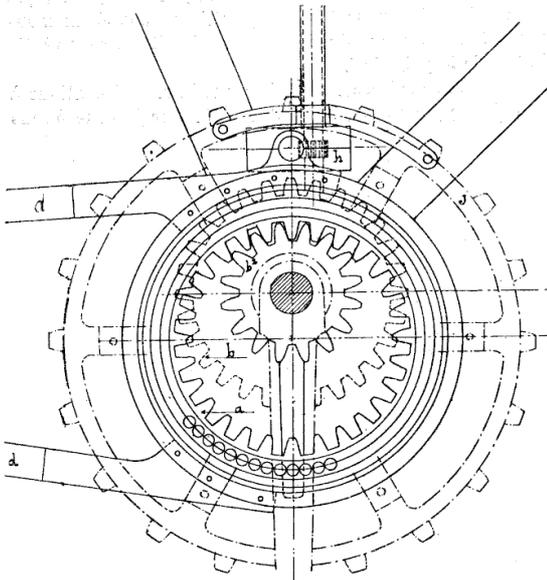


Fig. 4.

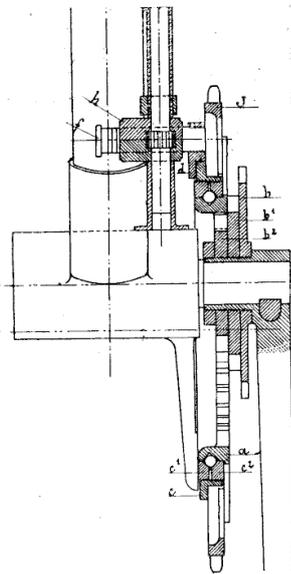


Fig. 5.

Pour cela on tourne l'engrenage g au moyen de la poignée i . Par suite, la crémaillère f se déplace ainsi que les pièces : a, c, c', c^2, j , jusqu'à ce que la roue a soit débrayée de la roue b .

Cela fait, en appuyant sur la poignée i , on fait descendre les mêmes pièces ainsi que l'engrenage g jusqu'à ce que la roue a soit engrenée avec la roue b^1 , alors l'appareil est en moyenne vitesse. En faisant une seconde manœuvre semblable on sera en plus petite vitesse, comme l'indiquent les figures 4 et 5. Pour ramener de petite à moyenne, et à grande vitesse,

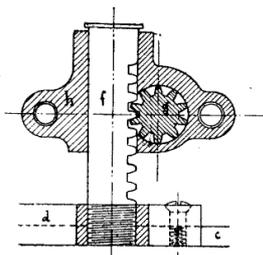


Fig. 6. — Coupe AB. (Fig. 2.)

on opérera en sens inverse, c'est-à-dire qu'on lèvera d'abord les pièces : a, c, c', c^2, j , pour effectuer ensuite le mouvement transversal.

Dans le mouvement vertical du changement de vitesse, les biellets d tournent autour du moyeu de la roue k au moyen de la rondelle e .

Dans le mouvement transversal, les biellets tournent autour des vis k ; on voit par là, que la chaîne j conserve sensiblement la même longueur tout en participant aux deux mouvements. Les déplacements verticaux et transversaux du changement de vitesse sont réglés par des rainures pratiquées dans la tige de la poignée i .

Avec ce système on obtient facilement la roue libre c'est-à-dire que la roue k continue à tourner quand les pédales sont immobiles; pour cela, il suffit de débrayer la roue b sans embrayer la roue b^1 .

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT présenté par **M. G. Richard**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*,
sur le *système de commande breveté par le galet enrouleur débrayeur* de
M. le capitaine **Leneveu**.

M. le capitaine Leneveu a présenté à la Société d'Encouragement, sous le nom d'enrouleur débrayeur pour transmissions par courroies, un dispositif dont le principe est bien connu, mais que M. Leneveu a rendu plus pratique, et dont il a multiplié les possibilités d'applications avantageuses par des perfectionnements ingénieux.

Le principe de cet appareil est l'utilisation de l'accroissement très rapide de l'adhérence des courroies sur leurs poulies à mesure que s'accroît l'angle d'enroulement θ , accroissement tel que, si l'on désigne par f le coefficient de frottement de la courroie sur la poulie et par t' et t_2 les tensions des brins mené et moteur de la courroie, le rapport des tensions $\frac{t_2}{t'}$ est donné par la formule $\log. \frac{t_2}{t'} = 0,00758 f\theta$.

Le dispositif de M. le capitaine Leneveu a pour objet d'augmenter considérablement l'angle d'enroulement au moyen d'un galet disposé de manière à appliquer la courroie sur presque toute la circonférence de la poulie menée; et, à cet effet, ce galet est monté, comme l'indiquent les figures 1 à 4, très près de sa poulie, sur un balancier pivoté, autant que possible, sur l'axe même de la poulie menée, et appuyant le galet sur le brin conduit, de manière que, en marche normale, ce brin conduit vienne, au passage du galet, presque au contact du brin moteur, mais sans jamais le toucher et passe sans fouettement sur sa poulie; on réalise ainsi des enroulements qui peuvent aller facilement jusqu'à 270° et même 300°, suivant la grandeur de la poulie menée.

Or, avec un enroulement θ de 270°, et d'après la formule donnée plus haut, en admettant, pour le coefficient de frottement f , la valeur de 0,4,

chiffre qui n'a, d'après les expériences de MM. Briggs et Towne (1) rien d'exagéré pour des courroies très souples, on trouve, pour le rapport $\frac{t_2}{t_1}$, la valeur 6,60 au lieu de 2,9 avec un angle de 150° , rarement dépassé dans les transmissions par courroies ouvertes ordinaires; et comme l'effort tangen-

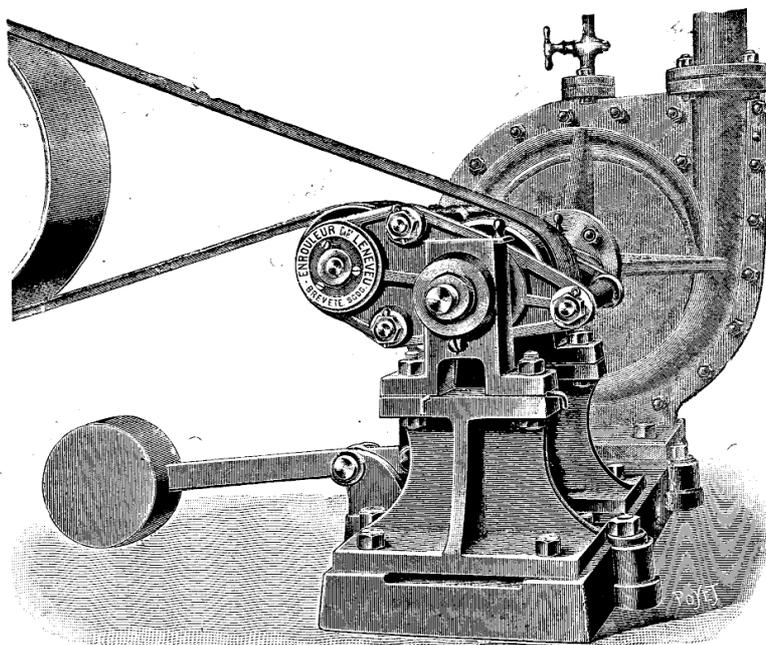


Fig. 1. — Enrouleur debrayeur Leneveu.

tiel exercé par la courroie est égal à la différence F des tensions t_2 et t_1 , on voit immédiatement que l'augmentation de l'angle d'enroulement permet, pour une même puissance à transmettre, de réduire très notablement la section des courroies (1).

(1) D'après la formule $t_2 = \left(\frac{F}{t_2 - t_1} \right) \frac{t_2}{t_1} = KF$, dans laquelle $F = t_2 - t_1$, on trouve, pour

$f = 0,4$ et $\theta = 150, 270$ et 300° . $K = 1,54, 1,18$ et $1,14$; mais, avec les grosses courroies, rapides, fouettantes et moins adhérentes que les petites courroies souples et bien guidées, on doit prendre $f = 0,2$, et il vient alors, pour ces grosses courroies, et avec $\theta = 150^\circ$, $K = 2,45$ au lieu de $1,18$, avec $f = 0,4$ et $\theta = 270^\circ$, de sorte que la section de la petite courroie pourra être, à vitesse et puissance égales, au moins deux fois plus faible que celle de la grosse.

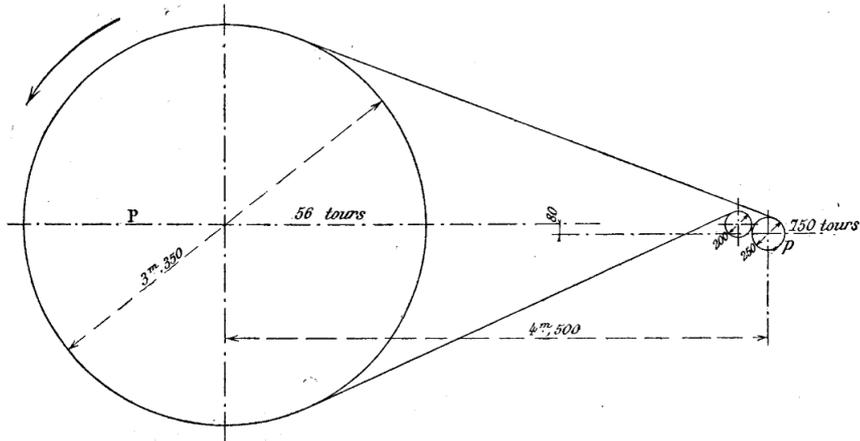


Fig. 2. — Enrouleur débrayeur *Leneveu* commandé d'une dynamo de 40 chevaux. Effort tangentiel, 300 kilog. Pression de l'enrouleur sur la courroie 3^m,500. Vitesse de la courroie 9^m,80 par seconde, épaisseur 3 millimètres, largeur 210 millimètres.

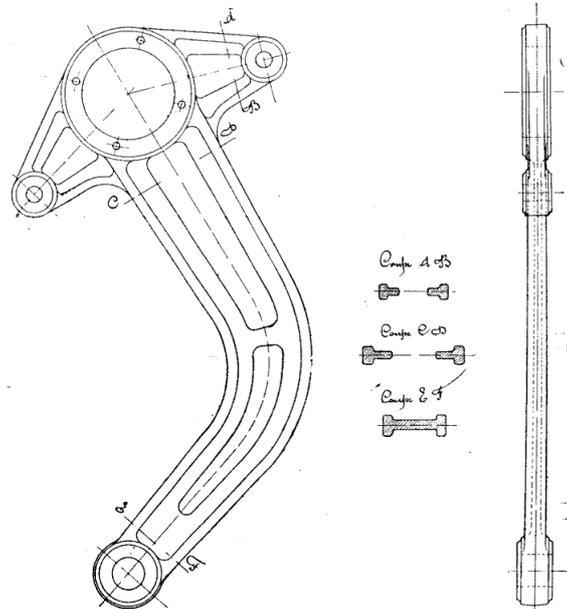


Fig. 3. — Enrouleur *Leneveu*, détail d'une flasque.

On pourra donc, de ce fait, réduire considérablement la section des courroies et, en outre, en raison de la souplesse de ces courroies réduites, les renvoyer, par le galet enrouleur, sous des angles assez vifs pour rapprocher de très près les axes des poulies motrice et menée, même avec des

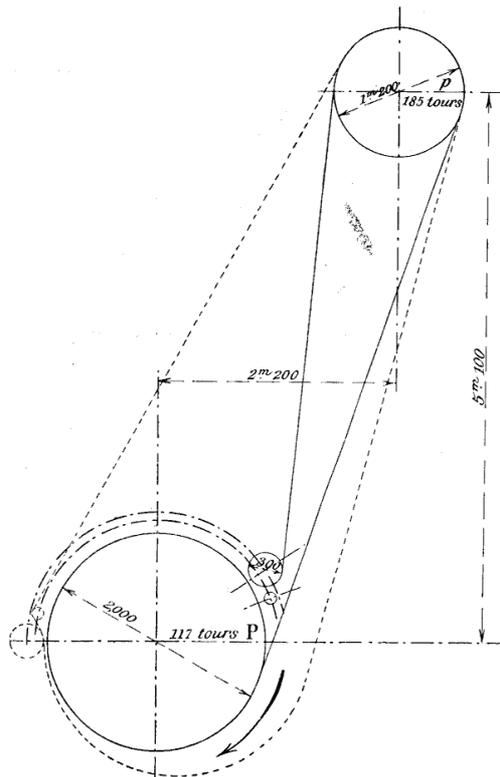


Fig. 4. — Enrouleur débrayeur *Leneveu* commande d'une transmission de 115 chevaux. Effort tangentiel 710 kil., vitesse de la courroie 12^m,25 par seconde, épaisseur 6 millim., largeur 400 millim.

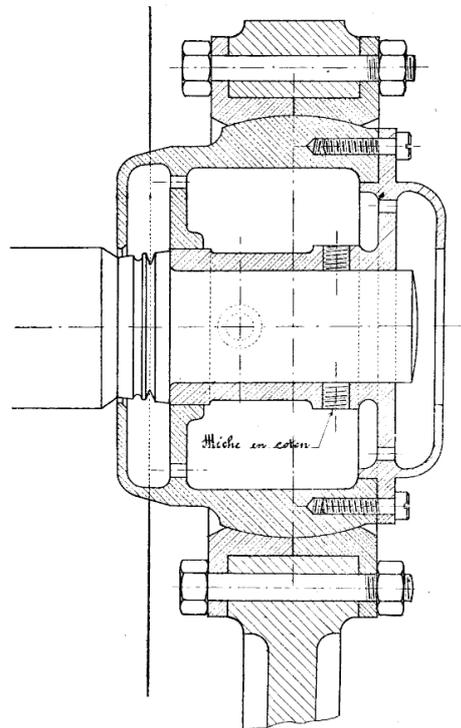


Fig. 5. — Enrouleur *Leneveu*, détail d'un palier.

différences de diamètres très considérables; réaliser, en un mot, des transmissions très courtes, directes, peu coûteuses, sans croisement des courroies, ni poulies de renvoi autres que le galet enrouleur.

Or, en raison de la grandeur de l'angle d'enroulement qu'il permet de réaliser et de la grandeur qui en résulte pour le rapport $\frac{t_2}{t_1}$, ce galet, qui n'est

pas un tendeur, ne doit exercer qu'une pression très faible sur le brin conduit, de sorte que son axe ne fatigue pas beaucoup; mais, comme il tourne très vite, il a fallu prendre, néanmoins, pour en assurer le graissage, des précautions spéciales. M. le capitaine Leneveu est parvenu à assurer ce graissage en enfermant les portées de l'arbre de ce galet, comme l'indique la figure 5, dans un palier graisseur breveté, fermé à un bout et forcément ouvert à l'autre. Mais, en ce point, à sa sortie du palier, l'arbre du galet est pourvu de gorges, indiquées à gauche de la figure 5, et qui sont disposées de manière à ramener constamment dans le palier l'huile qui tendrait à en sortir en glissant goutte à goutte le long de l'arbre. Cette solution très simple, appliquée, d'ailleurs, par M. Leneveu à d'autres mécanismes, pompes centrifuges, ventilateurs... remplit parfaitement son objet.

Il faut, en outre, remarquer que le montage du galet enrouleur sur un balancier permet de débrayer facilement la transmission en faisant basculer ce balancier : de là, le nom de débrayeur donné à ce mécanisme. Enfin, sans aller jusqu'au débrayage proprement dit, le galet enrouleur, tel que l'a disposé M. Leneveu, règle, entre certaines limites, automatiquement l'angle d'enroulement, qu'il proportionne de lui-même à l'effort à transmettre, car, dès la mise en train et pendant la marche, la courroie se tend et s'allonge, et le balancier, sous l'action de son contrepoids, s'incline davantage, en augmentant d'autant l'angle d'enroulement.

Le dispositif présenté par M. le capitaine Leneveu a donné des résultats satisfaisants sur de nombreuses installations allant jusqu'à des puissances de 140 chevaux, et il est susceptible de multiples applications, en raison de la facilité et de l'économie de son installation; nous vous proposons, en conséquence, de remercier M. le capitaine Leneveu de sa très intéressante communication et d'ordonner l'insertion du présent rapport au *Bulletin*, avec les figures nécessaires pour l'intelligence de la description.

Signé : G. RICHARD, rapporteur.

Lu et approuvé en séance le 13 juin 1902.

AGRICULTURE

UNE RÉGION DE CULTURE INDUSTRIELLE EN ALLEMAGNE. — LES FERMES A BETTERAVES
DE LA SAXE, par **M. Hitier**, *membre du Conseil*.

MESDAMES, MESSIEURS,

Jamais, peut-être, les publications, les enquêtes sur l'Allemagne n'ont été aussi nombreuses qu'à notre époque. Mais presque toutes ces études ont été provoquées par l'essor industriel et commercial de l'Allemagne à la fin du XIX^e siècle; essor qui tout naturellement a détourné l'attention du public des questions agricoles dont l'importance pour l'Allemagne paraissait être devenue tout à fait secondaire. « L'Allemagne n'est plus un pays agricole, chaque jour, et de plus en plus, elle se transforme en un État industriel; » telle est certainement la phrase que vous avez entendue ou que vous avez lue bien des fois à propos de l'Allemagne ces dernières années.

Aussi peut-il vous paraître étrange que ce soit d'une question agricole que je vienne vous demander la permission de vous entretenir ce soir en parlant de l'Allemagne.

L'essor industriel et commercial de ce pays a été sans aucun doute prodigieux. M. Georges Blondel n'a cessé de nous le signaler, de nous en montrer les phases diverses, dans ses conférences, comme dans ses ouvrages; et, M. de Rousiers dans un livre tout récent, *Hambourg et l'Allemagne contemporaine*, nous a apporté en quelque sorte la synthèse de ce développement économique de l'Allemagne en nous montrant les progrès du port de Hambourg, à la fois principal port d'exportation des marchandises provenant de l'Allemagne, et principal port d'importation des marchandises à destination de l'Allemagne, port dont le commerce avait atteint près de 9 milliards en 1900, et dont le tonnage des navires y entrant avait passé de 547 947 tonneaux en 1850 à 8 037 414 en 1900.

Importance de l'agriculture allemande. — Cependant l'agriculture allemande a encore aujourd'hui une importance quasi prédominante dans l'économie du peuple allemand : la valeur totale de la production agricole égalait encore sensiblement la valeur de la production industrielle même en 1900, c'est-à-dire, à l'époque de l'apogée de cette production industrielle.

Le Dr Traugott Mueller, à la fin de son mémoire sur l'Agriculture de l'Allemagne (son développement pendant le XIX^e siècle et son importance économique à l'heure actuelle), s'exprimait ainsi :

« Qu'une part encore plus grande de la population allemande trouve sa vie dans l'industrie, que l'Allemagne se développe de plus en plus et fournisse au monde entier les produits industriels, cela ne l'empêchera jamais, — non cela l'obligera précisément, au contraire, à rester un État agraire, c'est-à-dire un État s'efforçant de mettre de plus en plus en liberté la force créatrice du sol allemand. »

La question agricole dont, du reste, je viens vous entretenir ce soir, est une question d'actualité, qui se rapporte à un sujet de préoccupations très vives pour les agriculteurs des nombreuses régions de la France intéressées à la prospérité de l'industrie sucrière.

C'est plus de 1 million de tonnes de sucre que l'agriculture allemande exporte annuellement à l'étranger. Pendant la campagne (août 1900 au 31 juillet 1901), l'Allemagne a exporté 533 217 tonnes de sucre brut, 531 300 de sucre en pains et 16 017 tonnes d'autres sucres, soit au total 1 080 534 tonnes.

Ce sont les sucres allemands qui sont venus faire une si redoutable concurrence aux nôtres sur le marché de Londres.

Ce sont ces sucres allemands que certains de nos industriels et agriculteurs les plus clairvoyants craignent de voir, dans un avenir prochain, venir faire concurrence aux sucres français sur notre propre marché, après la ratification, par les États intéressés, des conventions de la conférence de Bruxelles.

Quelle est l'importance de la betterave à sucre en Allemagne? Comment y sont organisées les fermes à betteraves? quelle place tient dans ces exploitations la betterave? quelle est la part qui y est réservée aux autres plantes? quelles sont les méthodes culturales généralement suivies? quels rendements obtient-on? comment utilise-t-on dans ces mêmes fermes les résidus de la sucrerie, les feuilles de betteraves et les pulpes? etc. Autant de questions sur lesquelles j'ai essayé, dans un voyage en Saxe pendant les vacances dernières, de réunir le plus possible de renseignements précis auprès des principaux cultivateurs de betteraves eux-mêmes.

La région de la Saxe dans laquelle je me suis attaché à visiter le plus grand nombre de ces fermes à betteraves est la région à culture intensive par excellence de toute l'Allemagne. Dans les environs de Magdebourg, de Halle, d'Halberstadt et de Brunswick, etc., le sol est exceptionnellement riche, aussi tiens-je avant tout à bien faire remarquer que les modes de culture que l'on y suit, que les rendements que l'on y obtient ne doivent pas être généralisés aux autres régions de l'Allemagne.

Afin, du reste, de bien fixer la place qu'occupe la betterave à sucre dans l'en-

semble des cultures de l'Allemagne rappellerai-je ici quelques chiffres empruntés aux statistiques officielles et relatifs à la répartition du territoire allemand, mettant en regard la répartition du territoire de la France.

Catégories du territoire.

	FRANCE. hectares.	ALLEMAGNE. hectares.
Territoire total.	52 837 199	54 049 000
Superficie cultivée	44 241 770	49 627 751
Bois et forêts.	9 521 568	13 957 000
Prés naturels.	4 402 836	5 916 000
Herbages pâturés.	1 810 608	2 873 000
Terres labourables	25 771 149	25 771 000
Céréales	14 827 085	14 269 000
Blé.	7 166 459	2 045 000
Seigle	1 565 397	6 077 000
Orge.	851 413	1 627 000
Avoine.	3 805 490	3 906 000
Pommes de terre.	1 474 144	3 037 366
Betteraves à sucre 1899-1900.	279 361	428 142

Les territoires de la France et de l'Allemagne ont une étendue sensiblement égale, et on retrouve dans les grandes divisions de la répartition des différentes catégories de cultures beaucoup de ressemblances également.

Si la superficie totale cultivée est plus grande en Allemagne, c'est que les bois et forêts y couvrent plus de terrain ainsi que les prés et herbages pâturés, mais l'étendue des terres labourables serait exactement la même à quelques milliers d'hectares près. Parmi ces terres labourables, la proportion en céréales est aussi très voisine; où la différence entre l'Allemagne et la France, au point de vue de la répartition des cultures, est très nette, c'est lorsque l'on recherche la proportion relative occupée par les diverses céréales.

En France, le blé est la céréale principale, la principale même de toutes nos cultures, occupant 7 millions d'hectares environ; cette même céréale s'étend en Allemagne à peine sur 2 millions d'hectares. Le seigle au contraire, la céréale des pays pauvres, qui, en France, n'est plus semée que sur 1 million et demi d'hectares, occupe en Allemagne plus de 6 millions d'hectares, c'est la céréale principale.

L'orge, en Allemagne, a une superficie double de celle qu'elle occupe en France.

Enfin, les plantes sarclées ont en Allemagne beaucoup plus d'importance qu'en France, et c'est là une cause indiscutable des progrès de l'agriculture allemande en général.

Les pommes de terre sont cultivées sur plus de 3 millions d'hectares, au lieu

de 1 474 144 hectares en France, les betteraves à sucre occupaient en Allemagne (campagne 1899-1900) 428 142 hectares, 279 361 hectares en France pour la même campagne.

Le seigle d'une part, la pomme de terre de l'autre sont ainsi les plantes caractéristiques de l'Agriculture allemande.

L'étendue considérable, consacrée en Allemagne au seigle et à la pomme de terre, s'explique par la nature géologique des terrains qui forment la majorité des sols de culture en Allemagne.

Si vous regardez, en effet, une carte géologique de l'Allemagne, de la frontière de la Hollande à celle de la Russie s'étend sur plus de mille kilomètres de longueur, avec une largeur variable de 150 à 500 kilomètres, la vaste plaine de l'Allemagne du Nord; cette plaine appartient à ce grand ruban de terres basses qui constituent ce que M. de Lapparent a dénommé : *les Pays-Bas de l'Europe septentrionale*, zone homogène, qui correspond à la fois aux points où sont venus expirer les derniers efforts de la grande extension glaciaire et à ceux où les cours d'eau du versant européen septentrional ne cessaient de verser leurs alluvions.

Dans cette plaine le *sable* domine, mélangé de blocs erratiques, formant un sol souvent très pauvre, tantôt humide et couvert de marais, d'immenses tourbières comme celles de Bourlange, d'Aremberg, etc., tantôt un sol couvert de grandes landes comme celle de Lunebourg, qui s'étend sur plus de 270 kilomètres de long, et 70 de large, à l'Ouest de l'Elbe.

Là où ce sable est moins pauvre, des bois de pins, des champs de seigle et de pommes de terre en tirent le meilleur parti. La culture des engrais verts, du lupin en particulier, l'emploi des engrais potassiques ont contribué à modifier ces sols pauvres et à les améliorer.

Bois et forêts, prairies et herbages dominant sur les massifs montagneux de l'Allemagne centrale comme aussi sur les zones préalpines, le Flysch et les dépôts glaciaires de la Bavière, comme aussi sur la Forêt-Noire qui, du reste, rappelle les Vosges (1).

Le trias occupe en Allemagne des surfaces beaucoup plus grandes qu'en

(1) Comme le dit M. Risler dans sa *Géologie agricole* : « En général le pays de Bade et le Wurtemberg représentent à peu près l'Alsace et la Lorraine transportées sur la rive droite du Rhin. Des deux côtés du fleuve tout est symétrique, même latitude géographique, surfaces presque égales, reliefs semblables dus à des soulèvements contemporains et parallèles, mêmes formations géologiques avec les mêmes roches et par conséquent avec les mêmes sols. » Au Nord du Wurtemberg, dit encore M. Risler on retrouve les marnes irisées et le Muschelkalk de la Lorraine; enfin, dans le sud-est, les plateaux jurassiques de l'Alb séparent le royaume de Wurtemberg de celui de Bavière comme les trois étages de la formation jurassique qui s'échelonnent de Nancy à Bar-le-Duc séparent la Lorraine de la Champagne et des terrains tertiaires du bassin de la Seine.

France : de la Souabe, il s'étend à travers la Franconie, jusqu'aux montagnes du Harz remplissant tout l'intervalle compris entre les terrains de transition des bords du Rhin et le Thuringerwald. Or, le sol formé par les divers âges du trias est encore, lui aussi, pauvre dans son ensemble, sauf certains plateaux du Muschelkalk.

Les terres, naturellement fertiles, sont donc rares en Allemagne. Avec l'Alsace, l'Allemagne aujourd'hui possède l'un des meilleurs sols agricoles qui soient au monde : le lœss de la plaine d'Alsace, ce limon calcaire si fin, d'une épaisseur toujours de plusieurs mètres et dans lequel toutes les plantes prospèrent : vignes, prairies, houblon, céréales, légumes, etc.

Il faut encore citer, parmi les terres les plus fertiles de l'Allemagne, certaines terres d'alluvions des rives du Danube en Bavière; les *Brüche*, alluvions fluviales asséchées le long des grands cours d'eau de la plaine allemande du Nord. La *goldene aue*, la plaine d'or formée par les alluvions des affluents de l'Unstrut et de la Saale entre le Harz et le Thuringerwald, et, enfin et surtout, les *Börde* comprenant sous ce nom non seulement les grasses terres des bords mêmes de l'Elbe en aval de Magdebourg, mais toute cette bande de terres de labour qui longe le pied des hauteurs de l'Allemagne centrale, la plaine qui s'étend au pied du Harz et où se sont élevées les villes de Hanovre, de Brunswick, Magdebourg, Halberstadt, Halle, etc.

Relevés contre le massif de roches primaires du Harz affleurent dans les collines subhercyniennes les terrains géologiques les plus variés appartenant au trias, au jurassique, au crétacé. Ces mêmes terrains forment le sous-sol, à une profondeur souvent très grande, il est vrai, des terres en culture de cette région de la Saxe. Un épais manteau de lœss les sépare d'une couche de 50 centimètres à 1 mètre de terre noire qui y forme le sol arable proprement dit.

Le développement de la culture de la betterave à sucre en Allemagne. — Jusqu'en 1870, c'est sur ces terres seulement, dans la province de Saxe, le Brunswick et l'Anhalt que l'on trouvait la culture de la betterave; depuis, elle s'est étendue jusque dans les provinces orientales de la Prusse occidentale et orientale, de Posnanie, de Mecklenbourg et de Poméranie sur des sols de qualité moindre (1).

	1870/71	1899/1900
Surfaces cultivées en betteraves.	110 285 h.	428 142 h.
Quantités de betteraves traitées.	2 250 918 t.	12 150 042 t.
Production de sucre brut.	186 422 t.	17 222 429 t.
Importation de sucre.	219 753 t.	1 200 t.
Exportation de sucre.	14 275 t.	1 008 037 t.
Consommation totale.	221 921 t.	757 098 t.
Consommation par tête.	5 ^{kg} ,5	13 ^{kg} ,78

(1) Dans les provinces orientales de la Prusse occidentale et orientale, de Posnanie, Mecklenbourg et Poméranie, la culture de la betterave, introduite plus tard, se fait sur des sols de qualité moindre, mais les fabriques nouvelles ont été établies avec les perfectionnements les plus récents et en vue de traiter de plus grosses quantités de betteraves.

Causes de l'extension de la culture de la betterave. — L'extension de cette culture de la betterave à sucre en Allemagne durant les trente dernières années du XIX^e siècle, a eu pour causes moins peut-être les avantages directs, la grosse valeur argent que produisait la betterave, que les avantages indirects de la culture de la betterave industrielle : Introduction d'une plante sarclée dans l'assolement, production d'un fourrage d'une grande valeur, amélioration de l'entretien du bétail, augmentation du fumier produit.

Ce sont là des faits que l'on oublie trop souvent, que l'on passe sous silence trop volontiers dans certains milieux, dans certaines publications où l'on semble avoir pris à tâche de réduire l'importance vraie de la culture de la betterave. Si on se contente, en effet, pour l'Allemagne comme pour la France, de prendre les surfaces emblavées en betteraves et de les rapprocher des surfaces occupées par les autres plantes, on trouve pour cette culture une importance relative bien faible. *Les 428 442 hectares cultivés en betteraves à sucre en Allemagne représentent 1,5 p. 100 seulement de l'étendue des terres cultivées.* Mais, dit un des agronomes les plus autorisés, le D^r Traugott Muller, « il ne faut pas juger de l'importance économique et agricole de cette culture sur sa seule étendue ». Les agriculteurs allemands apprécient la betterave comme l'apprécient les agriculteurs français : et, ces lignes écrites en Allemagne ne reproduisent-elles pas les mêmes considérations que ne cessent de faire valoir en France les hommes les plus compétents en la matière :

« L'extension prise par l'industrie sucrière a puissamment contribué à pousser l'agriculture dans la voie du progrès. La culture intensive de la betterave a donné naissance à des pratiques nouvelles ou meilleures ; l'approfondissement du sol s'est généralisé ; on a apporté plus de soin aux travaux d'ameublissement ; on a pratiqué le semis en lignes et des binages répétés ; on a employé de plus en plus et de toutes façons les engrais chimiques ; la culture betteravière a permis de développer l'engraissement du bétail et, par suite, elle a amené la sélection des races plus précoces et plus faciles à engraisser, en même temps qu'elle obligeait à employer des animaux de trait plus lourds et plus forts. L'agriculture y a trouvé, en tout cas, une source persistante d'impulsions, d'observations nouvelles et de perfectionnements. »

La région agricole de la Saxe. — Pour juger, du reste, de l'influence exercée sur les progrès de l'agriculture par la betterave, visitons quelques-unes des fermes à betteraves dans cette région de la Saxe dont je vous parlais plus haut, c'est là où l'industrie sucrière a pris naissance en Allemagne, où elle s'est le plus développée, où la betterave est le mieux cultivée sur le sol le plus favorable, et où, enfin, se sont établis à Quedlinbourg, à Kleinwanzeleben, à Schlanstedt, etc., les principaux producteurs de graines de betteraves de l'Allemagne.

Qualités physiques et chimiques des terres. — Précisons les qualités physiques et chimiques des sols qui portent les cultures de betteraves dans cette région.

Visitant à Müchenhof, près de Quedlinbourg, la propriété du Dr A..., celui-ci me mena sur une sorte de mamelon dominant la plaine, et de là il me montrait avec fierté le paysage : à l'ouest le massif boisé du Harz fermait l'horizon, tandis que, ailleurs, de tous côtés, vers le Nord, le Sud, l'Est s'étendait une vaste plaine, découpée à peine par quelques larges plis et ondulations de terrains. Partout, dans les directions d'Halberstadt, Magdebourg, etc., se dressaient les cheminées de nombreuses sucreries : « Vous voyez cette belle plaine, me disait le Dr A..., et les riches cultures qu'elle porte, ce sol arable sur une épaisseur de un mètre y est formé d'un terreau noir, et au-dessous le lœss atteint trente mètres. » C'était exagéré, sans doute, mais cependant, à Quedlinbourg, à Schlanstedt, à Halle, etc., j'ai relevé avec soin dans les tranchées l'épaisseur des couches du sol et du sous-sol. Partout j'ai retrouvé ce terreau noir dont me parlait le Dr A..., avec une épaisseur de 30 à 60 centimètres, reposant sur le limon jaune désigné sous le nom de lœss.

M. Aubin, le savant directeur du laboratoire de la Société des agriculteurs de France, dont la compétence en ce qui regarde en particulier les analyses des terres est universellement reconnue et appréciée, a bien voulu faire les analyses de différents échantillons de ces terres, sol et sous-sol, rapportés d'Allemagne.

Analyses de terres prises dans diverses exploitations de la Saxe.

Analyse chimique.

LIEUX DE PROVENANCE.	AZOTE.	ACIDE PHOSPHORIQUE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE.	SOUDE.	OXYDE DE FER.	ACIDE SULFURIQUE.
	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
Schlanstedt	0,2601	0,1548	2,0664	0,5800	0,4199	0,0087	2,9605	0,1372
Lauchstädt. { Sol	0,1387	0,1159	3,5000	0,3100	0,2924	0,0239	2,2320	0,0686
{ Sous-sol	0,0462	0,0864	7,864	0,0750	0,2463	traces	1,7030	0,0480
Quedlinbourg	0,1618	0,1168	0,6160	0,3950	0,2463	traces	2,6195	0,0651
Müchenhof. { Sol	0,2138	0,1292	2,6880	0,2750	0,3570	0,0327	2,4490	0,0823
{ Sous-sol	0,0378	0,0322	0,5320	0,3600	0,4964	0,0087	3,0225	0,0411
Hedersleben.	0,1271	0,1871	1,7220	0,2850	0,4216	0,0414	2,4025	0,0631

Analyse physico-chimique.

PROVENANCES.	TERRE, FINE.	CAIL- LOUX.	SABLE SILLI- CEUX.	ARGILE.	CAL- CAIRE.	DÉBRIS ORGA- NIQUES.	HUMUS.	EAU.	TOTAL.
Schlanstedt, sol.	99,80	0,20	77,08	12,65	3,69	3,52	1,46	1,40	100
Lauchstädt. { Sol.	99,90	0,10	78,50	10,80	6,25	1,65	0,38	2,32	100
{ Sous-sol.	100,00	0,00	74,35	5,40	13,94	0,85	0,00	5,51	100
Quedlinbourg, sol.	98,80	1,20	78,50	15,75	1,10	2,40	0,34	0,71	100
Müchenhof. { Sol.	98,00	2,00	79,30	8,80	4,80	3,05	0,22	1,83	100
{ Sous-sol.	99,80	0,20	74,35	23,15	0,95	1,12	traces	0,23	100
Hedersbelen, sol.	96,50	3,50	81,20	8,35	3,08	2,70	0,12	1,05	100

Ces terres, au point de vue chimique, sont très riches et contiennent les divers éléments : azote, chaux, acide phosphorique, potasse, en proportion à la fois très élevée et très heureusement équilibrée. Une telle proportion ne se rencontre que tout à fait exceptionnellement dans une terre arable.

Les qualités physiques de ces terres ne sont pas moins remarquables. Composées exclusivement d'éléments fins, elles contiennent l'argile et l'humus en telle quantité que, d'après M. Aubin, elles offrent *l'état de cohésion le plus parfait tout en présentant l'ameublissement le plus complet*.

A ces qualités physiques et chimiques s'ajoute cette autre qualité fondamentale d'une bonne terre : *la profondeur* de ce terreau noir à 50 centimètres d'épaisseur, parfois plus, et repose sur un sous-sol beaucoup plus épais et aussi de bonne composition.

C'est donc sur un sol que l'on pourrait qualifier d'*idéal* que dans cette région de la Saxe (Halle, Halberstadt, Magdebourg) on cultive la betterave.

C'est là un facteur naturel de toute première importance et dont, croyons-nous, on n'a pas toujours suffisamment fait ressortir la supériorité lorsqu'on a cherché à établir les conditions économiques de la production de la betterave en Allemagne.

Nous allons du reste en voir bientôt toutes les heureuses conséquences pour l'agriculteur appelé à cultiver un tel sol.

La diversité des cultures dans les fermes à betteraves de la Saxe. — Les fermes à betteraves sont la majorité dans cette région; mais il suffit de parcourir le pays, même rapidement, pour remarquer que la culture dans ces fermes est, somme toute, beaucoup plus variée que celle que nous trouvons en France dans les fermes, que l'on qualifierait aussi de fermes à betteraves, du Pas-de-Calais, de l'Aisne, de la Somme, de Seine-et-Marne. Dans beaucoup de celles-ci, en effet, en France, la betterave est l'unique plante sarclée; le blé et l'avoine

les seules céréales; ces trois plantes occupent ainsi à elles seules tout le terrain, avec la luzerne toutefois cultivée sur une faible étendue, en dehors de l'assolement.

En Saxe il en est différemment. La betterave occupe une place relativement plus restreinte, la pomme de terre dans toutes ces fermes est aussi une plante sarclée très cultivée; dans quelques-unes même on a encore conservé le colza, comme plante industrielle.

A côté du blé et de l'avoine, l'orge surtout et le seigle tiennent une large place.

Les pois, ailleurs les fèves, sans parler des cultures dérobées comme engrais verts, se retrouvent aussi dans toutes ces exploitations sur une étendue importante.

Répartition des différentes cultures dans les exploitations de :

	Müchenhof. hectares.	Hedersleben. hectares.	Schlanstedt. hectares.	Lauchstädt. hectares.
Betteraves sucrières	23	109	230	112
— porte-graines	40	4	30	»
Blé	120	197	200	100
Avoine	50	62	60	37
Orge	5	71	35	37
Seigle	60	»	40	20
Pommes de terre	50	14	130	42
Pois	50	24	30	37
Plantes médicinales	40 prairies	124 prairies	103 luzerne	50
Epinards (graines)	4 sainfoin	22	» prairies	30
Colza	10	»	» maïs	3
	<hr/> 424	<hr/> 627	<hr/> 860	<hr/> 468

Avantages de cette diversité des cultures. — Cette diversité des cultures présente de grands avantages surtout à un moment de crise, comme toute, comme celui que traverse la culture de la betterave, à une époque où l'agriculteur ne sait pas s'il pourra continuer cette culture, et, dans tous les cas, ne sait dans quelle proportion plus ou moins forte il devra la restreindre.

Dans ces exploitations allemandes, dont ce tableau indique la répartition des emblavures, diminuer la surface en betteraves de 10 à 20 pour 100 n'entraînera pas une modification très sensible dans le système de culture suivi jusque-là.

L'assolement de ces fermes à betteraves. — L'assolement dans ces fermes en réalité est libre. Tel le déclaraient invariablement tous les agriculteurs auxquels je posais la question. Toutefois on peut le ramener dans nombre de cas à un assolement de 6 ans comprenant :

2 années de betteraves ;
2 années de céréales d'hiver ;
2 années de plantes de printemps, pommes de terre, pois, avoine ou orge.
Par exemple : betteraves en 1^{re} année, suivies de pommes de terre la 2^e année ;
3^e année, céréales d'hiver ; 4^e année, betteraves ; 5^e année, céréales de printemps
ou pois, suivis en 6^e année d'une céréale d'hiver.

La betterave n'est jamais suivie d'une céréale d'hiver comme elle l'est en France (le blé), mais d'une céréale de printemps, avoine ou orge ; cela tient

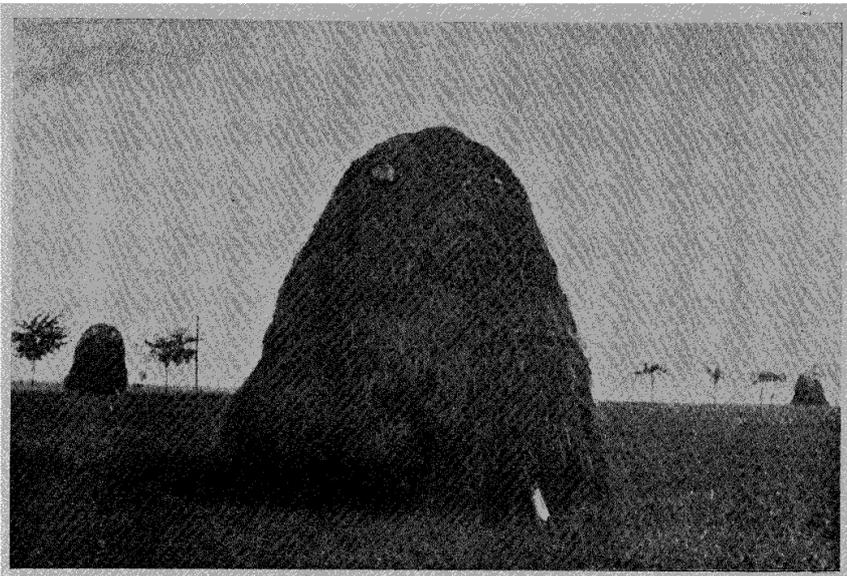


Fig. 1. — Le séchage des foins et luzernes sur les cavaliers dans la plaine de la Saxe.

surtout, nous semble-t-il, à la pratique, très répandue en Allemagne, de mettre en silos (2 par morgen), sur le champ même où elles avaient poussé, les betteraves une fois arrachées, on ne les transporte à l'usine que pendant l'hiver au fur et à mesure des besoins de celle-ci. Sous le climat de la Saxe, les céréales d'hiver, blé, seigle, doivent se semer de bonne heure ; or les champs ne sont pas libres assez tôt après betteraves, ils le sont, au contraire, après pois ou pommes de terre.

L'assolement allemand des fermes à betteraves a été très souvent opposé à l'assolement français des exploitations analogues : les Allemands, disait-on, ne fument pas la betterave directement, ils la font après un blé qui, lui, a reçu le

fumier de ferme. Si cet assolement a été suivi il y a quelques années, il ne l'est plus guère à l'heure actuelle. Les agriculteurs dont j'ai visité les cultures fument au fumier de ferme, toujours les champs destinés à la pomme de terre, et la plus grande partie des champs à semer en betteraves, ajoutant dans tous les cas de grosses quantités d'engrais chimique pour ces betteraves.

Fumure de la betterave à sucre. — Voici une fumure pour betteraves à sucre que j'ai notée plusieurs fois, à l'hectare : 20 à 30 000 kilogrammes de fumier, 400 à 500 kilogrammes de superphosphate, 400 à 500 kilogrammes de nitrate de

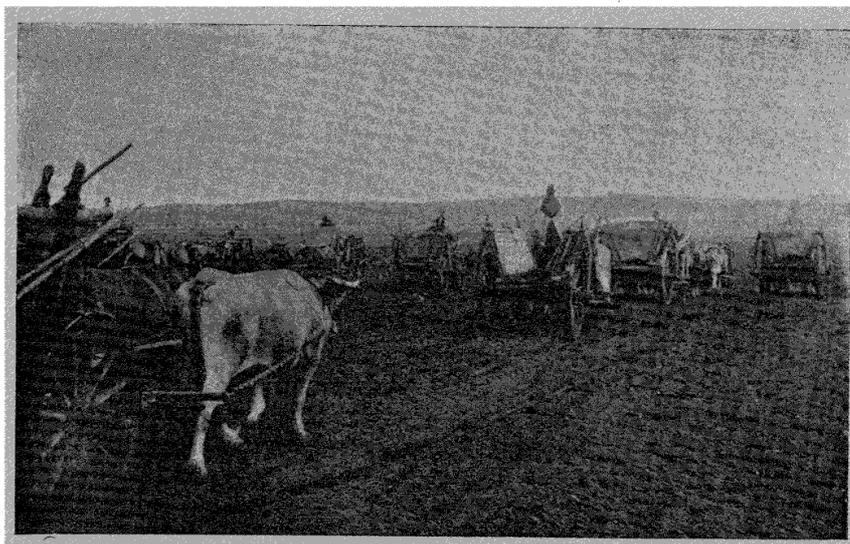


Fig. 2. — Un convoi de chariots, venant d'apporter le fumier dans un champ destiné aux betteraves.

soude, répandus en deux fois, 400 kilogrammes étant semés lors du premier binage.

Les quantités de fumier sont plus faibles que celles que nous employons en France pour la betterave, mais il est à remarquer que le fumier est partout, dans ces fermes, un fumier très fait. On conserve, moins qu'en France, le fumier sous forme de tas volumineux dans la cour de ferme. On le charrie, pendant l'année, sur le bord des champs où il doit être employé à l'automne; ces tas sont toujours recouverts d'une couche de terre de 30 à 40 centimètres afin d'éviter les pertes d'azote du fumier (1); autour on trace même une rigole pour maintenir le purin au pied du tas de fumier.

(1) Le soin apporté au fumier est général dans toutes les exploitations que nous avons visitées. Dans toutes les fermes, le tas de fumier, dans la cour même, est tassé régulièrement

On ne se contente pas, du reste, du fumier et des engrais chimiques ; dans beaucoup de cas les terres, destinées aux betteraves, portent une culture dérobée de légumineuses enfouies comme engrais verts à l'automne.

Cultures dérobées d'engrais verts. — Nous avons vu dans toutes ces fermes, au mois d'août, les premiers champs de seigle ou d'orge, aussitôt, sinon récoltés, du moins fauchés et liés (les bottes dressées en lignes) ensemencés en engrais verts. Cette pratique si répandue des cultures dérobées comme engrais verts, frappe d'autant plus qu'elle est suivie ici sur des sols très riches, ce ne sont pas les lupins, bien entendu, que l'on sème dans de tels terrains, mais des mélanges



Fig. 3. — Le semis des féveroles comme engrais verts : types des bœufs bavarois.

de féveroles, pois et vesces. A Lauchstädt, par exemple, on sème 250 kilogrammes de ce mélange dans la proportion de 60 de féveroles, 20 de pois, 20 de vesces. C'est à la suite de nombreuses expériences de recherches poursuivies pendant plusieurs années, et entre autres à la station de recherches de Lauchstädt, que ces mélanges de *féveroles, pois et vesces* ont été adoptés comme permettant d'arriver à la fixation d'azote la plus élevée (fig. 3).

Ce sont surtout les plantes racines : betteraves, pommes de terre, qui profitent de ces engrais verts.

Les céréales semées après les plantes racines ne reçoivent pas de fumier, par des Bœufs. On trouve de même, dans toutes les étables, les rigoles creusées derrière les animaux et destinées à recueillir les urines, garnies de mousse de tourbe pour retenir toutes les urines et éviter les pertes d'ammoniaque.

mais on leur applique toujours des engrais chimiques, superphosphate et nitrate; le nitrate surtout en quantité qui peut paraître élevée : 200 kilogrammes par hectare, ce qui entraînerait certainement la verse de ces céréales si on ne choisissait pas les variétés les plus résistantes et si on ne multipliait pas autant binages et sarclages de ces céréales pendant le cours de leur végétation.

Le labourage à vapeur. — Dans le tableau qui indique la répartition des différentes cultures de quelques fermes de la Saxe se trouve inscrit le nombre des têtes de bétail de trait, chevaux et bœufs. Ce nombre est restreint; à S. pour 880 hectares, 104 bœufs et 46 chevaux; à L. pour 400 hectares, 25 chevaux et 55 bœufs; ce serait certainement insuffisant pour des exploitations à culture aussi intensive si une grande partie des labours n'y était effectuée par les charrues à vapeur. Du moins, je ne sache pas que l'on ait assez insisté en France sur cet emploi très fréquent du labourage à vapeur dans les fermes à betteraves de l'Allemagne.

En 1867, existait en Allemagne, un seul matériel de labourage à vapeur; en 1882, la statistique donne le chiffre de 836 charrues à vapeur et en 1895 de 1 698 comme en usage dans les fermes allemandes.

À côté de propriétaires ou fermiers exploitant une grande étendue de terres et ayant trouvé avantage à posséder leur matériel de labourage à vapeur, existent beaucoup plus nombreux des entrepreneurs de labourage à vapeur, comme nous avons en France des entrepreneurs de battage. Ils vont de ferme en ferme exécutant les labours à forfait à tant par hectare.

La grande étendue des exploitations, dont les champs, en outre, sont bien agglomérés, réunis en très grandes parcelles; la surface presque horizontale du terrain, la facilité avec laquelle le sol se travaille par suite de sa composition physique, telles sont les raisons principales qui ont favorisé ce développement du labourage à vapeur dans ces régions de l'Allemagne (fig. 4).

Grâce à lui, l'agriculteur allemand peut faire les labours d'une façon économique, rapide, et toujours en temps voulu.

Je dis d'abord d'une façon *économique* :

À Lauchstädt, par exemple, on paie à un entrepreneur, pour un labour de 12 zolls ou de 30 centimètres de profondeur, 7 marks par morgen, soit 35 francs par hectare. L'agriculteur n'ayant qu'à approvisionner d'eau les machines à vapeur (aucun ouvrier, ni mécanicien à nourrir).

Dans une autre propriété où le matériel appartient à l'exploitation, le prix de revient varie entre 5 m. 80 à 7 m. 26 par morgen, 27 fr. 65 à 36 fr. 30 par hectare, mais pour un labour de 37 centimètres de profondeur.

Le travail est *rapide*; ces charrues, qui sont de 4 à 5 socs, font jusqu'à 40 morgen par jour, soit 10 hectares.

Enfin, le labour est toujours fait *en temps voulu*; on l'effectue dès le mois de septembre; les terres sont donc labourées avant l'hiver.

Au point de vue du travail même du sol, le labour effectué dans ces conditions retourne, pulvérise le sol, l'émiette d'une façon beaucoup plus complète que ne le fait une charrue ordinaire, trainée par des bœufs ou des chevaux à une allure plus lente.

L'agriculteur allemand dispose donc de tous ses attelages pour préparer les semailles d'automne et faire les charrois de betterave sans avoir à s'inquiéter



Fig. 4. — Le labourage à vapeur, dans une ferme de la Saxe, la charrue.

de les détourner de ces travaux pour labourer, avant les gelées, les terres à ensemercer au printemps.

C'est toujours sur un sol abondamment fumé, bien travaillé, que l'agriculteur effectuera ces semis. Il choisit des semences de variétés bien adaptées à ces conditions de culture et des semences qui ont été sélectionnées avec grand soin (1).

Variétés cultivées. — Tout à l'heure je disais que dans ces fermes à betteraves de la Saxe on trouvait une diversité de plantes cultivées plus grande, en général, que dans nos fermes françaises à betteraves. Par contre, les variétés cultivées pour chacune de ces plantes sont en nombre très restreint.

Ainsi, pour la betterave, c'est le type *Klein Wanzeleben* presque partout cul-

(1) On sait avec quelle attention, quelle persévérance, certains agriculteurs allemands poursuivent la sélection des plantes cultivées; pour la betterave à sucre, la pomme de terre et aussi pour les céréales, en ce moment, ils cherchent à établir de véritables livres généalogiques où l'on suit les produits de tel pied de blé, d'orge, etc.

tivé, sélectionné du reste par différents producteurs de graines. Chez Dippe, à Quedlimbourg, l'inspecteur, qui m'accompagna dans ma visite à travers les cultures de cette magnifique exploitation, me faisait remarquer que ce n'était plus guère que pour la France que la graine à betteraves du type Dippe continuait à être produite (le type *Dippe* riche, cultivé ainsi pour la France, est un peu plus riche en sucre que le type Klein Wanzeleben, mais de plus faible poids) Pour les blés : la variété la plus répandue est la variété *Scheriff's square head*, le blé à épi carré. Ce blé résiste, en effet, très bien à la verse ; et, c'est dans le sens d'une résistance de plus en plus prononcée que l'ont sélectionné en Allemagne divers des producteurs de grains de semences les plus connus (1).



Fig. 5. — La mise en meules des céréales.

Ce blé se sème de bonne heure dans le courant de septembre ou octobre au plus tard.

Dans toutes ces mêmes fermes on cultive aussi en blé d'hiver une certaine étendue de blé poulard désigné sous le nom de *Rivets Barbu* ou encore de *Rauh weizen*. C'est un blé analogue au blé cultivé en France sous le nom de poulard d'Australie. En Allemagne, comme en France, il donne de gros rendements, 40 quintaux et plus parfois à l'hectare, mais d'un grain de qualité très inférieure, que les meuniers paient toujours moins cher. Son principal mérite,

(1) Ils sont ainsi arrivés à des types de square head à épi très court mais à grains très serrés, supporté par un chaume lui-même, court, très résistant. Tel le *square head beseler IV* recommandé pour les terres d'alluvions d'une grande richesse en azote. Alors que le type n° 1 a un épi de 9 à 10 centimètres, le type n° 4 n'a plus que 5 à 6 centimètres d'épi, mais les épillets sont beaucoup plus serrés.

aux yeux des agriculteurs allemands, est de pouvoir être semé tardivement en novembre et décembre.

Enfin, on cultive, comme blé de printemps, le blé de Bordeaux, connu en Allemagne surtout sous le nom de blé rouge de Schlanstedt. Les seigles de Petkus surtout, puis de Schlanstedt, sont les deux variétés les plus répandues. Les avoines les plus cultivées sont les avoines jaunes et blanches, de *Beseler*, de *Heine*, etc.

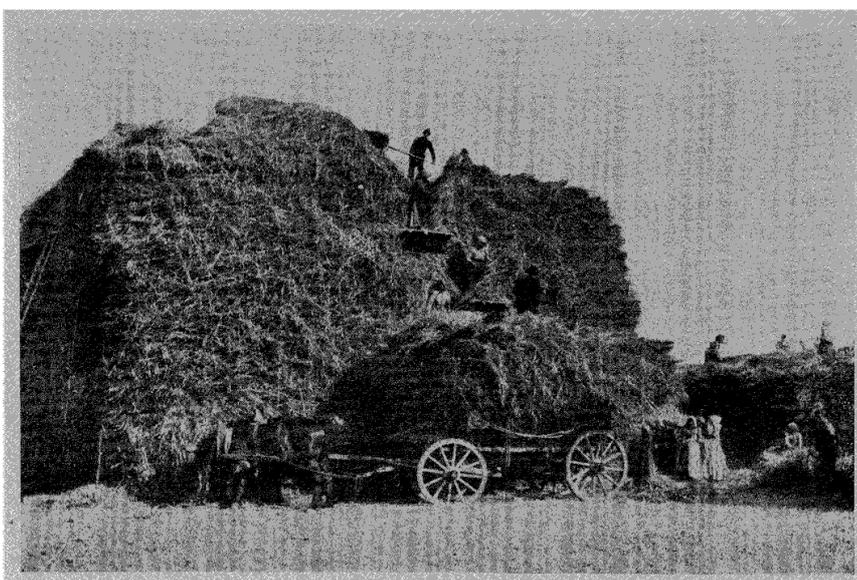


Fig. 6. — La moisson : femmes employées à la confection des meules.

Parmi les variétés d'orges : les orges *Chevallier*, *Hanna*, *Impériale*, sont les plus renommées.

Les pois sont presque tous de la variété *Victoria*, que Strube, à Schlanstedt, sélectionne en vue d'une précocité de plus en plus grande. Ces pois servent pour l'alimentation des animaux, mais aussi des ouvriers; on les vend pour la grosse consommation dans les villes et on les exporte aussi en Angleterre dans le même but.

Beaucoup plus grand est le nombre des variétés de pommes de terre cultivées, soit qu'il s'agisse des pommes de terre industrielles, soit qu'il s'agisse des pommes de terre comestibles, réservées exclusivement à la nourriture de l'homme.

Parmi les pommes de terre industrielles : en première ligne il faut citer comme la plus répandue la variété *professeur Mörker*, puis la Silesia de Cimbal.

Parmi les variétés comestibles : la *Magnum bonum* qui est, au dire de tous, une des meilleures variétés de pommes de terre, et qui, en même temps, peut être utilisée pour l'industrie. Il faut encore citer à propos de variétés de pommes de terre : *Saxonia*, *Paulsenjuli*, *Uptodate*, *Hannibale*, professeur *Wahlmann* dont le port et le feuillage rappellent tout à fait la pivoine.

La variété *Richter's Emperor* est presque partout abandonnée, on lui reproche d'être attaquée trop facilement par la maladie et d'être de mauvaise garde.

Quantité de semences employées. — A propos de toutes ces plantes, il y a lieu de noter la quantité élevée de semences, que l'on emploie, plus forte sensiblement que celle en usage en France dans les fermes de même genre de culture.

	kilogr.	
Ainsi pour la betterave	40	par hectare.
pour le blé	160 à 220	—
pour l'orge	130 à 170	—
pour l'avoine	100 à 140	—
pour les pois	200 à 240	—

Tous les semis et plantations se font en lignes très régulières, à l'aide de semoirs, de façon à faciliter les binages et sarclages.

Les céréales, blé, avoine, orge, seigle, sont semés presque partout en lignes distantes de 18 centimètres, dans quelques exploitations même à 22, 24 centimètres; les pommes de terre en lignes espacées tantôt de 60 centimètres sur 47, tantôt à 57 centimètres en tous sens, parfois même à 47 centimètres seulement, une plantation par conséquent plus serrée que celle adoptée en France.

De là cet aspect si touffu que présente la végétation des pommes de terre et qui frappe au premier abord celui qui est habitué à nos plantations plus espacées.

Il en est de même pour la betterave. Les distances entre les lignes varient de 35 à 42 centimètres suivant les exploitations, mais, sur la ligne les betteraves sont très rapprochées; à plusieurs reprises et, dans des fermes différentes, j'ai mesuré des intervalles entre betteraves ne dépassant pas 20 centimètres. Aussi compte-t-on fréquemment de 12 à 15 betteraves au mètre carré.

Ce mode de culture très serré, qu'en France conseillait tant Fl. Desprez de Cappelle, est possible en Allemagne, à cause de la grande richesse du sol. Il est possible, aussi, étant donnée la main-d'œuvre que nous allons montrer utilisée dans ces fermes à betteraves (fig. 7).

Pratique des binages et sarclages. — C'est grâce encore à cette main-d'œuvre, que nous voyons une pratique culturale très répandue dans ces fermes, pratique que malheureusement en France, malgré les très grands avantages que nous lui reconnaissons, nous ne pouvons guère employer, sauf pour les betteraves et les pommes de terre : *le sarclage, le binage à la main* de toutes les récoltes sans exception.

On sarcle *à la main* et bine toujours une fois et le plus souvent deux fois, les seigles, blés, avoines et orges : de là cette propreté extrême des champs de



Fig. 7. — Aspect de la plaine de betteraves : ouvrières prenant le repas de midi au bout du champ.

céréales, de là cette résistance à la verse, qu'on ne saurait expliquer autrement, des orges, par exemple, et des avoines.

Pour les betteraves, aussitôt qu'elles sont levées, on leur donne un premier binage suivi d'un roulage léger; le démariage, qui s'effectue ensuite, se fait en deux fois, les ouvrières laissent d'abord tous les 15 centimètres un petit bouquet de betteraves, plus tard passent des enfants qui ne laissent dans ce bouquet que la plus belle des plantes; on bine ensuite, on sarcle autant de fois que l'on peut. J'ai encore vu, au commencement d'août, des femmes passer, pieds nus, dans des champs de betteraves, pour arracher à la main les très rares mauvaises herbes qui pouvaient se trouver encore dans le champ⁽¹⁾.

Rendements obtenus. — Avec un tel sol, aussi abondamment fumé, aussi bien travaillé et nettoyé, ensemencé de graines de choix, rien d'étonnant que les rendements soient élevés.

Je note les rendements qui m'ont été indiqués : à l'hectare, pour les bette-

(1) Comme j'exprimais à un de ces agriculteurs allemands, M. Beseer, mon admiration pour cette propreté extrême des terres, il me fit cette réponse très spirituelle : « La table est trop bien garnie ; il ne faut pas que ce soient celles (les plantes) qui n'ont pas été invitées qui en profitent. »

raves 35 à 50 000 kilogrammes, pour les blés 30 à 40 quintaux, les seigles 25 à 35 quintaux, l'orge 30 à 40 quintaux, l'avoine 35 à 40 quintaux, les pois 30 à 40 quintaux, les pommes de terre 20 à 30 000 kilogrammes. Ce sont là des rendements maxima même dans ces exploitations qui forment l'élite. Or, en France, ces mêmes rendements sont atteints sinon dépassés, dans nos belles fermes de la Brie, du Soissonnais, du Nord, etc. Ce qui me fait dire que ce sont des chiffres maxima c'est le rendement obtenu à Schlanstedt par le Dr Rimpau. Ce savant

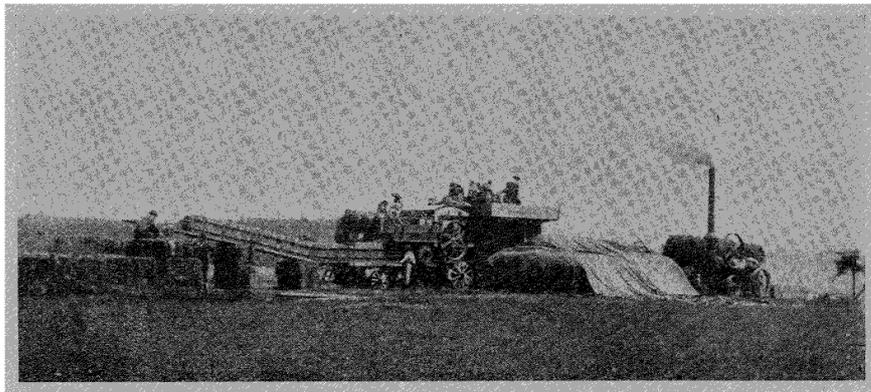


Fig. 8. — Le battage des céréales : machine à battre et presse à paille.

agronome allemand a indiqué dans son histoire du domaine de Schlanstedt, comme moyenne pour la période 1895-98, la récolte annuelle suivante :

Froment	quintaux.	32,80	Avoine	quintaux.	32,60
Seigle		24,54	Pois		32,66
Orge		30,10	Betteraves		400,10 (1)

LE BÉTAIL

Le bétail dans les fermes à betteraves de la Saxe. — Dans toutes ces fermes à betteraves, la plus grande part du produit brut obtenu provient de la vente des produits végétaux : betteraves, céréales, etc.; cependant les produits animaux y figurent également pour un chiffre important, car à côté du bétail de trait il y a le bétail de rente : bœufs à l'engrais, vaches laitières, moutons qui

1. Dans ce même domaine, pendant la période 1836-39, on ne récoltait que : froment 15 qx., 50; seigle 16 qx., 92; orge 19 qx., 92; avoine 14 qx., 24; pois 8 qx., 06.

Pour l'ensemble de l'Allemagne, malgré les progrès réalisés, la moyenne des rendements pendant la période décennale 1887-96 a été : seigle 10 qx., 80; blé 14 qx., 30; orge 13 qx., 40; avoine 11 qx., 90; pommes de terre 89 qx., 60.

sont chargés de transformer les résidus de la betterave, feuilles et pulpes, les pailles, les fourrages et les grains en viande, lait, laine, etc.

Comme en France, ces fermes à betteraves de l'Allemagne offrent une *spécialisation*, une *division du travail*, qu'on ne trouve pas dans les exploitations agricoles ordinaires. On n'élève pas de bétail dans ces fermes à betteraves : on exploite seulement les animaux, au moment précis où ils sont susceptibles de donner leur maximum de force comme bête de trait, soit d'utiliser le mieux les grosses rations d'engraissement dont l'exploitation dispose.

Le cheval de trait belge. — Les chevaux de trait, que j'ai vus dans toutes



Fig. 9. — Un champ de betteraves; type des chariots; chevaux belges.

ces fermes, étaient sans exception des chevaux belges, achetés à Liège et dans les environs à l'âge de 4 à 5 ans, grands chevaux, très gros et très lourds. Ils sont payés un prix élevé de 1 500 à 1 800 marks, soit de 1 875 à 2 250 francs pièce.

On sait du reste quel élevage prospère pour la Belgique est maintenant l'élevage du cheval de trait; les éleveurs belges ont très habilement, d'une part sélectionné les reproducteurs de leur race de trait, et ils ont, d'autre part, su, par les concours, des publications bien comprises, non moins habilement établir la réclame autour de leurs chevaux.

Il est regrettable que notre cheval Boulonnais ne soit pas plus connu en Allemagne, certainement il devrait y trouver, lui aussi, des débouchés.

Qu'on me permette toutefois, à cet égard, de signaler quelques côtés pratiques de la question tenant à des usages de ces fermes allemandes.

L'attelage, qui, dans les fermes de la Brie, de l'Artois, de la Picardie, etc., est de 3 à 4 chevaux, est dans les fermes allemandes toujours de 2 chevaux seulement. Or, pour les charrois de betteraves, de fumier, de boue, compost, etc., avec les lourds et vastes chariots dont on se sert, il faut deux très forts chevaux. La conduite de ces chevaux est confiée aux *Knechte*, aux valets, qui souvent sont des gamins, des jeunes gens de 15 à 18 ans; le cheval belge, assez mou, enlevant la charge lentement par le fait même de son poids, de sa grosse masse, est facile à conduire. Il n'en serait pas de même d'un cheval trop ardent, plein de



Fig. 10. — Un village des environs de Halle; l'attelage d'un petit cultivateur.

sang, qui se jetterait dans ses traits au départ, et qu'une main habile peut seule diriger, utiliser.

Le bœuf de trait de Bavière. — Les *bœufs*, employés comme bêtes de trait, viennent presque tous de Bavière (fig. 3), bœufs de grande taille, mais l'arrière-main laissant presque toujours à désirer, étroite et enlevée; ils sont de couleur froment pâle uniforme, ou tachetés de larges plaques d'un rouge très clair. Ces bœufs sont loin de valoir nos Charolais, ou nos bœufs garonnais et limousins et, plusieurs fois, en voyant ces bœufs couleur froment, je me suis demandé si nos éleveurs limousins n'auraient pas intérêt à faire connaître leur si belle race en Bavière.

Les bœufs sont achetés, pour être emmenés dans les fermes à betteraves, à l'âge de 4 ans, ils pèsent alors environ de 700 à 800 kilogrammes et reviennent de 550 à 600 marks, soit 687 à 750 francs.

La vache hollandaise. — Les vaches exploitées pour la production du lait viennent de la Prusse orientale, du Schleswig-Holstein, rappelant de tous points les vaches hollandaises exploitées en France dans le même but; leur taille et leur ampleur, en général, sont cependant moindres. Le rendement moyen en lait serait, dans des étables composées de 80 à 100 vaches, de 10 litres en moyenne par jour.

Composition des rations. — La nourriture de tous ces animaux : chevaux, bœufs, vaches, etc., est particulièrement soignée; les rations, au premier abord compliquées, se composent, à côté des pulpes et feuilles de betteraves pour les bovidés, de foin, de paille toujours hachée, de mélasse, de déchets de sucre, de tourteaux et farines et autres aliments concentrés divers; la composition du mélange de ces aliments concentrés varie du reste suivant les avantages économiques que peut présenter la substitution d'un aliment à un autre. La composition des rations est affichée dans les étables, les écuries; en voici quelques exemples, par jour et par tête (*pro tag, pro stück*).

Types de rations (par jour et par tête).

CHEVAUX	BŒUFS				VACHES	
	kg	Feuilles de betteraves ensilées	Travail faible. kg	Charroi des betteraves. kg	Feuilles de betteraves ensilées	kg
Avoine	6,000	Pulpe sèche	4	4	Pulpe sèche	2,000
Son de froment	0,250	Foin	4	6	Trèfle sec	3,000
Mais concassé	1,000	Paille	2	2	Paille	3,000
Son de seigle	0,250	Balle de blé	2	2	Balles de blé	0,500
Mélange mélassé	1,500	Aliments concen- trés (1)	2	3	Farine (tourteau coton) Touraillons	0,500 1,000
Foin	3,000				Déchets de sucre (su- cre avec riz)	0,500
Paille	4,000					

Partout, dans ces fermes, il y a une salle spéciale, bien aménagée, de préparation pour les aliments; dans presque toutes les étables l'eau est distribuée automatiquement dans de petites auges à la tête de chaque animal; celui-ci apprend vite à en soulever le couvercle, lorsqu'il a besoin de boire.

Pour tous les animaux de la ferme, la mélasse est d'un usage courant, mélangée directement à la ferme aux sons, farines ou à de la tourbe; les déchets

(1) Les aliments concentrés sont composés, par kilogramme, de 0^{kg},250 son de seigle, 0^{kg},230 remoulage de riz, 0^{kg},250 tourteau de coton en farine, 0^{kg},250 mélange mélassé (son et mélassé).

de sucre, résidus du troisième jet, qu'au prix actuel des sucres, on n'a pas intérêt à retravailler, sont utilisés aussi pour la nourriture des animaux, une fois dénaturés par de la farine de riz ajoutée dans la proportion de 1/3.

Les cossettes de diffusion provenant de la betterave, au lieu d'être ensilées humides, sont desséchées et conservées telles dans les greniers, on les humecte au moment de les donner aux animaux, ou plutôt 12 à 24 heures à l'avance. Ce que nous ne faisons nulle part, je crois, en France, on ensile, en Allemagne, les feuilles de betteraves avec le collet détaché de la racine, aussitôt les betteraves arrachées et décollées. Cet ensilage réussit du reste fort bien, et les animaux, bœufs, vaches et moutons, en paraissent très friands (1).

Enfin l'usage d'aliments concentrés, achetés au dehors, est très répandu; c'est une des grosses sources de dépenses dans ces fermes allemandes.

LA MAIN-D'ŒUVRE

Pour se rendre compte, enfin, des conditions dans lesquelles sont obtenus les divers produits végétaux et animaux dans ces fermes, il nous faut rechercher comment le travail y est organisé, comment et à quel prix l'agriculteur trouve la main-d'œuvre qui lui est nécessaire.

Si on se plaint en France de la raréfaction et de la cherté de la main-d'œuvre agricole, dans les milieux agricoles allemands, les plaintes sont au moins aussi vives (2). Voulant, il y a trois ans déjà, causer de questions agricoles, avec un grand propriétaire mecklebourgeois, celui-ci m'interrompt dès le début. « En agriculture, il n'y a plus qu'une question, c'est celle de la main-d'œuvre, on ne trouve plus d'ouvriers; ceux qu'on a encore ne veulent rien faire et se font payer très cher », il m'exprimait ainsi, très nettement, l'opinion du plus grand nombre des agrariens de l'Est de l'Allemagne.

Le développement commercial et industriel de l'Allemagne a, sans aucun doute, changé les conditions du travail agricole; l'ouvrier des campagnes a été attiré vers les centres industriels par l'offre de salaires plus élevés. La proportion des habitants adonnés à l'agriculture atteignait en 1850, 65 p. 100 de la population totale, tandis que les populations industrielles ne dépassaient guère 20 p. 100 et que 5 p. 100 seulement vivaient du commerce (3).

(1) Le jour même de l'arrachage, les feuilles de betteraves sont enlevées du champ pour être menées au silo près des fermes. On jette du chariot ces feuilles sur une sorte de claie, pour les débarrasser de la terre qui les salit. Il faut remarquer que le sol où on cultive la betterave étant très meuble, celle-ci n'adhère pas aux feuilles et collets comme la terre argileuse de la plupart des sols où en France nous cultivons la betterave.

(2) Consulter à cet égard G. Blondel, études sur les populations rurales de l'Allemagne.

(3) Blondel, *loc. cit.*

En 1900, le rapport de la population agricole (y compris celle de la culture forestière et des professions agricoles, jardinage, pisciculture, élevage du bétail, etc.) à l'effectif total de l'empire n'était plus que de 35, 8 p. 100 (1).

En Allemagne comme en France, dans les fermes à betteraves, qui exigent un personnel nombreux pour les travaux de binage, d'arrachage, etc., la main-d'œuvre indigène est insuffisante, on a recours à la main-d'œuvre étrangère. En France, ce sont les Belges qui viennent dans nos fermes ; en Allemagne ce sont des *Polonais* venant de la Russie, de la Silésie ou de la Galicie, ou plutôt ce sont des *Polonaises*, car ici se sont surtout des femmes, des *Mädchen*, que l'on emploie pour

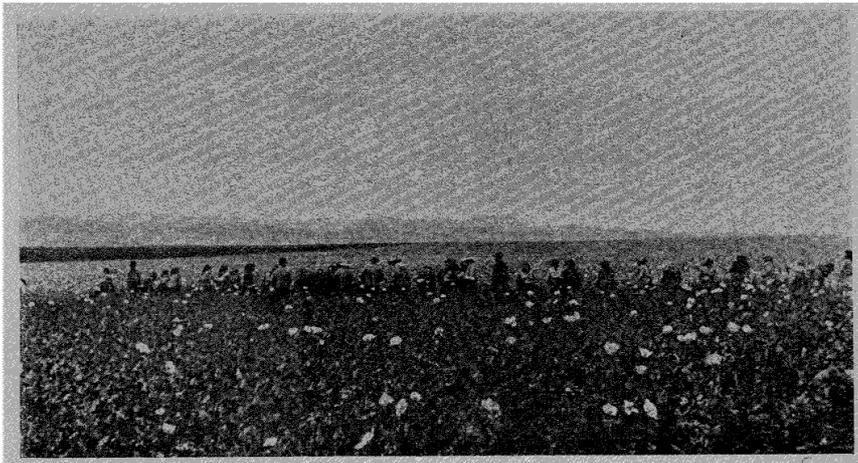


Fig. 41. — Un groupe de femmes, dans un champ de pavots (Müchenhof).

tous ces travaux (fig. 5, 6, 7, 8). Quiconque a traversé, ne fût-ce qu'en chemin de fer, le pays, a certainement remarqué ces bandes de femmes avec leurs vêtements, jupons et fichus aux couleurs vives, que l'on voit partout travaillant en groupes dans les champs sous la surveillance d'un contremaître (fig. 41).

Organisation militaire du travail. — Lorsqu'on examine de près l'organisation du travail dans ces fermes, la première chose qui vous frappe est le caractère, militaire pour ainsi dire, qu'elle revêt : s'agit-il, par exemple, de charrois (fumiers, boues de betteraves, cailloux pour les chemins), les attelages, dont dispose à ce moment l'exploitation, seront tous réunis au même endroit, on chargera en même temps les chariots, on en formera alors une sorte de convoi (fig. 2) qui sera dirigé vers le champ, la route, etc., sous la conduite d'un *aufseher*, d'un

(1) L'agriculture allemande à l'Exposition de Paris en 1900.

surveillant ; laboure-t-on un champ, vous y voyez 10 ou 12 charrues marchant encore sous la direction d'un contremaître ; partout, dans les champs, hommes et femmes travaillent toujours par groupe sous cette surveillance directe d'un aufseher.

Ouvriers et ouvrières sont logés, du reste, près de la ferme dans une habitation spéciale désignée partout sous le nom de *caserne* ; et de fait, c'est une véri-

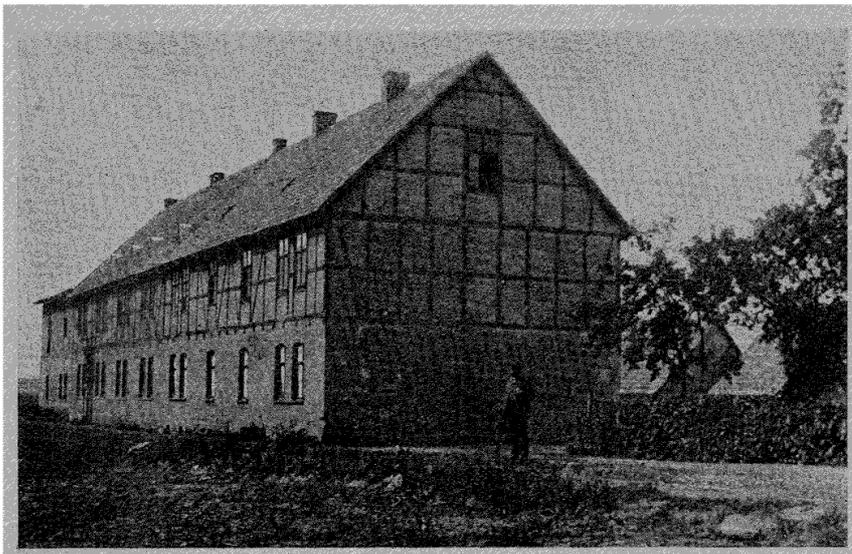


Fig. 12. — La Caserne.

table caserne par la disposition des dortoirs-chambrées et des cuisines ; le règlement intérieur qu'on peut y lire, affiché aux murs, ne fait que vous confirmer dans cette opinion (1) (fig. 12) :

(1) 1. La surveillance des casernes d'ouvriers est confiée à des surveillants spécialement commandés pour ce service et secondés dans chaque chambrée par le plus ancien des ouvriers occupant ce local. Chaque ouvrier et ouvrière doit obtempérer strictement aux prescriptions de ces personnes, notamment pour ce qui concerne la propreté des locaux et de leur mobilier.

2. L'accès des locaux affectés à l'un des deux sexes est interdit aux personnes de l'autre sexe à moins d'une permission spéciale accordée par le surveillant.

3. Un local affecté à une famille d'ouvriers ne peut être partagé entre cette famille et des personnes à elle étrangères.

4. Les enfants tenus de fréquenter l'école ne peuvent habiter les locaux occupés en commun par les ouvriers.

5. Lorsqu'une famille d'ouvriers s'est procuré un logement hors de la caserne mais dans la localité même, les parents doivent, dès qu'ils se rendent au travail, conduire leurs enfants à

A la tête du personnel, dans chaque ferme, on trouve l'inspecteur qui a la haute main sur tous les ouvriers et la direction générale, puis pour l'intérieur de la ferme un surveillant chef, comme pour les champs et l'extérieur de la ferme un autre surveillant chef. Les charretiers ou valets de charrue sont commandés par leur maître valet, de même les bouviers par leur maître bouvier; enfin, par groupe d'ouvriers et d'ouvrières de vingt à trente se trouve un aufseher, un surveillant responsable du travail de son groupe, ne le quittant pas (un véritable caporal d'escouade).

Les salaires. — Les inspecteurs ont une maison à eux et touchent plusieurs milliers de marks par an; ils ont toujours un cheval, souvent même plusieurs

un des asiles () pour ce désignés, et les y faire garder pendant toute la durée de leur absence.

6. Tous les matins, dès que le travail a commencé, les chambrées sont mises en bon état de propreté, balayées et aérées.

7. Les balayures et ordures sont portées au fumier.

8. Il est interdit de laver et de faire sécher le linge dans les chambrées.

9. Il est interdit de se livrer, dans les chambrées, à la danse, à la boisson et autres divertissements du même genre.

10. Le soir, à 9 heures, la caserne est fermée et les lampes sont éteintes. (Dans le domaine on n'éteint qu'à 9 heures et demie dans les chambrées de femmes, afin qu'elles puissent coudre et raccommoder, à ce moment toutes doivent être au repos; le calme le plus complet doit régner à la caserne.)

11. Quiconque circule avec de la lumière ou du feu sans prendre de précautions convenables, se rend insupportable aux camarades et provoque des querelles, s'enivre et se rend coupable de malpropreté persistante s'expose à être immédiatement congédié.

12. Il est interdit de fumer dans les dortoirs.

13. Les ouvriers sont tenus d'assurer leur propreté corporelle, ainsi que la propreté de leurs vêtements et de leur literie. Celle-ci se compose d'un sac à paille ou pailleasse, d'un traversin et d'une couverture de laine.

14. Les ouvriers doivent se rendre aux latrines pour y satisfaire leurs besoins. Toute souillure dans le voisinage immédiat des locaux, est rigoureusement interdite.

15. Les ouvriers habitant la caserne doivent suspendre ou installer leurs effets et tous autres objets leur appartenant aux places et dans l'ordre à eux assignés.

16. Avant son admission à la caserne chaque ouvrier est tenu de se faire visiter par le médecin désigné à cet effet.

17. Tout ouvrier qui se sent indisposé doit en avvertir aussitôt le surveillant.

18. Les surveillants, préposés à la caserne, tiennent strictement la main à l'exacte observation du règlement du 10 juin 1837 et des autres règlements de police. Ils sont personnellement responsables des désordres et contraventions qu'ils négligeraient de signaler.

19. Toute contravention aux règlements précités, qu'elle soit le fait des ouvriers, des ouvrières ou des surveillants, est punie d'une amende d'un pfennig (0 fr. 625), à trois marks (11 fr. 25), cette amende est indépendante de celle dont il est parlé plus haut. Un emprisonnement, dont la durée est en rapport avec le taux de l'amende, remplace celle-ci lorsque le contrevenant n'a pas de quoi payer.

20. Les prescriptions relatives à la police et au service intérieur doivent être portées à la connaissance de tout ouvrier admis dans la caserne et la signature de celui-ci doit certifier le fait de ladite communication.

chevaux à leur disposition pour parcourir en tous sens le domaine. Ce sont, du reste, des hommes instruits et qui m'ont paru doués d'un esprit d'observation très développé.

Les maîtres charretiers, bouviers (qui ne travaillent pas mais surveillent charretiers et bouviers, la tenue des écuries et étables) ont, ainsi que les surveillants, dits aufseher, mille francs environ par an; ils sont logés, ont droit à 18 ares de terrain pour y planter des pommes de terre et reçoivent du charbon.

Quant aux ouvriers proprement dits, il faut distinguer les ouvriers employés à l'année et ceux ne restant à la ferme que de mars à décembre.

Dans la première catégorie se trouvent les valets de charrue, charretiers et bouviers : ils touchent de 1 m. 50 à 1 m. 75 par jour, soit 1 fr. 87 à 2 fr. 187; ils sont logés et ont droit à 18 ares de terrain pour planter des pommes de terre.

Les ouvriers à la journée reçoivent : hommes, 1 m. 25 à 1 m. 50, soit 1 fr. 62 à 1 fr. 87, parfois 2 marks, 2 m. 50 au moment de la moisson.

Les femmes, 1 mark à 1 m. 50 au moment de la moisson, 1 fr. 25 à 1 fr. 87.

Ces ouvriers étant logés et ayant droit toujours à une certaine étendue, 12 à 18 ares en pommes de terre. Les ouvriers et ouvrières ne venant que pendant la période d'été qui dure parfois neuf mois, de mars à décembre, reçoivent les mêmes salaires que les gens à la journée, mais ils effectuent la plupart des travaux à la tâche et dans des conditions de salaires véritablement très bas comme on peut en juger par les prix que voici :

Pour les céréales par exemple :

Binage des céréales à la main, 2 M. par morgen, soit.	10 fr. par hectare.
Pour faucher, lier, dresser le blé, l'avoine, l'orge, le seigle, 3 M. par morgen, 4 au plus, soit.	15 à 20 fr. par hectare.
Pour faucher la luzerne, 1 M. 30 par morgen, soit.	7 fr. 50 par hectare.

Pour les betteraves :

1 ^{er} Binage	2 M. par morgen	10 fr. par hect.
Binage, démariage par poquets.	1 —	5 —
Binage-démariage.	2 —	10 —
2 ^e Binage.	2 —	10 —
3 ^e Binage.	2,50 —	12,50 —
Soit pour 3 binages et le démariage en 2 fois.	9,50 p. morgen	47,50 par hect.

Pour l'arrachage des betteraves :

9 M. à 10 M. 50 par morgen, suivant que les betteraves ont été ou non soulevées par les arracheuses mécaniques; puis l'ouvrier doit décoller les betteraves, rassembler les feuilles en tas, mettre en silos (2 par morgen) les betteraves et les recouvrir de 0^m,33 de terre. 45 à 52 fr. 50 par hect.
Pour arracher les pommes de terre et les charger dans les chariots, on paie 20 à 26 centimes par 100 kilogrammes.

Ces salaires sont, on le voit, surtout pour la moisson, très bas (inférieurs de moitié aux salaires donnés en France pour la moisson) (1).

Quant au logement, ces ouvriers et ouvrières de l'été le trouvent à la caserne comme nous le disions plus haut : bâtiment construit à proximité de l'exploitation et comprenant dortoirs, cuisines, réfectoires, le tout muni d'un mobilier très sommaire. Les gens mariés ont, par ménage, de deux à trois pièces suivant le nombre d'enfants ; chaque famille a en plus à sa disposition un grenier pour loger le grain, une cave pour les pommes de terre, et enfin un toit à porc, si elle veut entretenir un de ces animaux.

Quand on ne réserve pas de terres à pommes de terre pour ces ouvriers d'été, on leur donne 12^{kg},5 de pommes de terre par semaine, ou des pois ; jamais ni viande ni pain.

On ne peut en réalité dire que dans ces fermes allemandes les ouvriers soient nourris. Dans nos fermes à betteraves de France on n'appelle pas nourrir, donner aux ouvriers cette soupe, dans laquelle on met une ample provision de légumes variés et frais cueillis le jour même dans le jardin, soupe qui serait cependant un repas de luxe pour ces ouvriers et ouvrières russes des fermes allemandes, dont le plat de résistance est la pomme de terre cuite à l'eau (2).

(1) Nous venions de visiter un certain nombre de fermes de la Brie, lorsque nous sommes allés en Allemagne en août 1902. Or dans la Brie les Belges refusaient de couper et lier les blés pour 45 francs l'hectare. En Allemagne 15 francs pour le même travail dans des blés de même force.

(2) Nous donnons ici en note la traduction d'un contrat entre les ouvriers et ouvrières de la station d'essais de _____ et l'inspecteur de cette station. Étant donné le caractère de cette exploitation, les *soins particuliers* qu'exige le travail, les salaires payés sont supérieurs à ceux payés dans les fermes ordinaires.

ARTICLE PREMIER. — *Durée de l'emploi des ouvriers.*

A la station d'essais, à _____, les ouvriers qui entrent en travail, hommes, femmes mariées avec la permission de leurs maris, personnes mineures avec l'assentiment de leurs parents ou tuteurs sont employés du printemps 1902 (sous réserve de la fixation de l'entrée en travail) jusqu'en automne 1902 ou plutôt jusqu'à ce que les travaux des champs et ceux de la récolte des betteraves soient finis. Ils s'engagent à accomplir chaque jour avec une consciencieuse fidélité et avec une active application les travaux qui leur seront confiés, soit que ces travaux soient journaliers, soit qu'ils soient à la tâche, travaux qui se présentent dans l'agriculture.

Chacun des soussignés promet de livrer au jour de son entrée dans le domaine un passeport fait selon les règles, et une attestation du maire du pays d'où vient l'ouvrier, affirmant qu'il n'est lié par aucun engagement. Il doit affirmer aussi qu'il est bien portant, qu'il n'a aucune infirmité pouvant l'empêcher d'accomplir quelque travail que ce soit. Les femmes doivent certifier qu'elles ne sont pas enceintes.

ARTICLE 2. — *Durée du travail.*

Le travail quotidien dure de 5 heures du matin à 7 heures du soir avec pause d'une demi-heure pour déjeuner et pour goûter, pour le dîner la pause dure une heure.

Celui qui fournit le travail peut préciser les heures dans lesquelles les pauses auront lieu.

Durée du travail. — La durée du travail est au moins de 10 heures. Il faut être rendu au champ à 6 heures et on ne le quitte pour rentrer à la caserne que

selon le travail que l'on accomplit; le travail commence exactement à 5 heures du matin; le départ a lieu à cette heure-là du domaine, il finit à 7 heures sonnant sur le lieu du travail.

Dans les cas de pressants besoins, les travailleurs doivent accomplir les travaux agricoles en dehors des heures indiquées, cela sur la demande de l'inspecteur. La décision de l'urgence ne peut émaner que du surveillant ou de l'inspecteur. L'indemnité payée pour le surplus du travail monte pour les hommes et jeunes hommes âgés de 18 ans à 15 pfennings par heure; les enfants et les garçons ont seulement 10 pfennings. Les dimanches et jours de fête les ouvriers devront se livrer, s'il y a urgence, aux travaux que la police permet; ces travaux doivent être commandés par l'inspecteur; tels sont les différents points que les soussignés s'engagent à exécuter.

ARTICLE 3. — *Gages : 1° Journaliers.*

a. En dehors du temps de la moisson ils reçoivent :

	marks.
1° Les hommes qui peuvent faucher	2 »
2° Jeunes hommes qui peuvent aller autour des bœufs et des chevaux	1 70
3° Jeunes filles âgées de plus de 16 ans et garçons ayant plus de quinze ans.	1 10

b. Pendant le temps de la moisson (on compte 4 semaines) :

	marks.
1° Hommes qui peuvent faucher.	2 25
2° Jeunes hommes pouvant aller autour des bœufs et des chevaux	1 90
3° Femmes, filles de plus de 16 ans et garçons de plus de quinze ans.	1 10

A. *Travaux de moisson des céréales.*

	marks.
Pour couper une étendue de un morgen (25 ares) des récoltes d'hiver ou d'été, de colza, on donne.	4 »
Pour couper la même étendue de foin	2 »
— — luzerne.	1 50

B. *Travaux de binage.*

	marks.
a Binage de un morgen (25 ares) de betteraves (1 ^{er} binage, enlever avec soin les mauvaises herbes entre les rangs.	2 »
b Démariage (ici formation de petits bouquets de betteraves tous les 6 zolles 1/4)..	1 70
c Pour ne laisser qu'une plante par bouquet.	2 »
d Pour le 2 ^e binage	2 50
e Pour le 3 ^e binage (il est effectué en travers avec la houe à céréales).	3 »
Pour le binage des céréales par morgen.	2 »

C. *Travaux durant la récolte des betteraves.*

	marks.
1° Pour arracher les betteraves sur un morgen, couper les collets, rassembler les feuilles en petits tas, ensiler les feuilles et les recouvrir d'un pied de terre.	10 50
2° Pour arracher les betteraves soulevées et rassembler de même les feuilles.	9 »

D

Pour l'arrachage des pommes de terre avec la bêche ou le crochet, pour chaque corbeille (de 0,80 centner de pommes de terre), ramassées et chargées dans le chariot.	6 à 8 pfg.
--	------------

E

C'est l'inspecteur qui décide si le travail sera payé à la journée ou à la tâche; l'inspecteur précise également si le travail en cours doit être ou non suspendu par la pluie.

le soir à 6 heures : très souvent quand ce champ est un peu éloigné de la caserne, les ouvriers et les ouvrières prennent sur place même le repas du midi (fig. 7); à cet effet elles l'ont apporté avec leurs outils dans la hotte qu'elles portent toujours sur le dos en se rendant au travail; il consiste en quelques tartines de pain de seigle beurré, fond de leur nourriture, du lard, une saucisse; ailleurs on transporte au champ pour l'heure du déjeuner, dans un chariot, un tonneau d'eau et une grande marmite de pommes de terre cuites à l'eau. Les repos, outre une heure pour le repas de midi, sont de une demi-heure la matinée, une demi-heure l'après-midi.

Le personnel employé dans ces exploitations est en fin de compte très nombreux, pour la ferme de S. de 880 hectares, j'ai relevé 137 personnes à l'année et en plus 133 travailleurs d'été; sur ce nombre il y a 35 femmes dans le personnel à l'année, 91 dans le personnel de l'été; soit donc, pendant 9 mois, 270 personnes et pendant trois semaines au moment du démariage des betteraves

ARTICLE 4. — *Nourriture.*

En dehors des gages payés pour les travaux (qu'ils soient payés à la tâche ou à la journée) on donne à chaque travailleur, pour sa nourriture par semaine, 15 livres de pommes de terre, 2 livres de haricots ou pois, riz ou orge mondée.

On leur fournit aussi un logement dans la maison des ouvriers, les sexes sont séparés dans des dortoirs différents, chaque ouvrier a à sa disposition un matelas de paille, une couverture de laine.

On fournit aussi une cuisine pour tous les ouvriers; là, on peut cuire et laver, le matériel ordinaire pour le feu est donné; enfin chaque personne possède une armoire où elle range ses affaires. Tout cela est libre de frais.

La nourriture est préparée par une femme, la femme du surveillant; elle range aussi l'habitation commune et la chambre à coucher, elle s'occupe enfin du pelage de la quantité des pommes de terre nécessaire par jour et elle reçoit pour cela 1 m. 10.

Chaque travailleur doit remplir totalement la durée de son engagement, à moins que par sa conduite il ne rende nécessaire son congé. Lorsqu'un ouvrier a reçu son congé, il doit évacuer la salle et le dortoir.

APPAREILS DE TRAVAIL.

Tous les ouvriers doivent avoir à eux une bonne bêche, les hommes doivent en plus posséder une faux. Les autres instruments sont fournis par l'inspecteur, les ouvriers sont tenus de les rendre propres et indemnes. Tout dommage causé à un outil prêté, dommage dû à un mauvais usage de l'instrument, toute perte d'outils entraînent le paiement intégral de l'instrument par l'ouvrier.

ASSURANCE CONTRE LA MALADIE.

Chaque ouvrier s'engage à adhérer à la caisse des malades établie dans le pays, il doit payer jusqu'à ce que le taux ne varie plus comme contribution et par semaine s'il est

Homme ou du sexe masculin, 50 pfg.
Femme ou du sexe féminin, 33 pfg.

En cas de maladie ils reçoivent au bout de trois jours un secours montant à 35 à 40 pfennings par jour.

Suivent ensuite les considérations sur l'obéissance des ouvriers, etc., etc.

et de l'arrachage des pommes de terre une centaine d'enfants de 8 à 14 ans en plus.

Aussi la dépense occasionnée par les salaires des ouvriers est-elle une des plus grosses charges des fermes à betteraves de l'Allemagne. Pour le domaine de Schlanstedt (873 hectares), de 1893 à 1898, la dépense pour les salaires aurait été de 162 392 marks, soit 202 290 francs par an, bien que les salaires soient certainement, même à l'heure actuelle, sensiblement inférieurs à ceux qui sont payés dans nos fermes industrielles à betteraves de la France.

Au point de vue pratique, ce qui nous a surtout frappé est la *souplesse de*



Fig. 13. — Groupe d'ouvriers rentrant, le soir, du travail sous la conduite de leurs surveillants.

cette main-d'œuvre. Le patron allemand en dispose beaucoup plus à son gré que ne peut le faire le patron français ; aussi dans ces fermes allemandes, l'abondance, la souplesse, le bas prix de la main-d'œuvre permettent une multitude de travaux utiles que l'agriculteur français, dans des conditions économiques différentes à ce point de vue de la main-d'œuvre, ne peut entreprendre.

Le rôle du propriétaire ou fermier directeur de l'exploitation. — Sol naturellement très fertile et d'une culture facile, main-d'œuvre dans de bonnes conditions, débouchés abondants pour les produits agricoles par suite de la densité toujours croissante de la population, reste, pour concourir à assurer la prospérité de ces fermes, un facteur qu'il ne faut pas oublier : l'intelligence, le savoir, la volonté du propriétaire ou du fermier qui les exploite : « Dans presque

tous les grands domaines (exploitations à betteraves) que j'ai eu l'occasion de visiter, j'ai trouvé, à la tête de l'exploitation, un propriétaire actif, instruit des progrès récents de l'agronomie, dirigeant sa culture et l'aimant (1). »

Telle a été également notre impression chez les propriétaires ou fermiers des grandes exploitations que nous avons eu l'occasion de visiter (nous reconnaissons du reste qu'ils sont considérés, en Allemagne même, comme étant l'élite de la classe des agriculteurs); nous avons été frappé par la direction personnelle et constante qu'ils se sont réservée de leurs exploitations; par l'im-



14. Fig. — Une grande exploitation agricole. — A gauche, donnant directement sur la cour, l'habitation du fermier.

portance qu'ils attachent aux recherches scientifiques et à leur application immédiate dans le domaine de la pratique, aussi bien pour la culture des champs que pour la nourriture du bétail.

Nous revoyons encore tel de ces propriétaires, malgré ses 75 ans, visitant

(1) M. de Rousiers, *Hambourg et l'Allemagne contemporaine*, p. 25, et ailleurs M. de Rousiers écrit en décrivant sa visite chez un propriétaire des environs de Mersebourg : « Un château du type de la Renaissance allemande est construit sur l'un des côtés d'une immense cour de ferme; je note cette disposition parce qu'elle se retrouve ordinairement sur les terres allemandes que j'ai visitées; les châteaux ne sont pas isolés du train de culture, comme on s'efforce de le faire généralement en Angleterre et en France; ils sont placés de manière à faciliter la surveillance du maître, au détriment de l'élégance de leurs abords. »

chaque jour, en voiture, ses sept fermes, recevant tous les matins son ober-inspector, ou inspecteur général des cultures; le téléphone, du reste, dans son cabinet de travail, le mettant en communication non seulement avec ses fermes, mais avec sa sucrerie, sa distillerie et sa laiterie de Halle. Nous entendons encore les accents émus avec lesquels la femme de ce grand propriétaire nous parlait de Mærker, et de la grande perte que sa mort avait été pour l'Agriculture.

Les photographies reproduites ici, des cours de ferme (fig. 14 et 15), permettent de se rendre compte aussi de ce fait qu'avait si justement observé

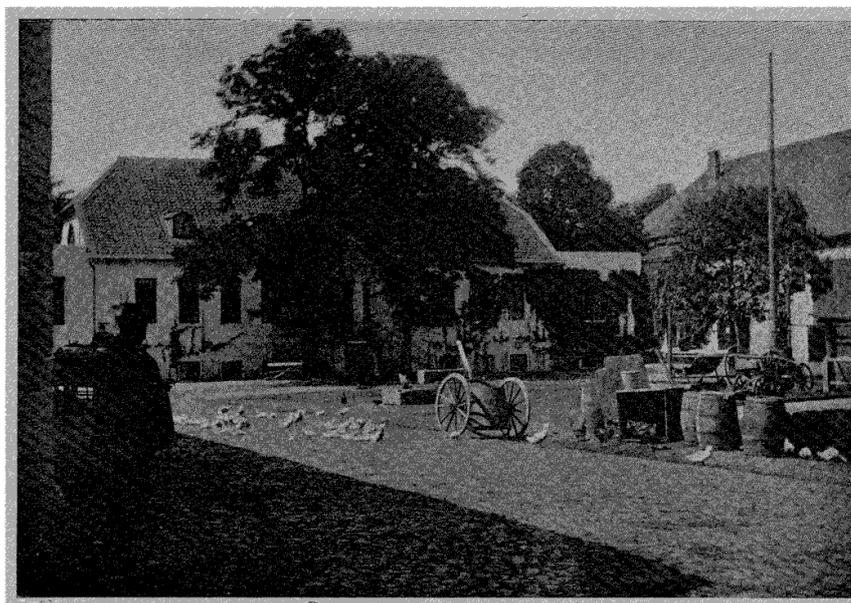


Fig. 15. — La ferme de Mûchenhof. — Dans le fond l'habitation du propriétaire.

M. de Rousiers : l'habitation du propriétaire, du directeur de l'exploitation, en communication directe et ayant vue sur les divers bâtiments de la ferme même.

Les sucreries sont coopératives. — Enfin, ces propriétaires et agriculteurs et, non seulement les très grands, mais les moyens, les petits même, dans ces régions de culture de la betterave, possèdent une éducation, une formation industrielle et commerciale (celle qui manque le plus à nos agriculteurs français) par ce fait même que la sucrerie, à laquelle ils livrent leurs betteraves, est en définitive leur usine. La plupart des sucreries allemandes sont, en effet, des sucreries coopératives, sucreries organisées entre propriétaires agriculteurs, voisins uniquement; chacun s'engageant à cultiver annuellement une certaine quantité de betteraves (dans certaines sucreries 3 morgens, ailleurs 8 morgens,

soit 3/4 à 2 hectares sont suffisants) et à contribuer au fonds social à raison de tant de marks par morgen ainsi cultivé (1).

M. de Rousiers a très bien mis en relief les heureux effets, au point de vue agricole, de cette union intime de la culture et de la fabrication, réalisée dans ces sucreries coopératives, tout en signalant certains inconvénients : ce type de sucrerie ne possédant pas toute la souplesse d'une affaire industrielle ordinaire.

En France les sucreries coopératives sont l'exception tout à fait ; en Allemagne elles sont la règle. C'est cet esprit d'association très développé en Allemagne (2) et depuis longtemps déjà, qui explique, croyons-nous devoir le faire observer en passant, le nombre des kornhauser, des greniers coopératifs pour la vente des grains, dans ce pays, et le succès qu'ils ont obtenu. L'éducation coopérative des grands agriculteurs et propriétaires était déjà faite, tel n'est pas encore le cas en France.

Fermes expérimentales. — Il est, enfin, une dernière forme sous laquelle l'association s'est manifestée parmi les agriculteurs et qui n'a pas été la moindre des causes du progrès de l'Agriculture en Allemagne : l'association pour la création et l'entretien de laboratoires de recherches et de fermes expérimentales. Telle la *ferme expérimentale de Lauchstädt* (fig. 16).

La Chambre d'agriculture de la province de Saxe et des États annexés à cette Chambre (grands-duchés de Anhalt et de Gotha) possède depuis 1863, à Halle, une station agronomique pour des recherches scientifiques sur l'alimentation des animaux et des plantes, etc. Cette station comprend, entre autres annexes, une ferme expérimentale à Lauchstädt (à 16 kilomètres de Halle) avec 50 hectares de champs, et 5 hectares de prairies, des bâtiments d'exploitation, des étables pour les expériences sur l'alimentation et sur la production de fumier, enfin, une station de végétation.

Ce n'est pas du tout une ferme attenant à une école d'agriculture et dirigée en vue de l'enseignement des élèves. C'est une ferme uniquement de recherches et merveilleusement outillée dans ce but, disposant, soit dans les champs, soit à la ferme même, de tout le matériel, de tout le personnel nécessaires. Le propriétaire du terrain abandonne le fermage ; l'état donne 20 000 marks. Les agriculteurs complètent les ressources nécessaires pour équilibrer le budget qui atteint 67 500 marks par an, soit 84 375 francs.

C'est que les Allemands ont compris la haute portée pratique des recherches scientifiques. « Ils ont, sous leur enveloppe un peu épaisse, une conception très juste du rôle des sciences appliquées... » dit M. de Rousiers, et plus loin il

(1) C'est même parce que le producteur de betteraves se trouve en même temps fabricant qu'il est en définitive très difficile de se rendre compte du rapport en argent d'un hectare de betteraves et de le comparer à celui obtenu par le producteur français.

(2) G. Blondel. Etudes sur les populations rurales de l'Allemagne, consulter entre autres ch. II, p. 221, *l'Association dans la vie rurale du peuple allemand*.

ajoute : « Les Allemands ont dû la plupart de leurs succès au labeur patient et opiniâtre de leurs savants et à la confiance que les praticiens avaient en eux. Il y a toujours contact entre les uns et les autres et c'est à leur mutuel avantage. »

Il me semble qu'un double enseignement se dégage d'une visite attentive dans cette région de culture industrielle de la Saxe ; un enseignement technique d'abord : habile répartition de cultures plus variées que dans nos fermes à betteraves ; soin extrême qu'apportent ces agriculteurs à la tenue, à la propreté de leurs terres, soin extrême qu'ils apportent à ne rien laisser perdre des matières fertiles



Fig. 16. — La cour de la ferme expérimentale de Lauchstadt.

santes de la ferme, soin extrême qu'ils apportent à l'établissement des rations alimentaires de leurs animaux. Quant à l'enseignement économique, nouvelle constatation des avantages matériels et moraux que peut procurer l'association.

Vous avez pu constater au cours de cette conférence, Mesdames et Messieurs, que je n'ai pas ménagé les compliments, très sincères du reste, à ces grands propriétaires et agriculteurs allemands, directeurs des fermes à betteraves dont je viens de vous parler.

Est-ce donc à dire que nous n'ayons pas en France de régions agricoles, aussi bien cultivées, d'exploitations aussi bien entendues et dirigées que ces grandes fermes à betteraves allemandes ? Ce serait une erreur de croire le contraire. Les rendements très élevés des fermes allemandes, que je vous ai

cités, sont obtenus dans beaucoup de nos exploitations de la Brie, du Soissonnais, du Santerre, de l'Artois, et le sont sur des terres naturellement moins fertiles et moins faciles à cultiver. La main-d'œuvre y est plus chère, moins souple, mais à la fin des excursions organisées par le Congrès d'Agriculture en 1900, le prince Ferdinand Lobkowitz, au nom des étrangers qui venaient de parcourir les fermes à betteraves de l'Aisne, du Nord, du Pas-de-Calais, ne déclarait-il pas avec raison que notre sol est travaillé par l'ouvrier le plus intelligent : et n'est-ce pas à notre honneur si sa condition sociale, son bien-être sont supérieurs à la condition sociale et au bien-être de l'ouvrier allemand ? A côté de la juste renommée que se sont acquise ces grands propriétaires français, qui, dans toutes les branches de l'agriculture, ont donné l'exemple des améliorations et des progrès ; ne sont-ce pas de véritables titres de noblesse, comme le disait M. Bauduin, le président d'honneur de ce même Congrès d'Agriculture de 1900, qu'ont acquis ces dynasties de fermiers de la Brie, du Nord, etc., qui depuis 150, 200 ans et plus, cultivent les mêmes fermes et les ont portées au plus haut degré de prospérité, de fertilité et de richesse agricole !

Combien maigre paraît le budget alloué à nos savants, mis en regard de celui des savants allemands pour les recherches intéressant l'agriculture ! Combien faibles semblent leurs moyens d'action ! Sans doute il y a malheureusement de ce fait toute une série de recherches qui leur sont interdites, en particulier en ce qui concerne l'alimentation des animaux, et cependant, ici encore, les résultats obtenus sont-ils inférieurs à ceux obtenus en Allemagne ? Pour mon compte, en visitant l'institut agronomique de Halle, son champ d'études de plus de 100 hectares, ses étables où toutes les races d'animaux domestiques ont été réunies, ses laboratoires si bien outillés, ses collections si complètes, cette ferme expérimentale de Lauchstädt, comparant tout cet ensemble de moyens de recherches à ceux dont disposaient en France mes maîtres de l'Institut agronomique, et songeant à l'œuvre que néanmoins ils avaient accomplie, je sentais grandir mes sentiments d'admiration vis-à-vis de ces maîtres. Qu'était la modeste ferme de Joinville auprès de ces installations ? et cependant, pour ne parler que de ceux qui malheureusement ne sont plus, n'est-ce pas là qu'Aimé Girard avait commencé, poursuivi et mené à bonne fin ses travaux sur la betterave, et sur la pomme de terre, qui ont eu des conséquences pratiques si importantes ? N'avait-il pas su, enfin, Aimé Girard, grouper les agriculteurs, les associer à son œuvre de recherches et n'était-ce pas par centaines qu'il comptait dans toutes les régions de la France les agriculteurs qu'il appelait ses *collaborateurs* ? Ceux-ci, sous sa direction, en suivant ses conseils, multipliaient les expériences, et ensuite, par l'exemple, autour d'eux, de tous côtés en France, ont su répandre les bonnes méthodes agricoles.

H. HITIER.

CONSTRUCTIONS

ESSAIS DE FLEXION SUR DES BARRETTES VERTICALES DE CIMENT SOUMISES A UN EFFORT DÉTERMINANT DANS LEUR LONGUEUR UN MOMENT FLÉCHISSANT CONSTANT, **par**
M. L. Deval.

Le but de ces essais était de rechercher si ce procédé de rupture par flexion pouvait s'appliquer aux essais rapides des ciments et, en second lieu, si les résistances obtenues étaient, comme l'a pensé M. Le Chatelier, proportionnelles au rapport $\frac{c}{1-s}$, c représentant le poids du ciment et s le volume de sable contenu dans un litre de mortier frais.

La longueur des barrettes soumises aux essais était de 12 à 15 centimètres, et leur section un carré de 2 centimètres de côté.

Le sable composant les mortiers était le sable de Seine contenant environ 40 p. 100 d'éléments calcaires.

Les barrettes de mortier, à cause de leur fragilité, ont été démoulées et immergées au bout de quarante-huit heures.

Le dispositif adopté, pour la rupture des barrettes, était un levier horizontal dans lequel s'encastrait l'extrémité supérieure de la barrette qui était maintenue verticale par l'encastrement de sa partie inférieure. Le moment fléchissant était ainsi le même dans toute la longueur des barrettes comprise entre les encastresments.

Avec les barrettes de 0^m,15 de longueur on a pu faire, sur la même barrette, trois ruptures successives. Il est à remarquer que les trois ruptures n'ont pas donné le même résultat. La première s'est produite généralement sous la charge la plus faible et les deux autres sous des charges plus fortes, ainsi que le montrent les chiffres suivants inscrits dans l'ordre des ruptures :

	4,050	4,130	4,260	Écart moyen p. 100.	6,5
	0,910	0,945	1,115	—	8,9
Mortier 1/3 rompu après 28 jours.	0,732	0,746	0,837	—	5,5
	0,751	0,760	0,827	—	4,0
	0,813	0,952	1,048	—	5,2
	0,732	0,892	0,803	—	6,8
	0,515	0,695	0,737	—	13,7
	0,760	0,815	0,780	—	3,8

Ces différences peuvent être attribuées au défaut d'homogénéité des barrettes. Toutes les sections transversales des barrettes étant soumises aux mêmes efforts, la première rupture doit se produire dans la section de plus faible résistance, ou bien dans celle qui présenterait un défaut. La seconde rupture exige ensuite un effort plus grand; il en est de même de la troisième, à la condition toutefois de ne pas faire travailler les sections de la barrette, qui pendant les ruptures précédentes se trouvaient dans les encastremets. Nous avons cependant constaté, dans l'ordre croissant des charges de rupture, d'assez nombreuses exceptions que nous ne pouvons expliquer.

L'écart moyen pour cent entre les ruptures successives de la même barrette varie, dans les exemples inscrits plus haut, de 3,8 à 13,7. Il est en moyenne, dans nos expériences qui comportent la rupture d'environ 400 barrettes, de 4,6 pour le mortier 1/3 et 5,6 pour le mortier 1/5.

Les ruptures successives de la même barrette font reconnaître que, malgré le soin apporté dans sa préparation la résistance du mortier n'y est pas uniforme, ce que l'on ne pourrait constater avec le mode actuel d'expérimentation qui consiste à rompre les éprouvettes une seule fois et dans une section déterminée.

Les essais de flexion sur des barrettes qui se prêtent à plusieurs ruptures successives pourraient peut-être permettre de rechercher quel est le mode de préparation qui donnerait aux éprouvettes le plus d'homogénéité.

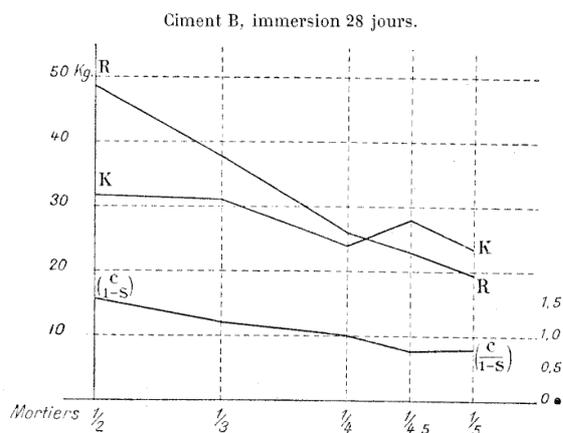
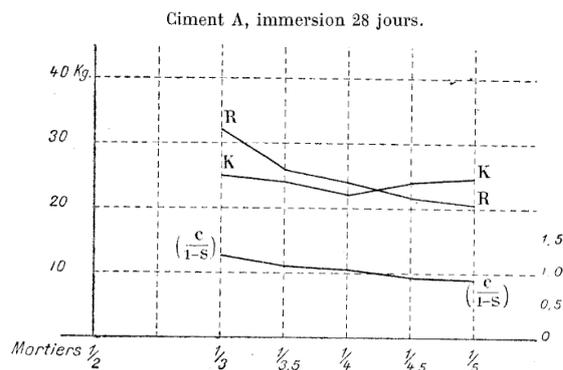
Pour rechercher si les essais de flexion à moment fléchissant constant peuvent être employés dans les essais rapides des ciments, on a comparé les résultats donnés par cette méthode, après sept jours, à ceux que fournit dans la pratique la rupture par traction des briquettes de cinq centimètres de section, ainsi que les écarts que présentent entre eux ces résultats dans chacune des deux méthodes.

Avec différents ciments on a fait, en même temps, trois barrettes et deux briquettes de mortier 1/3, les premières avec le sable de Seine, les secondes avec le sable normal de Boulogne. Les barrettes ont été démoulées et immergées quarante-huit heures après leur confection et les briquettes après vingt-quatre heures seulement. Le mortier a été fortement comprimé dans les moules, et la rupture a eu lieu sept jours après la confection des éprouvettes.

Quoique les barrettes et les briquettes n'aient pas été faites dans les mêmes conditions au point de vue de la nature du sable, du démoulage et de la durée de l'immersion, nous comparons dans le tableau n° 1 les résultats des diverses ruptures.

Chacune des barrettes a été rompue deux fois, et le travail à la flexion est la moyenne des valeurs fournies par les six ruptures des trois barrettes du même mortier. Les résistances à l'arrachement sont la moyenne des deux ruptures fournies par les deux briquettes

Entre les six ruptures par flexion l'écart moyen pour cent est quelquefois plus grand et quelquefois plus petit qu'entre les deux ruptures par traction (colonnes 3 et 5 du tableau). Sur 24 séries d'expériences, quinze fois cet écart est plus grand dans les ruptures par flexion, et dans les neuf autres séries ce sont les ruptures par arrachement qui donnent le plus grand écart. La moyenne

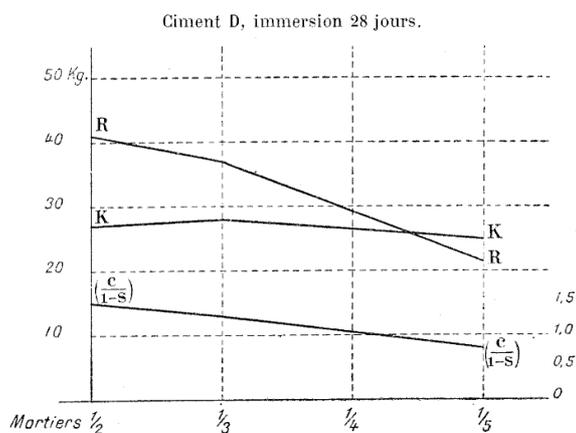
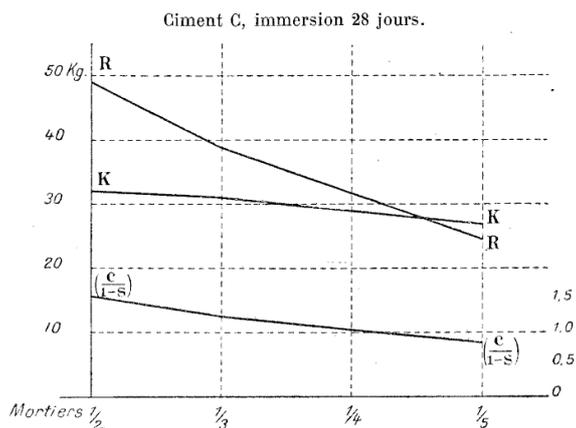


des écarts est pour les ruptures par flexion 8,2 et seulement 6 pour les ruptures par traction. Ces chiffres ne sont pas assez différents pour qu'on puisse conclure qu'une de ces méthodes d'essais est plus précise que l'autre.

Les moyennes des écarts ne diffèrent que de 2,2. Cette différence pourrait peut-être être attribuée à ce que la même barrette a donné deux résultats dont le premier pourrait être trop faible si la barrette présentait une imperfection comme on l'a dit plus haut.

Si l'on considère le rapport entre le travail maximum des barrettes à la flexion et la résistance moyenne des briquettes à l'arrachement (colonne 6), on remarque qu'il varie dans d'assez grandes limites, mais que sa moyenne est 1,67.

M. Durand-Claye, en opérant avec des pâtes pures et sur des barrettes char-

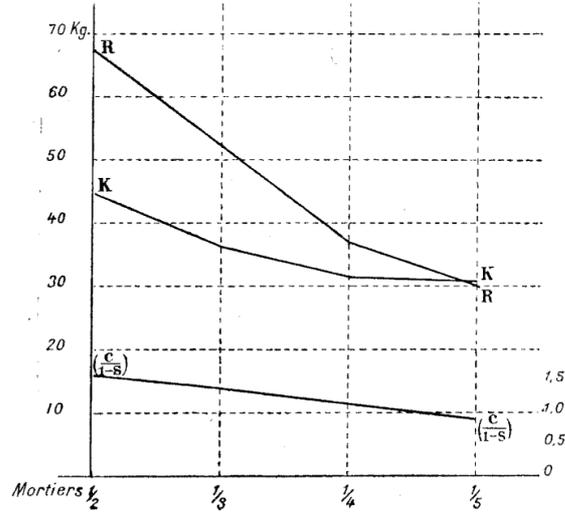


gées en leur milieu, avait trouvé que ce rapport était 1,90. Dans d'autres expériences faites à l'École des Ponts et Chaussées avec des mortiers plastiques 1/3 et le sable normal (1) M. Mercier a trouvé 1,68, chiffre presque égal à celui auquel nous conduisent nos expériences.

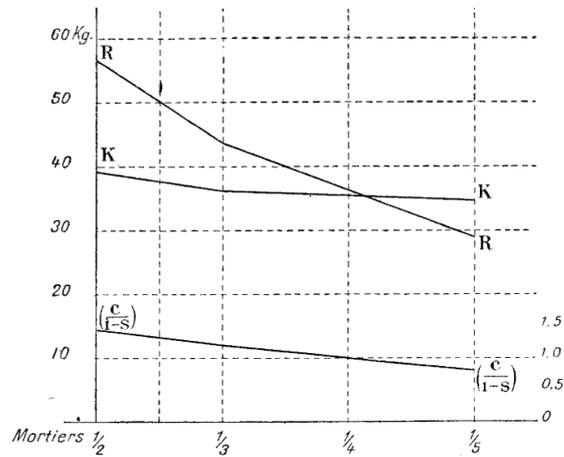
(1) Sur des barrettes chargées en leur milieu.

Avec le sable de Seine et en comprimant fortement le mortier dans les moules on arrive sensiblement au même résultat que M. Mercier avec le sable

Ciment E, immersion 28 jours.

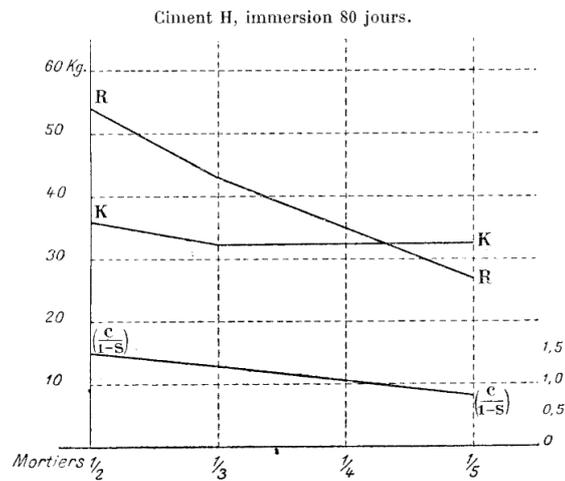
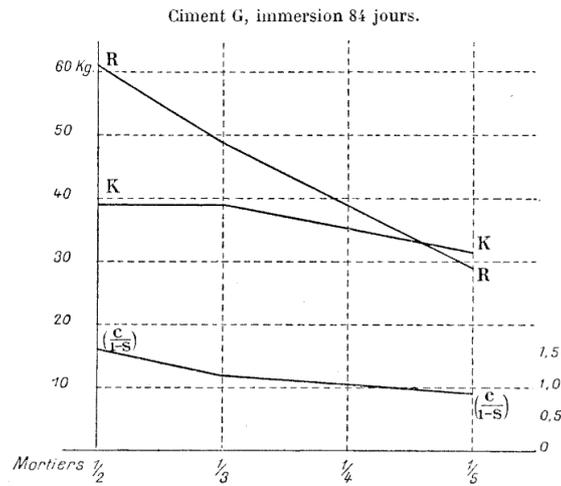


Ciment F, immersion 3 mois.



normal et le mortier plastique. Il semble, par suite, que la nature du sable n'exerce pas une influence sensible et que la compression des mortiers dans les moules ne serait pas nécessaire.

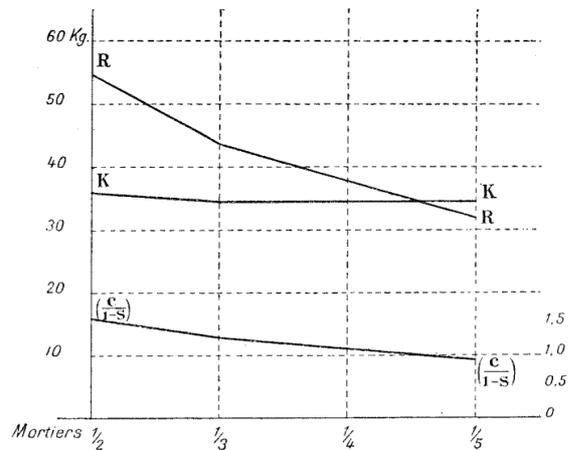
Ainsi les essais de flexion, à moment fléchissant constant, sur des barrettes verticales, conduisent au même résultat que les essais de flexion sur des barrettes chargées en leur milieu.



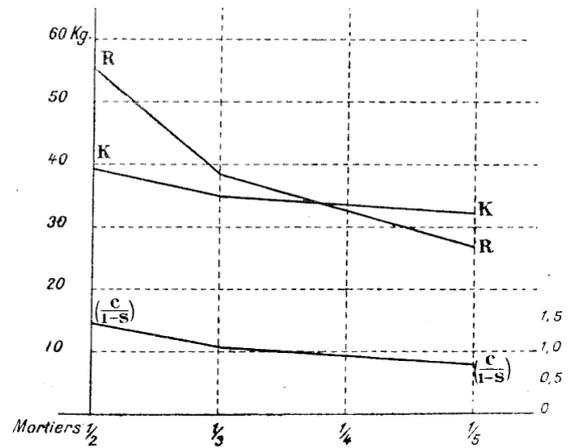
Nos expériences ne sont pas assez nombreuses et ont entre elles des écarts trop grands pour que nous ayons pu déterminer avec précision le rapport entre le travail à la flexion et la résistance à l'arrachement; mais en présence

de deux résultats presque identiques obtenus avec des procédés de flexion différents et avec des mortiers préparés différemment il y aurait peut-être intérêt à les continuer. Ce rapport une fois bien déterminé, les essais de flexion sur

Ciment I, immersion 75 jours.



Ciment J, immersion 70 jours.



des barrettes verticales n'exigeant pas d'appareil coûteux et donnant des résultats dont les écarts sont du même ordre que ceux des ruptures par arrachement pourraient être utilisés dans les essais rapides des ciments sur les chantiers où

TABLEAU N° 1.

Comparaison des ruptures par flexion aux ruptures
par traction après sept jours. (Mortiers 1/3.)

Numéros des Ciments	FLEXION		ARRACHEMENT		RAPPORT FLEXION ARRACHEMENT	OBSERVATIONS
	Travail maximum — Moyenne de six ruptures	Écarts — moyens 0/0	Résistance — Moyenne de deux ruptures	Écarts — moyens 0/0		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
	MORTIERS SECS BATTUS DANS LES MOULES					Les briquettes ont été faites avec le sable normal de Boulogne et les barrettes avec le sable de Seine tamisé à la grosseur du sable normal.
	k. h.	k. h.	k. h.	k. h.	k. h.	
1	27 2	8 5	12 »	8 »	2 3	
2	20 7	16 »	15 7	4 7	1 3	
3	22 2	3 8	10 4	10 5	2 1	
4	26 9	12 »	12 7	6 »	2 1	
5	20 7	6 »	20 5	9 7	1 »	
6	15 9	16 »	14 »	3 5	4 1	
7	25 »	12 »	15 5	0 »	1 6	
8	13 5	12 »	11 7	15 3	1 2	
9	31 5	10 »	14 »	0 »	2 2	
10	14 5	5 »	12 5	4 »	1 1	
11	22 5	8 5	13 8	9 »	1 6	
12	25 2	8 »	11 5	13 »	2 2	
13	46 »	9 3	7 7	» 6	2 1	
14	30 2	2 8	18 »	5 5	1 7	
15	11 9	8 4	10 7	2 3	1 1	
16	25 8	10 5	21 »	9 5	1 2	
17	27 6	7 »	16 2	4 6	1 7	
18	21 6	4 »	12 5	8 »	1 7	
19	25 1	4 8	15 5	3 2	4 6	
20	30 9	4 »	14 5	0 »	2 1	
21	21 8	10 6	13 »	8 »	1 7	
22	24 2	6 8	12 2	2 »	2 »	
23	18 2	5 »	9 1	7 7	2 »	
24	25 5	8 »	16 5	9 »	1 5	
Moyennes.		8 2		6 »	1.67	

l'on n'a pas besoin d'une grande approximation et où on n'a pas de sable normal.

Le second objet de nos recherches a été de vérifier si, comme l'a pensé M. Le Chatelier, la résistance à la traction était proportionnelle au rapport

$$\frac{c}{1-s}.$$

Les essais par flexion et ceux par traction conduisant à des résultats sensiblement proportionnels, nous avons cherché à vérifier l'hypothèse de M. Le Chatelier en soumettant à la rupture par flexion des barrettes de mortier plastiques dans lesquelles le sable, le ciment et l'eau ont été exactement pesés.

Le mortier a été réparti dans les moules aussi également que possible sous la pression du doigt. Les moules ont été pesés d'abord vides et ensuite pleins, ce qui a permis de déterminer la proportion de ciment et de sable contenus dans chaque barrette.

On a fait avec différents ciments deux barrettes de même mortier, et chaque barrette a été rompue trois fois. Le rapport $\frac{c}{1-s}$ a été obtenu en prenant pour c la moyenne des poids de ciment et pour s la moyenne des volumes de sable contenus dans l'unité de volume de la barrette.

Le travail maximum à la flexion est la moyenne des six valeurs du travail maximum obtenu par les ruptures des deux barrettes.

Si le travail T , qui a déterminé la rupture de la barrette, est proportionnel au rapport $\frac{c}{1-s}$ on doit avoir $T = K \left(\frac{c}{1-s} \right)$, K étant un nombre constant pour tous les mortiers d'un même ciment et que M. Feret a appelé *coefficient de résistance*.

Les premiers essais ont eu lieu à sept jours sur les mortiers 1/2, 1/3, 1/4, et avec des ciments laissant de 25 à 38 et même 40 p. 100 de résidus sur le tamis à 5000 mailles. Dans ces ciments grossièrement moulus tous les éléments n'avaient pas, au bout de sept jours, accompli leur période de durcissement et le coefficient de résistance K , que nous avons obtenu pour les mortiers du même ciment, présentait des écarts moyens p. 100 allant jusqu'à 30 p. 100 et dont la moyenne a été 15,6 p. 100.

Avec des ciments passés au tamis de 5000 mailles, le durcissement des mortiers à sept jours devait être plus avancé qu'avec les ciments non tamisés, et les coefficients K pour les mortiers d'un même ciment ont, par suite, présenté moins d'écarts. La moyenne des écarts p. 100 devient 11, au lieu de 15,6 (voir tableau n° 2).

En prolongeant l'immersion des mortiers jusqu'à vingt-huit jours et même au delà, les écarts de K sont réduits presque de moitié et leur moyenne devient

TABLEAU N° 2

CIMENT	MORTIERS	RUPTURES A 7 JOURS			RUPTURES APRÈS 28 JOURS			OBSERVATIONS		
		FLEXION TRAVAIL MAXIMUM Moyenne de 6 ruptures	RAPPORT $\frac{c}{l-s}$	COEFFICIENT DE RÉSISTANCE K	ÉCARTS MOYENS 0/0 de K	FLEXION TRAVAIL MAXIMUM Moyenne de 6 ruptures	RAPPORT $\frac{c}{l-s}$		COEFFICIENT DE RÉSISTANCE K	ÉCARTS MOYENS 0/0 de K
A	1/3	25 73	1 146	22 4	6 9	31 73	1 277	24 8	Ciments passés au tamis de 5000 mailles. Sable de Seine tamisé à la grosseur du sable normal de Boulogne.	
		17 05	0 970	17 5		25 85	1 071	24 1		
		16 59	0 781	21 2		23 95	1 082	22		
		15 73	0 784	20		21 75	0 893	24 3		
	1/4	37 35	1 471	25 5	26 3	48 65	1 526	31 8		
		31 04	1 133	26 9		38 49	1 221	31 5		
		15 64	1 002	15 6		25 69	1 050	24 4		
		14 55	0 862	16 8		23 03	0 837	27 5		
	1/5	10 94	0 790	13 8	11	19 77	0 835	23 6		
		37 80	1 471	25 6		14 5	48 58	1 515		32
		26 05	1 171	22 2			38 91	1 252		31
		13 52	0 742	18 2			24 07	0 876		27 7
41 17	1 526	26 9	15 1	40 97	1 490		27 5			
31 29	1 169	26 8		37 30	1 320	28 2				
17 68	0 949	18 6		21 36	0 835	25 5				
54 56	1 542	35 3		7 8	67 46	1 507	44 7			
41 58	1 310	31 7	52 80		1 435	36 7				
27 61	0 897	30 8	36 94		1 177	31 3				
23 50	0 836	26 5	30 24		0 960	31 5				
F	4/2	41 33	1 672	24 7	5 2	55 74	1 413	39 4	Rupture après 3 mois.	
	1/3	30 93	1 378	22 4		43 37	1 200	36 1		
	1/5	22 36	1 035	21 6		29 16	0 833	35		
G	4/2	45 87	1 666	27 5	9 5	60 59	1 529	39 6	Rupture à 84 jours. L'écart est plus grand qu'à 7 jours.	
	1/3	34 06	1 425	23 8		48 54	1 227	39 5		
	1/5	19 79	0 947	20 9		28 83	0 927	31 1		
H	4/2	33 03	1 389	23 7	11 7	53 08	1 496	35 4	Rupture à 80 jours.	
	1/3	24 41	1 156	21		42 54	1 320	32 2		
	1/5	16 43	0 950	17		26 54	0 817	32 4		
I	4/2	39 99	1 568	25 5	5 4	54 04	1 513	35 7	Rupture à 75 jours.	
	1/3	30 92	1 176	26 2		43 57	1 255	34 7		
	1/5	18 96	0 826	22 9		32 45	0 943	34 4		
J	4/2	"	"	"	"	55 52	1 418	39 1	Rupture à 70 jours.	
	1/3	"	"	"		38 06	1 085	35		
	1/5	"	"	"		26 81	0 825	32 5		
Moyenne				11				6 3		

6,3. Les ciments E et G font exception; l'écart moyen pour cent est plus grand après vingt-huit jours qu'après sept jours.

Le tableau n° 2 résume les essais à sept jours et à une plus longue durée d'immersion. Avec les chiffres des expériences à vingt-huit jours et au delà, on a fait des tracés qui montrent que la courbe représentant K a une tendance à être parallèle à l'axe des x .

Avec deux sables de grosseur différente et le mélange de ces deux sables une série de mortiers 1/3 a été faite. Ces mortiers ont été rompus après une immersion de deux mois. Les mortiers faits avec le sable fin ont donné les plus faibles résistances. Ce sont les mortiers dans lesquels entre le mélange des deux sables qui ont, en général, les résistances les plus fortes. (Tableau n° 3.)

TABLEAU N° 3

Mortiers 1/3 avec sables de diverses grosseurs.

Nombres des Ciments	Durée de l'immersion	Sable	Travail à la flexion	$\frac{c}{1-s}$	Coefficient de résistance K	Ecart moyen, 0/0 de K	OBSERVATIONS
L	5 mois	Gros	46 50	1 221	38 4	4 5	Le travail à la flexion est la moyenne de six ruptures. Le gros sable passe à travers le tamis 12 et est retenu par le tamis 20. Le sable fin passe à travers le tamis 25 et est retenu par le tamis 35. Le mélange des deux sables passe à travers le tamis 12 et est retenu par le tamis 35.
		Fin	43 84	1 134	38 6		
		Mélange	45 83	1 234	37 1		
M	2 mois 1/2	Gros	36 03	1 197	30 4	3 3	
		Fin	34 57	1 051	32 8		
		Mélange	39 11	1 216	32 1		
N	3 mois	Gros	24 32	1 046	23 2	7 9	
		Fin	19 52	0 973	20 »		
		Mélange	28 82	1 159	24 8		
O	3 mois	Gros	34 60	1 268	27 3	7 3	
		Fin	26 36	1 116	23 6		
		Mélange	36 16	1 262	28 6		
P	2 mois 1/2	Gros	41 82	1 190	35 »	6 4	
		Fin	35 02	1 146	30 5		
		Mélange	47 93	1 344	35 6		
Q	68 jours	Gros	24 73	1 176	21 »	7 7	
		Fin	21 91	1 119	19 5		
		Mélange	27 17	1 129	24 »		
R	70 jours	Gros	48 51	1 353	8	2 8	
		Fin	44 51	1 348	33 »		
		Mélange	48 60	1 419	34 2		

Les écarts moyens pour cent de K varient dans ces trois mortiers, qui ne diffèrent que par la grosseur du sable, de 1,5 à 7,9. Mais il est à remarquer que si, dans ces expériences, on ne tenait pas compte du mortier de sable fin, au lieu d'atteindre 7,9 ces écarts seraient généralement compris entre 0,8 et 3,3, ce qui tient à ce que le sable fin donne des mortiers de faible résistance.

Les erreurs d'expérience peuvent augmenter les écarts de K. Avec des barrettes d'un petit volume, la petite quantité d'eau perdue pendant le gâchage peut faire varier la compacité. Les grains de sable dont le diamètre (0 002) est le dixième de l'épaisseur de la barrette laissent, après que l'on a arasé le moule, une surface rugueuse, qui n'est peut-être pas sans influence sur le volume déjà restreint de la barrette. Enfin, on a vu précédemment que les ruptures d'une même barrette pouvaient avoir entre elles un écart moyen dépassant 13 p. 100.

Malgré ces causes d'erreur, on a pu constater qu'en prolongeant de sept jours à deux mois l'immersion des mortiers, les écarts de K ont diminué presque de moitié et que la moyenne de ces écarts est descendue de 11 à 6,3. Une immersion jusqu'à complet durcissement des mortiers pourrait peut-être encore réduire ces écarts.

Il semble donc que de nouvelles expériences s'imposent pour rechercher si, à mesure que le durcissement des mortiers devient plus complet, les écarts de K tendent vers zéro, c'est-à-dire si la proportionnalité entre la résistance des mortiers et le rapport $\frac{c}{1-s}$ se vérifie.

NOTES DE MÉCANIQUE

EMPLOI DES APPAREILS DE NIVELLEMENT DANS LES ATELIERS
D'APRÈS *M. C. C. Tyler* (1).

Comme le savent nos lecteurs (2), le sol d'un certain nombre de grands ateliers modernes est constitué par une plaque de fonte ininterrompue, rainurée de manière à pouvoir y grouper à volonté, autour des grosses pièces à ouvrir, les machines-outils nécessaires à l'exécution la plus précise et rapide de ces travaux. Ces machines-outils, actionnées par des dynamos, sont complètement indépendantes, faciles à transporter par des grues et ponts roulants convenablement disposés, et l'on peut ainsi, avec des machines d'un emploi usuel, et par conséquent d'un excellent rendement et d'un prix modéré, exécuter d'ensemble, et sur une même pièce fixée au sol de l'atelier, des travaux dont l'exécution les uns après les autres, et par différentes machines, eût exigé chaque fois le déplacement de cette grosse pièce, et dont l'exécution simultanée eût exigé l'emploi de machines spéciales très coûteuses, construites en vue du travail de pièces dont la forme peut changer et rendre ainsi presque impossible la bonne utilisation de ces machines spéciales. La première méthode, par l'amenée de la pièce aux différentes machines-outils, exige des manipulations onéreuses, et qui introduisent de nombreuses causes d'erreur; l'emploi de machines spéciales évite ces manipulations et ces erreurs, mais immobilise de gros capitaux en des machines d'un emploi précaire; l'emploi des machines mobiles indépendantes permet, au contraire, de réaliser à chaque instant, par un groupement convenable de ces machines, la meilleure machine spéciale, celle qui convient le mieux au travail de la pièce, quelles que soient les variations, dans une très grande mesure du moins, de la forme des pièces et des travaux qu'elles exigent. Aussi n'est-il pas étonnant de voir cette méthode se répandre de plus en plus dans les grands ateliers de construction, principalement dans ceux qui traitent de grosses pièces sur lesquelles il faut exécuter un grand nombre de travaux courts et très variés, comme les armatures de dynamos-volants.

Pour tirer de cette méthode tout le profit possible, il faut que les positions des machines-outils mobiles autour de la pièce, et celles même de la pièce sur le sol de fonte, soient exactement repérées, et, pour les pièces et machines de grandes dimensions, les instruments habituels de repérage : équerres, fils à plomb... deviennent insuffisantes; il n'est pas facile de manier de T de 3 mètres de long, ni des compas de 8 mètres de rayon : il faut avoir recours à de véritables appareils de nivellement.

Le théodolite employé avec succès depuis deux ans, par l'auteur, aux ateliers Westinghouse, de Pittsburg Est, est construit par Warner et Swasey; sa base est (fig. 1)

(1) *American Society of mechanical engineers*, meeting de New-York, janvier 1903.

(2) *Bulletin*, février 1902, p. 297 et G. Richard, *La machine-outil moderne*, p. 63.

à quatre vis calantes, avec cercle gradué au sixième de degré, télescope à réticule et objectif de 40 millimètres, à mouvements lents et rapides. Les erreurs de lecture du cercle ne dépassent pas une seconde d'arc, absolument négligeable dans les cas actuels.

Soit à traiter, par cette méthode, la mise en chantier d'un anneau d'armature de-

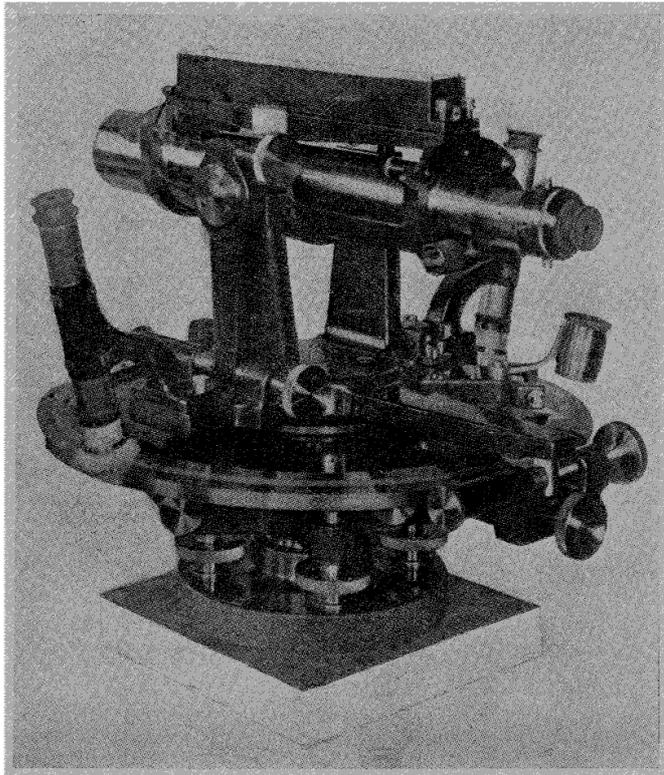


Fig. 1. — Théodolite Warner et Swasey à 4 vis calantes, cercle horizontal de 300 mm. divisé en sixième de degré, fixé sur l'axe creux de la base, dans lequel tourne l'axe du châssis de la lunette : une loupe de grossissement 24 permet de lire le dixième de degré. Lunette avec objectif de 38 mm., grossissement, 15 et 22.

6 mètres environ de rayon, en six sections dont il faut raboter les joints, rainer les rais de cales et percer les trous de boulons. Après avoir monté l'un de ces secteurs sur deux blocs de 0^m,60 de haut, solidement fixés à la plaque du sol, et déterminé son centre au moyen de la jauge radiale (*Centering gauge*, fig. 2 et 3) on fixe en ce centre le théodolite. On dispose, sur l'une des extrémités du secteur, une règle (fig. 4, *Straight edge*) avec, sur elle, une mire (*Target*) dont le fil passe par le bord de la règle, et on vise cette mire, puis on fait la même opération pour l'autre bout du secteur, en y

plaçant la mire par visée, de manière qu'elle soit exactement à 90° de la précédente; les plans de ces deux mires déterminent alors ceux mêmes suivant lesquels il faudra raboter les deux bouts du secteur.

Pour exécuter le rabotage, on amène la mortaiseuse devant la face à raboter, avec

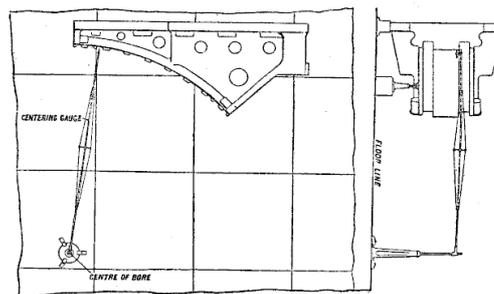


Fig. 2.

sa base exactement parallèle à la règle de cette face, ce qui se fait aisément au moyen de vérins à vis et de tocs fixés au sol, comme en figure 3; puis, pendant que cette

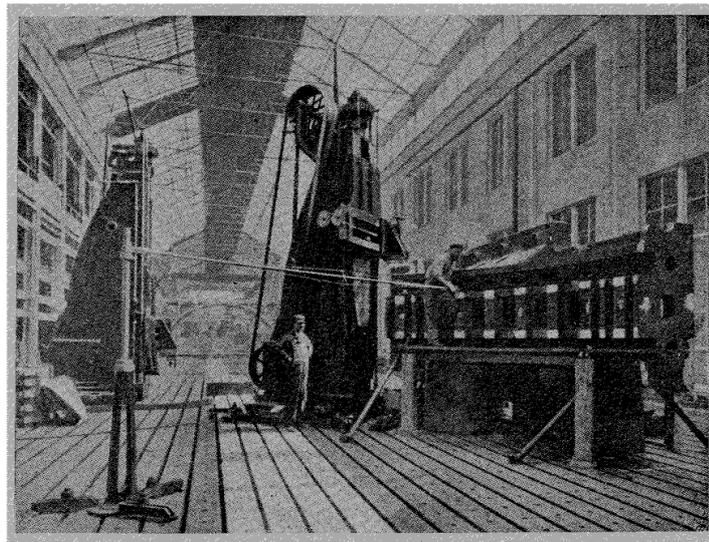


Fig. 3. — Tracé au rayon.

mortaiseuse dégrossit cette face, on installe de même, devant la seconde face, une autre mortaiseuse; on a eu soin de tracer sur les extrémités des secteurs deux traits à la craie indiquant les limites que ne doivent pas dépasser ces coupes dégrossisseuses. Après ce dégrossissage on monte, sur chaque face dégrossie, une mire dont on amène

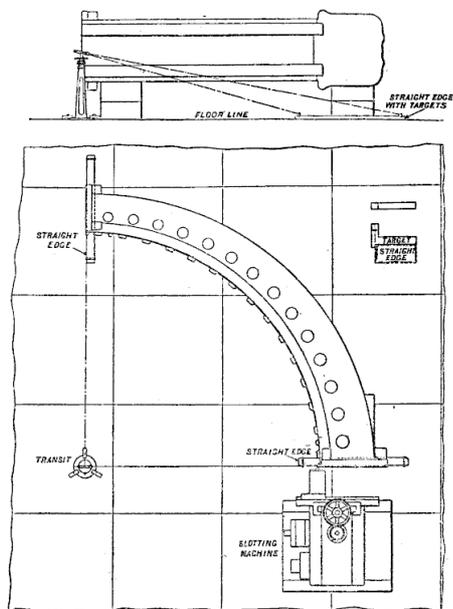


Fig. 4.

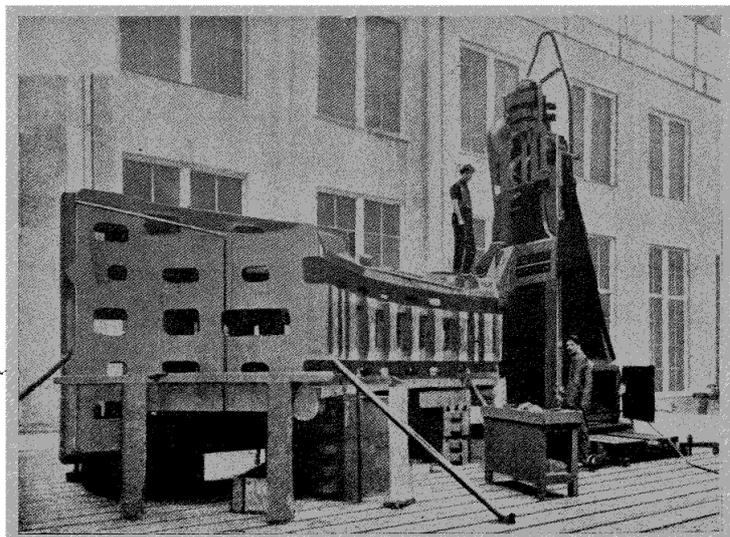


Fig. 5. — Ajustement de la mortaiseuse.

le fil à coïncider avec les plans de rabotage final, et ce au moyen du théodolite, ce qui permet de vérifier en même temps si le rabotage dégrossisseur s'est fait bien parallèlement aux plans prévus pour les faces finies. Si ce parallélisme n'a pas lieu, on rectifie en conséquence la position de la raboteuse.

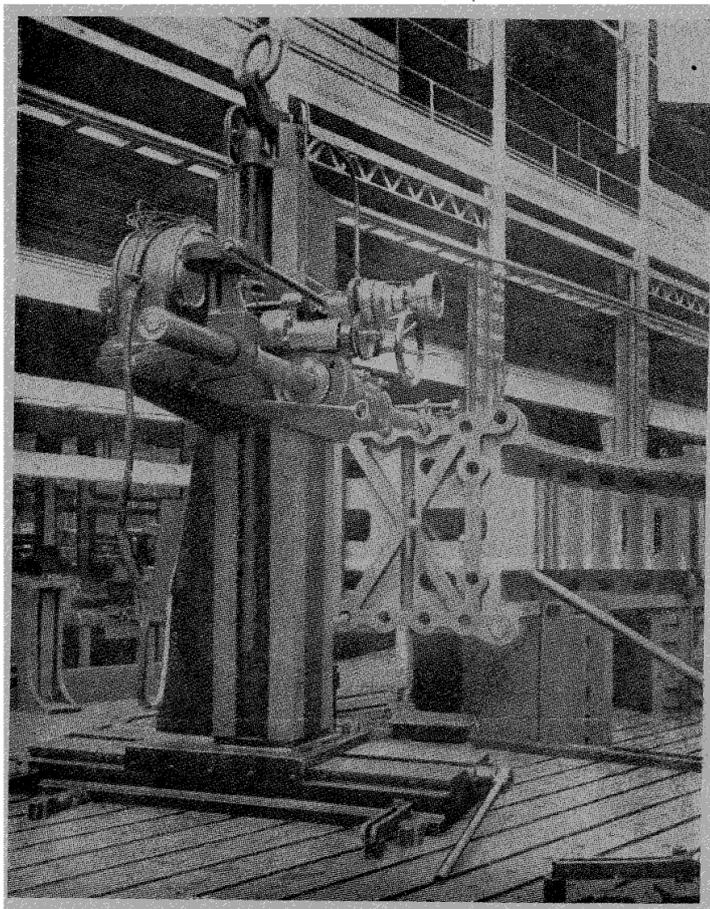


Fig. 6. — Perçage des trous de base.

Le rainage des raies de cale ne présente rien de bien particulier; il se fait à la fraiseuse ou à la mortaiseuse après l'avoir tracé à la mire ou à l'équerre.

Le perçage des trous se fait par une perceuse verticale sur les faces du secteur, tracées convenablement, ou au moyen d'un gabarit, comme sur la figure 6.

Comme application de cette méthode, on peut citer celle faite à la construction des

dynamos de 5 000 kw. représentées par la figure 7, qui pèsent 50 tonnes, et dont le stator a 9^m,20 d'alésage et est divisé en six sections. Cette construction s'effectue

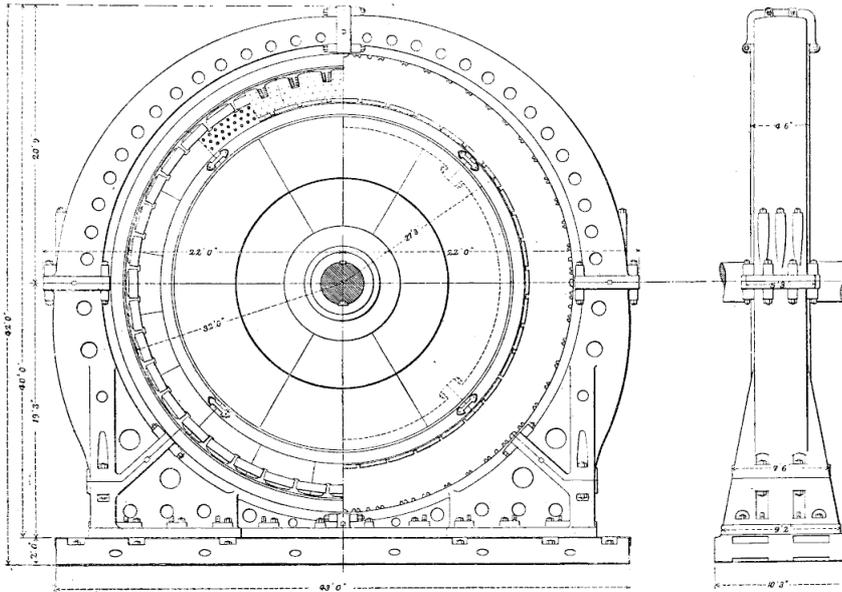


Fig. 7.

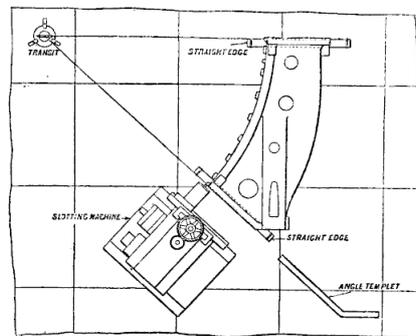


Fig. 8.

sur un sol de 14^m,15 × 53 mètres de long, pesant 90 tonnes, en 132 blocs de fonte de 2^m,45 de côté, sur radiers en briques de 3^m,60 de profondeur, écartés de 1^m,20, et entretoisés par des voûtes, avec l'espace entre les radiers rempli de fonte jusqu'à 1^m,50 de la plaque supérieure de fonte, et couverture en béton disposée pour faciliter le drai-

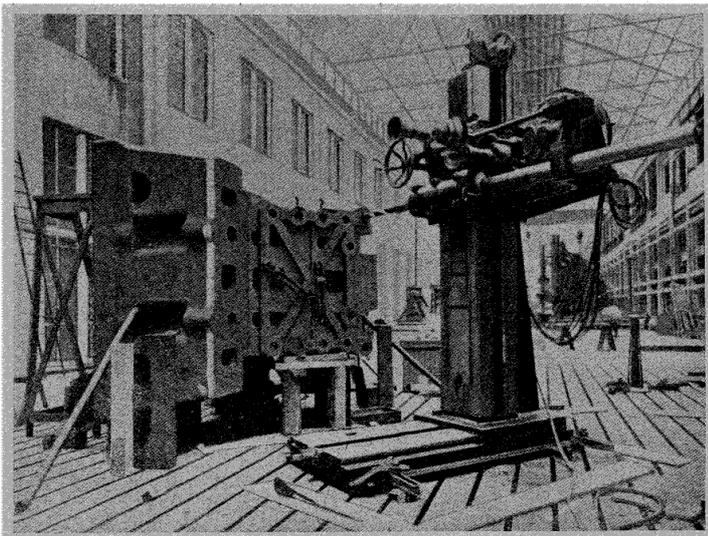


Fig. 9. — Perçage des trous de boulons.

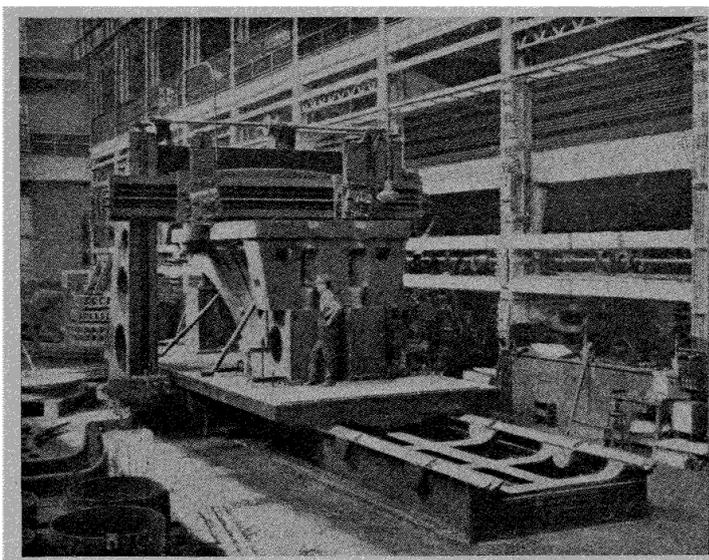


Fig. 10. — Rabotage de la base.

nage. Le plancher en fonte est pourvu de rainures et de trous de vidange disposés de manière à faciliter son drainage et l'enlèvement des copeaux.

Les deux secteurs de base, couchés renversés sur le sol, tracés et divisés par la jauge radiale, ont eu leurs grandes faces dressées, dégrossies, puis finies par le procédé indiqué en figure 8 et révérifiées au théodolite; la mortaiseuse fut ensuite amenée, en se servant de l'équerre (*Angle temple*, fig. 8) dans la position voulue pour le dressage de la petite face; les trous de boulons furent percés sur calibre comme en figure 9, ces calibres étant réversibles de manière à pouvoir

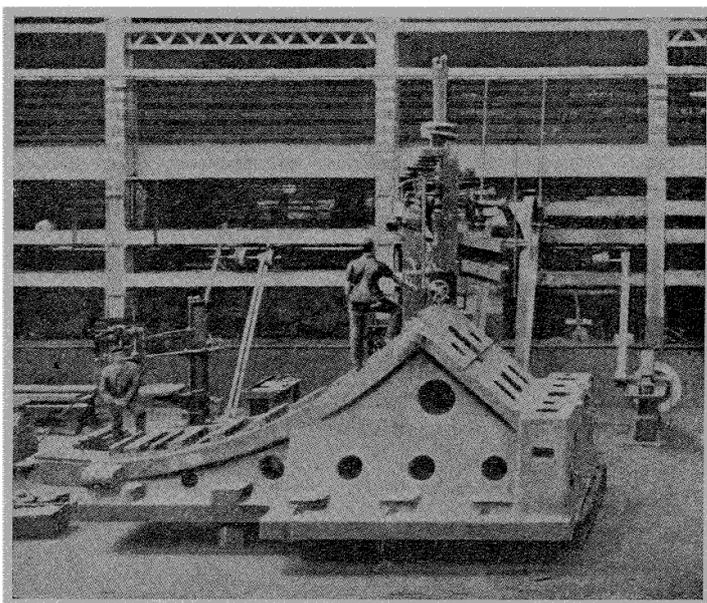


Fig. 11. — Perçage de la base.

servir au perçage des trous du secteur accolé. Le rabotage des bases se fit (fig. 10) sur une raboteuse ordinaire, et leurs trous furent percés comme en figure 11.

Les différentes sections furent ensuite assemblées de manière à constituer l'anneau complet; et leur travail était si exact que, après cet assemblage, l'aplomb du joint vertical supérieur de cet anneau, de 10^m,20 d'alsage, ne s'écartait que de 5 centièmes de pouce en moyenne de celui du joint vertical inférieur (1^{mm},25); le serrage final de ce joint vertical supérieur augmentait le diamètre vertical d'environ 5/100 de pouce.

Cet anneau fut ensuite réassemblé, dans une position horizontale, sur la plaque de 14^m,50 de côté d'un tour alésoir vertical à plateau de 5^m,40 de diamètre. On peut monter (fig. 12) sur ce plateau les machines-outils nécessaires aux différents travaux, et étendre, au moyen de traverses disposées sur ce plateau, l'action de ces machines à un rayon de 6 mètres; le courant arrive aux machines-outils par des câbles flexibles pas-

sant par l'axe du plateau. Après ce nouvel assemblage, on constata que le diamètre avait augmenté de 12 centièmes de pouce (3 millimètres) et l'horizontal diminué en conséquence, mais très peu, ce qui montrait que la déformation s'était produite presque tout entière dans la section supérieure de l'anneau. On ramena par des coins et des tirants le diamètre vertical à sa dimension primitive, et on procéda à l'alésage et au dressage de l'anneau.

Les rais destinés à recevoir les feuillets lamellaires de l'armature furent fraisés

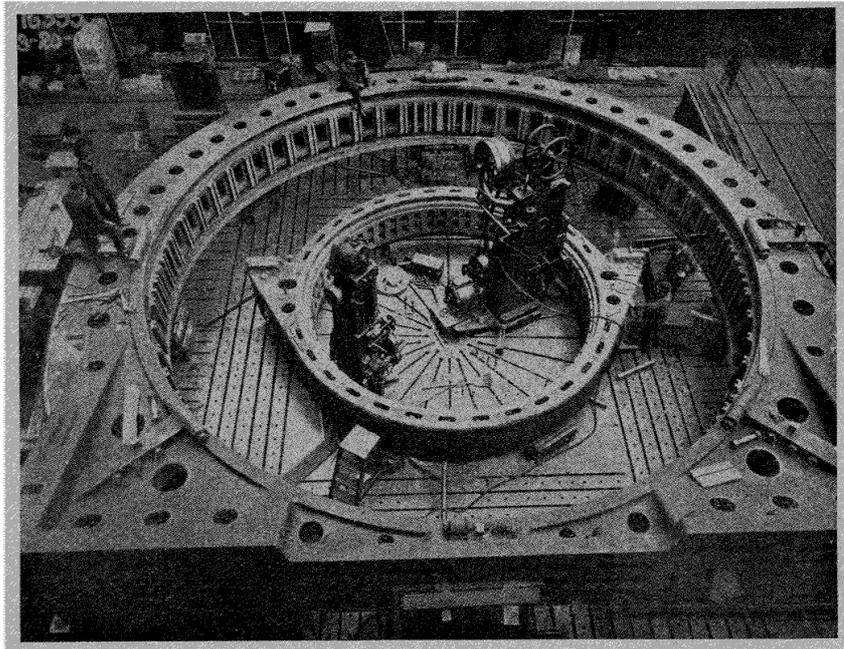


Fig. 12. — Alésage du Stator. La figure montre comme on peut attaquer du stator de différents diamètres.

après division au moyen du diviseur du plateau de la machine. Ce diviseur comprenait, percés sur la jante du plateau, 360 trous, avec fiches en bronze de 6 millimètres de diamètre, abrités dans une gorge de la jante. Le théodolite était monté sur une colonne au centre du plateau et permit de graduer le cercle de ces fiches avec une grande exactitude au moyen d'une mire assez éloignée; on faisait tourner le plateau jusqu'à ce que le fil de la lunette coïncidât avec celui de la mire, pour chaque degré, que l'on marquait par un trait sur la fiche de bronze correspondante au moyen d'un graduateur spécial.

FABRICATION MÉCANIQUE D'UN COUTEAU (1)

Ce couteau, que l'on voit représenté en figure 1, se compose de 27 pièces, et exige, pour sa confection, 112 opérations exécutées, pour la plupart, par les outils représentés en figures 1, 2 et 3; les différentes pièces de ce couteau sont représentées, prêtes à être assemblées, en figure 4. On y reconnaît : en A, la lame; en BB', les joues;

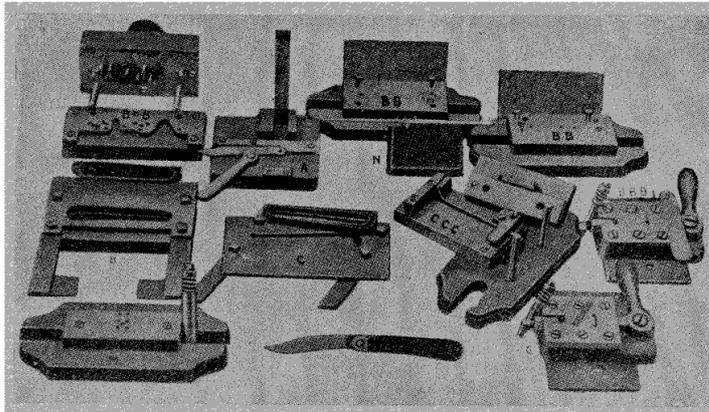


Fig. 1. — Fabrication d'un couteau à bouton.

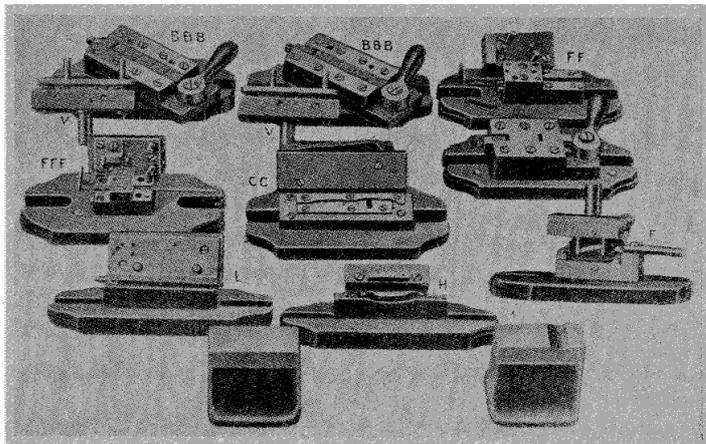


Fig. 2.

en C, le dos; en DDD, la garniture; en EEE, les bouts; en F, le ressort qui ouvre la lame; en FF, celui qui maintient la lame ouverte ou fermée, avec plaque FFF, rivée

(1) *American Machinist*, 21 février, p. 180.

sur lui, comme en FFFF; en 1, le bouton d'ouverture; en 2, une virole; en 3, le verrou du ressort FF; en 4, l'attache de FF sur B'; en 5, l'un des quatre clous de fixation de EEE sur B et B'; en 7, l'une des deux attaches de F et de DC; en 8, l'une des trois attaches de BB' avec C.

Après son forgeage, la lame est percée dans la matrice A (fig. 1) pour le passage de l'axe 2 (fig. 4) et alésée par la broche K, avec porte-lame KK, sur lequel la lame est maintenue par le ressort K; les trous S et T de 3 (fig. 4) sont ensuite percés sur la plaque AA (fig. 3). Ce verrou 3, rivé sur FF et passé dans le trou correspondant de B', s'enclenche en S ou en T, de manière à maintenir A ouverte ou fermée. On fraise ensuite le dos de la lame, en y formant le gradin O (fig. 4); puis on monte cette lame sur un axe en Y, sur laquelle on la fait tourner devant une meule de manière à la

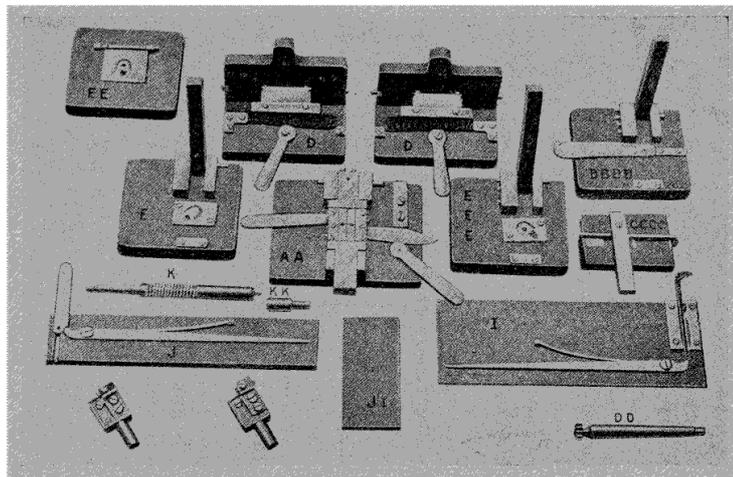


Fig. 3.

meuler au rayon voulu en STO; la lame est ensuite recuite, trempée, marquée, affûtée et glacée, prête à être insérée dans le couteau. L'exactitude du fraisage de O est constatée par le calibre J (fig. 3) qui amplifie dix fois les erreurs; le calibre J' permet de vérifier aussi, au millième de pouce, la position des trous S et T.

La matrice B (fig. 1) sert à l'étampage des joues B et B', percées ensuite, sur BB, de 11 trous en B et 12 en B'; les trous des attaches sont ensuite fraisés pour permettre le rivetage des attaches. Les joues sont alors portées aux étaux BBB (fig. 2) où l'on y rive d'un coup les pièces 5, 6, 8 et 4 (fig. 4) par les poinçons V (fig. 2). L'axe 2 est posé et serré par l'étau BBB' (fig. 1).

Le trou d'axe de B' est ensuite alésé en BBB (fig. 3).

Les dos C, matricés en C (fig. 1), découpés en CCC, marqués pour le perçage en CC (fig. 2), sont fraisés à la longueur exacte en CCCC (fig. 3) vérifiés au calibre 1, et percés de leurs quatre trous dans une perceuse spéciale.

Les garnitures en corne DDD (fig. 4) sont découpées à la scie circulaire par les lon-

gueur et épaisseur voulues, puis à la forme des joues BB'; leurs bouts sont meulés au raccord de EEE et l'on y perce d'un coup, en D (fig. 3), les quatre trous des axes 5 et 7; les entailles DD pour le ressort FFFF, sont ensuite fraisées en par la fraise DD (fig. 3).

Les bouts en maillechort E et EE sont percés en EEE (fig. 3) de trous fraisés ensuite en EE; le bout EE est percé et fraisé en E (fig. 3).

Le ressort F est matricé et découpé en F (fig. 2) trempé, recuit et meulé; son encoche 2 (fig. 4) se loge dans le creux correspondant de C.

Le ressort FF, poinçonné et coupé en longueur en FF (fig. 2) a son bouton 3 rivé en G (fig. 1) puis il est courbé en II (fig. 2); trempé et recuit. Les plaques FFF (fig. 4) sont poinçonnées, formées et coupées en FFF (fig. 2), trempées et recuites.

L'outil M sert à la pose de la douille du bouton 1 (fig. 4), que l'on rive en N; les trois attaches 2 sont rivées en L (fig. 2); le ressort F, mis en place, est fixé par 7 (fig. 4); puis on place B, E, EE, D et DD. Les lames, dressées au martelet, sont ensuite polies et aiguisées à la pierre; le manche du couteau est poli et fini en une seule opération.

Pour ouvrir le couteau, on pousse le bouton 1 (fig. 4) qui, repoussant le ressort FF, lui fait lâcher le verrou 3, ce qui permet au ressort F d'ouvrir la lame qui reste ouverte par son enclenchement en T.

Cette fabrication donne des pièces interchangeables. Les axes, les attaches et le bouton 1 sont faits à la machine à vis Brown et Sharpe entièrement automatique (1) qui fait la besogne de 3 machines à vis non automatiques, en n'exigeant l'attention d'un gamin qu'une heure par jour.

Ces couteaux sont fabriqués par la *Press Button Knife Co.*, de Walden, Orange, N Y, dans un atelier spécialement installé pour cette fabrication par l'inventeur de ce couteau M. G. *Schrade*.

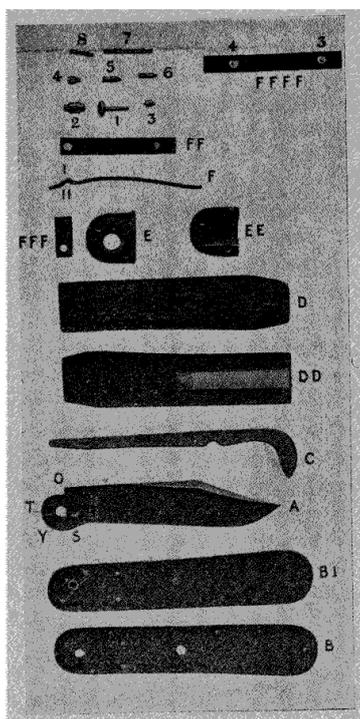


Fig. 4.

EMPLOI DU JET DE SABLE POUR LE NETTOYAGE DES ACIERS
D'APRÈS M. G. W. Lilly (2).

L'emploi du jet de sable pour le nettoyage des ouvrages en fer et en acier se répand de plus en plus aux États-Unis, ainsi que pour celui de leurs pièces avant leur pein-

(1) G. Richard, *Les Machines-Outils à l'Exposition de 1900*, p. 78.

(2) *American Society of Civil Engineers*, février 1903, p. 130.

ture. Il est, en effet, très important de ne poser cette peinture que sur des pièces parfaitement nettoyées, débarrassées de toute rouille, graisse... dont la présence empêche le contact intime et l'adhérence de la peinture sur la pièce. L'action érosive et très énergique du jet de sable assure l'enlèvement complet de ces impuretés.

On emploie encore fréquemment l'appareil de *Mathewson* (1) où le réglage du sable se fait (fig. 1) par un petit tiroir; le jet est amené par un tuyau de caoutchouc de 60 millimètres à un ajutage en fer.

Dans l'appareil de *Warren* (fig. 3) le réglage se fait par une valve tournante au bas de la trémie de sable.

La machine de *Newhouse* (fig. 2) fait passer son sable dans un espace annulaire

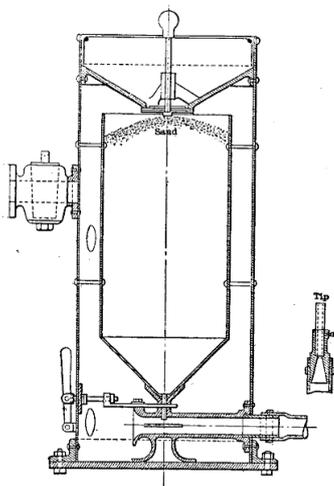


Fig. 1. — Appareil Mathewson.

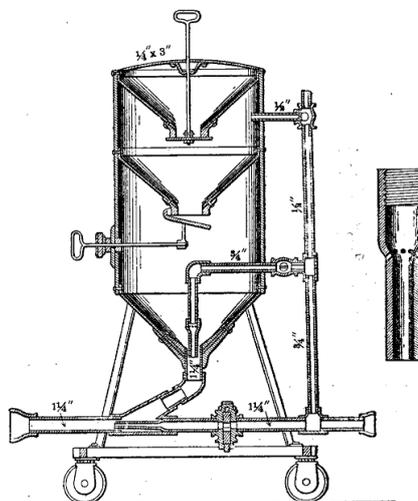


Fig. 2. — Appareil Newhouse.

entre le fond du cône et un éjecteur à trous permettant à une partie de son air d'aller agiter et émulsionner le sable en l'empêchant de s'agglomérer; le réglage se fait en montant ou descendant plus ou moins cet éjecteur. Un second éjecteur sans trous latéraux reprend le jet à son entrée dans le tuyau d'enlèvement.

Le grand mérite du jet de sable est qu'il enlève toute trace d'oxyde, de rouille et de graisse, en laissant partout le métal brillant et propre, même s'il a été piqué et corrodé profondément; il pénètre dans tous les angles et coins inaccessibles aux brosses et grattoirs.

Le jet de sable s'emploie aussi avec succès pour le nettoyage des pièces en fonte ou en bronze, des tubes de condenseurs, des tenders de locomotives avant la repeinture et des tôles de navires...; on peut en nettoyer, avec un seul jet, environ 26 mètres carrés par heure, au prix de 0 fr. 30 par mètre carré, ce qui correspondrait, pour des ouvrages en poutres d'acier lourds, à 2 fr. 50 environ par tonne, et à 8 fr. 70 pour les

(1) *Bulletin* de mai 1893, p. 584.

ouvrages légers, dépense peu importante vis-à-vis de l'augmentation de durée qu'elle assurerait à ces ouvrages.

Le nettoyage du pont de la 155^e rue, à New-York, s'est effectué, en 1897, au jet de sable, sur une surface de 4 650 mètres carrés, au prix moyen de 8 francs le mètre carré, avec une pression d'air beaucoup trop basse, de 1^{kil},4 seulement par centimètre carré. Le viaduc était recouvert d'une couche épaisse de rouille et de quatre couches de vieille peinture; la pression de l'air aurait dû être de 2^{kil},5 au moins. Actuellement, on nettoierait les 56 000 mètres carrés que comprend la totalité de ce viaduc pour environ 2 francs le mètre carré. Le nettoyage des écluses en fer et d'une partie du pont du canal de Muscle Shoals, en 1898, est revenu à environ 1 fr. 60 le mètre carré, avec une installation très bien montée sur un bateau.

En 1899, le Pittsburg Cincinnati Rr fit nettoyer au sable les colonnes et les poutres supportant les voûtes en briques nues de la gare du High St Viaduct, à Columbus, souillées par la fumée et la vapeur des locomotives, au prix d'environ 1 fr. 60 le mètre carré.

Le nettoyage de cinq viaducs de Colombus, sous lesquels passent des locomotives, a coûté, en moyenne, 1 fr. 20 le mètre carré, avec des appareils Newhouse, une pression d'air de 3^{kil},5 au compresseur réduite à 2^{kil},5 au jet. On nettoyait, par heure et par jet, environ 5 mètres carrés, et l'on dépensait environ 20 litres de sable par mètre carré de surface nettoyée. Les ajutages en tuyaux de gaz de 30 à 60 centimètres de long et de 50 millimètres de diamètre duraient environ cinq heures; leur usure était maxima à environ 75 millimètres de leur attache au réducteur de pression. La conduite en caoutchouc amenant le sable au jet, de 60 millimètres de diamètre, avait de 8 à 20 mètres de long, suivant la position du jet.

Les ouvriers qui manient les jets de sable doivent être expérimentés et pourvus de casques à lunettes dont il faut renouveler souvent les verres dépolis par le sable. L'embouchure du jet doit se tenir plus ou moins près de l'ouvrage, suivant la nature du dégrasage : de 10 à 125 millimètres en moyenne; en outre, le jet doit être dirigé tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, de manière à ne laisser aucune tache non balayée, et sous une inclinaison de 20° à 30°.

L'air comprimé était fourni par un compresseur de 355 × 300 de course, comprimant à 4 kilogrammes environ, avec réglage à pression sensiblement constante; du compresseur cet air passait dans un grand réservoir; puis, par un tuyau d'acier de 50 millimètres dans un petit réservoir sur le pont, avec purgeur pour l'évacuation de l'humidité de l'air; la pression, aux machines variait, de 2 à 3 kilogrammes; la longueur du tube de 50 millimètres variait de 370 à 660 mètres. On payait 2 francs pour une machine et 3 francs pour deux machines, et l'on n'employait qu'une machine pendant 18 p. 100 du temps. Un contremaître, deux ouvriers et trois manœuvres suffisent pour conduire deux machines; le contremaître était payé 3 fr. 50 l'heure, les

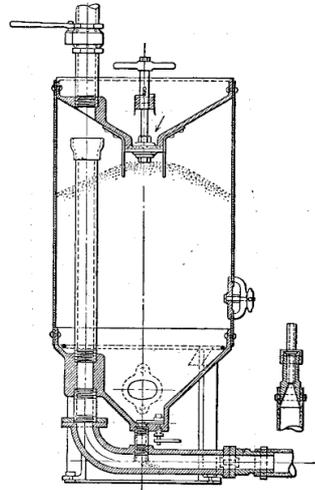


Fig. 3. — Appareil Warren.

ouvriers 2 fr. 50, les manœuvres 1 fr. 50. Le séchage du sable se faisait dans deux vieux cendriers de locomotives, avec d'anciennes traverses comme combustible, et exigeait la présence d'un homme pour agiter le sable et l'empêcher de s'agglomérer en grains.

Dans bien des cas, la suie et la poussière soulevées par le jet de sable gênaient les ouvriers au point qu'il fallut munir les appareils d'un petit souffleur à air comprimé balayant cette poussière sur une longueur d'environ 6 mètres.

La peinture fut appliquée presque immédiatement après le nettoyage au sable, en préservant les peintres de la poussière des jets par des rideaux de toile. Le meilleur diamètre pour le jet est d'environ 13 millimètres; il s'accroît rapidement à 20 millimètres par l'usure. On aurait avantage à augmenter le nombre des machines, ce qui permettrait d'abaisser le prix du nettoyage à environ 2 francs le mètre carré.

ESSAIS POUR DÉTERMINER LA RÉSISTANCE DES MEULES EN ÉMÉRI
ET EN CARBORUNDUM, D'APRÈS **M. Grubler** (1).

Ces essais ont été entrepris dans le but de déterminer les vitesses admissibles à la périphérie des meules.

En Prusse, il existe un règlement ministériel limitant ces vitesses. Les intéressés trouvent ces limites trop basses; en effet, dans le cas d'un agglomérant végétal, la vitesse ne peut dépasser 25 mètres par seconde et 15 avec un agglomérant minéral.

Les conditions dans lesquelles on a exécuté les essais étaient les suivantes;

1° Les meules en émeri ou en carborundum ne devaient pas avoir été spécialement fabriquées dans le but d'être soumises aux essais, mais bien prises dans les dépôts des usines servant aux ventes;

2° Les fabricants étaient tenus d'indiquer si l'agglomérant est *végétal* ou *minéral*;

3° Les meules devaient avoir les dimensions suivantes :

Diamètre extérieur de la meule.	500 millimètres
Épaisseur	31 —
Diamètre extérieur de l'alésage.	50 ^m ,80

4° Les meules devaient être fixées sur un arbre vertical par deux plateaux en fer de 200 millimètres de diamètre extérieur pressés par écrous et contre-écrous. Entre plateaux et meule on intercalait un carton rugueux, mou, de 1 millimètre d'épaisseur;

5° La vitesse de la meule était augmentée graduellement et on notait le nombre de tours qui amenait la rupture de la meule;

Après quelques tâtonnements, on adopta le dispositif suivant. Un arbre de 5 centimètres de diamètre a ses deux paliers placés entre deux fers d'une longueur entre appuis de 1 mètre et posés au-dessus d'une fosse cylindrique de 0^m,9 de diamètre et de 1^m,12 de profondeur. Sur cet arbre, une poulie à gorge était commandée par la corde d'un dynamo. L'arbre commandait un tachymètre en avant du cadran duquel se trouvait une aiguille munie d'une mire. De la sorte on pouvait déterminer très exactement l'instant où la meule éclatait.

Les ruptures ont eu lieu, à une seule exception près, dans des plans passant par

(1) *Verein Deutscher Ingenieure*, 7 février 1902, p. 195 à 202.

les méridiens de la meule, de l'intérieur vers l'extérieur. *Dans aucun cas la meule ne s'est déplacée par rapport aux plateaux qui la maintenaient.*

Dans le tableau p. 436 et 437, V désigne l'agglomérant végétal (le plus souvent de la gomme); M, l'agglomérant minéral (du ciment de magnésie dans la plupart des cas); C, l'agglomérant céramique (ressemble à de la terre pour briques réfractaires ou à de la porcelaine).

L'agglomérant de la Tanite Company (désigné par A) est d'origine animale et formé de déchets de cuirs ou de matières analogues.

Les résistances à la rupture (dernière colonne du tableau) ont été calculées par la formule de :

$$K_2 = \frac{3}{4} \frac{\gamma}{g} u_2^2 \left\{ 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{D_i}{D_a} \right)^2 \right\} \quad (1),$$

dans laquelle u_2 désigne la vitesse de rupture à la périphérie de la meule, g l'accélération de la pesanteur, γ le poids spécifique de la meule, δ son épaisseur, D_i son diamètre intérieur, D_a son diamètre extérieur.

Les résistances moyennes des trois agglomérants V, M et C sont entre elles comme 4, 3 et 2.

Ces essais ont montré qu'il est impossible de tirer de leurs résultats une conclusion quelconque au sujet du rendement des meules essayées.

Désignons par S le coefficient de sécurité, la tension admissible dans la meule de résistance à la rupture K_2 sera de

$$k_2 = \frac{K_2}{S}.$$

En remplaçant dans l'équation (1) K_2 par k_2 et en admettant que l'expression entre accolades soit approximativement égale à 1, la vitesse admissible sera de

$$(U_2) \text{ maximum} = 11,44 \sqrt{\frac{k_2}{\gamma}} \text{ mètres par seconde.}$$

Pour $S = 10$, on aura le tableau suivant :

Agglomérants V	M	C
$\gamma = 2,781$	2,692	2,317 kg. par décimètre cube.
$K_2 = 203,4$	149,4	100 kgr. par cm^2
$k_2 = 20,34$	14,94	10,01 — —
$(U_2) \text{ maximum} = 31,09$	26,93	23,98 mètres par seconde.

En France, les valeurs de la vitesse périphérique admise sont (1) de 18^m,8 pour les meules à agglomérant minéral et de 26 mètres pour celles à agglomérant végétal et pour celui de la Tanite Company.

Dans le cas des meules en carborundum, celle (n° 57) à agglomérant végétal se comportait absolument comme les meules en émeri de même agglomérant, tandis que les deux meules n°s 55 et 56, à agglomérant céramique, ont donné des vitesses beaucoup plus grandes que celles des meules en émeri à liant céramique.

(1) *Portefeuille économique des machines*, septembre 1902, p. 130.

NUMÉROS.	USINES.	MARQUE DE FABRIQUE.	NATURE DE L'AGGLOMERANT.	DIAMÈTRE MOYEN DE GRAIN.	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE.	DIAMÈTRE EXTÉRIEUR DE LA MEULE.	DIAMÈTRE DE L'ALSAGE.	DIAMÈTRE EXTÉRIEUR DES PLATEAUX.	ÉPAISSEUR DE LA MEULE.	POIDS DE LA MEULE.	POIDS DES PLATEAUX.	POIDS SPÉCIFIQUE DE LA MEULE.	NOMBRE DE TOURS AU MOMENT DE LA REPTURE de la meule.	VITESSE PÉRIPHÉRIQUE AU MOMENT DE LA REPTURE de la meule.	RÉSISTANCE A LA TRACTION DE LA MEULE.	
																millim.
1	Ateliers de construction de meules et de machines de Hannover-Hainholz.	"	V	4,9	950	501,0	60,3	"	51,3	28,82	"	2,880	4210	110,44	269,4	
2		"	"	"	"	502,0	60,5	"	51,0	28,44	"	2,859	4060	106,71	249,6	
3		"	"	"	"	"	501,7	60,6	"	51,6	29,04	"	2,889	3920	102,97	234,9
4		"	"	M	0,9	570	502,6	60,4	"	51,3	24,52	"	2,445	3700	97,37	177,0
5		"	"	"	"	"	502,6	60,6	"	51,4	24,23	"	2,427	3760	98,64	181,0
6		"	"	"	"	"	502,0	60,5	"	51,8	24,36	"	2,411	3850	101,19	189,2
7		"	Magonite.	"	2,0	1000	501,0	82,6	"	53,7	29,61	"	2,888	2820	73,98	121,6
8	Carl Lebert, Ludwigshafen s. l./Rh.	"	"	"	"	501,3	80,7	"	54,2	30,23	"	2,901	3040	79,80	142,1	
9		"	"	"	"	"	501,0	80,5	"	54,3	30,10	"	2,886	2960	77,65	133,8
10		"	Galvanite.	V	"	"	501,0	81,2	"	52,0	28,69	"	2,871	3780	99,16	217,4
11		"	"	"	"	"	500,1	79,7	92,0	53,8	30,02	0,74	2,868	4060	106,32	250,2
12		"	"	"	"	"	500,4	81,2	"	52,6	28,80	"	2,860	4060	106,37	248,9
13		"	"	"	"	"	490,3	83,3	"	52,5	20,01	"	2,077	2520	64,72	67,0
14		"	Frappant.	C	"	"	502,0	81,0	100,0	53,0	22,00	1,28	2,057	2710	71,23	80,7
15		"	"	"	"	"	502,9	50,1	"	53,2	33,82	"	3,322	4090	107,70	287,0
16		"	A(Special).	V	1,0 à 2,6	1080	504,2	50,0	"	53,2	34,95	"	3,323	3540	93,46	222,1
17		"	"	"	"	"	504,2	50,1	"	51,6	28,60	"	2,746	3300	87,12	159,5
18		Naxos Union (Julius Pfungst), Frankfort s/M.	A	"	"	"	504,8	50,0	"	51,3	27,80	"	2,931	2840	75,07	126,4
19	"		B	M	"	"	503,6	50,3	"	51,2	29,74	"	2,946	2860	75,47	128,4
20	"		"	"	"	"	504,8	50,4	"	51,4	29,68	"	2,915	2720	71,90	115,3
21	"		"	"	"	"	501,7	50,3	61,0	50,2	23,22	"	2,375	3260	85,63	133,6
22	"		C(Rapide).	C	1,5	"	501,7	50,6	78,6	52,8	24,96	1,35	2,316	2950	77,49	106,6
23	"	"	"	"	"	501,3	49,6	60,6	49,5	23,26	0,68	2,353	3320	78,15	137,2	

24	Mayer et Schmidt, Offenbach a/M.	Hidronite.	M	1,73	1400	496,6	60,3	70,3	49,8	26,07	0,45	2,698	2960	76,96	132,5	
25		"	"	"	"	496,9	62,0	69,2	50,0	27,29	0,28	2,841	3470	90,28	177,8	
26		"	"	"	"	"	500,4	62,0	69,0	50,0	27,25	0,33	2,790	3280	85,94	158,1
27		"	Cornite.	V	"	"	500,4	61,3	"	50,0	28,22	"	2,918	2980	78,03	136,2
28		"	"	"	"	"	500,7	60,4	"	47,6	27,46	"	2,973	3100	81,27	150,6
29		"	"	"	"	"	501,0	61,2	"	50,2	26,84	"	2,753	3040	79,75	134,3
30		"	Pyronite.	C	0,84	"	502,0	50,2	73,3	50,6	24,14	1,08	2,343	2860	75,17	102,1
31		"	"	"	"	"	502,6	50,4	70,4	50,7	24,03	1,02	2,334	2960	77,90	108,8
32		"	"	"	"	"	500,7	50,2	72,2	50,2	23,67	1,04	2,338	3040	79,70	114,1
33		"	Universel.	C	1,0 à 1,5	1100	491,3	52,4	62,4	51,7	21,32	0,38	2,445	2710	70,14	80,9
34	Ateliers de construction de meules Lippoldsberg, C. Wenck, Carlshafen.	"	"	"	"	483,5	51,5	58,5	52,6	24,24	0,35	2,195	2960	74,9	94,5	
35		"	"	"	"	494,0	52,4	63,0	52,3	21,40	0,30	2,140	2850	73,72	89,2	
36		"	Diamant.	V	"	"	493,1	50,7	56,7	51,8	28,06	0,35	2,839	3860	99,65	217,0
37		"	"	"	"	"	491,9	50,3	54,3	49,7	26,06	0,21	2,771	3740	96,31	196,9
38		"	"	"	"	"	493,7	50,2	56,2	51,9	27,42	0,26	2,770	3580	92,34	181,8
39	Burkhard et Co., Frankfort s./M.	Hercules.	"	0,8 à 1,0	1200	501,3	50,4	"	49,2	25,83	"	2,687	3750	98,44	199,2	
40		"	"	"	"	500,4	50,5	"	50,6	27,42	"	2,784	3660	95,89	195,9	
41		"	"	"	"	1500	499,7	51,7	"	50,9	27,43	"	2,764	3800	99,43	209,2
42	Tanite Comp., Strouberg (E. U.)	"	A	"	"	509,3	51,1	"	52,7	27,75	"	2,611	3500	93,33	174,1	
43		"	"	"	"	509,6	57,5	"	52,1	27,46	"	2,617	3640	97,13	189,0	
44		"	"	"	"	"	508,0	57,3	"	50,5	26,92	"	2,664	3800	101,08	208,4
45	Norton Emery Wheel Co., Worcester (E.-U.)	"	C	"	1145	506,4	57,0	66,0	52,3	25,64	0,35	2,443	2720	72,12	97,4	
46		"	"	"	"	508,3	63,6	71,6	52,5	26,12	0,59	2,445	2700	71,86	96,8	
47		"	"	"	"	"	510,2	63,6	69,6	51,9	26,09	0,38	2,468	2620	70,00	92,8
48		"	"	"	"	1250	507,1	45,0	51,0	51,3	24,46	0,31	2,355	2760	73,28	96,8
49		"	Germania.	V	2,2	1080	498,5	50,2	56,2	50,0	27,93	0,23	2,875	3360	87,70	179,3
50	Carl Hinné, Leipzig.	"	"	"	"	500,1	50,2	57,2	49,6	28,57	0,26	2,945	3560	93,21	195,9	
51		"	"	"	"	498,1	50,0	53,0	51,8	26,98	0,13	2,688	3560	92,86	177,4	
52		"	"	M	1,7	"	488,6	50,0	61,0	54,8	28,33	0,54	2,747	3280	83,91	151,7
53		"	"	"	"	"	491,5	50,0	62,0	52,8	27,64	0,52	2,751	3280	84,41	150,2
54		"	"	"	"	"	498,2	50,0	60,0	52,7	28,80	0,51	2,793	3360	87,64	164,4
55	Carborundum Comp., Niagara Falls.	"	C	"	955	504,2	50,0	64,0	50,2	22,09	0,68	2,223	3500	92,40	145,4	
56		"	"	"	"	502,6	49,4	63,4	49,5	20,92	0,40	2,173	4340	114,21	217,4	
57		"	"	V	"	"	501,7	70,4	"	51,2	22,31	"	2,302	3600	94,56	158,0

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Séance du 27 février 1903

Présidence de *M. Linder*, président.

M. Collignon, secrétaire, dépouille la correspondance.

M^{me} Arnaud remercie la Société du brevet qui lui a été accordé pour un procédé de fabrication des fleurs artificielles.

M. le Ministre de l'Agriculture envoie des cartes d'entrée pour le *concours général agricole* qui aura lieu, du 14 au 17 mars, dans la Galerie des Machines, au Champ-de-Mars.

M. Bodin, président de la Société des Ingénieurs civils de France, remercie la Société d'Encouragement de l'allocation accordée, sur sa demande, à *M. Testud de Beauregard*.

M. Lafosse remercie le Conseil de sa nomination comme membre de la Société d'Encouragement.

M. Maucherat, 3, rue Douy-Deleupe, à Montreuil, demande un brevet pour un *appareil de sauvetage*. (Arts mécaniques.)

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la page 311 du *Bulletin* de février.

CONFÉRENCE. — *M. Raphaël-Georges Lévy* fait une conférence sur le *Transvaal et son avenir*.

M. le Président s'associant aux applaudissements de l'auditoire, remercie vivement *M. R.-G. Lévy* de sa très intéressante communication qui sera reproduite au *Bulletin*.

Séance du 13 mars 1903.

Présidence de *M. Linder*, président.

M. Collignon, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. J. Wagner, 29, rue du Château-d'Eau, présente une *grille pour tirage forcé*. (Arts mécaniques.)

M. L. Olivier attire l'attention de la Société d'Encouragement sur l'*Expédition arctique française*, commandée par le Dr J. Charcot, et organisée sous les auspices de l'Académie des Sciences. On souscrit à la Société de Géographie, 184, boulevard Saint-Germain.

M. Groc remercie la Société de l'annuité de brevet qu'elle lui a accordée pour son Geodrome.

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la page 441 du présent *Bulletin*.

NOMINATION D'UN MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ. — Est nommé membre de la Société d'Encouragement :

M. L. Anthonay, ingénieur des Arts et Manufactures à Paris, présenté par *MM. V. Legrand et Masson*.

RAPPORTS DES COMITÉS. — Sont lus et approuvés les rapports de :

M. Pillet, au nom du Comité des Constructions et Beaux-Arts, sur les *constructions démontables* de *M. Espitallier*.

M. Livache, au nom du Comité de Chimie, sur le *procédé d'émaillage* de *M. P. Dupont*.

M. Voisin Bey, au nom du Comité des Constructions et Beaux-Arts, sur les *travaux du port de Bizerte*, par *M. G. Hersent*.

M. Diligeon, au nom du Comité de Mécanique, sur le *changement de marche* de *M. Roullot*.

COMMUNICATIONS. — Sont présentées les communications de :

M. Farcot fils. Sur ses *ventilateurs*.

M. Ch. Henry. Perfectionnement aux *lampes à pétrole*.

M. le Président remercie *MM. Farcot et Henry* de leurs intéressantes communications, qui sont renvoyées aux Comités compétents.

LIVRES ET OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN MARS 1903

Distribution de l'énergie par courants polyphasés, par M. J. Rodet. In-8°, 360 p., 213 fig. (2^e édition). Paris, Gauthier-Villars.

De la *Nova Scotia Institute of Science. Proceedings*. Vol. X, 1900-1901. In-8°, 110 p. Halifax.

Du *Congrès national des travaux publics français (1903)*. 1^{re} section. **Ports maritimes et fluviaux**. Rapport de M. J. Hersent. In-8°, 80 p., 6 pl. Paris, 35, rue Le Peletier.

Traité pratique de l'art de tremper l'acier, le fer, la fonte, le cuivre et le bronze, par M. J.-B. Zabé. In-8°, 104 p. Paris, Bernard.

Du *Ministère du Commerce, Exposition de 1900. Rapport général administratif et technique*, par M. A. Picard, commissaire général. Vol. 1^{er}. In-8°, 483 p. *Rapports du jury international*. Groupe X. **Aliments**. In-8°, 428 p. Paris, Imprimerie nationale.

Les chaudières et les machines à vapeur à l'Exposition de Dusseldorf en 1902, par M. C. Compère. In-8°, 50 p., 2 pl. Extrait des mémoires de la *Société des Ingénieurs civils de France*.

Associations des propriétaires d'appareils à vapeur. 26^e *Congrès des Ingénieurs en chef*. Paris, 1902. In-8°, 260 p. Paris, Capiomont, 57, rue de Seine.

De l'*Encyclopédie Leauté*. **L'industrie des métalloïdes et de leurs dérivés**, par M. Guillet, et **La pratique des fermentations industrielles**, par M. Ozard. **Épuration des eaux d'alimentation de chaudières et désincrustants**, par M. A. Taveau. In-18, 170 p. Paris, Gauthier-Villars.

De la *Bibliothèque des conducteurs de travaux publics*. **Contrôle des chemins de fer et tramways**, par M. J. de la Ruelle, et **Tracé des terrassements**, par MM. Frick et Canaud. In-8°, 740 et 660 p. Paris, Dunod.

De la *Royal Society, London*. **Experimental Researches on drawn Steel**, par M. J. R. Ashworth. In-4°, 35 p. Londres, Dulau.

La crise allemande de 1901-1902. *Le charbon, le fer et l'acier*, par M. O. E. Sayous. In-18, 370 p. Paris, Larose.

Le navire pour passagers, par M. C. Turc. In-8°, 88 p. Paris, Bernard.

Rapport sur les travaux du **Congrès des habitations à bon marché** de Dusseldorf, par M. E. Cacheux. In-8°, 31 p. Imprimerie de l'orphelinat. Prévost, à Cempuis.

Du *Department of Labor*. Annual Report (1902). **Trade and Technical Education**. In-8°, 1333 p. Washington, Government printing office.

Press working of metals, par M. O. Smith. In-8°, 265 p., 433 fig. New-York, John Wiley.

Dies, their Construction and Use, par M. J. V. Woodworth. In-8°, 372 p., 505 fig. New-York, N. V. Henley.

Hardening Tempering Annealing and Forging of Steel, par M. J. V. Woodworth. In-8°, 270 p., 200 p. New-York, N. W. Henley.

Tool Steel, par M. O. Thallner. In-8°, 180 p., 69 fig. Londres, Sampson Low.

Patronage industriel des enfants de l'ébénisterie. Année 1901-1902. In-8°, 107 p. Paris, au siège du patronage, 77, avenue Ledru-Rollin.

The Sub-mechanics of the Universe, par M. O. Reynoldes. In-8°, 251 p. Cambridge University Press.

Les Electromoteurs, par M. G. Rossler. Traduction Samitca. II. *Courants alternatifs et triphasés*. In-8°, 240 p., 87 fig. Paris, Dunod.

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Février au 15 Mars 1903

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

<i>Ag.</i>	Journal de l'Agriculture.	<i>Ms.</i>	Moniteur scientifique.
<i>Ac.</i>	Annales de la Construction.	<i>MC.</i>	Revue générale des matières colorantes.
<i>ACP.</i>	Annales de Chimie et de Physique.	<i>N.</i>	Nature (anglais).
<i>AM.</i>	Annales des Mines.	<i>PC.</i>	Journal de Pharmacie et de Chimie.
<i>Ama.</i>	American Machinist.	<i>Pm.</i>	Portefeuille économ. des machines.
<i>Ap.</i>	Journal d'Agriculture pratique.	<i>RCp.</i>	Revue générale de chimie pure et appliquée.
<i>APC.</i>	Annales des Ponts et Chaussées.	<i>Rgc.</i>	Revue générale des chemins de fer et tramways.
<i>Bam.</i>	Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.	<i>Rgds.</i>	Revue générale des sciences.
<i>BMA.</i>	Bull. du ministère de l'Agriculture.	<i>Ri.</i>	Revue industrielle.
<i>CN.</i>	Chemical News (London).	<i>RM.</i>	Revue de mécanique.
<i>Cs.</i>	Journal of the Society of Chemical Industry (London).	<i>Rmc.</i>	Revue maritime et coloniale.
<i>CR.</i>	Comptes rendus de l'Académie des Sciences.	<i>Rs.</i>	Revue scientifique.
<i>DoL.</i>	Bulletin of the Department of Labor, des États-Unis.	<i>Rso.</i>	Réforme sociale.
<i>Dp.</i>	Dingler's Polytechnisches Journal.	<i>RSL.</i>	Royal Society London (Proceedings).
<i>E.</i>	Engineering.	<i>Rt.</i>	Revue technique.
<i>E'.</i>	The Engineer.	<i>Ru.</i>	Revue universelle des mines et de la métallurgie.
<i>Eam.</i>	Engineering and Mining Journal.	<i>SA.</i>	Society of Arts (Journal of the).
<i>EE.</i>	Eclairage électrique.	<i>SAF.</i>	Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
<i>Elè.</i>	L'Électricien.	<i>ScP.</i>	Société chimique de Paris (Bull.).
<i>Ef.</i>	Économiste français.	<i>Sie.</i>	Société internationale des Électriciens (Bulletin).
<i>EM.</i>	Engineering Magazine.	<i>SiM.</i>	Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.
<i>Es.</i>	Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).	<i>SiN.</i>	Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
<i>Fi.</i>	Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).	<i>SL.</i>	Bull. de statistique et de législation.
<i>Gc.</i>	Génie civil.	<i>SNA.</i>	Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
<i>Gm.</i>	Revue du Génie militaire.	<i>SuE.</i>	Stahl und Eisen.
<i>IC.</i>	Ingénieurs civils de France (Bull.).	<i>USR.</i>	Consular Reports to the United States Government.
<i>Ie.</i>	Industrie électrique.	<i>VDI.</i>	Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
<i>Im.</i>	Industrie minérale de St-Étienne.	<i>ZOI.</i>	Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten-Vereins.
<i>IME.</i>	Institution of Mechanical Engineers (Proceedings).		
<i>IoB.</i>	Institution of Brewing (Journal).		
<i>La.</i>	La Locomotion automobile.		
<i>Ln.</i>	La Nature.		
<i>Lo.</i>	Locomotion.		

AGRICULTURE

- Aviculture*. Sociétés coopératives en Irlande. *Ag.* 28 Fév., 347.
- Bétail**. Fourrages mélassés, utilisation des sarments de vigne et des marcs de raisin (Grandeau). *Ap.* 26 Fév., 277; 12 Mars, 347.
- Race bovine charolaise. *Ag.* 14 Mars, 414. Porcine Craonnaise. *Id.*, 420.
- Chambres consultatives* d'agriculture. SNA. 28 Janv., 86.
- Châtaignier* (Maladie du). *Ap.* 26 Fév., 278.
- Entomologie agricole*. Laboratoire régional. Bulletin. *Ag.* 28 Fév., 336.
- Eucalyptus hybrides*. SNA. 14 Janv., 37.
- Engrais**. Superphosphates (les) (Joffre). *Ms. Mars*, 145.
- Action sur la composition chimique des fourrages. *Ap.* 12 Mars, 343.
- Nitrates de soude et d'ammoniaque. Expériences de Darmstadt. *Ap.* 5 Mars, 308.
- Épandeurs Dauchy. *Ap.* 12 Mars, 347.
- Fruits*. (Arbres à) et engrais. *Ap.* 14 Mars, 429.
- Gelées* (Avertisseurs de). *Ap.* 5 Mars, 315.
- Lait*. Prix de revient de l'hectolitre dans l'industrie du fromage de Laguiole. *Ap.* 26 Fév., 284.
- Lapin-lievre* belge. *Ap.* 5 Mars, 320.
- Pomme de terre**. Champs d'expériences sur sa culture. *Ap.* 19 Fév., 248.
- De primeur à l'arrière-saison. *Ag.* 14 Mars, 412.
- Prairies*. Fumures dans les Alpes maritimes. *Ap.* 26 Fév., 281.
- Statistiques agricoles*. Fonctionnement. SNA. 21 Janv., 56.
- Vigne**. Cave coopérative. *Ag.* 21 Fév., 298.
- La phthiriose. *Id.*, 307.
- Stérilisation des vins à Beaune. *Ag.* 28 Fév., 334.
- Achats de soufre et de sulfate de cuivre. *Ag.* 14 Mars, 425.

CHEMINS DE FER

- Attelages*. Divers. *Dp.* 28 Fév., 130.
- Chemins de fer**. Urbains et interurbains aux États-Unis. *E.* 13 Mars, 355.
- américains. *E'*. 13 Mars, 270.
- à automotrices. *E'*. 27 Fév., 220.

- Chemins de fer électriques* La Valteline. *E'* 20 Fév., 184; *VDI.* 21-28 Fév., 276, 303; 6 Mars, 234.
- — à longue distance (Duncan). *Technology Quarterly. Déc.*, 317.
- Freins* (Fonctionnement des) à air comprimé (Rosenthal). *Bam. Fév.*, 184.
- Mason. *RM. Fév.*, 186.
- Intercommunication téléphonique*. Basanta. *le.* 25 Fév., 83.
- Locomotives** à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 28 Fév., 297.
- à vapeur surchauffée. *V.D.I.* 14 Mars, 377.
- Compound Smith. *RM. Fév.*, 175.
- Express du London-Chatham and Dover. *E'*. 27 Fév., 213. du Midland. *E'*. 13 Mars, 260. État bavarois. *Ge.* 14 Fév., 313.
- à deux foyers (Bidon). *Bam. Fév.*, 168.
- Articulée Hagans. *RM. Fév.*, 176.
- Accumulateur de chaleur Halpin. *Ge.* 28 Fév., 284.
- Bielles (Parr). *E'*. 20 Fév., 187; 6 Mars, 232.
- Foyer au pétrole Baldwin. *RM. Fév.*, 177.
- Pare-étincelles Meldrum. *RM. Fév.*, 178.
- Trains anglais et français* en 1902 (Rous Marten). *E'*. 20 Fév., 188.
- Voie*. Raccordements à courbure progressive (D'Ocagne). *APC.* (1902), n° 32.
- des courbes avec les alignements droits (Nordling et Dupuy). *Id.*, n° 33.
- Voiture de 3^e classe* du S.-E. and Chatham. *Rr.* *E.* 20 Fév., 243; 13 Mars, 341.

TRANSPORTS DIVERS

- Automobiles** (Transformation des). *Ef.* 21 Fév., 250.
- Évolution en France. *E'*. 20 Fév., 190.
- en 1902. Exposition de Paris. *Ge.* 21-28 Fév., 261, 278; *E.* 27 Fév., 269 7 Mars, 292.
- Exposition du Crystal-Palace. *E'*. 27 Fév., 212; *E.* 6 Mars, 307.
- à pétrole Gillet-Forest. *La.* 5 Mars, 151.
- — Peugeot. *Lo.* 14 Mars, 168.
- — carburateurs. *Ri.* 7-14 Mars, 93, 102.
- électriques, à essence Muller. *EE.* 21 Fév., 294.
- à vapeur. *E'*. 27 Fév., 220.
- — Clarkson. *E'*. 13 Mars, 261.
- — Serpollet. *Lo.* 7 Mars, 152.

- Automobiles à vapeur.** Freins. *Ri.* 22 *Fév.*, 76.
 — Laboratoire d'essai Ringelmann. *Lo.* 28 *Fév.*, 134.
 — Démarreurs Canet. *Lo.* 14 *Mars*, 172.
- Tramways électriques** de Leipsick. *Dp.* 27 *Fév.*, 138.
 — de Glasgow. *EE.* 14 *Mars*, 385.
 — à contacts Ramassot. *Clé.* 28 *Fév.*, 129.
 — à vapeur. Automotrice Purrey. *Ge.* 28 *Fév.*, 273.
- Bicyclettes de tourisme** (Bourlet). *Ge.* 14 *Mars*, 311.
- CHIMIE ET PHYSIQUE**
- Acétylène.** Acides acétyléniques nouveaux (Moureu et Delange). *CR.* 2 *Mars*, 332.
- Alcoométrie.** Emploi de la température de caléfaction (Bordier). *CR.* 16 *Fév.*, 459.
- Alumine.** Fabrication (Bayer). *Ms.* 187.
- Ammoniaque aqueuse** du commerce. Action sur le fer, impurétés, moyen de les déterminer (Pennok et Morton). *Ms. Mars*, 182.
- Arsenic.** Essai au chlore (Gotthelf). *Cs.* 28 *Fév.*, 491.
- Baryte.** Carbonate de — commercial (Moore). *Cs.* 28 *Fév.*, 497.
- Brasserie.** Divers. *Cs.* 28 *Fév.*, 221.
 — Fermentations symbiotiques (Macfadynn). *IoB. Janv.*, 2.
 — Notes sur la levure (Evans). *Id.*, 35.
 — Refroidissement et fermentation des levures (Van Laer). *Id.*, 63.
- Catalyse** et ses applications (Conroy). *Cs. Mars*, 171.
- Chaux et ciment.** Décomposition des mortiers par les eaux chargées de sulfate de chaux (Bied). *APC.* 1902, n° 34.
 — Essais comparatifs de rendement des mortiers et bétons avec ciments de laitiers et ciment Portland (Mercier). *APC.* (1902), n° 36.
 — Silicate tricalcique dans la composition du ciment (Kossmann). *Le Ciment. Fév.*, 27.
 — Ciment Portland et scories de hauts fourneaux (*Société d'Encouragement de Berlin*). *Fév.*, 49. *SuE.* 13 *Mars*, 361.
- Céramique.** Four à gaz à feu continu Gobbe. *Pm. Mars*, 34.
- Combustion** dans des mélanges gazeux autres que l'air (Pelet et Jamini). *ScP.* 5 *Mars*, 197.
- Cyanure de potassium** commercial. Composition (Moore). *Ms. Mars*, 190.
- Distillerie.** Application des saccharomyces acclimatées aux principes volatils toxiques des mélasses de betteraves (Alliott). *CR.* 23 *Fév.*, 510.
- Eaux.** Stérilisation par l'ozone de Padérborn. *EE.* 7 *Fév.*, 371.
- Ébullition et chaleur moléculaire de solidification** (de Forerand). *ACP. Mars*, 384.
 — Points d' du cuivre et du zinc (Fery). *ACP. Mars*, 428.
- Éclairage.** Essais de manchons (Smith). *Technology Quarterly. Déc.*, 354.
 — Lampe intensive Lucas. *Ri.* 14 *Mars*, 109.
- Essences** de marjolaine (Genresse et Chablay). *ACP. Mars*, 422.
 — de fleurs d'oranger (Theulier). *RCp.* 8 *Mars*, 413.
 — Diverses. *Cs.* 28 *Fév.*, 227.
- Égouts.** Essai d'un destructeur d'ordures. *E.* 13 *Mars*, 357.
- Explosifs.** Divers. *Cs.* 28 *Fév.*, 229.
- Gaz à l'eau.** Toxicité. *E.* 6 *Mars*, 245.
- Gypse.** Solubilité dans les dissolutions de sel marin (Cloez). *ScP.* 20 *Fév.*, 167.
- Huiles et graisses.** Divers. *Cs.* 28 *Fév.*, 217.
- Ignifuges.** Emploi sur bois. *Cs.* 28 *Fév.*, 193.
- Laboratoire.** Divers. *Cs.* 28 *Fév.*, 231.
 — Prises d'épreuves. *SuE.* 1^{er} *Mars*, 309.
 — Dosage du manganèse en liqueur acide par les persulfates (Delépine). *CR.* 16 *Fév.*, 449.
 — — du soufre dans le fer, en saumon. *Ms. Mars*, 211.
 — — du manganèse dans le spiegel. *Ms. Mars*, 212.
 — — volumétrique du zinc (Clennell). *CN.* 13 *Mars*, 121.
 — Analyse type des scories du cuivre. *Eam.* 21 *Fév.*, 294.
 — — des apéritifs, amers. *Pc.* 1^{er} *Mars*, 217.
 — — des gaz, appareil Macfarlane et Caldwell. *Cs.* 28 *Fév.*, 187.
 — Réaction colorée des sels d'uranium et

- de l'eau oxygénée (Aloy). *C.N.* 27 Fév., 102.
- Laboratoire.** Creusets de platine. Détérioration par la calcination des phosphates ammoniaco-magnésiens (Herens). *C.N.* 27 Fév., 102.
- Maltose. Recherches en présence du glucose (Grimbert). *Pe.* 1^{er} Mars, 225.
- Meunerie et panification* (Fleurent). *SiM.* Nov., 352.
- Os. Industries chimiques dérivées des* (Grognot). *RCp.* 22 Fév., 85.
- Phosphore et anhydrides phosphoriques* : chaleur de combustion (Giron). *CR.* 2 Mars, 350.
- Piles.* Force électromotrice. Loi fondée sur l'action réciproque des dissolutions salines (Berthelot). *CR.* 16 Fév., 413.
- Plâtre.* Cuisson du gypse (Cloez). *ScP.* 20 Fév., 169.
- Poids atomiques.* Revision-Lanthane (Bohuslav Brauner et Pavlicek). *C.N.* 20 Fév., 85.
- Radioscopie.** Polonium et radium (Becquerel). *CR.* 16 Fév., 431.
- Sels d'actinium (Debierne). *CR.* 16 Fév., 446.
- Pechblende et radium (Cruset). *C.N.* 27 Fév., 97.
- Rubidium et cæsium.* Préparation des hydrures de (Moissan). *CR.* 9 Mars, 591.
- Sélénium dans le coke (Smith). *Cs.* 28 Fév., 201.
- Siliciure de manganèse* (Lebeau). *ScP.* 3 Mars, 185.
- Strychnine.* Dosage dans la noix vomique (Davrand). *C.N.* 27 Fév., 99.
- Sucrerie.** Divers. *Cs.* 28 Fév., 220.
- Sulfate cuivreux* (Joannès). *CR.* 9 Mars, 695.
- Sulfure d'argent.* Action de l'hydrogène en présence des sulfures d'antimoine et d'argent (Pelabon). *CR.* 16 Fév., 454.
- Teinture.** Divers. *Cs.* 28 Fév., 206, 210.
- Couleurs de goudron modernes (Bertsen). *Société d'Encouragement de Berlin.* Fév., 37.
- Décomposition sur tissu d'huiles solubles pour rouge turc; propriétés du mordant gras qui en résulte (Niederhœrsen). *SiM.* Nov., 389.
- Indigo. Oxydation par l'acide chromique en présence d'autres acides (Prudhomme). *MC.* 1^{er} Mars, 65.
- Teinture.** Teinture du cuir. Emploi des composés du titane (Dreher). *MC.* 1^{er} Mars, 73.
- Couleurs au soufre. Applications à l'impression des tissus de coton (Maton). *Cs.* 28 Fév., 195.
- Huiles tournantes et teintures en alizarine (Beltzer). *RCp.* 8 Mars, 102.
- Thermomètres* (Construction des). *Société d'Encouragement de Belin.* Fév., 57.
- Thermostat à réglage électrique* Marie et Marquis. *CR.* 9 Mars, 614.
- Théorie mécanique de la chaleur et de l'électricité* (Duhem). *Rgds.* 28 Fév., 171.
- Verre.* Appareils de soufflage. *Dp.* 7 Mars, 155.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

- Afrique du Sud* au point de vue de l'ingénieur. *E.* 20-27 Fév., 183, 207; 6-13 Mars, 231, 237.
- Agitations agraires* dans l'Italie du Nord (Ghio). *Musée social.* Fév.
- Alcool.* Projet de monopole. *Ef.* 21 Fév., 241.
- Assistance aux valides âgés* (Rivière). *Rso.* 16 Mars, 437.
- Ateliers.* Hygiène et protection du travail (Dohering). *DOL* Janv., 1.
- Allemagne.* Commerce en 1902. *Ef.* 7 Mars, 314.
- Accidents du travail.* Réparation en Belgique. *Rso.* 1^{er} Mars, 402.
- Argent.* Fixation de sa valeur, position du Mexique. *Ef.* 14 Mars, 343.
- Association (L') et l'Etat.* *Rso.* Mars, 417.
- États-Unis* (Prospérité des). *Ef.* 21 Fév., 245.
- Fermiers au Canada* (Aberdeen). *SA.* 20 Fév., 283.
- France.** Pénurie du trésor. *Ef.* 28 Fév., 273.
- État. Industriel et transporteur. *Ef.* 14 Mars, 348.
- Budget des colonies pour 1903. *Ef.* 7 Mars, 311.
- Industrie textile soie et coton. *Ef.* 24 Mars, 354.
- (Combustibles minéraux en). *Ef.* 14 Mars, 345.
- Opérations de la Banque de France en 1902. *SL.* Fév., 197.
- Inde.* Recensement (Baines). *SA.* 6 Mars, 328.
- Italie.* Population. *Ef.* 14 Mars, 348.
- Jardins ouvriers* de Beaune. *Rso.* 16 Mars, 496.

- Liqués de consommateurs** en Amérique. *Rso.* 16 Mars, 432.
- Laboratoire national d'ingénieurs** de Londres. *E.* 13 Mars, 361.
- Maroc. Commerce** (Bernard). *Rgds.* 15 Fèv., 137.
- Monnaie de nickel.** *Ef.* 7 Mars, 309.
- Monopoles** de l'alcool et du pétrole. *Ef.* 7 Mars, 307.
- Nouvelle-Zélande. Lois** du travail. *USR.* Mars, 332.
- Ouvriers américains et anglais.** *E.* 13 Mars, 340.
- Métaux précieux.** Production en 1902. *Ef.* 28 Fèv., 276.
- Presse (La) en France.** *Rso.* 1^{er} Mars, 337.
- Salaires** (Insaisissabilité des). *Ef.* 28 Fèv., 279.
- Socialisme municipal** (Porter). *E.* 27 Fèv., 296; 6-13 Mars, 330, 365.
- Sucres** (Loi du régime des). *SL.* Fèv., 145.
- Syndicats, développement et tendances en France.** *Ef.* 21 Fèv., 247.
- Système métrique.** *E.* 20 Fèv., 249.
- Tonkin, Yunnan et Burma** (Carey). *SA.* 27 Fèv., 313.
- Trust de l'acier** et concurrence locale. *E.* 13 Mars, 332.
- Wines.** Production des pays divers. *SL.* Fèv., 203.

CONSTRUCTIONS ET TRAVAUX PUBLICS

- Ciment armé** *SuE.*, 15 mars 391. (Étude du) (Canovetti). *Le Ciment.* Fèv., 25.
— *SuE.* 1^{er} Mars, 312.
- Dragues et excavateurs** modernes (Robinson). *EM.* Mars, 841.
- Fermes** (Économie des), *E'*. 13 mars, 238, en acier Corrosion (Norton). *Technology Quarterly.* Déc., 343.
- Ponts.** Construction en Amérique. *E'*. 27 Fèv., 208; 6 Mars, 237.
— Grosses pièces laminées. *E'*. 27 Fèv., 209.
- Tunnel** sous la Tamise. Londres. *Gc.* 21 Fèv., 267.

ÉLECTRICITÉ

- Accumulateurs.** Théories (Jouve). *RCp.* 22 Fèv., 95.
- Aimants permanents.** Effet de la température (Worthman). *American journal of science.* Mars, 163.
- Bobines de self induction** (Calcul des). *Ic.* 14 Mars, 107.

- Clapets électrolytiques** (Nodon). *CR.* 16 Fèv., 445.
- Disjoncteur automatique** Voigt. *EE.* 21 Fèv., 290.
- Distributions** (les) (Saint-Martin). *Bam.* Mars, 221.
- Dynamos.** Dispositif Swinburne pour diminuer les étincelles aux balais. *Elé.* 14 Fèv., 168.
— Théorie de la commutation (Rotherth). *EE.* 21 Fèv., 282.
— Diagramme de Heyland (Construction du) (Sartori). *EE.* 21 Fèv., 287.
— Alternateurs. Essais (Loppe). *EE.* 21 Fèv., 265.
— — Compoundage (Boy de la Tour). *Ic.* 10 Mars, 101.
— — Marche en parallèle (Mauduit). *EE.* 7 Mars, 345.
— — (Réaction d'induit des) (Drude). *EE.* 7-14 Mars, 366, 413.
— **Moteurs d'induction.** Compensation du décalage et réglage (Osnos). *EE.* 28 Fèv., 324.
— — Alternatifs à vitesse variable. *Ic.* 25 Fèv., 83.
- Éclairage.** Arc de très faible intensité entre électrodes métalliques (Guye et Monarch). *EE.* 28 Fèv., 305; 14 Mars, 416.
— — chantant (Période dans l') (Fabry). *EE.* 7 Mars, 375.
- Électro-chimie** aux États-Unis. *Elé.* 28 Fèv., 137.
— Progrès de l'électrolyse des métaux. *Pm.* Mars, 38.
— Peroxydes électrolytiques de Pb. Ni et Bi (Hollard). *ScP.* 20 Fèv., 131.
— Chlorate de potasse. Réduction électrolytique (Brochet). *Id.* 137.
— Électrons positifs (Wien). *EE.* 28 Fèv., 335.
— Électrolyse des chlorures alcalins avec électrodes en charbon (*Ms.* Mars, 190) et platinées (Foester et Muller) *EE.* 28 Fèv., 337, 378; 7-14 Mars, 420.
— Divers. *Cs.* 28 Fèv., 215.
— Préparation des persulfates par électrolyse sans diaphragme (Muller et Friedberger). *Ms.* Mars, 204.
— Rendement des fours électriques (Richards). *CN.* 13 Mars, 127.
- Forces électromotrices des dissolutions salines.** Influence de la température (Berthelot). *CR.* 23 Fèv., 481.

- Interrupteur électromagnétique* Chauvin et Guerra. *EE.* 21 Fév., 292.
 — Cooper Hewitt. *Ie.* 10 Mars, 103.
 — Thomson-Houston à 30 000 volts. *Ie.* 25 Fév., 87.
- Ionisation des gaz* (Langevin). *ACP.* Mars, 289.
- Mesures** des courants alternatifs intenses — (Ilivici). *EE.* 27 Fév., 299 (Janet). *Sie.* Fév., 56.
 — Des différences de potentiel par le téléphone (Fischer). *EE.* 7 Mars, 373.
 — Perméamètre Corsespius à compensation. *Elé.* 28 Fév., 131.
 — Shunt pour galvanomètre à cadre mobile. *Elé.* 14 Mars, 166.
 — Vérification des appareils de mesure. *Elé.* 28 Fév., 133.
- Stations centrales.** Limites à prévoir (Swinburne). *EE.* 21 Fév., 300.
 — Athènes-Pirée. *Re.* 23 Fév., 77.
 — Teplitz. *ZOI.* 13 Mars, 163.
 — Sassenage (Isère). *Gc.* 7 Mars, 289.
- Télégraphie sans fils* de la Wireless Co. *EE.* 28 Fév., 319.
 — Braun pour l'armée allemande. *Elé.* 14 Mars, 161.
 — Réglementation en France. *Elé.* 28 Fév., 138.
 — Répétiteur Marconi. *Ln.* 7 Mars, 212.
- Transformateurs* Tesla. *EE.* 7 Mars, 366.

HYDRAULIQUE

- Barrages à parements rectilignes* (Cadart). *APC.* N° 31 (1902).
Canaux (Vitesse de l'eau dans les) (Siedek). *ZOI.* 20 Fév., 117.
Constructions ignifuges, lois, etc. (Phillips). *SA.* 13 Mars, 337.
Distributions d'eau. Usine du port de Bordeaux. *Gc.* 21 Fév., 258.
Eaux de Coolgardie. *E.* 13 Mars, 263.
Écluse nouvelle au Port-à-l'Anglais (Alby). *APC.* 1902. N° 30.
Écoulement des rivières sous les ponts (Collignon). *RM.* Fév., 105.
Maisons démontables Pease. *Ac.* Mars, 45.
Pont de Kinzua. États-Unis. *Ac.* Mars, 34.
Poutres droites. Déformations. *Ac.* Mars, 42.
Pompes Faveur. *Pm.* Mars, 43.
 — à plongeur. Essais Goodmann. *E.* 27 Fév., 273, 292; 6 Mars, 326.
 — rotative Root. *E.* 27 Fév., 276.

- Pulsomètre* Delorme. *Ri.* 7 Mars, 93.
Turbines. Hydro-tachymètre régulateur Ribourt. *CR.* 23 Fév., 495. *Gc.* 7 Mars, 297.

MARINE, NAVIGATION

- Cargo à pétroles* Narragausett. *E.* 20 Fév., 198.
Docks de la Clyde. *E.* 20 Fév., 201.
Machines marines. Vibrations des navires (Melville). *E.* 20-27 Fév., 231, 266; 6-13 Mars, 303, 337.
 — du croiseur russe Bogatyr. *E.* 6 Mars, 316.
- Marines de guerre.** Argentine; cuirassé Moreno. *E.* 6 Mars, 247.
 — Italie. *Rmc.* Fév., 404.
 — Angleterre. *E.* 13 Mars, 269, 274; *Rmc.* Fév., 361, 391.
 — Américaine. *Rmc.* Fév., 353, 399.
 — Blindages. Essais Vickers. *E.* 13 Mars, 339.
 — Artillerie des cuirassés (Nicolas). *Rmc.* Fév., 257.
- Marine marchande* anglaise. *E.* 27 Fév., 284.
Transports par eau (Rousselet). *Bam.* Fév., 121.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

- Broyeurs.* Schoelcher-Vinsonneau. *Bam.* Fév., 195.
Compresseurs. Krysat, Croves, Steedman, Coombs, Prellwitz, Robinson, Pokorny et Witteking, Giesler, Daw. *RM.* Fév., 187-197.
- Chaudières.** Accidents aux. *E.* 6 Mars, 244.
 — Économie des (Farwell) *EM.* Mars, 896.
 — à tubes d'eau Sugden. *Ri.* 28 Fév., 85. Almann, Cooke. *RM.* Fév., 163. Gehre. *Dp.* 7 Mars, 149. de Hoerde. *Pm.* Mars, 28. Circulation (Jannin) *Bam.* Fév., 204.
 — Autoclave Belleville. *RM.* Fév., 171.
 — Analyse des gaz des foyers (Dosh). *Dp.* 21 Fév., 118.
 — Clapets d'arrêt (les). *RM.* Fév., 168.
 — Explosion de Bilston. *E.* 13 Mars, 341.
 — Isolants. Essais (Davies). *Cs.* 28 Fév., 198.
 — Séparateur de vapeur Rycke. *RM.* Fév., 170.

- Chaudières.** Surchauffeur Maiche. *E'*. 20 *Fév.*, 192.
 — — Smeddon. *RM. Fév.*, 171.
 — Tubes de niveau protecteur Wallach. *E.* 20 *Fév.*, 237.
 — Foyers au pétrole Meyer, Wilgus, Werner. *RM. Fév.*, 172.
 — Pompe alimentaire Caille. *RM. Fév.*, 173.
 — Épurateurs d'eaux Lemaire Destombes. *Ri.* 7 *Mars*, 93. Lugaud et Bassères. *Bam. Mars.* 350.
- Contacts.* Mesure des. *AMa.* 7 *Mars*, 237.
Dessinateur universel Mahan. *Gc.* 7 *Mars*, 300.
Dragues (les). Baril. *RM. Fév.*, 112.
- Froid.** Machines frigorifiques Windhausen, Mackey. *RM. Fév.*, 197.
Imprimerie en 3 couleurs (Dalziel). *SA.* 20 *Fév.*, 292.
- Indicateurs.* Graduation des. *VDi.* 28 *Fév.*, 319.
 — Wolfe. *RM. Fév.*, 203.
 — Causes d'erreur (Arter). *E'*. 6 *Mars*, 249. (Wagener). *VDi.* 7 *Mars*, 348.
- Levage.** Appareils à l'Exposition de Dusseldorf. *Dp.* 21 *Fév.*, 115; 14 *Mars*, 382.
 — Basculeurs Whitworth et Bright. *RM. Fév.*, 159.
 — Divers. *Dp.* 28 *Fév.*, 130; 14 *Mars*, 171.
 — Transporteur électrique Jessop. *E'*. 27 *Fév.*, 275. Pour charbons Laurain. *Rt.* 28 *Fév.*, 88.
 — Grue roulante électrique de 5 tonnes. aciéries de Longwy. *Ri.* 7 *Mars*, 94.
 — Ponton du port de Bizerte. *Ri.* 28 *Fév.*, 81.
 — Levage des pierres, agrès, divers. *Ac. Mars.* 47.
- Machines-outils** à l'Exposition de Dusseldorf, *VDi.* 7 *Mars*, 343. Nouvelles (Ruppert). *VDi.* 14 *Mars*, 387.
 — Ateliers Nivellement des (Tyler). *E.* 20 *Fév.*, 259. Allen à Bedford. *E.* 27 *Fév.*, 265; 6 *Mars*, 304. Vulcan à Stettin. *VDi.* 28 *Fév.*, 311.
 — Emboutisseuses (Woodworth). *AMa.* 21 *Fév.*, 177.
 Fraiseuses-fleteuses Liebert, Archdale, Pratt-Whitney. *RM. Fév.*, 150.
 — — Double Owen. *AMa.* 14 *Mars*, 197.
 — — Harnais à trois fraises Kemp Smith. *AMa.* 21 *Fév.*, 179.
 — Meulage (le) Norton. *AMa.* 21 *Fév.*, 185. Meule (Horner) *E.* 20 *Fév.*, 237; 6 *Mars*, 300.
- Machines-outils.** Meule dresseuse Tucker. *AMa.* 21 *Fév.*, 193.
 — Perceuses (les), leurs défauts. *AMa.* 21 *Fév.*, 104. Multiple horizontale. Hulse. *E.* 27 *Fév.*, 282. Butler. *E.* 13 *Mars*, 346. Curtis pour trous carrés. *AMa.* 21 *Fév.*, 103, pour chaudières Bukford. *AMa.* 14 *Mars*, 292.
 — Presses pour fabrication des couteaux, *AMa.* 21 *Fév.*, 181.
 — les sous-presses. *AMa.* 21 *Fév.*, 183.
 — Tours de 400 millimètres. Rumpf. *AMa.* 21 *Fév.*, 102.
 — — à essieu Bridgeport. *AMa.* 21 *Fév.*, 188.
 — — à revolver Wasol. *E'*. 20 *Fév.*, 193. Millwaukee Co. *AMa.* 14 *Mars*, 289. Pour entretoises. Société Alsacienne. *Ri.* 14 *Mars*, 105.
 — Scies à métaux, emploi des. *AMa.* 21 *Fév.*, 199.
 — à bois scie circulaire Colburn. *AMa.* 7 *Mars*, 266.
- Moteurs à vapeur.** Rendement des. *E'*. 13 *Mars*, 270.
 — Surchauffée. *E'*. 27 *Fév.*, 222.
 — Utilisation de la vapeur d'échappement (Sohm). *Bam. Mars.* 309.
 — Accumulateur de vapeur Rateau. *Im.* II (1903), p. 281.
 — Condensations centrales. *Rt.* 10 *Mars*, 130.
 — Segments de pistons, conditions d'établissement. *Rt.* 10 *Mars*, 144.
 — Turbines (les) (Stodola). *VDI.* 21 *Fév.*; 7 *Mars*, 335. Brady. *E'*. 27 *Fév.*, 223.
 — à gaz. Letombe 400 ch. *Ri.* 21 *Fév.*, 74.
 — — Crossley compound. *E'*. 27 *Fév.*, 222.
 — — Allumages, Chauvin et Guerre. *EE.* 21 *Fév.*, 292. Électrique. *Lo.* 7 *Mars*, 150. *EE.* 14 *Mars*, 416.
 — à alcool. La carburation (Sorel). *RM. Fév.* 124.
- Passe-courroies.* Fouver. *Ri.* 7 *Mars*, 96.
Pèse-sacs Wotton. *E'*. 13 *Mars*, 276.
Poussières. Collecteurs Berth. *Ri.* 21 *Fév.*, 73.
Poulies coniques. Calcul des. *AMa.* 14 *Mars*, 299.
Roulement sur billes. *E.* 20 *Fév.*, 254.
Tachimètre bifluide. *Rt.* 28 *Fév.*, 86.

MÉTALLURGIE

Fours à coke. Progrès dans les vingt dernières années. *SuE.* 15 mars, 379.

Fer et acier. Dans les provinces du Rhin et de la Westphalie (Gouvy), *IC.* Janv., 59.

— Décarburation spontanée (Belloc). *CR.* 23 Fév., 500.

— Aciers au nickel, influence du traitement sur la microstructure (Guillet). *CR.* 23 Fév., 502. Variation de l'élasticité (Guillaume) (*id.*). 498.

— Progrès économique de la sidérurgie (Bone). *Cr.* 18 Fév., 181.

— Nouvel acier français. *SNA.* 28 Janv., 83.

— *Fers et aciers résistance comparative à l'oxydation.* *SuE.* 15 mars, 384.

— *Résistance des lingotières* (Reusch). *SuE.* 15 mars, 375.

— Forges de la Gutehoffnungshutte. *SuE.*, 1^{er} Mars, 302.

— Fonderie américaine moderne. *EM.* Mars, 879; *SuE.* 1^{er} Mars, 324.

— Procédé Bertrand Thiel. *SuE.* 1^{er} Mars, 306.

— Laminaires à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 21 Fév., 261, 7 Mars, 353.

— Valves de gazogènes. *SuE.* 1^{er} Mars, 333.

— Hauts fourneaux, soufflerie à turbines Parsons. *IC.* Janv., 220. Verticale Galloy. *E'*. 13 Mars, 264.

Nickel au Canada. *Ln.* 14 Mars, 231.

Or. Cyanuration aux mines de Homestake. *Eam.* 7 Mars, 372.

MINES

Boukarie et Turkestan, richesses minérales (Leval). *Im.* II, 1903, p. 327.

Charbonnages du Tonkin. *Gc.* 14 Mars, 305.

Classification génétique des minerais. *Eam.* 14 Fév., 256.

Criblage du charbon au puits Emssher (Westphalie.) *Gc.* 7 Mars, 296.

Échantillons, prise des — à la mine. *Eam.* 7-14-21 Fév., 211, 254, 290; 7 Mars, 362.

Évites-molettes électriques. *Sohm.* *Bam.* Fév., 153.

Extraction. Chevalets à Cripple Creeck. *Eam.* 7 Mars, 366. Machines (d') à l'Exposition de Dusseldorf (Bucherer). *Im.* II, 1903, p. 233.

Fonçage des puits de 1000 mètres de Ronchamp (Poussigne). *Im.* II, 1903, p. 77.

Fer. Gisements de l'Ontario. *Eam.* 21 Fév., 294.

Lignites du Nord. Dakota, valeur des. *Eam.* 7-18 Fév., 222, 326.

Mexique. Région minière de Parral. *Eam.* 7 Fév., 216.

— Mines métalliques, exploitation des (Williams). *EM.* Mars, 862.

Nickel en Saxe. *Eam.* 27 Fév., 329.

Nouveau-Mexique. Région de San Pedro. *Eam.* 21 Fév., 297.

Or. District de Dahlonega (Géorgie). *Eam.* 7 Fév., 219.

— de calcoene Brésil. *Eam.* 27 Fév., 238.

Roulage par air comprimé, conditions économiques (Brackett). *Eam.* 27 Fév., 329.

Sel. Industrie des salines de vaporisation au Kansas. *Eam.* 7 Fév., 225.

Préparation mécanique. Concentration par l'huile (Mac-Dermott). *Dp.* 14-21 Fév., 262, 293.

— Laveur. Mac Dermott. *Eam.* 27 Fév., 335.

Treuil électrique à l'Exposition de Dusseldorf. *Ri.* 28 Fév., 82.

Le Gérant: GUSTAVE RICHARD.

BULLETIN
DE
LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

CONSTRUCTIONS ET BEAUX-ARTS

RAPPORT fait par **M. J.-J. Pillet** au nom du *Comité des Constructions et des Beaux-Arts* sur un système de *Constructions démontables*, imaginé par **M. Espitallier**, *Lieutenant-colonel du Génie territorial*.

M. Espitallier a fait connaître, dans une conférence faite par lui à la Société, deux systèmes de constructions démontables dont il est l'inventeur et dont il a eu à faire de nombreuses applications au courant de sa carrière militaire, aussi bien aux colonies qu'en France.

Aujourd'hui, une Société civile exploite les systèmes de M. Espitallier, systèmes dont nous allons brièvement rendre compte.

I. — L'utilité des constructions démontables résulte de la nomenclature que l'on peut faire de leurs applications.

Les ambulances de guerre se placent en premier lieu; ce sont elles qui exigent le maximum de mobilité; dût-on, pour l'obtenir, sacrifier plus ou moins la solidité et les garanties de durée.

Viennent ensuite les installations coloniales à improviser, au début d'une conquête, soit pour suppléer à l'insuffisance de matériaux encore inexploités, soit pour parer au manque d'habileté de la main-d'œuvre indigène. L'installation coloniale n'exige pas une aussi grande rapidité de montage

que l'ambulance mais, par contre, elle doit être suffisamment durable, solide et, surtout, facile à transporter et à monter sur place, grâce à la légèreté de ses éléments et à la simplicité de leurs formes.

De telles qualités, quand elles les possèdent, rendent également les constructions démontables susceptibles d'être utilisées en pays civilisés et particulièrement dans les cas suivants :

Hangars, kiosques, écoles, bureaux de chantiers, petites gares de tramways, Postes et Télégraphes, ateliers de peintre, usines provisoires, exploitations agricoles, magasins, docks, pavillons de garde, chalets de campagne ou de bains de mer, abris à improviser après une catastrophe, camps et écuries militaires, etc.

Deux systèmes s'imposent donc pour les constructions démontables. M. Espitallier les a réalisés sous les dénominations suivantes :

1^{er} système dit : *Tubulaire*, ou à *Caissons*, pour les installations ultra-mobiles, dont le type serait l'ambulance militaire.

2^e système dit : à *ossature et à parois indépendantes*, pour les installations demi-fixes dont le type pourrait être soit un magasin clos et couvert, soit même un pavillon d'habitation, n'ayant qu'un rez-de-chaussée.

II. 1^{er} *Système dit : Tubulaire*. — Ce système comporte (fig. 1 à 5) trois éléments : un pour la muraille, un pour la toiture et un pour le plancher.

L'*Élément de muraille* est un parallépipède creux, autrement dit : un *Caisson*, dont les dimensions sont les suivantes :

Hauteur, 2^m,50 à 3 mètres ; largeur, 1 mètre ; épaisseur, 0^m,10 à 0^m,12.

Ses parois sont en carton spécial, dur et imperméable. Les caissons se placent verticalement, côte à côte, et celles de leurs parois qui forment les joints verticaux ont leur section droite en forme d'U ; il en résulte un assemblage à la fois étanche et solide, analogue à l'assemblage par rainure et languette employé pour les lames de parquet (fig. 3).

Les *Éléments de toiture* sont semblables aux précédents ; toutefois celles de leurs rives qui seront dirigées suivant les lignes de pente du toit sont pourvues de rebords en saillie qu'il suffit, comme pour les tuiles antiques, de recouvrir par un couvre-joint en forme de demi-cylindre (fig. 4) pour assurer l'étanchéité. Les éléments de toiture sont réunis deux à deux, à charnière, suivant la ligne de faîtage.

Pour les mettre en place, instantanément, après qu'on a posé un tirant en fer rond qui empêche les murailles de s'écarter, on apporte le double

élément, à la manière d'une échelle double, à l'aplomb de son emplacement définitif; puis, chacun des pans est successivement soulevé et posé sur la muraille où il est retenu par la butée d'une cornière (fig. 6, page 452).

L'Élément de plancher est un coffre en bois disposé de manière à pouvoir servir à l'emballage des autres éléments. Il est indispensable de dresser le plancher bien de niveau. Pour cela, on fait reposer ses éléments sur des chevalets en forme d'X, dont les pieds peuvent s'écartier plus ou moins afin de racheter les dénivellations du sol.

On conçoit avec quelle rapidité on doit pouvoir faire le montage de



Fig. 1.

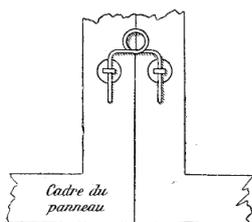


Fig. 5. — Détail de l'accrochage de deux panneaux consécutifs de la muraille.

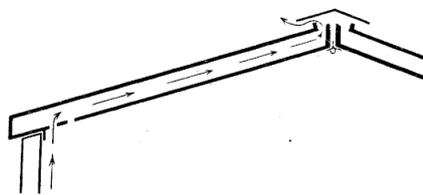


Fig. 2. — Caissons formant toiture avec dispositif pour la ventilation.

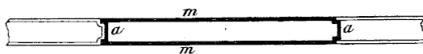


Fig. 3. — Coupe horizontale d'un élément de muraille.



Fig. 4. — Coupe horizontale d'un élément de toiture sur le joint.

Fig. 1 à 5. — Type léger tubulaire à caissons.

pareils éléments, car ils sont à la fois légers, simples et suffisamment grands pour être peu nombreux. Inutile de dire qu'ils sont interchangeables, ce qui évite les tâtonnements.

Voici quelques chiffres s'appliquant à une ambulance de 20 lits (fig. 6).

Longueur, 16^m,15, largeur, 5 mètres, surface totale, 80^m,70, soit par lit, 4^m,35. Poids par mètre carré de surface couverte, 40 kilogrammes.

Montage en 4 heures par une équipe de 5 hommes.

Prix : 5 000 francs, soit, par mètre carré, 62 fr. 20 et par lit 250 francs.

En guerre, les réquisitions de voitures peuvent entraîner de graves mécomptes; c'est pourquoi un pareil pavillon d'ambulance est généralement livré sur trois haquets à roues, dont la plate-forme entre dans la composition du plancher. Ces haquets sont placés parallèlement entre eux et à quatre mètres

les uns des autres; ils sont réglés de niveau et des entretoises en fer, allant de l'un à l'autre, assurent leur écartement en même temps qu'elles forment solives pour supporter les éléments de plancher décrits ci-dessus.

Ces trois haquets augmentent, il est vrai, la dépense de 3600 francs;

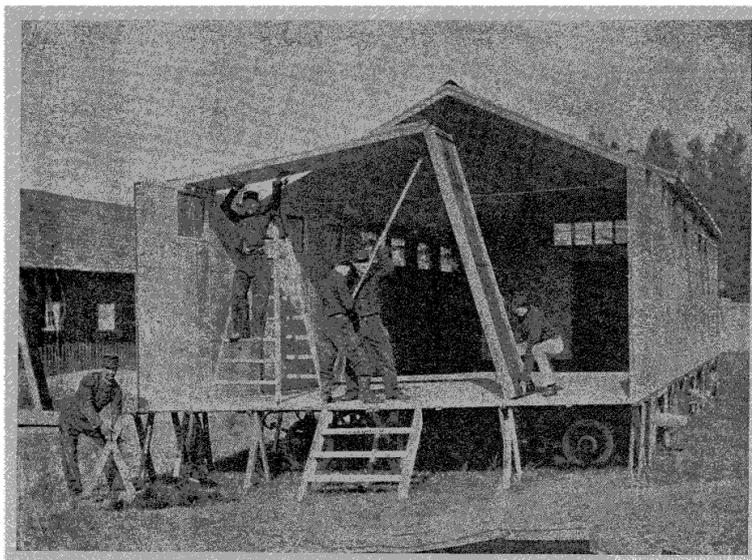


Fig. 6. — Ambulance sur roues système tubulaire grandes manœuvres de 1901.

mais ils assurent le transport en temps utile, et, de plus, ils permettent, en simplifiant l'implantation du pavillon, d'accélérer encore son montage.

III. 2^e *Système dit : à ossature et à parois indépendantes.* — L'ossature constitue l'organe résistant du deuxième système.

L'élément de l'ossature est (fig. 7 à 13) le *tube cylindrique en acier* que l'industrie produit aujourd'hui dans d'excellentes conditions d'économie. Avec lui sont faits : les montants (ou piliers) verticaux, les arbalétriers, les sous-arbalétriers et les contre-fiches des fermes, et enfin les pannes de la toiture. Des tubes de trois grosseurs suffisent pour ces divers organes.

L'emploi presque exclusif du tube est la caractéristique du système de M. Espitallier; il le justifie par des considérations d'ordre *mécanique*, quand il s'agit de la résistance des pièces, et d'ordre *stéréotomique*, quand il s'agit de leur assemblage.

Au point de vue mécanique, le mérite du tube est de posséder un moment d'inertie, et aussi un moment de résistance, qui restent les mêmes dans tous

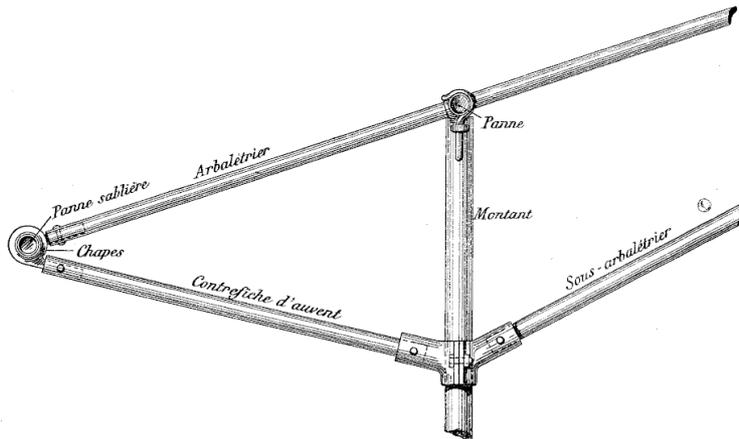


Fig. 7. — Assemblage des diverses pièces d'une ferme.

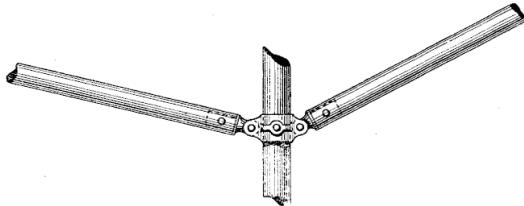


Fig. 8. — Assemblage à rotules de toutes inclinaisons.

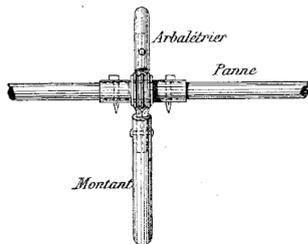


Fig. 8 bis. — Vue de face de la chape et de la panne sablière.

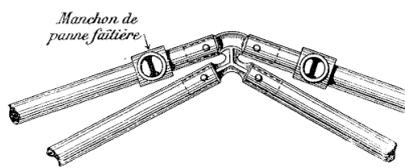


Fig. 8 ter. — A pièce de faitage.

Fig. 7 à 13. — Type à ossature et parois indépendantes — détails d'assemblage.

les sens. Dès lors, s'agit-il de pièces comprimées, longues et, par conséquent, sujettes au flambement : tandis qu'un fer en double T demanderait à être fréquemment et solidement entretoisé sur son plat, le tube garde une

égale raideur dans toutes les directions et, pour lui, l'entretoisement devient presque inutile. S'agit-il de pièces travaillant à la flexion : tandis que le fer double T demande à recevoir l'attaque du couple fléchissant rigoureusement dans le plan de son âme, sous peine de travailler en pièce déversée et de perdre, très rapidement, la plus grande partie de sa résistance, le tube, au contraire, peut être attaqué d'une manière quelconque ; en un mot, il ne se comporte jamais comme une pièce déversée. Or, si l'on considère que dans une

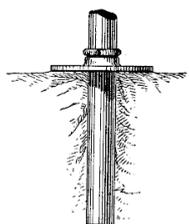


Fig. 9. — Prise de sol et semelle.

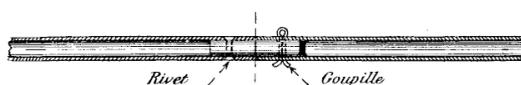


Fig. 10. — Enture de deux tubes en prolongement par un manchon directeur.

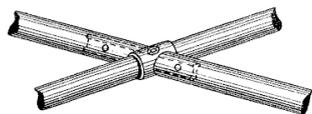


Fig. 11. — Double manchon.

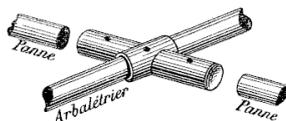


Fig. 11 bis. — Double manchon.

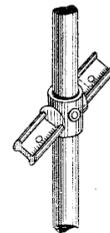


Fig. 12. — Manchon et prisonnier.



Fig. 13. — Coupe horizontale de la couverture. Assemblage des tôles sur une panne.

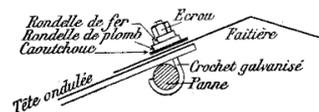


Fig. 14. — Assemblage des tôles avec la faitière sur panne.

construction démontable, c'est-à-dire édiflée rapidement, il est impossible de garantir le non-déversement des pièces résistantes, on reconnaîtra le bien fondé du choix fait par M. Espitallier.

Comme dépense, le tube coûte un peu plus cher, au kilogramme, que les profilés ordinaires ; mais on peut lui donner une épaisseur tellement faible qu'à poids et presque à prix égal sa résistance à la flexion est la même que celle du fer double T que l'on serait obligé de prendre.

Au point de vue stéréotomique les tubes, surtout pour un montage rapide, présentent de grandes facilités d'assemblage.

Dans le système Espitallier, plus de rivets et presque plus de boulons.

L'assemblage ne se fait pas directement de tube sur tube, ce qui exigerait des coupes difficiles à réaliser, mais toujours par des pièces que l'on pourrait appeler des *nœuds* et qui sont indépendantes des tubes à réunir.

S'agit-il, par exemple (fig. 10), d'enter deux tubes, c'est-à-dire de les réunir bout à bout : un fragment de tube, de diamètre plus petit, est logé dans les deux autres et les réunit comme ferait un *goujon*.

Si plusieurs tubes se rencontrent en un même point, par exemple : un montant avec un arbalétrier et avec deux pannes ; ou encore, au faitage, un arbalétrier et un sous-arbalétrier, avec deux pannes faitières, soit en tout six pièces, alors le nœud se compose (fig. 7) d'un collier en deux pièces, entourant le tube considéré comme étant le principal, collier duquel s'échappent, dans les directions voulues et venus de fonte avec lui, autant de goujons calibrés qu'il y a de tubes à assembler. Les goujons se logent, sans jeu appréciable, dans les tubes, ce qui réalise pour ceux-ci un demi-encastrement favorable à leur résistance.

Ces nœuds sont en acier fondu ; leurs formes, quoique très étudiées et présentant tous les épaulements voulus, sont simples et de dépouille facile. Leurs modèles sont en nombre très restreint. Bref, tout est combiné de telle sorte que les pièces ayant à remplir une même fonction, tubes ou nœuds, soient interchangeable, ce qui, dans l'espèce, est une qualité indispensable.

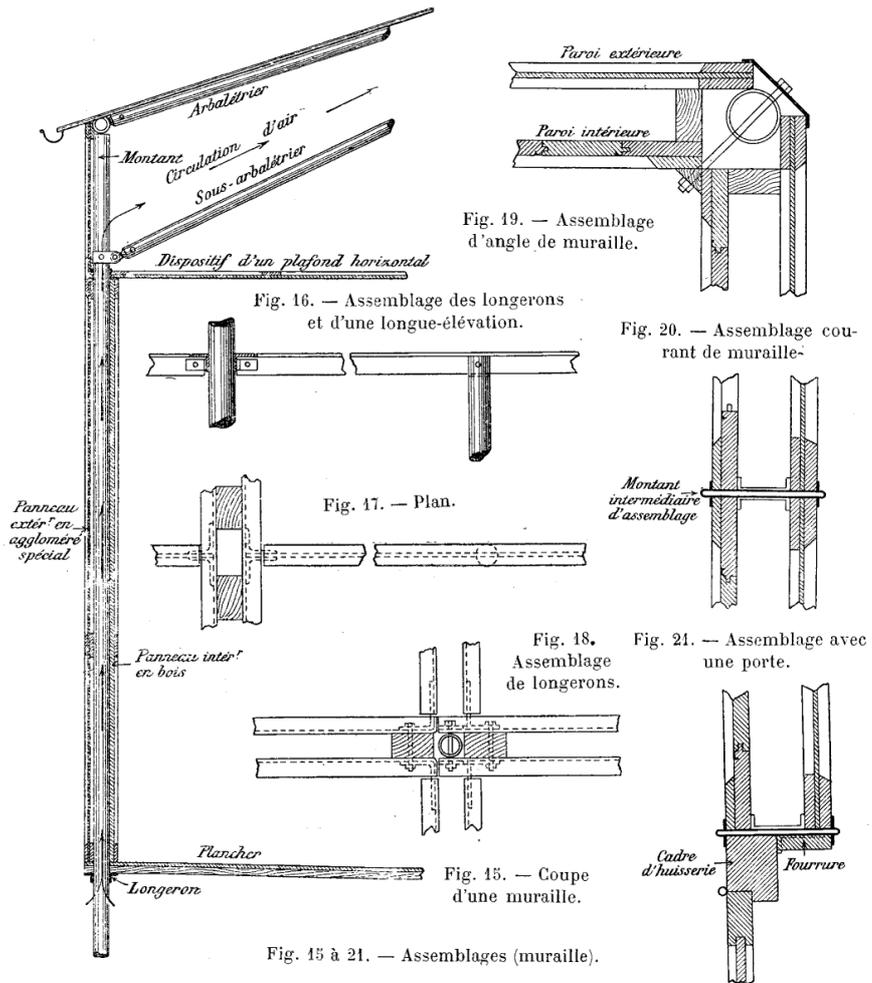
Les parois indépendantes comprennent (fig. 15 à 21) dans ce deuxième système :

Le *plancher*, la *muraille*, le *plafond* et la *couverture*.

Les éléments de *plancher*, ou plutôt de parquet, sont des panneaux en frises rainées ; ils mesurent, ordinairement, 3 mètres sur 1 mètre ou 1^m,20 et ils peuvent aussi être utilisés pour l'emballage. On les soutient par des *longerons* transversaux allant d'un montant à l'autre et par des *longrines* perpendiculaires aux longerons. Les longerons sont formés par deux cornières jumelles, posées l'aile horizontale en dessus et l'aile verticale touchant le montant tubulaire, qu'elles moisent pour ainsi dire, tandis que les longrines sont constituées par des fers à simple T posés, aile en dessus, sur les longerons.

Les uns et les autres sont soulagés sur leur longueur par des *béquilles* qui ne sont autre chose que des tubes, relativement courts, enfoncés de 0^m,50 environ en terre, comme le sont d'ailleurs les montants verticaux des fermes.

Les montants, aussi bien que les béquilles, prennent appui à la surface du sol par une semelle en fonte qu'ils traversent et sur laquelle porte un



anneau entourant le tube, à la hauteur de l'enfoncement que l'on veut avoir.

La muraille est (fig. 19 à 21) constituée par deux parements ménageant entre eux un matelas d'air d'une dizaine de centimètres d'épaisseur. L'air, on le

sait, est le meilleur des isolants. Dans les pays chauds cette muraille creuse fait communiquer le sous-sol avec le faux grenier compris entre le plafond et la couverture. Ce grenier, fortement chauffé par le soleil, fait appel et il

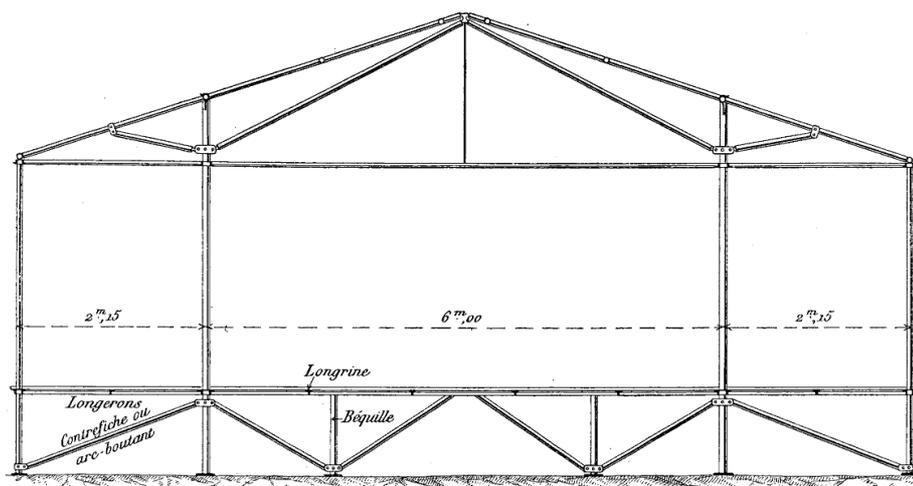


Fig. 22. — Ferme à doubles montants avec traverse, béquilles et arcs-boutants
Dispositif d'ossature d'un pavillon colonial.

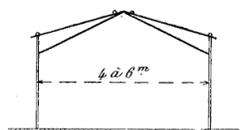


Fig. 23. — Ferme simple.

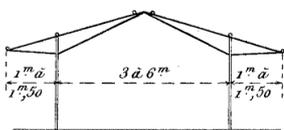


Fig. 24. — Ferme à auvents.

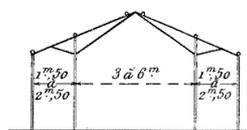


Fig. 25. — Ferme à 3 nefs
ou à galerie.

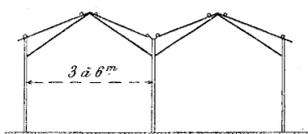


Fig. 26. — Docks.

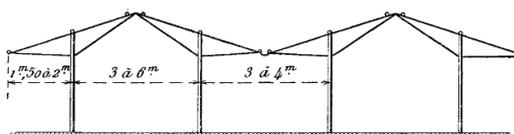


Fig. 27. — Docks à auvents accotés.

s'établit une circulation d'air; cet air, étant emprunté au sous-sol est relativement frais. Dans les pays froids, au contraire, on empêche cette circulation.

Le parement, qui est en somme, le véritable *élément de muraille*, n'est le plus ordinairement ni en bois, trop facilement attaqué par les insectes, ni en tôle, trop conductrice et trop sonore. Il est constitué par une toile

métallique dont les mailles sont garnies par une contre-trame en fibre de

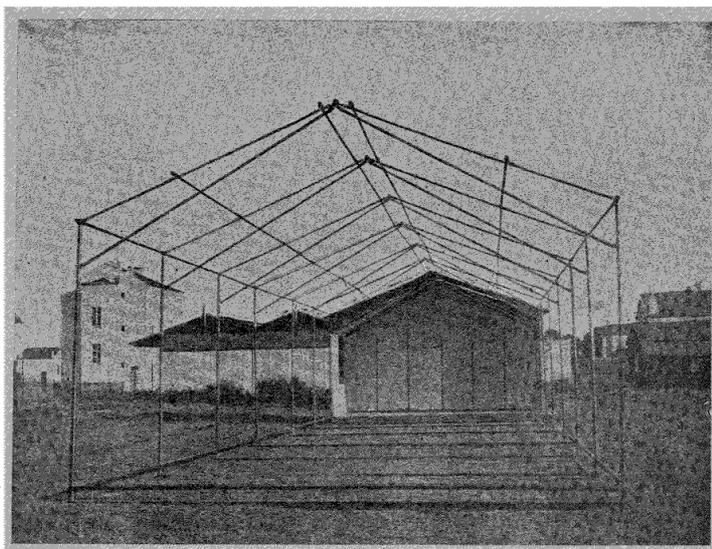


Fig. 28. — Ossature simple d'un hôpital temporaire.

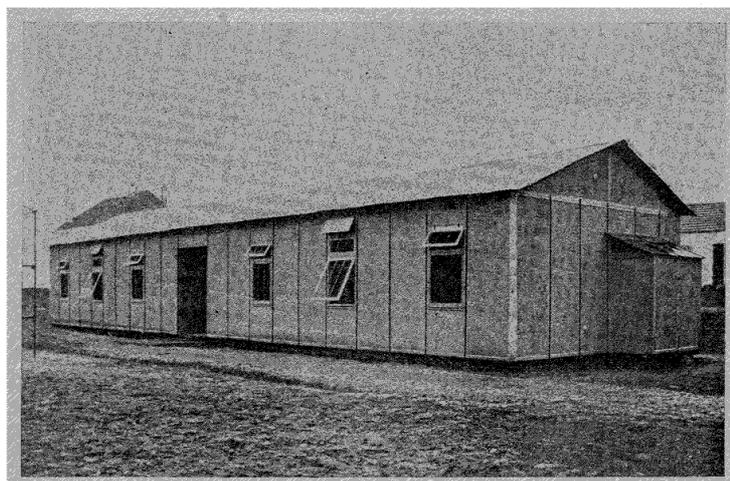


Fig. 29. — Hôpital temporaire.

coco; cette toile est enduite d'un ciment spécial lequel durcit beaucoup avec

le temps, ne se fendille jamais et, même sous la très faible épaisseur adoptée, 3 ou 4 millimètres, possède une grande résistance au voilement. Ces toiles cimentées sont pincées entre deux cadres en frises de bois qui en bordent

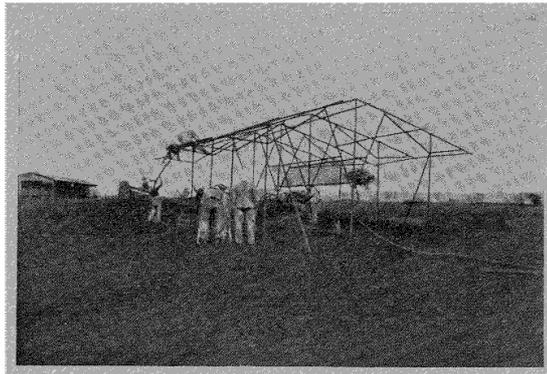


Fig. 30. — Travées d'écurie.

le pourtour et voici le panneau de parement établi. Ses dimensions sont de 1 mètre de largeur sur 3 mètres environ de hauteur.

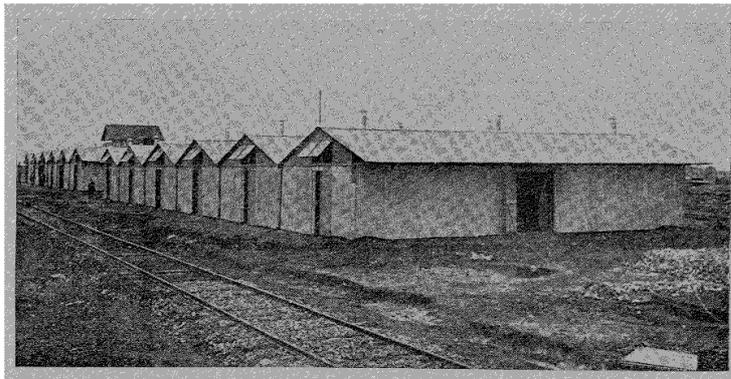


Fig. 31. — Magasin à céréales en Bulgarie. Parois en tôle.

Deux panneaux, séparément mis en face l'un de l'autre, à l'écartement convenable, constituent un *segment vertical* de muraille creuse.

Les figures 15 à 21 font comprendre comment les segments de muraille se fixent soit aux montants, soit entre eux ; comment s'établissent les angles

de la construction et comment se font leurs jonctions soit avec le plancher, soit avec le plafond, soit avec les montants des portes et des fenêtres.

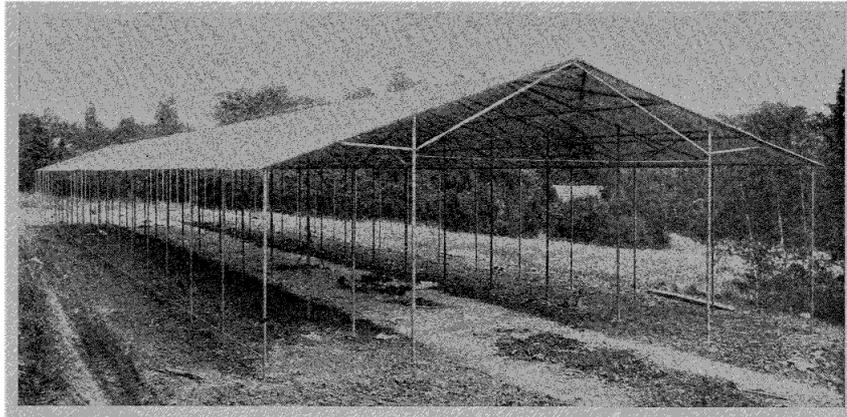


Fig. 32. — Hangar à 3 nefs. Établissement aérostatique de Chalais-Meudon.

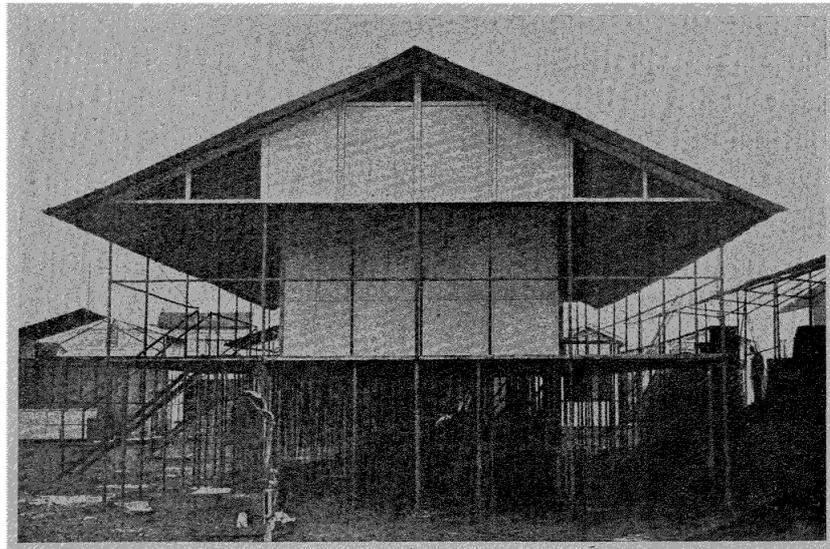


Fig. 33. — Pavillon colonial pendant le montage (surélévation 2 mètres).

Les *plafonds* sont, le plus souvent, accrochés aux sous-arbalétriers de la ferme et, comme eux, inclinés à deux pentes. Ils sont formés de panneaux

analogues à ceux de la muraille. On substitue assez souvent à la toile cimentée ci-dessus décrite, assez coûteuse et plus résistante qu'il n'est nécessaire pour cet usage, des panneaux soit en frises de bois, soit en carton d'amiante, soit même en toile cirée.

La *couverture* est en tôle galvanisée et ondulée. Cette tôle est débitée par feuilles qui sont assez longues (2^m,40 à 3 mètres) pour pouvoir porter d'un seul tenant, en haut, sur la panne faitière, et en bas, sur la panne

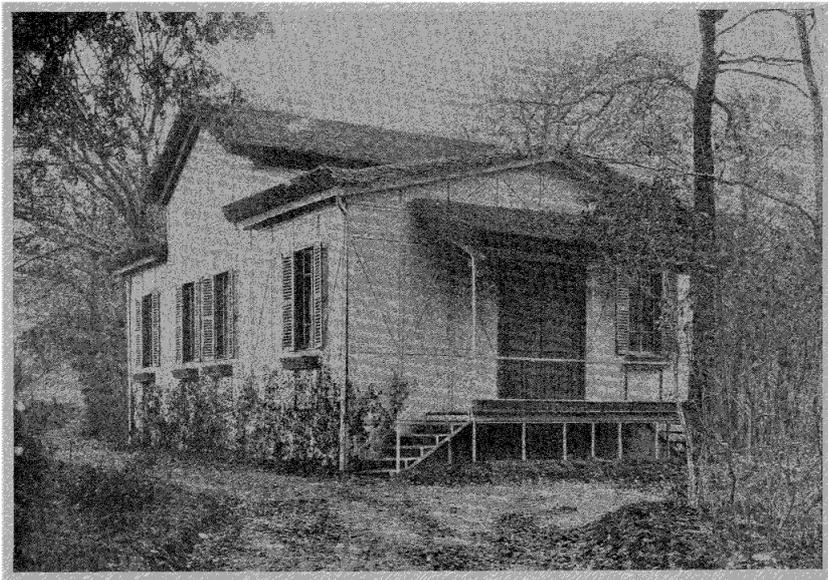


Fig. 34. — Maison de campagne à Chevreuse — Surélévation 1 mètre
Soubassement clos — Toit de chaume sur tôle galvanisée.

sablère. On évite ainsi d'avoir à mettre une panne intermédiaire, car la tôle ondulée possède, grâce à sa forme, un grand moment de résistance à la flexion.

Le mode d'attache des tôles sur les pannes (fig. 14) est très spécial à M. Espitallier. Cette attache se fait par des crochets en fer galvanisé. La boucle du crochet passe sous la panne tubulaire qu'elle enserre; la partie droite, filetée, traverse, au-dessus, la tôle ondulée en un point de sa cambrure supérieure et elle est serrée sur elle par un écrou muni d'une rondelle de serrage en plomb. De cette façon l'écrou étant placé sur un dos d'âne de la

tôle il en résulte que, d'une part, les eaux pluviales s'en éloignent et que, d'autre part, la tôle forme comme un ressort qui rend l'attache très élastique et très peu fragile. De plus, ces crochets réunissant les tôles entre elles, comme le ferait un boulonnage général, il en résulte une solidarité de l'ensemble qui dispense de tout contreventement dans le plan de la toiture. Et, de fait, les couvertures ainsi constituées ont résisté aux plus violents ouragans des régions de la mer des Indes.

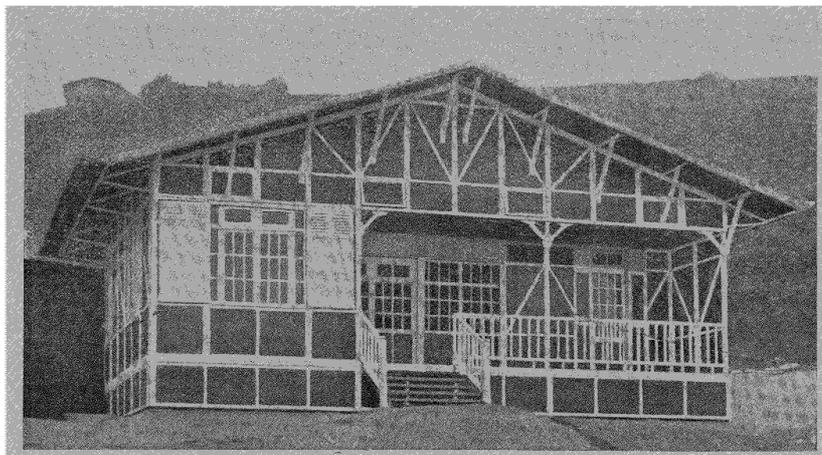


Fig. 35. — Chalet au bord de la mer.

IV. Tels sont les éléments, fort ingénieusement conçus, des constructions démontables des systèmes de M. Espitallier; on pourra juger par les figures 28 à 35 de la variété de leurs applications.

A leur sujet, nous attirons dès maintenant l'attention sur la conception très rationnelle des fermes, cette partie toujours délicate d'une construction d'ensemble. On remarquera que chaque demi-ferme forme un tout indépendant et que, de plus, ce tout est rigide, car il est strictement triangulé (fig. 22 à 27). — C'est, ou bien, une console simple, faisant corps avec le montant, ou bien, s'il faut une galerie extérieure, une console double, dont les deux côtés s'équilibrent presque.

Dans ces conditions, chaque console, qu'elle soit simple ou qu'elle soit double, est construite, posée à plat par terre; elle est ensuite dressée verticalement par deux ou trois hommes; le pied du montant est introduit dans

un trou foré dans le sol et son enfoncement y est réglé par la semelle en fonte décrite plus haut.

L'autre demi-ferme est montée de même et il ne reste plus qu'à placer le nœud de faitage en acier fondu, à introduire les goujons de ce nœud dans les tubes correspondants pour que le montage soit solidement terminé; l'archoutement se fait de lui-même et il va en s'accroissant au fur et à mesure que la toiture et que le plafond sont posés.

Tout cela est rationnel comme principe de construction et ingénieux comme combinaisons se prêtant au montage, au démontage, à l'emballage et au transport faciles de toutes les parties d'un même ensemble.

Votre comité propose de remercier M. Espitallier de sa communication et d'insérer le présent rapport au *Bulletin*.

Signé : J. PILLET, rapporteur.

Lu et approuvé en séance, le 13 février 1903.

MÉTALLURGIE

RECHERCHES SUR LA DILATATION DES ACIERS AUX TEMPÉRATURES ÉLEVÉES, PAR
MM. G. Charpy ET **L. Grenet**, *Ingénieurs à la Compagnie des Forges de
Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons.*

L'étude de la dilatation des aciers aux températures élevées présente un double intérêt : en dehors de l'importance que présente la connaissance des variations de volume d'un corps aussi usuel que l'acier, il y a dans l'étude des dilatations une source précieuse d'indications sur les transformations si complexes que subissent à haute température les alliages de fer et de carbone. C'est d'ailleurs l'étude des dilatations qui, entre les mains de Gore et de Barrett, a fourni les premières indications précises sur les transformations de l'acier et permis de mettre en lumière le phénomène de la *recalescence*.

C'est en 1869 que Gore publia ses premières observations (*Proceedings of the Royal Society*). Il suivait, au moyen d'un levier multiplicateur, les variations de longueur d'un fil d'acier tendu horizontalement et qu'on pouvait chauffer soit en y faisant passer un courant électrique, soit au moyen d'une rampe à gaz.

Il observa ainsi que pendant le refroidissement il se produisait, à la température du rouge modéré, une *dilatation momentanée*. Gore n'observa aucune variation anormale de longueur pendant l'échauffement; mais Barrett (1), qui reprit les expériences de Gore, mit en évidence que les phénomènes étaient inverses à l'échauffement et au refroidissement, et se produisaient sensiblement à la même température. Barrett observa que les variations anormales de longueur, très accentuées avec l'acier dur, étaient à peine sensibles avec le fer doux et qu'elles étaient corrélatives pendant le refroidissement d'une élévation de température à laquelle il donna le nom de *recalescence*.

Un certain nombre de mesures de dilatations ont été effectuées à l'Usine Saint-Jacques de Montluçon au moyen d'un appareil étudié par M. Evrard et publiées en 1887 (*Génie civil* du 23 avril).

L'appareil de M. Evrard est représenté dans la figure 1. Il comprend deux

(1) W. F. BARRETT. On certain remarkable molecular changes occurring in Iron Wire at a low red Heat. (*Philosophical Magazine.*, vol. XLVI, 1873).

machines superposées, absolument identiques et indépendantes l'une de l'autre. Sur chacune d'elles on place l'un des barreaux à expérimenter dont l'un sert d'étalon pour la mesure des températures, c'est-à-dire que l'on suppose connue d'avance, sa courbe de dilatation.

La figure 2 donne le schéma de l'une des machines. Le barreau AB est tenu entre les têtes de deux leviers AOC-BO'D et serré par le ressort R. Le levier AOC étant maintenu fixe, le levier BO'D peut tourner autour de l'axe O' et transmettre en l'amplifiant, toute variation de longueur du barreau AB à une tige à crémaillère T dont l'extrémité porte une pointe traçante qui inscrit ses dépla-

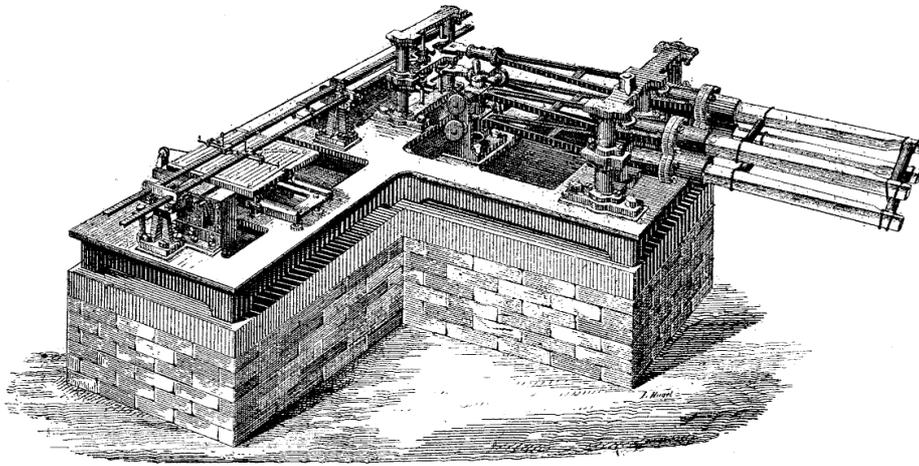


Fig. 1.

cements sur une planchette P. Un mouvement d'horlogerie déplace cette planchette P d'un mouvement uniforme, perpendiculairement à la crémaillère.

Les deux barreaux à étudier étant placés sur l'appareil et chauffés à la même température au moyen d'un moufle à gaz, on les abandonne au refroidissement.

On obtient alors sur la planchette P deux courbes représentant les contractions en fonction du temps.

La figure 3 reproduit les courbes obtenues avec deux barreaux, l'un en fer, l'autre en acier à 0,48 de carbone. On voit ainsi comment on peut comparer les dilatations et principalement les variations de longueur dues aux transformations dans les différents aciers.

Signalons les conclusions suivantes :

La température du point de transformation est d'autant plus basse que le métal est plus carburé ou contient plus d'éléments étrangers.

La dilatation correspondant à la transformation ne paraît pas constante pour tous les métaux ferreux; elle est d'autant plus grande que le métal est plus dur et varie dans des limites très resserrées. On peut considérer le chiffre de $0^m,0125$ comme donnant la moyenne.

M. G. E. Svedelius a publié en 1897 (*Dinglers Polyt. Journal*) un important travail sur l'étude des transformations du fer et de l'acier par la méthode dilatométrique. Le principe de l'appareil qu'il emploie est le même que celui des Usines Saint-Jacques, mais la disposition est considérablement modifiée. Les

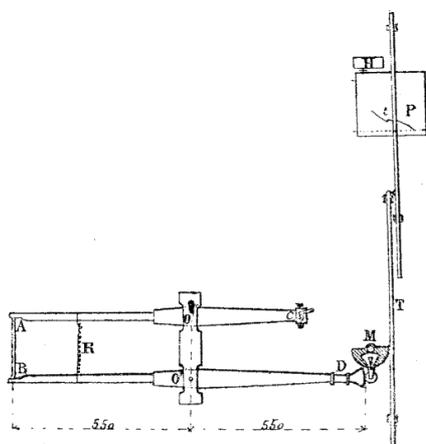


Fig. 2.

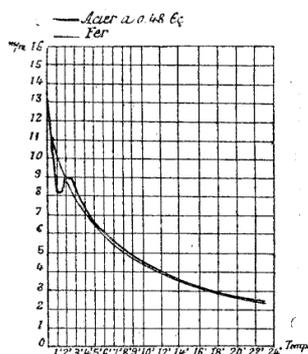


Fig. 3.

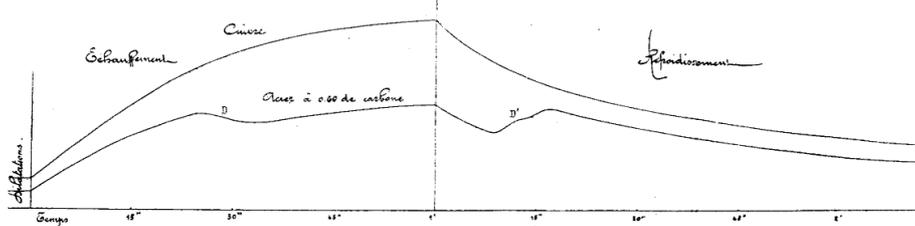
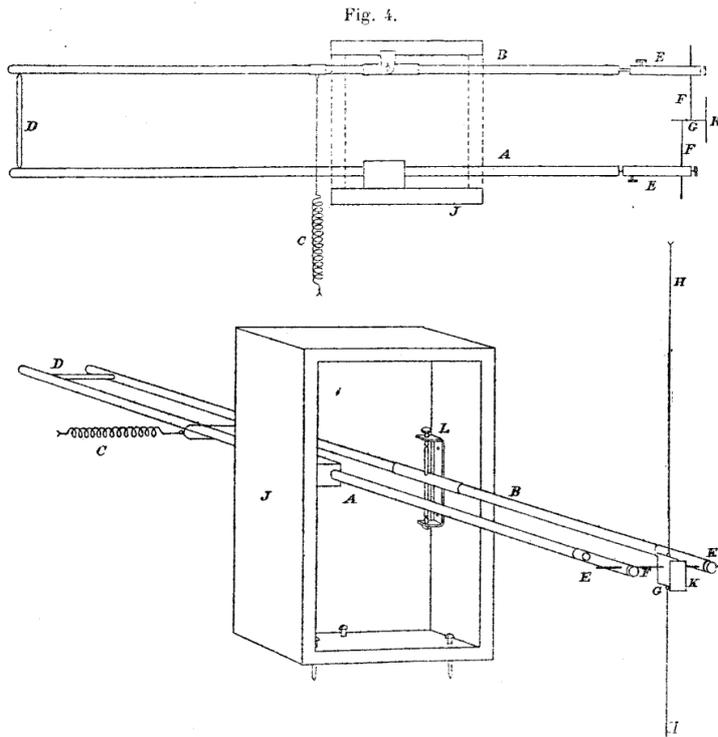
figures 4 et 5 reproduisent en plan et en perspective la disposition de l'appareil de M. Svedelius.

L'échantillon étudié D a 4 centimètres de largeur environ; il est placé entre les extrémités de deux longs bras en porcelaine A et B, dont l'un est fixe et l'autre mobile autour d'un axe vertical; un ressort C maintient les bras serrés sur l'échantillon D. Les extrémités E des bras de porcelaine agissent sur un miroir K suspendu à un fil de torsion HH, et dont les mouvements angulaires, suivis sur une échelle divisée, ou enregistrés photographiquement, permettent de déterminer les variations de longueur de la tige D.

Un pyromètre Le Chatelier, dont la soudure est insérée dans l'échantillon D, permet de mesurer les variations de température produites au moyen d'un brûleur à gaz de forme spéciale.

M. Svedelius obtient ainsi une courbe donnant les dilatations ou contractions en fonction du temps; la figure 6 reproduit, d'après le mémoire original, les courbes de dilatation observées pour le cuivre et l'acier à 0,6 p. 100 de carbone.

On voit que l'expérience est extrêmement rapide; l'échauffement dure une minute et le refroidissement deux minutes environ; la courbe relative au cuivre



est parfaitement continue; la courbe de l'acier présente au contraire deux anomalies très nettes : une contraction anormale se produit en D pendant l'échauffement; une dilatation anormale se produit en D' pendant le refroidissement.

En observant, en même temps que les dilatations, les variations de température au moyen de pyromètre thermo-électrique on obtient deux courbes (fig. 7) qui montrent qu'à l'anomalie de dilatation correspond une anomalie dans la marche de la température; mais, comme le fait remarquer M. Svedelius, ces changements anormaux de longueur et de température, s'ils se produisent simultanément, ne se correspondent pas en ce qui concerne l'intensité du phénomène, les changements de longueur atteignent leur maximum pour l'acier de dureté moyenne et sont à peu près équivalents pour l'acier dur et pour le fer doux; les changements thermiques sont beaucoup plus accentués dans les aciers durs et s'atténuent rapidement quand la teneur en carbone diminue.

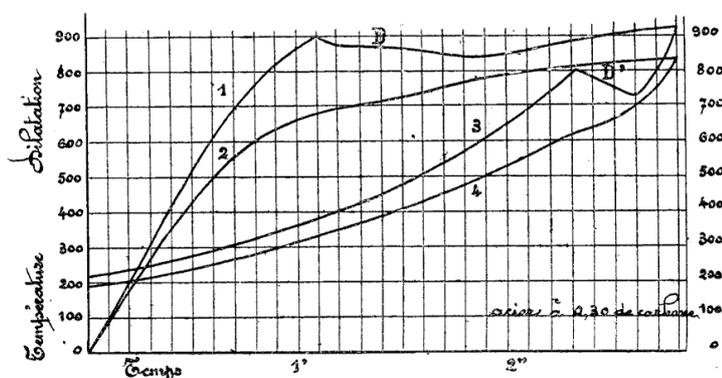


Fig. 7.

Parmi les conclusions que M. Svedelius tire de ses observations, signalons encore les suivantes :

1° La contraction en D est considérablement moindre que l'expansion en D'.

2° La contraction en D commence sensiblement à la même température pour l'acier et le fer doux, mais dure d'autant plus longtemps que la proportion de carbone est plus faible.

L'expansion en D' commence à une température d'autant plus élevée et dure d'autant plus longtemps que l'acier est plus doux.

3° La contraction en D et l'expansion en D' augmentent d'intensité quand la teneur en carbone augmente de 0,1 à 0,6 p. 100 et décroissent ensuite quand le carbone augmente de 0,6 à 1 p. 100.

4° La contraction en D semble, dans le fer doux, comprendre deux périodes D₁ et D₂, la première étant plus courte; l'expansion en D' présente de même deux périodes D'₁ et D'₂ dans le fer doux (fig. 8).

Nous aurons l'occasion de revenir, au cours de ce mémoire, sur ces résultats et d'autres contenus dans le travail de M. Svedelius.

M. H. Le Chatelier a effectué en 1899, avec la collaboration de M. Chantepie, une série d'expériences sur la dilatation d'aciers à diverses teneurs en carbone.

Il utilisait le dispositif étudié par lui et M. Coupeau pour la mesure de la dilatation des pâtes céramiques, et qui est décrit dans le Bulletin de la Société d'encouragement d'octobre 1898.

Nous reproduisons ici (fig. 9 et 10) le dessin de cet appareil. On sait que dans cette méthode un miroir en silice fondue s'incline plus ou moins suivant la différence de dilatation entre un support en porcelaine et le corps étudié; il

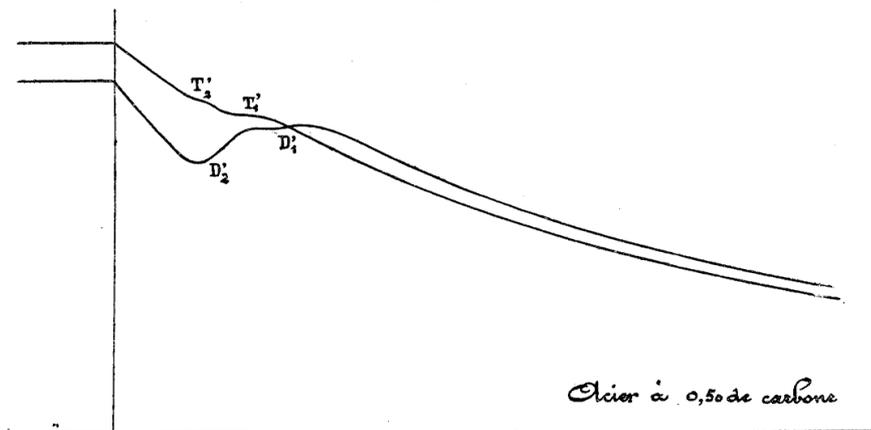


Fig. 8.

réfléchit un rayon lumineux dont on mesure le déplacement angulaire. Cette méthode a le grand avantage de permettre le chauffage de tout l'appareil de mesure et de supprimer ainsi les organes de transmission inégalement chauffés dont l'influence ne peut être exactement déterminée; elle permet d'opérer avec une vitesse de refroidissement et d'échauffement aussi petite que l'on veut, ce qui est évidemment préférable aux échauffements et refroidissements rapides de M. Svedelius.

Parmi les résultats que M. Le Chatelier a obtenus de cette façon, nous signalerons les suivants :

Au-dessous des températures de transformation, les aciers à différentes teneurs en carbone ont sensiblement le même coefficient de dilatation; au-dessus des températures de transformation le coefficient de dilatation est d'autant plus grand que la teneur en carbone est plus élevée.

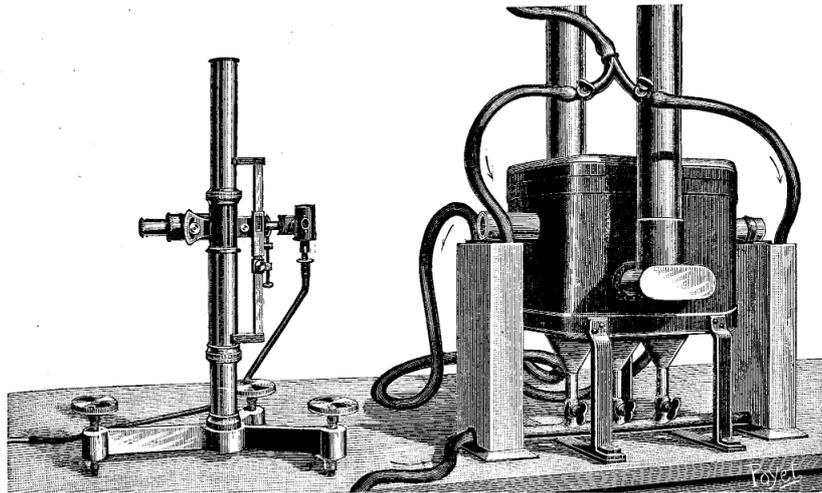


Fig. 9.

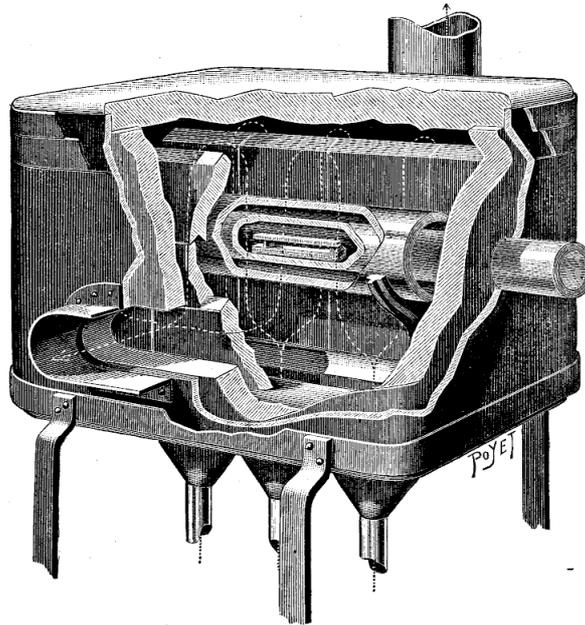


Fig. 10.

En ce qui concerne les transformations, M. Le Chatelier trouve que la transformation dite de recalescence (point a_1 de M. Osmond) correspond à deux changements de dimensions de sens inverse, qui se compensent à peu près exactement dans l'acier à 0,9 de carbone; que la transformation magnétique du fer correspond à aucune variation de volume appréciable; enfin, que la transformation supérieure du fer (point a_3 de M. Osmond) présente de grandes anomalies, la température de cette transformation et le changement de dimensions qui l'accompagne variant sans raisons actuellement définissables.

Tels sont les principaux travaux qui ont été exécutés, jusqu'à ces dernières années, sur la dilatation des aciers aux températures élevées.

Nous avons effectué, sur ce sujet, un grand nombre d'expériences au laboratoire des Usines Saint-Jacques, à Montluçon. M. Léon Lévy, directeur général de la Compagnie des Forges de Châtillon-Commentry et Neuves-Maisons, a bien voulu nous autoriser à en publier les principaux résultats.

II

L'appareil que nous avons employé est une modification de celui de MM. Le Chatelier et Coupeau (1). Dans ce dernier le support de porcelaine repose sur le tube en terre réfractaire qui sert de moufle; on peut craindre qu'étant ainsi au contact même du four la porcelaine ne soit pas toujours à la même température que l'échantillon d'acier qui est au milieu du tube; pour réaliser cette égalité de température entre l'acier et la porcelaine il nous a paru préférable de les placer symétriquement par rapport à l'axe du four; cela nous a conduit à employer un support en porcelaine plus long que le four lui-même et qui repose en dehors du four sur deux galets métalliques qui lui permettent de se dilater librement. L'appareil de chauffage est un tube en terre réfractaire sur lequel on a enroulé un fil de platine dans lequel passe un courant électrique réglable par un rhéostat. Dans les appareils de ce genre on a une température qui est régulière dans la région centrale et décroît rapidement vers les extrémités. Comme on ne peut dans le cas actuel dépasser une certaine longueur pour le four sans diminuer beaucoup le champ du rayon lumineux réfléchi sur le miroir, nous avons eu recours, pour augmenter la longueur de la zone centrale à température constante, à l'artifice suivant: le four est recouvert d'une couche isolante formée en enroulant du cordon d'amianté; cette couche est d'épaisseur inégale aux différents points; elle augmente vers les extrémités du tube et compense ainsi partiellement l'influence refroidissante de ces extrémités. En réglant expé-

(1) Pour les détails de la méthode voir le mémoire de M. H. Le Chatelier *Sur les propriétés des alliages* dans la *Contribution à l'étude des alliages métalliques* édité par la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale en 1901, pages 394 et suivantes.

rimentalement les épaisseurs d'isolant aux divers points, nous avons pu obtenir une température constante à 10° près sur une longueur de 8 centimètres environ, la longueur totale du tube étant de 25 centimètres.

Voici les chiffres relevés dans une exploration faite au début des essais. Le pyromètre placé au centre du four marquait 950°. En le déplaçant de 2 en 2 centimètres soit vers la droite, soit vers la gauche, on trouva les chiffres suivants :

Distances au milieu.	Températures	
	à droite.	à gauche.
	degrés.	degrés.
2 centimètres.	950	945
4	940	940
6	930	935
8	860	880

A la fin des essais, après de nombreux échauffements et refroidissements, la régularité du four avait un peu diminué, mais était encore largement suffi-

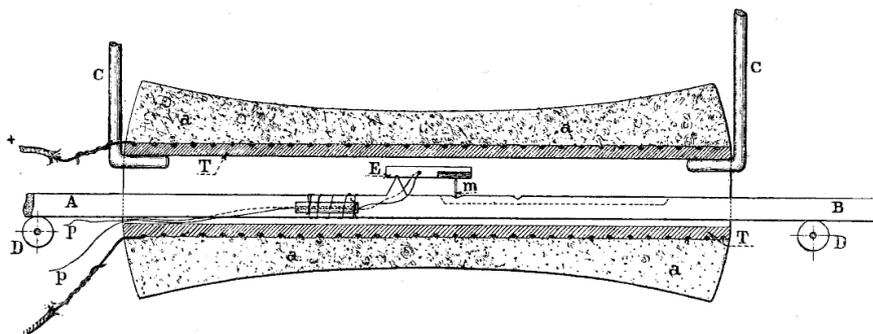


Fig. 11. — Appareil de chauffage.

T. T, Tube en terre réfractaire sur lequel est enroulé un fil de platine chauffé par le courant électrique. a. a, Enveloppe isolante d'amiante. C. C, Crochets de suspension du four. A. B, Support en porcelaine. D. D, Galets supportant le support en porcelaine. E, Echantillon d'acier. m, Miroir en silice. p. p, Fils du pyromètre.

sante pour qu'il fût impossible de trouver la moindre différence de température aux divers points des échantillons d'acier employés pour les dilatations. Dans un échantillon de 5 centimètres de longueur (la plus grande longueur que nous ayons employée) nous avons placé des couples pyrométriques au milieu et aux deux extrémités; les températures indiquées par ces trois couples n'ont jamais différencié de plus de 5°, ce qui correspond à peu près à la précision des lectures.

Les galets qui reçoivent le support en porcelaine sont montés sur deux supports fixes; le four est suspendu par deux crochets dont on peut faire varier la hauteur au moyen de vis; on agit sur ces crochets de façon que l'échantillon d'acier et le support de porcelaine soient placés symétriquement par rapport à l'axe du four.

L'appareil étant monté dans une usine où les trépidations du sol sont fréquentes, nous l'avons placé sur une table de chêne suspendue par trois tiges métalliques et au-dessous de laquelle sont attachés deux poids de 40 kilogrammes et deux amortisseurs à ailettes plongeant dans l'huile. On obtient ainsi une stabilité très complète, comme l'a indiqué M. Broca.

Les figures 11 et 12 représentent l'appareil que nous venons de décrire.

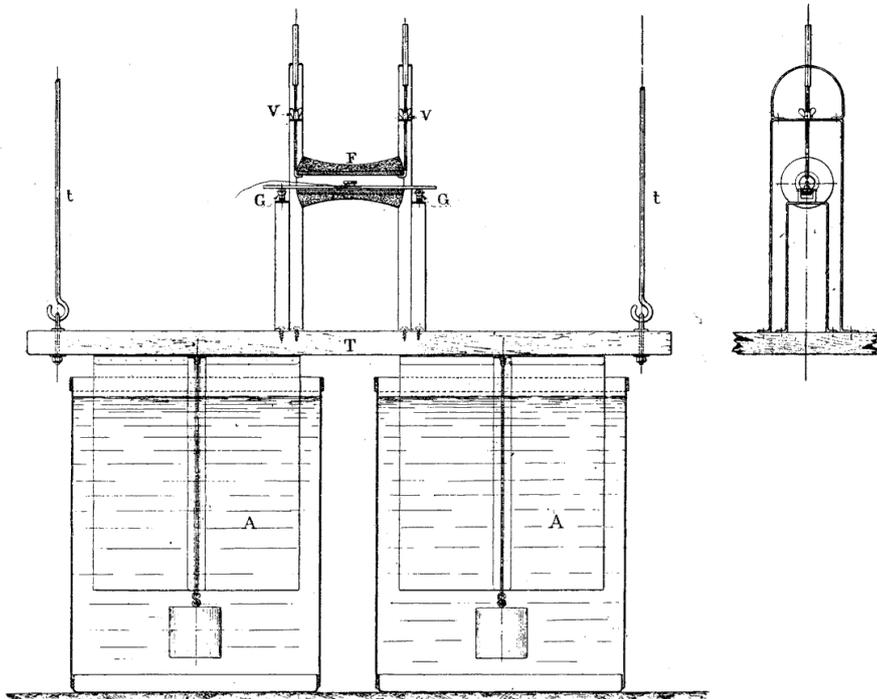


Fig. 12. — Ensemble de l'appareil de chauffage.

A. A, Amortisseurs à ailettes. F. Four électrique. G. G, Galets soutenant le support en porcelaine. t. t, Tiges de suspension de la table T. V, Supports à vis permettant de régler les crochets supportant le four.

La lunette qui sert à lire les déviations du miroir est identique à celle qui est décrite dans le mémoire de M. Le Chatelier déjà cité.

Dans nos premières expériences nous déterminions la température au moyen d'un couple Le Chatelier placé à l'intérieur du four, de façon que la soudure fût au milieu du tube; nous avons reconnu bientôt que ce procédé, suffisamment précis quand on opère en dehors des zones de transformation et avec des vitesses d'échauffement et de refroidissement suffisamment faibles, peut con-

duire à des erreurs considérables dans les périodes de transformation où la température de l'échantillon d'acier varie indépendamment de la température du four.

Nous avons donc été conduit à placer le couple dans un trou percé dans l'échantillon d'acier; cela présente des difficultés, car le couple ne doit influencer en rien les déplacements relatifs de l'acier et de la porcelaine; nous avons dû pour cette raison constituer le couple par des fils de platine et de platine iridié ayant seulement $0^m/m1$ de diamètre.

Essais de vérification et de graduation. — Nous avons d'abord vérifié qu'en plaçant sur le support un échantillon de même forme que les échantillons d'acier, mais préparé avec la même porcelaine que le support, le miroir ne subissait que des déplacements à peine appréciables quand on portait la température jusqu'aux environs de 1000° . On peut donc conclure de là que la régularité de température que l'on a cherché à obtenir est bien atteinte et que le support de porcelaine ne prend pas aux températures élevées de flexion qui puisse fausser les lectures.

Pour déterminer la dilatation du support en porcelaine nous avons fait deux séries d'expériences; les unes avec un échantillon de quartz taillé parallèlement à l'axe, les autres avec un échantillon de platine pur.

Voici les résultats de deux expériences faites avec le quartz à deux époques différentes :

Allongement relatif du quartz par rapport au support de porcelaine.

Températures.	Février 1902.	Août 1901.
15°	0	0
100°	0,04 p. 100	0,03 p. 100
200°	0,09 —	0,076 —
300°	0,166 —	0,154 —
400°	0,240 —	» —
500°	0,380 —	0,370 —

Si l'on admet pour la dilatation du quartz suivant son axe les chiffres suivants, donnés par M. Le Chatelier :

	Allongement p. 100.
De 15° à 200°	0,16
— 400°	0,40
— 500°	0,58
— 370°	0,70

on trouve que la dilatation du support en porcelaine est très sensiblement constante jusqu'à 500° et qu'on peut prendre comme coefficient moyen de dilatation 4×10^{-8} .

Avec le platine nous avons trouvé :

Allongement p. 100.	
De 15 à 200°	0,14
— 400°	0,32
— 600°	0,32
— 800°	0,70
— 900°	0,82

D'après les recherches de Holborn et Day, la dilatation du platine est donnée par la formule :

$$(8868 + 1,324 t.) 10^{-9}$$

Ce qui donne :

Allongement p. 100.	
De 15 à 200°	0,167
— 400°	0,352
— 600°	0,543
— 800°	0,738
— 900°	0,838

Nous avons donc adopté dans tous nos calculs la valeur 4×10^{-8} pour le coefficient de dilatation du support.

Les températures ont toutes été déterminées au moyen du pyromètre Le Chatelier que l'on graduait au moyen de l'ébullition du soufre (448°) et de la fusion de l'or (1060°); dans l'intervalle de ces températures on admettait que les déviations du galvanomètre étaient proportionnelles aux variations de température.

Précision des expériences. — Avec la disposition qui consiste à placer le couple à l'intérieur de l'échantillon d'acier, les températures sont connues exactement et il n'y a à craindre que les erreurs de graduation du pyromètre; ces erreurs doivent être toujours inférieures à 10°.

Dans les périodes de transformation il y a lieu d'observer qu'il doit se produire une différence de température entre l'acier et la porcelaine. Cette différence ne peut être évitée; elle n'a qu'une influence assez faible, étant donnée la valeur peu élevée du coefficient de dilatation de la porcelaine; elle déplace légèrement la courbe de dilatation sans y introduire de discontinuité.

Il faut tenir compte d'une erreur due à ce que, dans la mesure des allongements, on suppose les tangentes proportionnelles aux angles; cette erreur peut atteindre 1,2 p. 100 environ. (Voir le mémoire de M. H. Le Chatelier.) Enfin il peut se produire au cours de l'opération un glissement du miroir; on s'en apercevra à ce que le rayon lumineux ne reviendra pas au zéro après refroidissement.

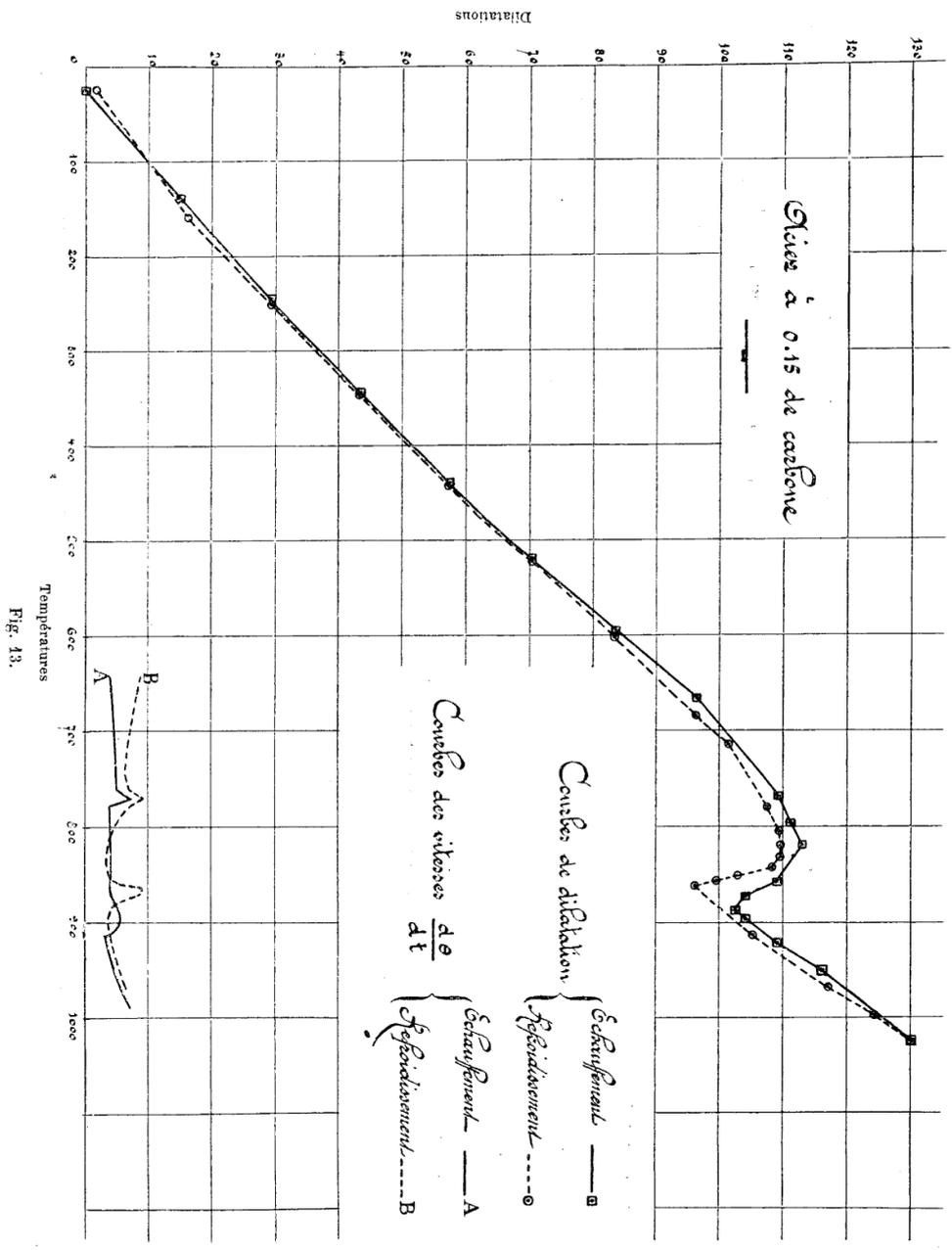


Fig. 13.

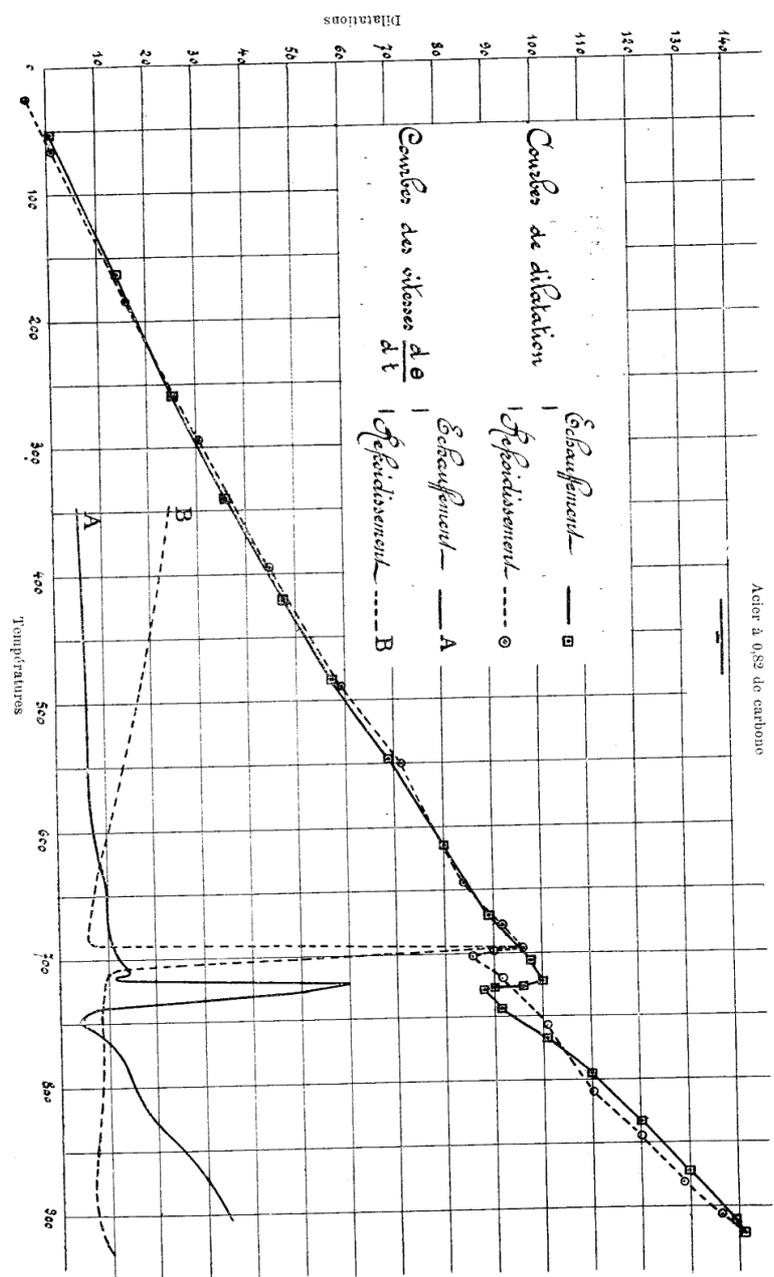


Fig. 14.

Dans la plupart des cas, le retour au zéro s'effectue à 1 p. 100 ou 2 p. 100 près au maximum; si le déplacement résiduel est plus considérable, on rejette l'expérience. Dans le cas où les métaux chauffés subissent des transformations irréversibles, cette vérification manque; on se contente alors de vérifier que les résultats de deux expériences successives sont concordants.

A titre d'indication nous donnons dans les figures 13 et 14 des graphiques sur lesquels on a pointé les observations directes faites dans deux opérations relatives l'une à un acier doux, l'autre à un acier dur. On a porté sur le même graphique les courbes de vitesse d'échauffement et de refroidissement relevées pendant la même expérience et qui font ressortir la position des points critiques de la méthode pyrométrique.

III

Aciers au carbone. — Nous avons étudié une série de métaux contenant des teneurs diverses en carbone et dans lesquels les autres éléments n'existaient qu'en proportions minimales. Les analyses effectuées sur ces métaux, spécialement préparés, pour la plupart, par fusion au creuset, sont résumées dans le tableau suivant :

NUMÉROS DE L'ACIER	TENEURS EN				
	CARBONE	MANGANÈSE	SILICIUM	SOUFRE	PHOSPHORE
1	0 03	traces	0 03	0 023	0 013
2	0 07	0 04	0 03	0 013	0 008
3	0 13	0 24	0 03	0 010	0 010
4	0 23	0 04	0 05	0 010	0 010
5	0 64	0 12	0 14	0 010	0 009
6	0 93	0 10	0 05	0 010	0 003
7	1 23	0 40	0 08	0 009	0 005
8	1 30	0 04	0 09	0 010	0 010
9	3 30	0 03	0 07	0 010	0 005
10	0 20	0 14	traces	0 010	0 003

Ces aciers ont servi à effectuer de nombreuses mesures dont nous ne résumerons ici que les principaux résultats. Pour en faciliter l'exposition nous avons rassemblé dans la figure 15 les courbes de dilatation observées pour un certain nombre de ces aciers préalablement recuits à température élevée et

refroidis lentement en opérant par échauffement régulier et lent (200° à l'heure environ), le pyromètre étant placé à l'intérieur de l'échantillon. Nous examinerons successivement les résultats relatifs aux différentes parties de ces courbes.

1° *Au-dessous de 700° environ*, les aciers à différentes teneurs en carbone possèdent des coefficients de dilatation sensiblement identiques et croissant régulièrement avec la température comme le montre le tableau suivant :

NUMÉROS DE L'ACIER	TENEUR EN CARBONE	COEFFICIENTS MOYENS DE DILATATION ENTRE :					
		15 et 200°	200 et 500°	500 et 650°	900 et 975°	820 et 975°	730 et 975°
1	0 03	11 8 × 10 ⁻⁶	13 7	16 23	24 3		
4	0 25	11 5	13 9	16 70		21 3	
5	0 64	12 1	13 5	15 80			22 3
6	0 93	11 6	14 3	15 30			26 5
7	1 23	11 9	13 7	15 80			32 8
8	1 50	11 5	14 6	15 80			35 7
9	3 50	11 2	13 6	17 2			32 3

M. H. Le Chatelier avait déjà observé l'identité de dilatation d'aciers contenant de 0,20 à 0,75 de carbone, et il l'attribuait à ce que ces métaux sont tous constitués par « une masse prépondérante de fer pur (ferrite) au milieu de laquelle est distribuée une petite quantité de cristaux de cémentite Fe³C ».

Dans nos expériences, l'identité de dilatation se retrouve pour des métaux contenant depuis 0,05 jusqu'à 0,50 p. 100 de carbone combiné. Dans ce dernier métal (fonte blanche) il y a environ 50 p. 100 de cémentite. On est donc conduit à admettre que la cémentite et la ferrite ont très sensiblement le même coefficient de dilatation.

2° *Quand la température atteint 700° environ*, les phénomènes de transformation des aciers commencent à se manifester, quelle que soit la teneur en carbone; nous avons vérifié qu'aux températures inférieures à 700°, il ne se produit aucun indice de transformation, même si on les maintient pendant plusieurs heures.

A 700°, on observe en général une contraction brusque dont l'amplitude augmente d'abord avec la teneur en carbone, atteint un maximum pour l'acier contenant 0,85 de carbone environ, et diminue ensuite quand la teneur en carbone continue à augmenter.

Le tableau suivant donne les résultats obtenus sur quelques aciers en opérant par échauffement lent :

NUMÉROS DE L'ACIER	TENEURS en CARBONE	TEMPÉRATURES		AMPLITUDE de la CONTRACTION	POINTS CRITIQUES A ₁ de la méthode pyrométrique
		COMMENCEMENT de la contraction	FIN de la contraction		
1	0 03	713	713	à peine appréciable	»
2	0 07	693	693		»
3	0 15	730	737	4 5	710
4	0 25	713	723	4 5	715
5	0 64	716	728	13 0	705
6	0 93	723	728	13 0	720
7	1 23	723	726	10 0	720
8	1 50	707	721	14 0	735
9	3 50	708	713	9 0	715

3° Après la contraction de 700° on observe, en élevant graduellement la température, une zone de transformation plus étendue; la dilatation recommence avec un coefficient beaucoup plus faible qu'avant la transformation, coefficient qui diminue rapidement quand la température s'élève, s'annule et devient négatif; il se produit donc une nouvelle contraction, mais elle n'est pas brusque comme celle observée à 700°.

Cette deuxième période de transformation s'étend sur un intervalle de température d'autant plus grand que la teneur en carbone est plus faible. Elle cesse d'être nettement observable pour les aciers contenant plus de 0,65 de carbone. Le tableau suivant donne pour quelques aciers doux les limites de cette transformation :

NUMÉROS de L'ACIER	TENEURS en CARBONE	COMMENCEMENT de la 2 ^e PÉRIODE	TEMPÉRATURE DU MAXIMUM de dilatation	FIN de la 2 ^e PÉRIODE	POINTS CRITIQUES DE LA MÉTHODE pyrométrique	
					A ₂	A ₃
1	0 03	713	880	912	770	890
2	0 07	693	820	885	770	875
3	0 15	737	807	860	770	840
10	0 20	733	755	833	770	825
4	0 25	723		808	770	805

Pour les aciers contenant 0,60 de carbone et au-dessus, on n'observe pas aussi nettement cette portion de courbe; le métal recommence à se dilater d'une

façon continue aussitôt que la contraction brusque de 700° est terminée; mais, en examinant attentivement les courbes de dilatation obtenues au dessus de 700°, nous sommes amenés à conclure qu'elles ne prennent pas immédiatement une forme régulière et qu'il se produit par conséquent dans le métal une transformation trop peu intense pour changer le signe de la convexité de la courbe de dilatation, mais suffisante pour produire une déviation de cette courbe. Cette transformation paraît correspondre à une contraction pour les aciers contenant moins de 0,85 de carbone et à une dilatation pour les aciers contenant plus de 0,85 de carbone.

Le tableau suivant indique les coefficients mesurés pour divers aciers au dessus de 700° :

NUMÉROS de L'ACIER	TENEURS en CARBONE	COEFFICIENTS		
		ENTRE 900° ET 975°	ENTRE 820° ET 975°	ENTRE 730° ET 975°
1	0 03	22 8 × -6	»	»
4	0 23	»	22 6	»
5	0 64	»	»	21 8
6	0 93	»	»	25 8
7	1 23	»	»	31 8
8	1 50	»	»	34 5
9	3 50	»	»	31 3

De l'ensemble de nos observations nous croyons donc pouvoir conclure qu'après la transformation brusque de 700° il se produit dans tous les aciers une transformation graduelle, correspondant à une contraction pour les aciers à moins de 0,85 de carbone, à une dilatation pour les aciers à plus de 0,85 de carbone, et dont la limite ne peut être fixée avec quelque précision, par la méthode dilatométrique, que pour les aciers doux.

Réversibilité des transformations. — Les phénomènes ainsi observés sont réversibles. Les courbes représentant la contraction des aciers quand la température s'abaisse graduellement présentent la même forme que les courbes d'échauffement.

Nous avons donné plus haut (fig. 13 et 14) deux reproductions de courbes qui montrent qu'à l'échauffement et au refroidissement on observe à très peu près les mêmes longueurs aux températures correspondantes; il y a cependant un léger décalage dans la région des transformations, indice d'un retard analogue à celui que l'on observe dans tous les phénomènes analogues, et par suite duquel la transformation s'amorce au refroidissement à une température inférieure à celle à laquelle se terminait la transformation à l'échauffement. Ce

retard est très peu accentué pour les aciers ne contenant que du carbone; il est fonction de la vitesse de refroidissement, et peut devenir nul quand on opère avec une lenteur suffisante. Nous citerons à ce sujet les expériences suivantes :

Nous avons obtenu la transformation complète à l'échauffement d'un acier à 0,64 p. 100 de carbone entre 708 et 713° en maintenant la température stationnaire pendant une heure et au refroidissement entre 708 et 698 en maintenant la température stationnaire pendant une demi-heure.

Dans les mêmes conditions nous avons obtenu la transformation complète à l'échauffement d'un acier à 0,93 p. 100 de carbone entre 723 et 728° et au refroidissement entre 713 et 712°.

Nous croyons donc pouvoir conclure que les transformations des aciers au carbone sont réversibles. L'introduction d'un élément autre que le carbone dans le métal accentue beaucoup les phénomènes de retard. Sans entrer dans le détail de cette action nous pouvons signaler que les divers éléments paraissent agir en augmentant le retard correspondant à une vitesse de refroidissement donnée et que quelques-uns produisent, en outre, un véritable déplacement de la température de transformation au refroidissement qui ne peut être ramenée à être aussi élevée que la température de transformation à l'échauffement, même quand on opère avec une vitesse pratiquement nulle.

Ainsi, pour les aciers ne contenant que du carbone, ou ceux ne contenant que certains éléments, la température de transformation au refroidissement est inférieure à la température de transformation à l'échauffement d'une quantité d'autant plus grande que la vitesse de refroidissement est plus grande, mais qui peut être annulée pour des vitesses de refroidissement très faibles; pour les aciers contenant certains éléments, tels que le manganèse ou le nickel, on observe les mêmes retards, très accentués d'ailleurs dans les refroidissements rapides; mais quand on diminue graduellement la vitesse de refroidissement, la température de transformation au refroidissement tend vers une limite qui peut être notablement inférieure à la température de transformation à l'échauffement.

Nous reviendrons sur ce sujet à propos des aciers au nickel.

Comparaison des méthodes pyrométrique et dilatométrique. — Les transformations des aciers aux températures élevées ont surtout été étudiées jusqu'ici par la méthode pyrométrique de M. Osmond qui consiste, comme on sait, à suivre la vitesse d'échauffement ou de refroidissement d'un échantillon d'acier.

On a ainsi observé dans les aciers trois points critiques appelés généralement a_1 , a_2 , a_3 . D'après les recherches les plus récentes, notamment celles de sir Roberts Austen, le point a_1 correspond pour les aciers à différents teneurs en carbone à une température constante et voisine de 730°; le point a_2 , qui ne s'observe que dans les aciers contenant moins de 0.35 de carbone, correspond également à une température constante voisine de 760°; enfin le point a_3 , qui

correspond à 900° environ pour le fer à peu près pur, s'abaisse quand la teneur du carbone augmente, atteint 700° pour l'acier à 0,85 de carbone et s'élève ensuite de nouveau si la teneur en carbone continue à augmenter.

Nous avons effectué une série d'essais, par la méthode pyrométrique sur des aciers à diverses teneurs en carbone. Ces essais sont résumés dans le tableau suivant :

TENEURS EN CARBONE	POINT A ₁		POINT A ₂		POINT A ₃	
	ÉCHAUFFEMENT	REFROIDISSEM ^t	ÉCHAUFFEMENT	REFROIDISSEM ^t	ÉCHAUFFEMENT	REFROIDISSEM ^t
Traces	725	»	775	»	935	700
0 05	660	»	755	730	885	860
0 10	710	»	»	730	820	785
0 28	720	665	»	710	»	»
0 53	715	665	»	»	»	»
0 72	720	665	»	»	»	»
0 82	715	665	»	»	»	»
0 87	720	665	»	»	»	920
0 94	715	670	»	»	»	»
0 93	720	665	»	»	»	1010
1 07	715	665	»	»	»	1040
1 26	720	680	»	»	»	1060
1 57	740	700	»	»	»	»
2 50	750	710	»	»	»	1150

Ces résultats concordent avec ceux de sir Roberts Austen pour ce qui concerne les points a_1 et a_2 : il y a quelques différences relatives au point a_3 pour lequel nous trouvons pour les aciers contenant plus de 0,85 de carbone des températures notablement supérieures à celles indiquées par sir Roberts Austen.

Si l'on rapproche maintenant les résultats déduits de la méthode pyrométrique de ceux fournis par la méthode dilatométrique on voit que le point a_1 correspond très nettement à la contraction brusque observée à 700° tant comme position dans l'échelle des températures que comme variation d'intensité en fonction de la teneur en carbone. En appliquant simultanément sur le même échantillon les deux méthodes, pyrométrique et dilatométrique, nous avons pu constater la coïncidence absolue des deux phénomènes tant à l'échauffement qu'au refroidissement. La figure 14 correspond à une expérience dans laquelle on a procédé de cette façon ; les courbes A et B reproduisent les résultats relevés par la méthode pyrométrique et montrent la coïncidence du point a_1 avec la contraction de 700°.

Le point critique supérieur a_3 , paraît coïncider assez exactement avec la

fin de la deuxième période de transformation indiquée par la méthode dilatométrique. La vérification ne comporte quelque précision que pour les aciers

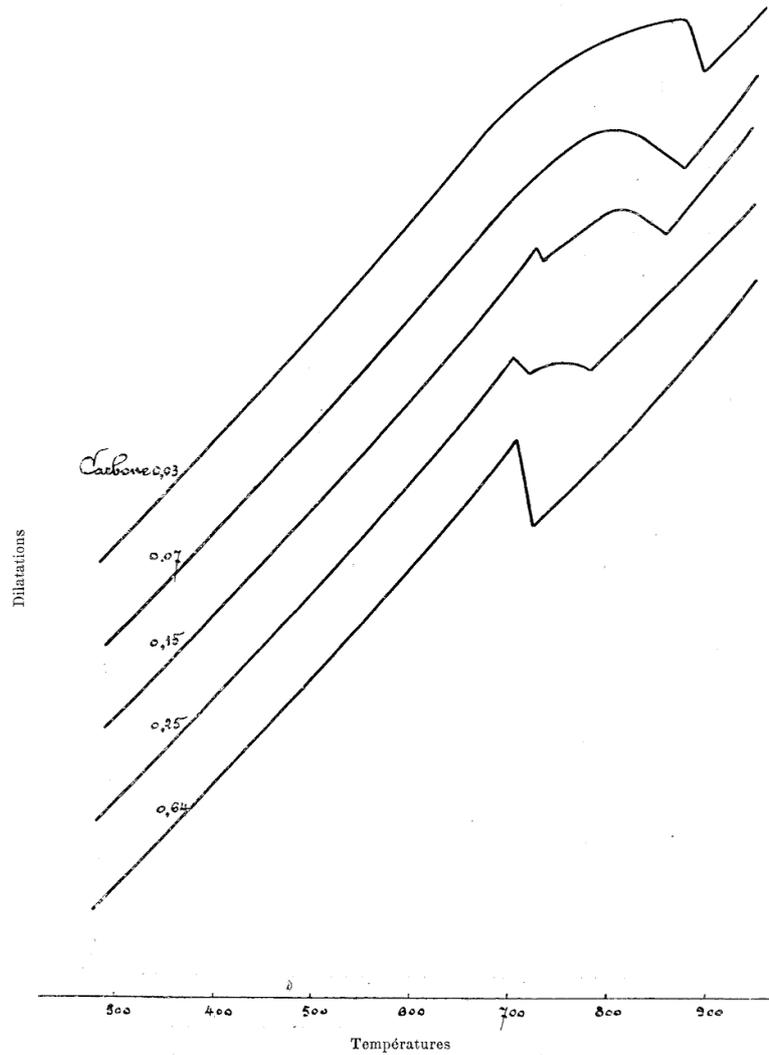


Fig. 15.

doux ; le figure 13 donne un exemple d'expérience dans laquelle on a appliqué simultanément les deux méthodes.

Quant au point critique intermédiaire a_2 , il ne paraît correspondre à aucune particularité de la courbe de dilatation.

Interprétation théorique des résultats. — Les nombreuses observations faites jusqu'ici sur les transformations des aciers aux températures élevées ont donné lieu à des interprétations théoriques qui ont été récemment coordonnées et condensées dans un mémoire bien connu de M. Bakhuis-Roozeboom sur « Le fer et l'acier au point de vue de la doctrine des phases ». Toutes les observations résumées plus haut s'interprètent parfaitement d'après les vues exprimées dans le mémoire de Roozeboom, comme nous allons le montrer brièvement.

Nous reproduisons dans la figure 16 la partie du diagramme de M. Roozeboom qui est relative aux transformations étudiées.

La ligne PK correspond au point a_1 de transformation; la ligne MO au point a_2 , la ligne brisée GOSE au point a_3 . Nous avons marqué en pointillé la ligne qui, d'après nos mesures par la méthode pyrométrique rassemblées dans le tableau précédent, devrait remplacer la ligne GOSE, mais sans modifier l'interprétation qualitative des phénomènes.

Considérons un acier contenant moins de 0,85 de carbone préalablement recuit; ce métal est formé de grains de ferrite englobés dans une proportion de perlite (mélange eutectique de fer et de cémentite) d'autant plus grande que la proportion de carbone est plus forte. Si nous l'échauffons graduellement, le point représentatif se déplace sur la ligne $h k$. Quand ce point atteint la ligne PK, soit à la température de 700°, la perlite se résout brusquement en martensite, et cela avec la contraction brusque dont nous avons signalé l'existence. Cette contraction doit être à peu près proportionnelle à la teneur en perlite; nous avons trouvé, en effet, qu'elle était à peu près nulle pour les aciers très pauvres en carbone, augmentait jusqu'à la perlite pure (0,85 de carbone) et diminuait ensuite.

Quand la température continue à augmenter, les grains de ferrite en excès se dissolvent graduellement dans la martensite, tant que le point représentatif est compris entre les lignes PS et GOS. On observe alors la superposition de deux phénomènes, la contraction due à la dissolution et la dilatation due à la variation de température. Les deux phénomènes étant de signe contraire et suivant des lois différentes on conçoit que la variation résultante puisse être d'abord une dilatation et devenir ensuite une contraction. Quand le point représentatif dépasse la ligne GOS, tout le mélange est à l'état de martensite et la dilatation reprend une marche régulière.

Dans le cas des aciers contenant plus de 0,85 de carbone (aciers hypereutectiques) les phénomènes sont de même nature; nous avons ici un excès de cémentite englobé dans la perlite. Après la résolution de la perlite, qui produit la con-

traction de 700°, la cémentite se dissout graduellement, mais en produisant une dilatation qui s'ajoute à la dilatation due à la variation de température et qui, d'ailleurs, comme l'indique la forme de la courbe S E, s'étale sur un grand

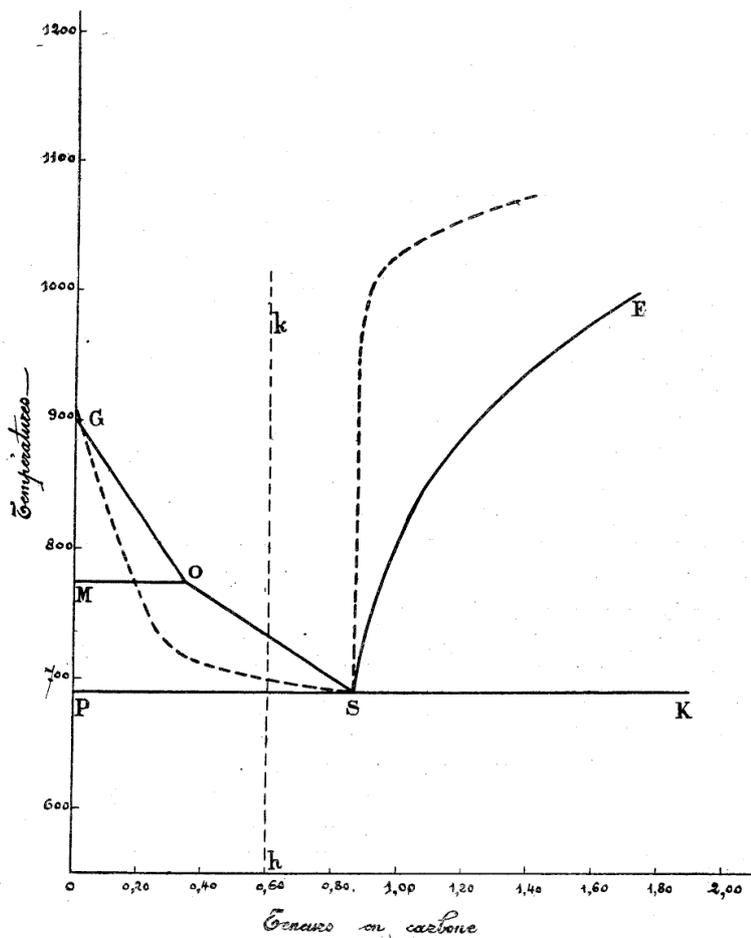


Fig. 16.

intervalle de température; on conçoit donc que la forme de la courbe de dilatation soit beaucoup moins altérée que dans le cas des aciers doux.

Dilatation des aciers trempés. — Nous avons effectué sur des aciers de diffé-

rentes compositions, trempés soit à l'eau, soit à l'huile, en partant de diverses températures, des essais de dilatation qui, sans épuiser la question, donnent déjà quelques indications intéressantes,

On peut les résumer de la façon suivante: pour les aciers doux (0,50 de carbone et au-dessous) la trempe soit à l'eau froide, soit à l'huile, en partant de températures comprises entre 700° et 1000°, ne modifie pas d'une façon appréciable le coefficient de dilatation.

Les courbes de dilatation des échantillons trempés coïncident exactement avec les courbes des mêmes échantillons recuits.

Pour les aciers à teneur moyenne en carbone (0,60 à 1,00) on n'observe pas non plus de modification du coefficient de dilatation quand on trempe soit à l'huile, à une température quelconque, soit à l'eau, à une température inférieure à 900°; mais si on trempe les barreaux de dilatation de ces métaux à l'eau froide, après les avoir chauffés à une température supérieure à 900°, on observe que la courbe de dilatation présente une variation brusque, correspondant à une contraction, une température voisine de 300°.

La figure 17 donne la courbe de dilatation d'un acier à 0,64 de carbone trempé à l'eau à 925°; la contraction se produit de 250 à 350°.

La figure 18 reproduit la courbe de dilatation obtenue sur un échantillon d'acier à 0,93 de carbone trempé à 925°; la contraction se produit de 300 à 360°.

Si, au lieu, de tremper l'échantillon isolément, on le découpe dans un bloc d'une certaine dimension préalablement trempé, on n'observe pas le point de recuit; le résultat est le même que sur l'échantillon trempé à l'huile, ce qui était d'ailleurs à prévoir; la figure 19 donne la courbe de dilatation d'un acier à 0,93 de carbone trempé à l'huile à 925°.

Rappelons que la trempe produit une plus forte augmentation de la résistance mécanique d'un métal quand elle est effectuée à une température légèrement supérieure au point critique qu'à une température notablement plus élevée.

Enfin quand on considère les aciers à teneur en carbone élevée (plus de 1,00), on constate encore que la trempe sur gros fragments ou la trempe à l'huile à une température quelconque ou la trempe à l'eau à une température inférieure à 900° ne modifient pas sensiblement le coefficient de dilatation, mais qu'une trempe à l'eau froide sur petits échantillons, après chauffage à une température supérieure à 900°, fait apparaître dans la courbe de dilatation deux contractions brusques, à des températures voisines de 150 et 300°.

La figure 20 reproduit la courbe de dilatation obtenue sur un acier à 1,5 de carbone trempé, à l'eau froide, à 900°.

La première contraction a lieu de 125 à 170°; la deuxième de 310 à 360°;

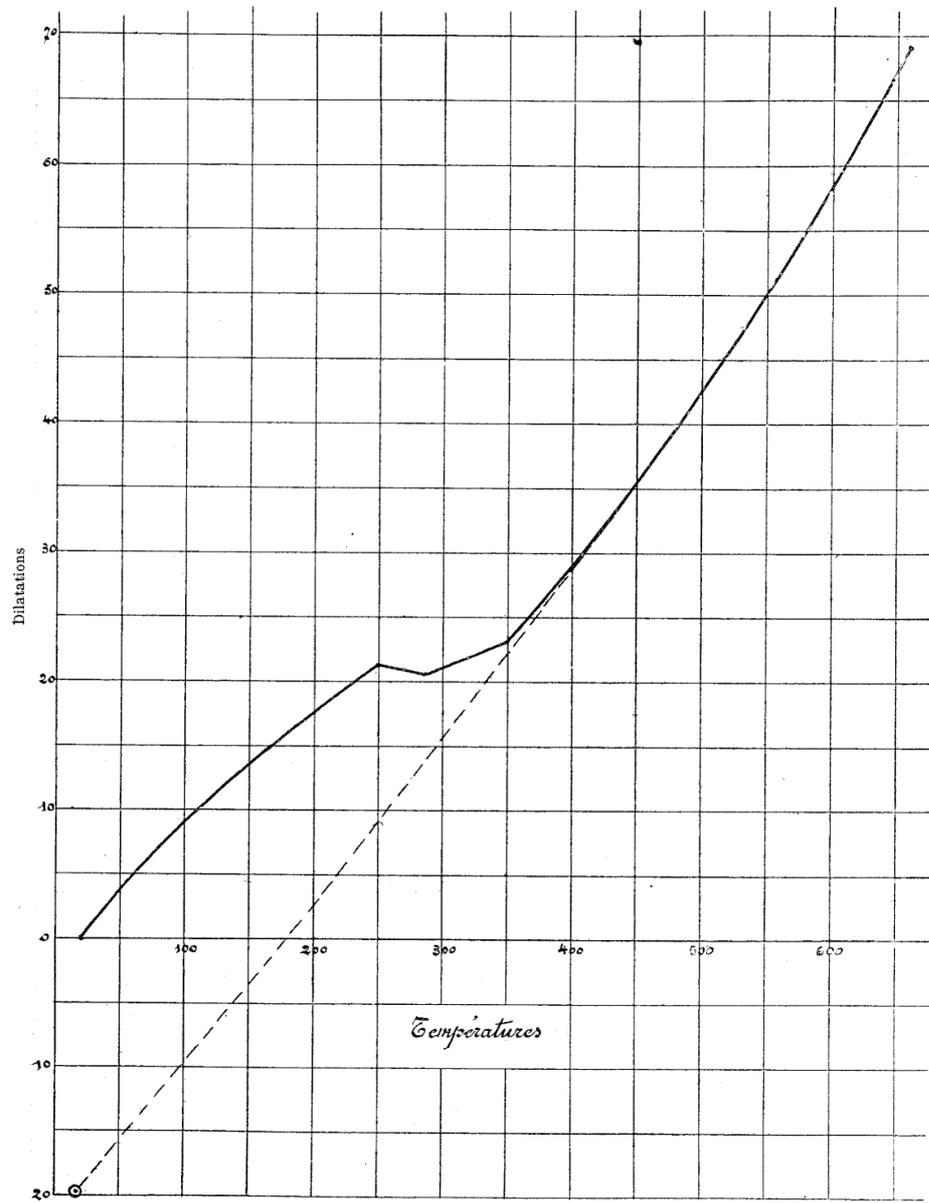


Fig. 17.

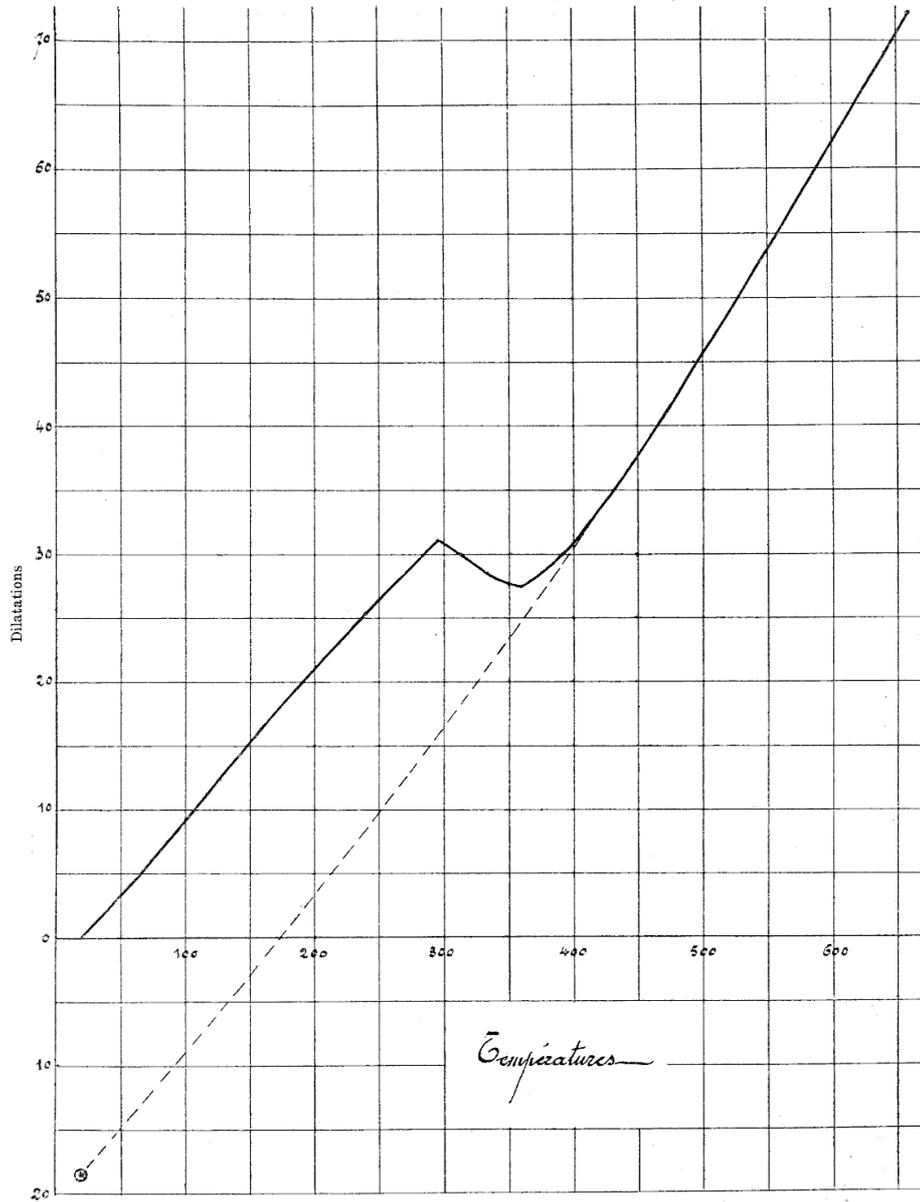


Fig. 18.

enfin on retrouve à 700° environ la contraction ordinaire correspondant au point critique a_1 .

La production des contractions par recuit dans l'acier trempé a été signalée

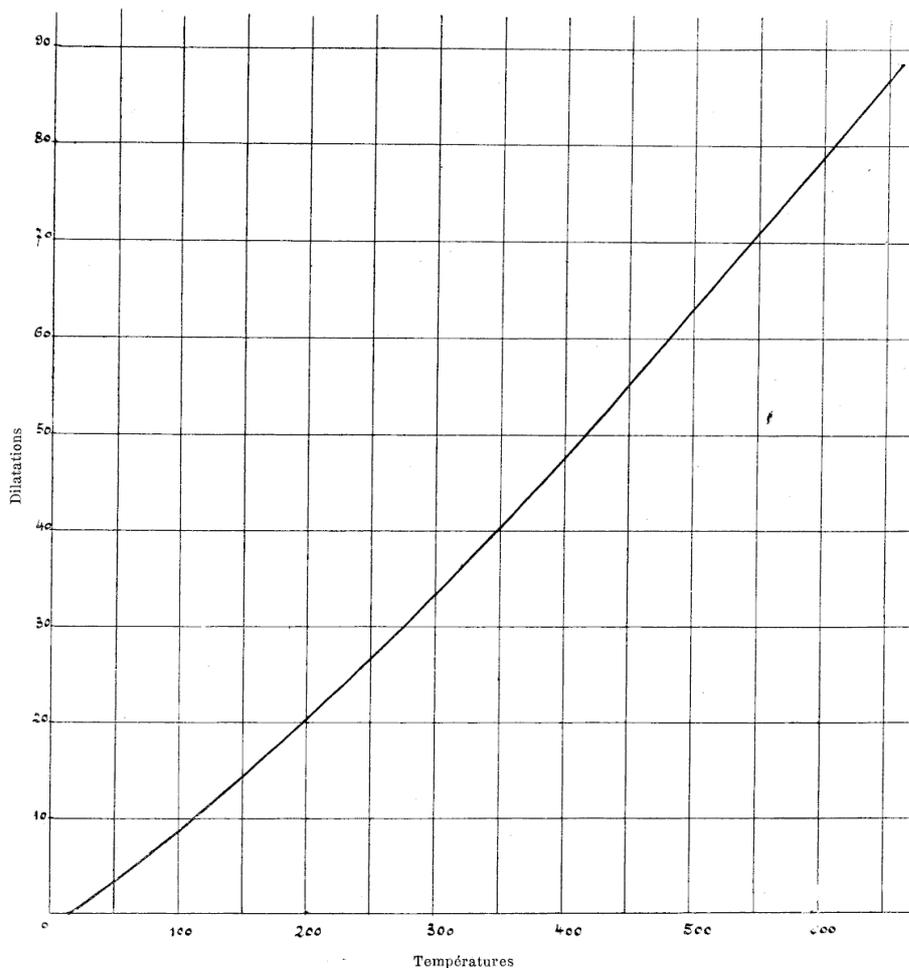


Fig. 19.

déjà par M. Svedelius qui ne semble pas avoir observé l'influence de la température de trempe et de la nature du bain de trempe.

M. Svedelius a trouvé également que le coefficient de dilatation de l'acier trempé est considérablement plus petit que celui de l'acier recuit; nos expé-

riences ne montrent pas une variation aussi grande, ainsi que cela ressort du tableau suivant :

N ^{os} de l'acier.	Teneurs en carbone.	Coefficients de dilatation entre 0 et 100°	
		après recuit.	après trempe à l'eau à 925°.
5	0,64	$11,05 \times 10^{-6}$	$11,15 \times 10^{-6}$
6	0,93	11,15	11,05
8	1,50	11,15	10,00

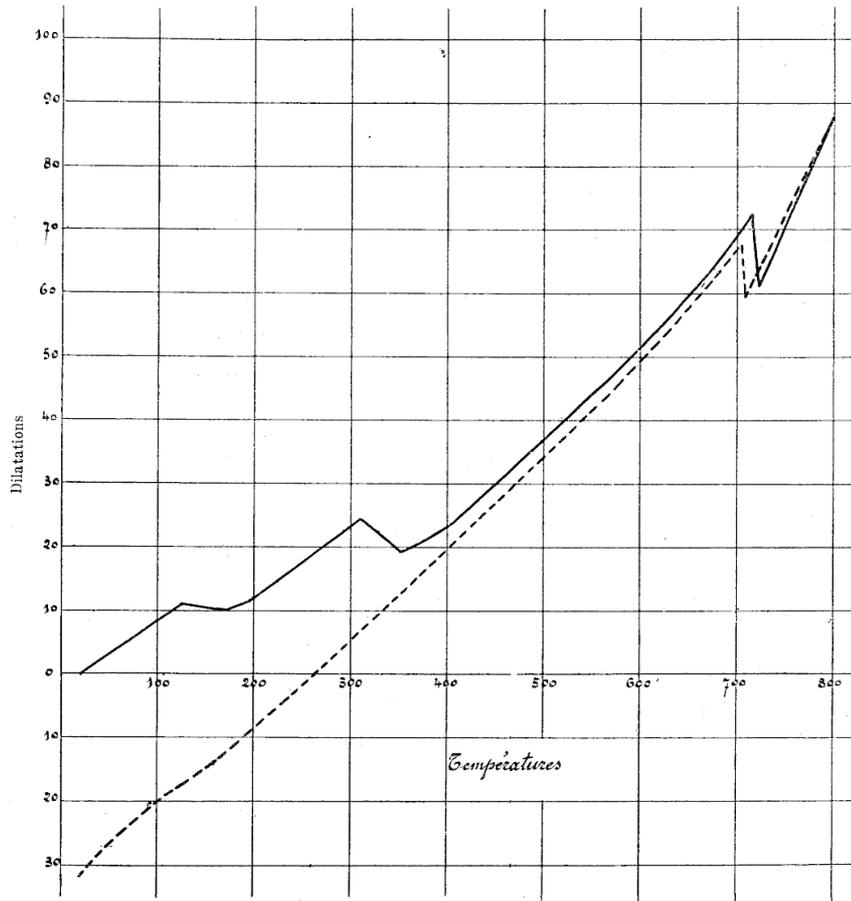


Fig. 20.

En résumé, on ne peut obtenir de modifications par la trempe, dans la courbe de dilatation d'un acier, qu'à condition d'opérer sur des métaux contenant une certaine teneur en carbone, d'employer de petits échantillons, de

produire un refroidissement très brusque et de partir d'une température suffisamment élevée (supérieure à 900°).

Ces résultats, dont nous n'avons pas encore poussé plus loin l'interprétation, font ressortir que les effets de la trempe sur les phénomènes de dilatation sont sans aucune corrélation soit avec les variations des propriétés mécaniques, soit avec les points de transformation indiqués par les différentes méthodes. Ils paraissent difficilement conciliables avec la théorie, souvent admise, d'après laquelle la trempe agirait sur les propriétés de l'acier principalement en maintenant le carbone à l'état de solution solide, et semblent indiquer qu'il faut faire intervenir des actions d'un tout autre ordre.

IV

Aciers au nickel. — La dilatation des aciers au nickel a fait l'objet des travaux bien connus de M. Ch.-Ed. Guillaume. Nous nous étions d'abord proposé principalement de rechercher si les curieuses anomalies de dilatation observées par M. Guillaume se maintenaient aux températures élevées; mais, au cours de ces études, nous avons été naturellement amenés à faire, au sujet des transformations des aciers au nickel, un certain nombre d'observations.

Transformations des aciers au nickel. — On sait que l'introduction du nickel dans l'acier détermine un abaissement des températures des points critiques tant à l'échauffement qu'au refroidissement; l'abaissement est beaucoup plus rapide pour le point critique au refroidissement, de sorte qu'il se produit entre les points critiques à l'échauffement et au refroidissement, un écart qui croît avec la teneur en nickel.

Les mêmes phénomènes sont observables dans l'étude des dilatations. Nous avons reproduit dans la figure 21 les courbes de dilatation obtenues, tant à l'échauffement qu'au refroidissement sur des aciers contenant respectivement 2,6,8 et 10 de nickel en opérant exactement dans les mêmes conditions.

Le tableau suivant indique les résultats de l'analyse de ces aciers, ainsi que les températures du commencement et de la fin des transformations observées, soit à l'échauffement, soit au refroidissement :

COMPOSITION.							TEMPÉRATURES DES TRANSFORMATIONS.			
Ni.	C.	Mn.	Cr.	Si.	S.	Ph.	ÉCHAUFFEMENT.		REFROIDISSEMENT.	
							Commenc ^t de la contraction.	Fin de la contraction.	Commenc ^t de la dilatation.	Fin de la dilatation.
2,01	0,21	0,41	0,17	0,10	0,012	0,008	696	770	696	640
6,17	0,24	0,32	0,07	0,18	0,006	0,008	666	712	575	472
8,47	0,25	0,41	0,12	0,16	traces	0,009	640	690	255	100?
10,47	0,20	0,44	0,11	0,17	0,006	0,009	630	670	250	100?

On voit que les points critiques sont d'autant plus bas que la teneur en nickel est plus forte; la position de ces points critiques est naturellement fonction de la vitesse, surtout au refroidissement; mais l'écart entre les points critiques à l'échauffement et au refroidissement reste peu inférieur à celui qui est indiqué dans les exemples cités plus haut, même quand la vitesse devient extrêmement faible.

Nous nous sommes assurés qu'en maintenant un acier au nickel pendant plusieurs heures à quelques degrés au-dessus du point de transformation au refroidissement, ou en lui faisant subir une longue série d'oscillations entre deux températures supérieures au point de transformation, on n'obtenait aucun indice d'un commencement de transformation. Le point représentatif reste sur la ligne DCE.

Si même après que la transformation est amorcée on élève à nouveau la température, la transformation s'arrête, et le point représentatif suit une ligne telle que HG.

Pour les aciers au nickel, il y a donc lieu, comme pour les aciers au carbone, de distinguer l'état stable à froid correspondant à la ligne AB, et l'état stable à chaud correspondant à la ligne DE; mais ces deux états peuvent être obtenus tous deux dans un intervalle de température d'autant plus grand que la teneur en nickel est plus forte.

Dans cet intervalle on peut obtenir également toute une série d'états intermédiaires correspondant à une transformation partielle et représentée par des lignes telles que HG.

Pour les aciers contenant moins de 20 p. 100 environ de nickel, la température de transformation au refroidissement est supérieure à la température ordinaire. Le métal abandonné à la température ordinaire revient donc de lui-même à l'état stable à froid, si la transformation pendant le refroidissement n'a pas été complète; mais ce retour peut être très lent. Pour l'acier à 21 p. 100 de Ni, 0,36 de C et 0,36 de Mn, la transformation se produit d'une façon continue à la température ordinaire, mais il faut plusieurs mois pour qu'elle soit complète.

Pour les aciers contenant plus de 20 p. 100 environ de nickel, la température de transformation au refroidissement est inférieure à la température ordinaire; il faut donc, pour ramener un tel acier à l'état stable à froid, le soumettre à un refroidissement d'autant plus énergique que la teneur en nickel est plus élevée. Dans ce cas, étant donnée la lenteur avec laquelle se font les transformations à basse température, il est souvent bien difficile d'affirmer, si l'on s'est contenté de maintenir quelque temps le métal à basse température, qu'il est bien arrivé à l'état stable et que la transformation a été complète.

Il faut donc faire quelques réserves en ce qui concerne les chiffres relatifs aux aciers ainsi traités.

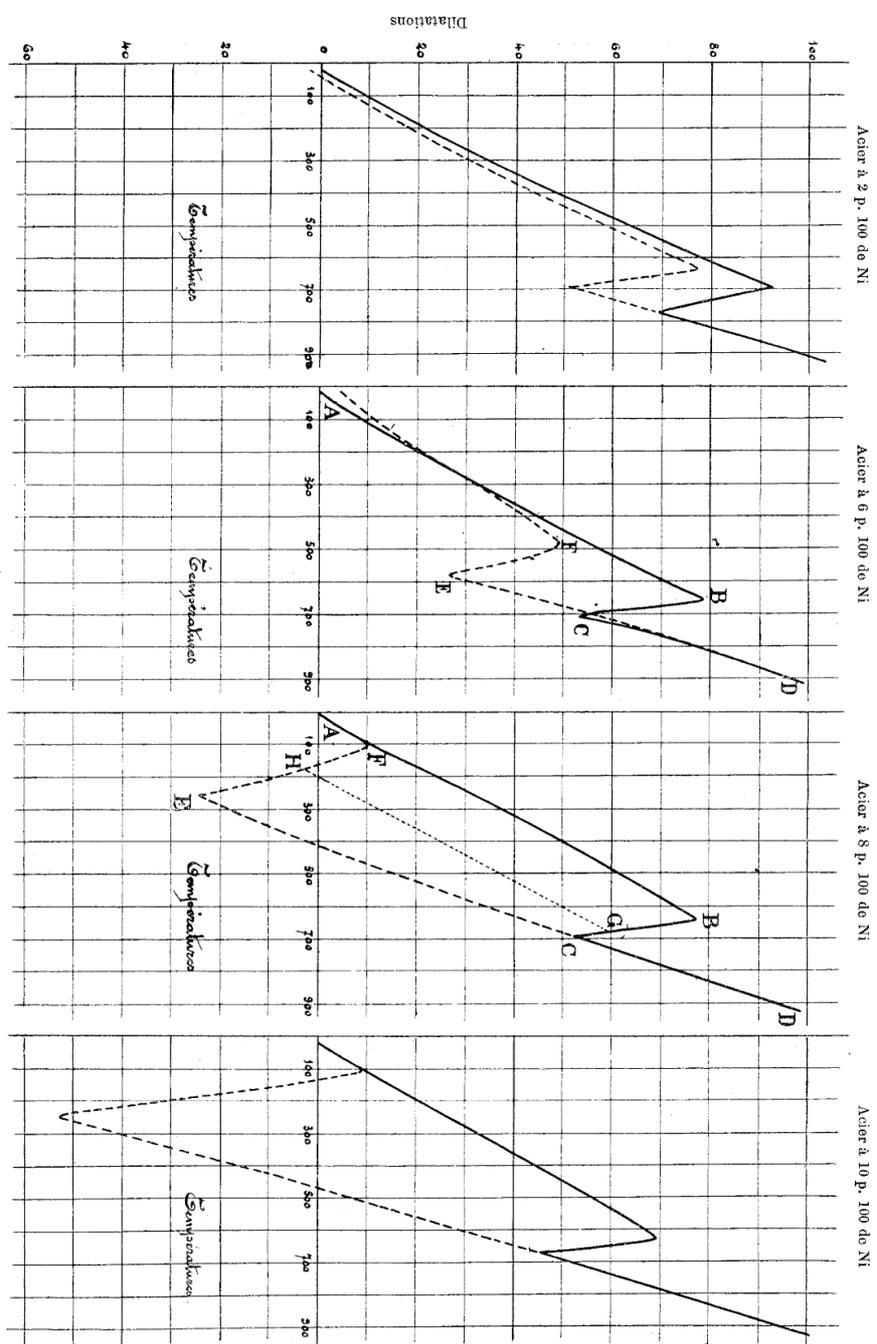


Fig. 21.

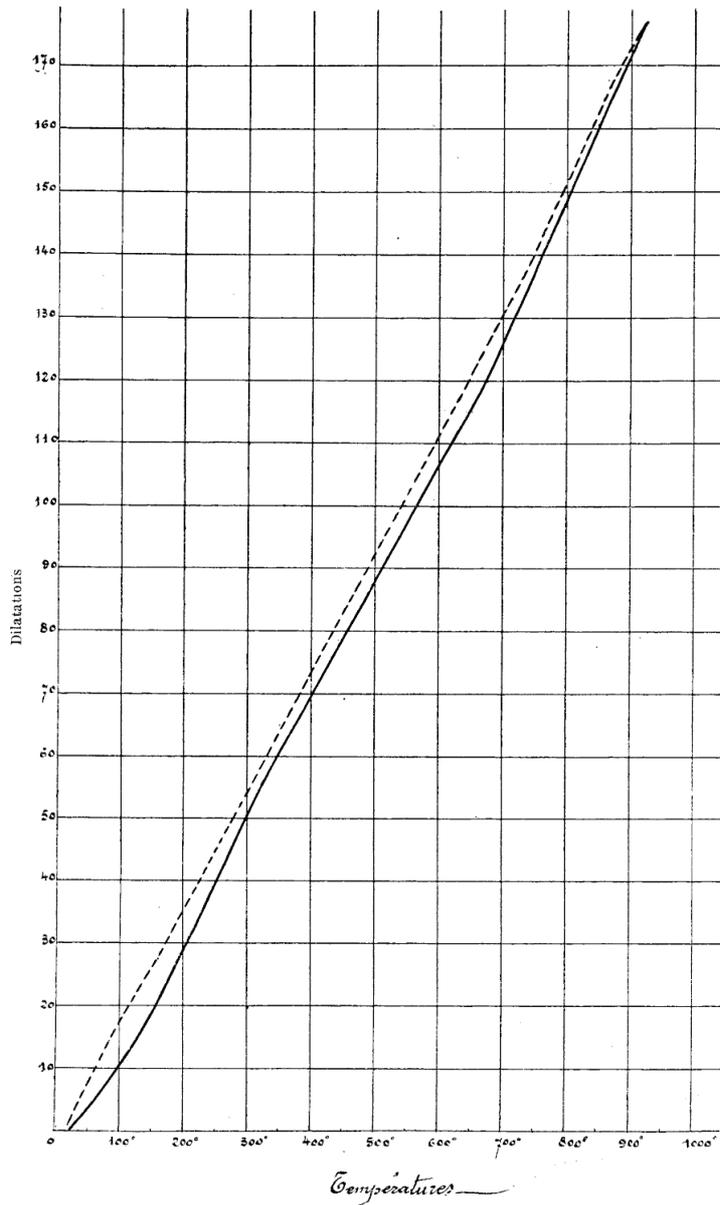


Fig. 22.

La figure 22 reproduit la courbe de dilatation obtenue sur un acier à 26,90

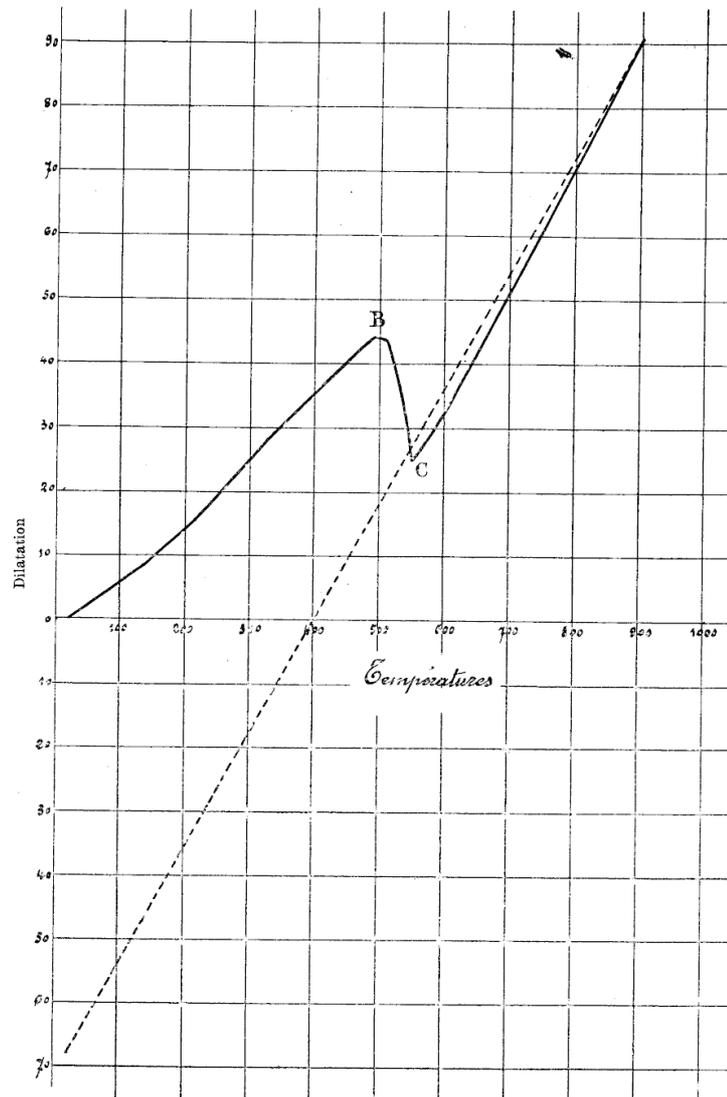


Fig. 23.

p. 100 de nickel chauffé à 900° et refroidi lentement; on voit que ce métal ne présente pas de point critique; la courbe correspond à la branche DE de la figure 21.

Si on refroidit ce même acier dans l'air liquide, on lui fait subir la transformation au moins partiellement; on obtient alors, en mesurant sa dilatation, la courbe reproduite dans la figure 23 qui montre nettement la transformation à l'échauffement en BC.

Pour les aciers contenant plus de 30 p. 100 de nickel environ on n'observe aucune variation brusque dans les courbes de dilatation ni au refroidissement ni à l'échauffement, quand bien même on fait subir préalablement au métal un refroidissement énergique. La figure 24 reproduit les courbes de dilatation observées sur des aciers contenant respectivement 31, 36, 39 p. 100 de nickel et sur du nickel pur. Nous donnerons plus loin les valeurs numériques obtenues pour les coefficients de dilatation à différentes températures.

Les courbes de refroidissement se superposent à peu près exactement aux courbes d'échauffement et ne montrent pas davantage de discontinuité. Le refroidissement préalable de ces métaux ne modifie en rien la courbe de dilatation.

Comparaison des résultats obtenus soit par la méthode dilatométrique, soit par l'étude des propriétés magnétiques.

Les transformations des aciers au nickel ont été étudiées, le plus souvent jusqu'ici, au moyen d'expériences portant sur les propriétés magnétiques. La plupart de ces expériences sont plutôt qualitatives que quantitatives (sauf celles de M. Dumont qui a déterminé la perméabilité de quelques aciers à différentes températures).

Les expérimentateurs ont employé soit une méthode d'arrachement (Guillaume) soit une méthode magnétométrique avec barreaux courts (Osmond. Dumas).

Les résultats ainsi obtenus sont résumés dans le graphique de la figure 25 emprunté au mémoire récemment publié par M. Dumas (1).

Rappelons que ces essais avaient conduit d'abord à distinguer deux catégories d'aciers au nickel : les aciers *irréversibles* contenant moins de 30 p. 100 environ de nickel, et les aciers *réversibles* contenant plus de 30 p. 100 de nickel.

M. Dumas a montré que cette distinction était trop absolue; qu'il y avait bien dans les aciers au nickel deux transformations magnétiques, l'une irréversible observable dans les aciers à basse teneur en nickel, l'autre réversible observable dans les aciers à haute teneur; mais que, pour certains métaux contenant de 27 à 30 p. 100 de nickel environ, on pouvait observer les deux transformations à des températures différentes.

Nous avons cherché à comparer les résultats fournis par l'étude des dilatations et par celle des modifications magnétiques.

Pour éviter les erreurs qui pourraient provenir de différences de composition,

(1) DUMAS. — *Recherches sur les aciers au nickel à haute teneur.* (Annales des mines, 1901.)
Tome 104. — 1^{er} semestre. — Avril 1903.

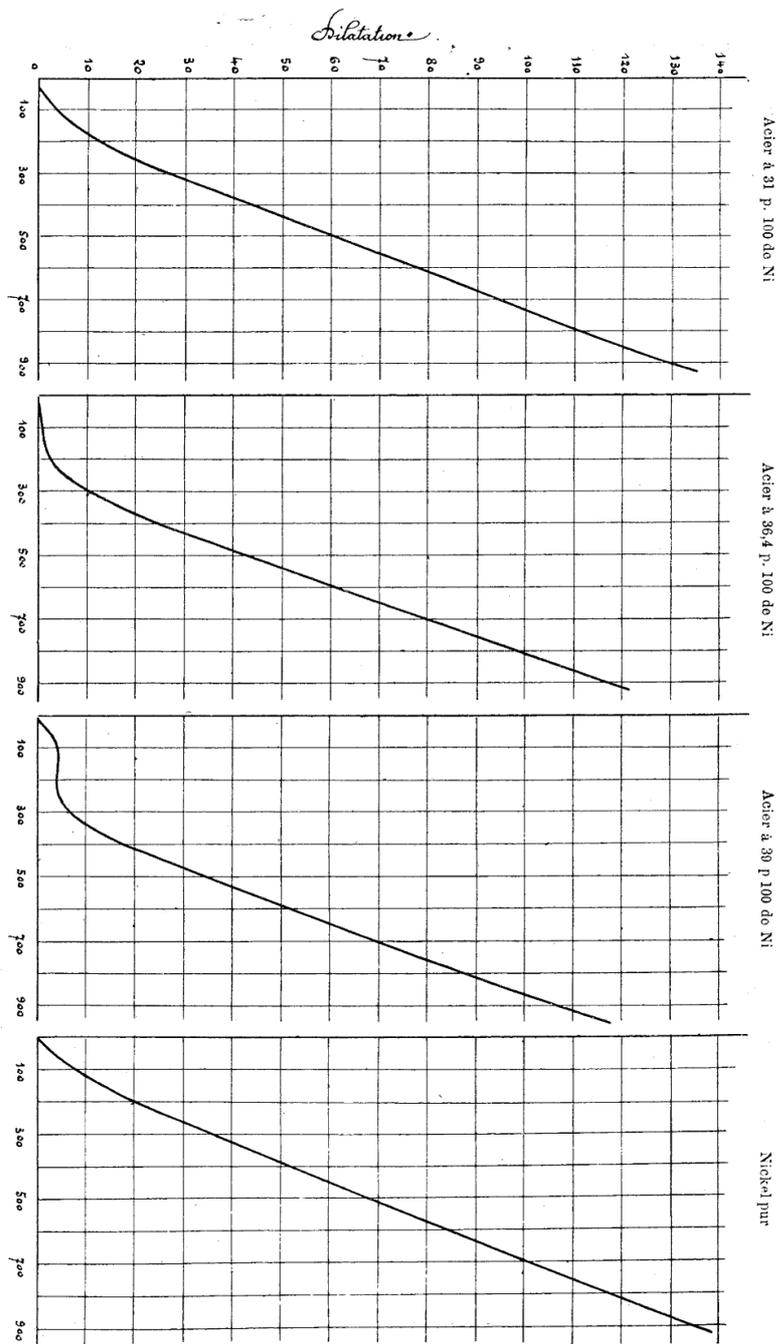


Fig. 24.

nous avons effectué des mesures magnétiques sur les métaux mêmes qui nous ont servi pour les mesures de dilatation.

Nous opérions par la méthode magnétométrique, en employant des barreaux de 150 millimètres de longueur et de 10 millimètres de diamètre. Ces barreaux étaient chauffés dans un four électrique et on notait à diverses températures la déviation produite sur une aiguille aimantée quand on ramenait l'intensité du champ à une valeur constante ($H = 10$).

Par cette méthode un peu sommaire on constate nettement que, pour les aciers contenant moins de 28 p. 100 de carbone, la disparition du magnétisme à

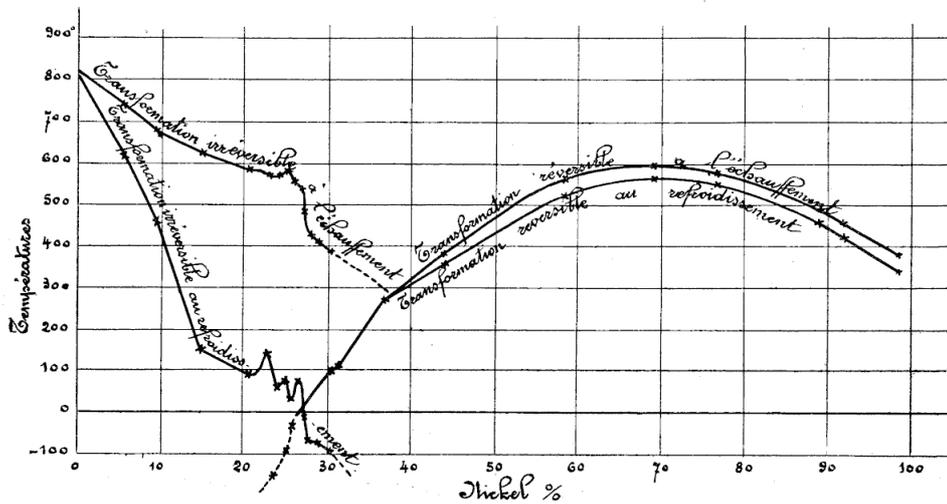


Fig. 25.

l'échauffement se produit à peu près intégralement dans l'intervalle de température où l'on observe la contraction de volume.

Dans la figure 26, nous donnons le résultat d'une expérience comparative effectuée sur un acier contenant 21 p. 100 de nickel, 0,36 de carbone, 0,36 de manganèse.

Deux fragments de ce métal ont été préalablement refroidis à -80° pour les ramener sûrement à l'état stable à froid ; l'un d'eux a servi à faire une mesure de dilatation dont les résultats sont représentés par la courbe supérieure ; l'autre a été employé à des mesures magnétométriques ; la courbe inférieure donne les déviations observées au magnétomètre en fonction de la température.

On voit que dans ce cas on n'a observé de transformation qu'à l'échauffement et dans le même intervalle de température.

Pour les aciers contenant 30 p. 100 de nickel et au-dessus, on a vu que la

courbe de dilatation est continue et n'est, par suite, l'indice d'aucune transfor-

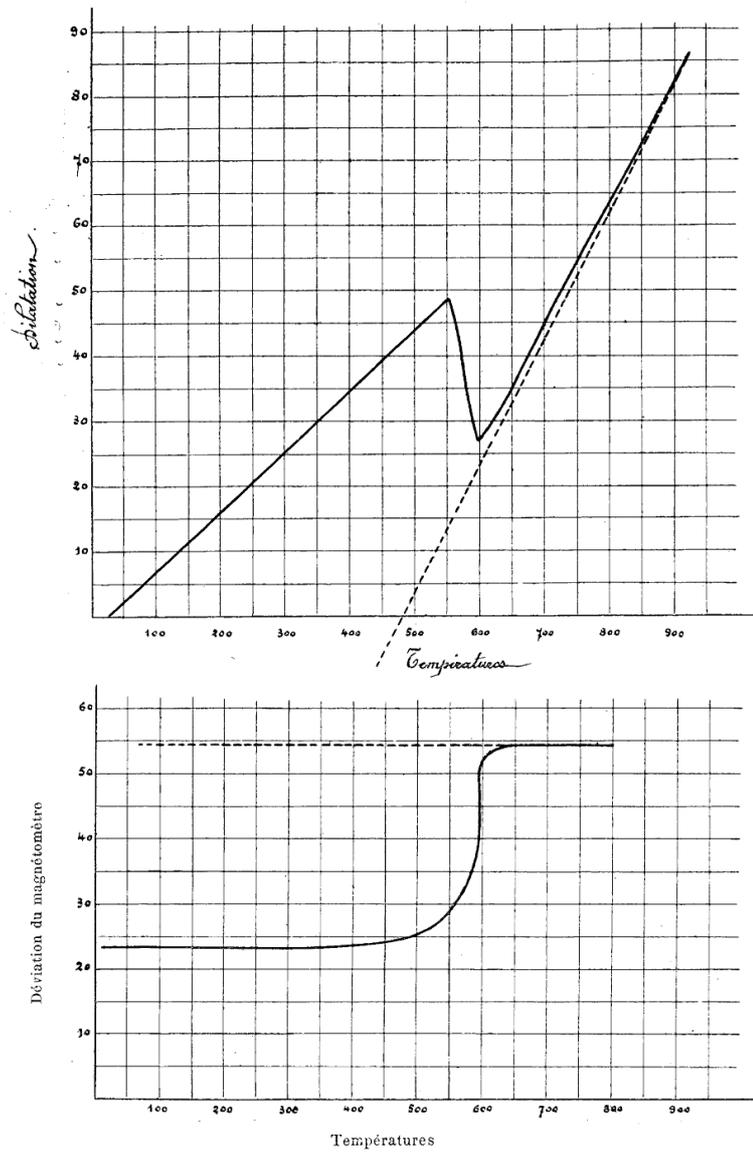


Fig. 26.

mation. Cependant on peut remarquer que le passage des coefficients faibles

observés aux basses températures, aux coefficients forts des températures élevées, s'effectue graduellement, mais dans un intervalle de température assez étroit en général.

Les déviations du magnétomètre varient aussi très rapidement dans un certain intervalle de température.

Nous avons cherché si les variations du coefficient de dilatation d'une part et de la perméabilité magnétique d'autre part se produisaient simultanément.

Dans la figure 27 on a reproduit les résultats d'expériences dilatométriques et magnétiques effectuées sur des aciers contenant respectivement 36 et 39 p. 100 de nickel. On voit que les variations magnétiques et dilatométriques ne se correspondent pas exactement.

Si l'on remarque de plus que le nickel pur qui présente une transformation magnétique aussi nette que l'acier à 36 p. 100 de nickel à une température voisine de 350° a une courbe de dilatation presque rectiligne (fig. 24), on est amené à conclure que la transformation magnétique réversible que présentent les métaux contenant plus de 30 p. 100 de nickel ne correspond à aucune particularité de la courbe de dilatation.

Les mêmes résultats se retrouvent dans les aciers pour lesquels on peut observer à la fois la transformation réversible et la transformation irréversible.

Nous avons étudié à ce point de vue un acier contenant 29,00 de nickel, 0,35 de carbone et 0,34 de manganèse. Ce métal peut, dans certaines conditions que nous n'avons pas définies complètement, se présenter à la température ordinaire à l'état non magnétique; mais le plus souvent, et en particulier après écrouissage à froid ou refroidissement à -80° , il est magnétique et subit la transformation réversible vers 70°

Dans tous ces cas, qu'il soit non magnétique ou magnétique réversible, il donne une courbe de dilatation parfaitement continue n'indiquant pas trace de transformation.

Si on refroidit ce métal dans l'air liquide il subit la transformation irréversible et la courbe de dilatation présente alors à l'échauffement une contraction très nette entre 480° et 500°.

Les effets de la trempe et de l'écrouissage qui, d'après M. Dumas, modifient considérablement les positions des points de transformation magnétique des aciers contenant de 20 à 30 p. 100 de nickel, n'agissent pas d'une façon bien apparente sur les courbes de dilatation.

Un acier à 26,90 de nickel, 0,35 de carbone, 0,33 de manganèse qui se présente à l'état non magnétique après recuit à haute température et ne se transforme que dans la neige carbonique peut devenir nettement magnétique par un écrouissage énergique à la température ordinaire.

En mesurant dans cet état sa dilatation, on obtient une courbe presque con-

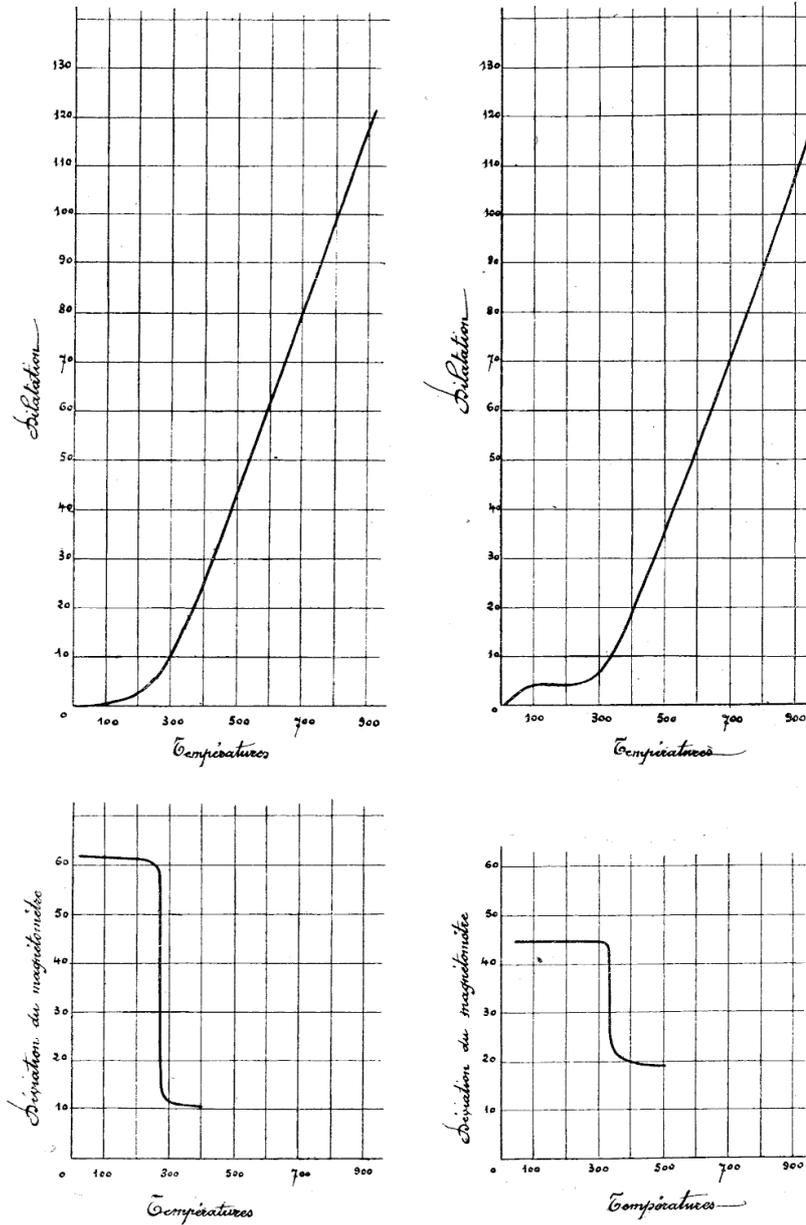


Fig. 27.

tinue qui montre cependant un très léger accident à la température de 52°5 où l'on observe la contraction sur le métal transformé par refroidissement dans la neige carbonique.

Il n'est donc pas impossible, d'après cette expérience que nous avons répétée à plusieurs reprises, en faisant varier la nature et l'intensité de l'écroutissage, qu'un écroutissage très énergique à la température ordinaire produise un commencement de la transformation qui se produit normalement à une température inférieure.

En résumé, la transformation magnétique irréversible des aciers au nickel paraît correspondre à la transformation dilatométrique; la transformation magnétique réversible des aciers à haute teneur en nickel ne correspond à aucune particularité des courbes de dilatation. On peut rapprocher ce fait de celui que nous avons signalé antérieurement pour les aciers ordinaires; savoir, que le point critique a_2 , qui est souvent considéré comme correspondant à la disparition du magnétisme, ne concorde pas avec un accident de la courbe de dilatation.

Coefficients de dilatation à diverses températures des aciers au nickel. — Nous rassemblons ici, sous forme de tableaux, les résultats que nous avons obtenus pour les coefficients de dilatation, à diverses températures, d'un grand nombre d'aciers à diverses teneurs en nickel, contenant également des proportions variables de carbone et de manganèse, et ne renfermant les autres éléments qu'à l'état de traces.

Pour les aciers dont nous avons pu réaliser la transformation à froid nous donnons la valeur des coefficients soit sous la forme stable à chaud, correspondant à la branche de courbe DCE dans la figure 21, soit sous la forme stable à froid, correspondant à la branche de courbe AFB.

Pour cette dernière, il y a quelques réserves à faire pour les aciers qui se transforment à basse température, la transformation pouvant n'avoir pas été très complète.

Les aciers étudiés sont groupés par séries d'après leur teneur en carbone et en manganèse.

On voit que sous la forme stable à froid, l'addition de nickel au fer ne modifie pas beaucoup le coefficient de dilatation.

Sous la forme stable à chaud, les variations sont beaucoup plus considérables; il importe à ce sujet de remarquer que les phénomènes de dilatation des aciers à haute teneur en nickel ne sont réversibles que pour des variations extrêmement lentes de la température,

Avec les vitesses modérées d'échauffement et de refroidissement que nous avons employées les phénomènes d'hystérésis n'interviennent pas d'une façon appréciable aux températures supérieures à 300°; mais ils laissent subsister

une certaine incertitude sur les valeurs numériques obtenues pour les coefficients relatifs aux basses températures. Nous citerons, à titre d'exemple, un essai fait sur un acier contenant 36,05 de nickel, 0,39 de carbone et 0,36 de manganèse, dont nous avons donné la courbe de dilatation dans la figure 24.

Coefficients de dilatation des aciers au nickel sous la forme stable à froid.

SÉRIE	COMPOSITION DES ACIERS			COEFFICIENTS MOYENS DE DILATATION			OBSERVATIONS
	NICKEL	CARBONE	MANGANÈSE	de 0 à 200°	de 200 à 400°	de 400 à 600°	
1	0	0 22	0 48	12×10^{-6}	15×10^{-6}	15×10^{-6}	
	2 05	0 23	0 41	11	14	15	
	8 47	0 25	0 41	14	14	10	
	40 40	0 20	0 44	11 5	11	12	
	21 00	0 36	0 36	10	10	»	Commence à se transformer à 545°
	26 9	0 35	0 33	7 8	10 5	»	» » 495°
	29 0	0 35	0 34	12 9	11	»	
2	22 8	0 29	0 73	8 5	9	10	
3	19 9	0 70	0 48	9	9	»	Commence à se transformer à 560°
4	20 75	0 74	0 80	13	16	»	» » 560°
5	20 90	0 97	0 48	12	17	»	» » 550°
6	21 75	0 92	0 97	15	15	»	» » 560°

Un échantillon de ce métal a été soumis à trois échauffements successifs à 375° après avoir été préalablement refroidi à -80° dans un mélange d'éther et de neige carbonique. Au premier échauffement on observe que l'acier se contracte jusqu'à 100° et ne reprend sa longueur primitive qu'à 210°; après refroidissement le métal a subi une contraction permanente de 0^{mm},06 p. 100; au deuxième échauffement, l'acier ne se contracte plus, mais la dilatation est pratiquement nulle jusqu'à 200°, et après refroidissement on constate une contraction permanente de 0^{mm},04 p. 100; enfin, au troisième échauffement, l'acier donne la même dilatation que lorsqu'on l'a laissé refroidir très lentement d'une température élevée et la courbe de refroidissement se superpose exactement à la courbe d'échauffement.

Ces variations s'interprètent très simplement d'après les idées émises par M. Duhem et M. Marchis.

N'ayant pas pris les précautions minutieuses nécessaires pour éviter complètement des phénomènes de ce genre nous ne donnons les chiffres observés entre 0 et 200° qu'à titre d'indication; d'ailleurs, les dilatations aux basses températures ont fait l'objet de mesures très précises de la part de M. Ch.-Ed. Guillaume.

Coefficients de dilatation des aciers au nickel sous la forme stable à chaud.

SÉRIES	COMPOSITION DES ACIERS			COEFFICIENTS MOYENS DE DILATATION				OBSERVATIONS
	NICKEL	CARBONE	MANGANÈSE	DE 0 A 200°	DE 200 A 400°	DE 400 A 600°	DE 600 A 900°	
1	2 01	0 21	0 41				23 × 10 ⁻⁶	
	8 47	0 25	0 41			16 × 10 ⁻⁶	21	
	10 47	0 20	0 41			20	22 5	
	21	0 36	0 36		17 × 10 ⁻⁶	20	20	
	26 90	0 35	0 36	16 2 × 10 ⁻⁶	20	18 6	22 1	
	29 00	0 35	0 34	12 5	17 5	19	18 5	
	31 35	0 36	0 37	6 5	15	17	18 3	
	34 75	0 36	0 36	3 5	13 5	17	17 5	
	36 05	0 39	0 36	1 0	6 2	17 5	19	
2	22 8	0 29	0 73	22	20	17	20	
	32 8	0 29	0 66	11	17 5	20 5	20	
	33 8	0 31	0 69	2 5	12 5	18	19	
	37 4	0 30	0 69	2 5	8 5	19	17	
3	19 9	0 70	0 48	23	20	18 5	29	
	24 6	0 78	0 45	16	20	19	30	
	25 0	0 84	0 48	15	19	20	28	
	28 8	0 78	0 48	10 5	18	19	26	
	34 3	0 70	0 45	2 5	13 5	17	25	
	34 8	0 63	0 49	2 5	10	18	23	
4	20 75	0 72	0 80	22	20	20	28	
	26 20	0 71	0 90	15	20	20	29	
	29 40	0 73	0 90	16	19	20	27	
	34 45	0 77	0 90	3	15	16	24	
	35 35	0 71	0 89	2 3	13	16	24	
5	20 9	0 97	0 48		20	27	27	
	29 9	0 89	0 43	12	19	18	28	
6	21 25	0 92	0 97		15	18	32	
	25 40	1 01	0 79	15	20	20	32	
	29 45	0 99	0 89	11	19	20	29	
	34 5	0 97	0 84	3	13	18	25	

On retrouve dans le deuxième tableau les curieuses variations du coefficient de dilatation avec la teneur en nickel observée par M. Guillaume, mais on voit également que ces coefficients augmentent rapidement quand la température s'élève, de façon à masquer complètement ces variations. Ainsi, alors que les coefficients entre 0 et 200 varient dans le rapport de 20 à 1 quand la teneur en nickel augmente de 20 p. 100 à 36 p. 100 environ, les coefficients entre 400 et 600° pour les mêmes métaux ne varient que dans le rapport de 20 à 17 environ. *La variation des coefficients de dilatation avec la teneur en nickel est donc dix-sept fois plus petite aux températures élevées qu'à la température ordinaire.*

Les variations de teneur en carbone et en manganèse influent fortement sur les valeurs numériques des coefficients, mais ne changent pas le sens général des variations.

R É S U M É

1° — Tous les alliages fer-carbone contenant de 1 à 3,50 p. 100 de carbone ont sensiblement les mêmes coefficients de dilatation entre 0° et 700°.

2° — Dans les aciers au carbone il se produit, vers 700°, une contraction brusque dont l'amplitude augmente avec la teneur en carbone; atteint un maximum pour la teneur de 0,85 environ, et décroît ensuite.

3° — Après la transformation brusque de 700°, il se produit dans les aciers une transformation graduelle correspondant à une contraction pour les aciers à moins de 0,85 de carbone à une dilatation pour les aciers à plus de 0,85 de carbone et dont la limite ne peut être fixée avec quelque précision, par la méthode dilatométrique, que pour les aciers doux.

4° Les transformations des aciers ne contenant que du carbone sont réversibles.

5° — La contraction brusque de 700° correspond au point critique a_1 de la méthode pyrométrique de M. Osmond; la fin de la transformation graduelle paraît correspondre au point a_3 de la méthode pyrométrique; quant au point a_2 il ne semble correspondre à aucune particularité de la courbe de dilatation.

6° — Les résultats obtenus relativement aux transformations des aciers au carbone s'interprètent d'une façon satisfaisante dans la conception qui a servi de base à l'établissement du diagramme des équilibres fer-carbone donné par M. Roozeboom.

7° — On n'observe aucune modification dans la courbe de dilatation des aciers doux (moins de 0,65 de carbone) quand on les trempe dans des conditions quelconques.

On observe une contraction vers 300° dans les aciers contenant de 0,65 à 1 p. 100 de carbone trempés à l'eau froide sous forme de petits échantillons chauffés au-dessus de 900°.

On observe deux contractions, vers 150° et vers 300°, dans les aciers contenant plus de 1 p. 100 de carbone, trempés à l'eau froide sous forme de petits échantillons, chauffés au-dessus de 900°.

Ces contractions n'apparaissent pas dans les aciers contenant plus de 0,65 de carbone quand la trempe a lieu, soit sous forme de gros échantillons, soit dans l'huile ou dans l'eau chaude, soit en partant d'une température inférieure à 900.

8° — La méthode dilatométrique permet d'étudier les transformations des aciers au nickel et donne des résultats concordant avec la méthode magnétométrique pour la transformation irréversible des aciers à moins de 28 p. 100 de nickel.

9° — La transformation magnétique réversible des aciers à haute teneur en nickel et du nickel pur ne correspond à aucune particularité des courbes de dilatation.

10° — Les coefficients de dilatation des aciers au nickel (0 à 29 p. 100 de nickel) sous la forme stable à froid, diffèrent relativement peu du coefficient de dilatation de l'acier ordinaire.

11° — Les coefficients de dilatation des aciers au nickel sous la forme stable à chaud varient considérablement avec la teneur en nickel aux températures comprises entre 0 et 200°. Les différents coefficients augmentent inégalement quand la température s'élève de façon à masquer ces variations; de sorte que, au-dessus de 800°, les différents aciers au nickel, contenant de 0 à 40 p. 100 de nickel, ont des coefficients de dilatation assez peu différents les uns des autres.

AGRICULTURE

RAPPORT fait au nom du *Comité d'Agriculture*, sur les propriétés physiques et mécaniques des engrais, par **M. Henry Dupays**.

Dans une séance de juin 1902, le Comité d'Agriculture a bien voulu accorder, sur ma demande, à M. H. Dupays, ingénieur-agronome, une subvention à l'effet de procéder à des recherches relatives aux propriétés physiques et mécaniques des engrais.

Il était utile de déterminer ces propriétés en vue d'essais méthodiques à entreprendre ensuite sur les distributeurs d'engrais employés dans la pratique courante, ou sur les nouveaux systèmes qui pourraient être proposés.

Les travaux de M. Dupays ont été effectués sous ma direction à la Station d'essais de Machines.

En remettant au Comité d'Agriculture le rapport de M. Dupays, je le prie de demander l'insertion de ce travail consciencieux dans le *Bulletin* de la Société.

Signé : RINGELMANN, rapporteur.

DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES DES ENGRAIS, PAR **Henry Dupays**,
Ingénieur-agronome stagiaire à la Station d'essais de Machines.

INTRODUCTION

L'utilisation des matières minérales comme matières fertilisantes, l'emploi de machines pour les distribuer dans les champs, ce sont là deux choses de date relativement ancienne. Déjà, vers 1855, on connaissait un petit nombre de modèles de fabrication courante pour semer les engrais; mais comme ces engrais étaient très coûteux, on cherchait à les mettre immédiatement à la disposition des plantes, sans penser le moins du monde à les répandre uniformément. Aussi ces systèmes se sont peu répandus en pratique, on le devine aisément.

La production et la consommation de ces engrais minéraux augmentent cependant peu à peu, lorsque, sous l'influence de la loi de 1884 sur les Syndicats, engrais chimiques et distributeurs d'engrais se répandent rapidement. L'Exposition universelle de 1889, en faisant connaître produits et machines, accélère ce mouvement et lui donne une impulsion très forte, qui se caractérise nettement par les quelques chiffres suivants (1) :

	1893	1899
	tonnes.	tonnes.
Production du monde en phosphate brut.	4 706 000	2 500 000
Emploi des sels bruts de Stassfurt.	1 534 314	2 413 865
Consommation des scories Thomas.	670 000	1 635 000

L'analyse chimique de tous ces corps a été étudiée de façon complète par les professeurs Müntz et Grandeau, leur mode d'action dans les différents terrains et sur les différentes plantes a retenu l'attention des agronomes de tous les pays. Notre ancien professeur M. Max Ringelmann a étudié très en détail les appareils qui servent à les répandre; ses observations et ses essais sur ces machines lui ont montré que : « la distribution régulière des engrais à l'aide d'une machine présente souvent d'énormes difficultés qui sont dues surtout au faible débit à fournir par unité de surface, à l'état et aux propriétés physiques des matières à manipuler...

« ... L'état de l'engrais joue un rôle prépondérant; pour obtenir une grande uniformité, il faudrait que tous les petits fragments de matière aient sensiblement les mêmes dimensions (ces dernières pouvant d'ailleurs être quelconques),

(1). Extrait de la brochure : *Production et consommation des Engrais minéraux dans le monde en 1900*, par M. L. Grandeau.

ne soient pas adhérents ou ne s'agglomèrent pas entre eux sous l'influence des secousses répétées... (1). »

Aussi nous a-t-il paru fort intéressant de chercher à connaître les propriétés physiques des différents engrais employés dans la pratique courante, à déterminer la façon dont ils se comportent dans les appareils distributeurs.

Mais avant de commencer l'exposé de nos recherches, nous voulons exprimer toute notre gratitude au Conseil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale qui, sur la proposition de son Comité d'Agriculture, a bien voulu nous voter une subvention.

Les expériences ont porté sur des engrais du type courant, tels qu'ils sont livrés à l'agriculture :

A. — ENGRAIS PHOSPHATÉS.

1° *Phosphate minéral*, de M. Tancrede, 12, rue de Saint-Quentin, Paris.

2° *Superphosphate*, 14-16, de la Société des produits chimiques de Saint-Gobain, 1, place des Saussaies, Paris.

3° *Scories*, des Sociétés réunies des phosphates Thomas, 5, rue de Vienne, Paris.

B. — ENGRAIS POTASSIQUES.

4° *Kaïnite*,

5° *Chlorure de potassium*,

6° *Sulfate de potasse*, du Syndicat des mines et usines des sels potassiques de Stassfurt (Bureau d'Études, 6, rue du Conservatoire Paris).

C. — ENGRAIS AZOTÉS.

7° *Nitrate de soude*, du Comité permanent du nitrate de soude du Chili, 60, rue Taitbout, Paris.

8° *Sulfate d'ammoniaque*, de la Société d'Encouragement pour le développement de l'emploi des engrais chimiques en France, 1, rue Ambroise-Thomas, Paris.

D. — ENGRAIS ORGANIQUES.

9° *Viande desséchée*,

10° *Sang desséché*, de M. E. Bourgeois jeune, 12, boulevard Sadi-Carnot, Ivry-Port (Seine).

Nous sommes très reconnaissant à ces différentes sociétés et maisons d'engrais qui ont contribué à faciliter notre tâche par leur empressement et leur

(1) *Journal d'Agriculture pratique*, 1901, tome I, page 472. Note sur les distributeurs d'engrais, par M. Max Ringelmann.

bonne volonté à nous faire tenir, sur la demande de MM. Grandeau, Ringelmann et Lindet, les engrais dont nous avons besoin.

La détermination de la teneur en eau a été faite à l'Institut national agronomique, au laboratoire d'agriculture comparée, que son directeur, M. H. Hitier, avait très aimablement mis à notre disposition. Les autres expériences, — pour la majeure partie desquelles M. G. Carle, ingénieur agronome, a bien voulu nous aider, — ont été effectuées à la Station d'essais de Machines du ministère de l'Agriculture (rue Jenner, 47), sous la direction de M. Max Ringelmann qui, pendant tout le cours de ces recherches, nous a fait profiter de son expérience par les conseils bienveillants et éclairés qu'il n'a cessé de nous prodiguer, et que nous sommes heureux de pouvoir remercier tout particulièrement.

Nous avons scindé les résultats de nos recherches en deux groupes distincts. Nous avons compris dans le premier ce qui se rapportait à la détermination expérimentale de différentes propriétés purement physiques : grosseur des éléments, poids spécifique, densité apparente, talus naturel, etc... — Nous avons, au contraire, laissé dans un autre groupe un certain nombre de résultats d'ordre pratique et qui nous ont utilement renseigné sur les propriétés des engrais au point de vue mécanique, sur les états successifs des engrais manipulés dans les machines et sous l'influence du tassement, du frottement, sur l'influence du mécanisme, des orifices de sortie.

Ce sont ces résultats que nous indiquons ci-après.

PREMIÈRE PARTIE

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Nous avons voulu réunir, dans cette première partie, un certain nombre de données pratiques qui nous permettront de définir complètement les engrais avec lesquels nous avons fait nos essais, de les caractériser. Elles nous donneront aussi d'utiles indications pour l'étude des propriétés mécaniques des engrais.

Nous avons ainsi déterminé successivement pour chaque engrais :

- 1° La teneur en eau ;
- 2° La grosseur des éléments ;
- 3° Le poids spécifique ;
- 4° La densité apparente ;
- 5° La proportion relative des vides et des pleins ;
- 6° Le talus naturel ;

et nous résumons nos observations dans les chapitres suivants.

CHAPITRE PREMIER

TENEUR EN EAU

En général, dans un distributeur d'engrais, le mécanisme fonctionne bien avec un engrais sec; mais il n'en est plus du tout de même avec un engrais pâteux, humide, adhérent, qui se prend en masse. Aussi est-il bien utile d'être fixé sur le degré d'humidité d'un engrais que l'on veut répandre avec un semoir.

Comme le taux p. 100 d'eau est très variable suivant les modes de préparation et de conservation de l'engrais, suivant la température à laquelle il est exposé, nous ne donnerons pas une teneur moyenne en eau de nos engrais d'expérience; nos chiffres ne sont là qu'à titre de renseignement, pour bien définir les engrais sur lesquels ont porté nos recherches.

Les déterminations ont été faites au laboratoire d'agriculture comparée de l'Institut national agronomique; nous avons placé 10 grammes de matière dans une capsule, tarée à l'avance, et nous les avons desséchés à l'étuve, à 105°, pendant 5 heures. La perte de poids donne le taux d'humidité. Nous avons ainsi obtenu les résultats suivants :

N° d'ordre.	Nature de l'engrais.	Taux p. 100 d'eau.
1	Phosphate.	0,28
2	Superphosphate.	12,10
3	Scories.	0,25
4	Kainite.	3,32
5	Chlorure de potassium.	3,45
6	Sulfate de potassium	5,47
7	Nitrate de soude	1,27
8	Sulfate d'ammoniaque.	1,15
9	Viande desséchée.	6,50
10	Sang desséché	11,02

CHAPITRE II

DEGRÉ DE FINESSE

La détermination du degré de finesse d'un engrais est très importante, parce qu'elle renseigne sur la valeur propre de cet engrais. On sait en effet que, pour la majeure partie des engrais, l'*assimilation* est d'autant plus grande que le produit est plus fin (1).

Cette question de finesse intervient également, et cette fois pour tous les engrais sans exception, au point de vue particulier auquel nous nous sommes

(1) Dans le tome II de leur traité sur *Les Engrais*, MM. Müntz et Girard, étudiant les engrais phosphatés, font nettement ressortir cette très grande importance de la finesse de la matière relativement à son assimilabilité.

placé : elle est très utile pour l'uniformité de la répartition qu'elle assure d'autant mieux que le produit est plus fin, et cela quelle que soit la nature du distributeur.

Nous avons opéré sur 100 grammes de matière; nous avons obtenu la grosseur des éléments par plusieurs tamisages successifs à travers 6 tamis différents (tamis n^{os} 10, 25, 50, 80, 100, 120, de la série française). Les tamis, placés les uns au-dessus des autres, formaient un tout fixé à une monture en bois munie d'une poignée, et ont été agités pendant 20 minutes, tantôt dans un sens, tantôt dans le sens perpendiculaire, et cela pendant des temps égaux. Sans chercher à obtenir le tamisage complet, nous avons voulu donner des indications comparatives.

Nous avons exprimé le résultat pour chaque tamis en totalisant les résidus non susceptibles d'y passer. Chaque engrais a donc été divisé en sept lots, dont voici les poids en grammes :

N ^{os} D'ORDRE.	NATURE de L'ENGRAIS.	REFUS DES TAMIS						PASSÉ AU TAMIS N ^o 120.
		N ^o 10.	N ^o 25.	N ^o 50.	N ^o 80.	N ^o 100.	N ^o 120.	
		grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.
1	Phosphate	0	0,3	1	41	55	1,3	1
2	Superphosphate.	9	10	20	31	28	2	»
3	Scories.	»	»	4	7	80	7	2
4	Kaïnite.	6	22	36	16	»	»	»
5	Chlorure de potassium.	6	29	63	2	»	»	»
6	Sulfate de potassium.	2	11	77	6	4	»	»
7	Nitrate de soude	10	33	50	1	»	»	»
8	Sulfate d'ammoniaque.	1	9	80	8	2	»	»
9	Viande desséchée.	5	9	29	24	31	2	»
10	Sang desséché.	»	1	48	24	11	1	15

L'examen de ce tableau nous montre de grandes variations d'un engrais à l'autre. Et si nous appelons *farine*, suivant la convention généralement adoptée, tout ce qui passe au tamis 80, nous pouvons classer nos engrais dans l'ordre suivant, d'après la finesse de leurs éléments :

	Taux passant au tamis 80.
Scories	89 p. 100
Phosphate.	57,3 —
Viande desséchée	33 —
Superphosphate.	30 —
Sang desséché.	27 —
Sulfate de potasse.	4 —
Sulfate d'ammoniaque.	2 —
Kaïnite.	0 —
Chlorure de potassium.	0 —
Nitrate de soude.	0 —

Seuls, les scories et les phosphates ont plus de la moitié de leur poids passant au tamis 80. Le sang desséché possède les éléments les plus fins : 15 p. 100 ont passé au tamis 120.

CHAPITRE III

POIDS SPÉCIFIQUE : Δ

La connaissance du poids spécifique est surtout intéressante au point de vue scientifique. Nous avons voulu le déterminer cependant, d'abord parce que c'est une des principales *caractéristiques* d'un engrais, mais aussi parce qu'il nous servira dans la recherche des proportions relatives des vides et des pleins d'un engrais.

Nous avons opéré par la méthode du flacon. Mais la plupart des engrais étant en partie solubles dans l'eau, nous avons dû nous servir d'un liquide sans action sur eux, et nous avons pris le pétrole lampant. Nous n'avons utilisé que de l'engrais aussi fin que possible et, pour cela, nous avons écrasé les particules agglomérées, en particulier nous avons broyé le nitrate. Nous avons fait nos déterminations à une température très sensiblement constante et voisine de 10°, celle de l'intérieur de l'annexe de la Station d'essais de Machines.

Une éprouvette graduée, contenant un volume v de pétrole, était mise sur le plateau d'une balance. Une fois la tare faite, on versait peu à peu l'engrais dans l'éprouvette, en évitant l'entraînement de bulles d'air, jusqu'à ce que le pétrole vint affleurer à un niveau x correspondant à un volume total V . On rétablissait l'équilibre avec des poids P . On avait ainsi un volume $V - v$ d'engrais dont le poids P était donné par la balance. Par définition, on a :

$$\Delta = \frac{P}{V - v}.$$

Nous avons dû opérer rapidement dans le cas de la viande, afin d'éviter autant que possible la dissolution des matières grasses. Trois expériences nous ont d'ailleurs donné des chiffres très voisins.

Nous avons effectué deux séries d'expériences qui nous ont donné les résultats moyens suivants :

N ^o d'ordre.	Nature de l'engrais.	Δ moyen.
1	Phosphate	2,66
2	Superphosphate	2,01
3	Scories	3,55
4	Kainite	2,07
5	Chlorure de potassium	1,90
6	Sulfate de potassium	2,32
7	Nitrate de soude	2,23
8	Sulfate d'ammoniaque	1,72
9	Viande desséchée	1,36
10	Sang desséché	1,28

Ainsi, le poids spécifique moyen varie de 1,28 (sang) à 3,55 (scories), soit une variation totale dans le rapport de 1 à 2,8.

Les engrais phosphatés ont tous un poids spécifique élevé et supérieur à 2; celui des *scories* est maximum et bien supérieur à celui des autres engrais. Les engrais potassiques ont un poids spécifique voisin de 2. La viande et le sang desséchés ont, à peu de chose près, le même poids spécifique : 1,3.

CHAPITRE IV

DENSITÉ APPARENTE : D

Dans la pratique, l'agriculteur éprouve très souvent de la difficulté à régler son semoir pour la dose d'engrais qu'il doit répandre à l'hectare, en particulier quand il se trouve en présence d'un mélange : superphosphate et sulfate

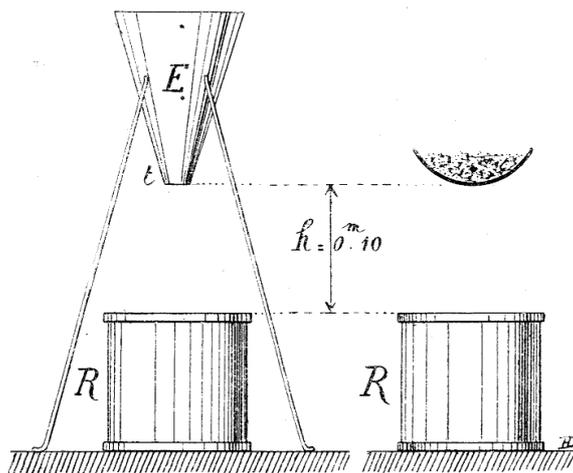


Fig. 1. — Détermination de la densité apparente d'un engrais.

d'ammoniaque par exemple. Il est bien certain que la connaissance de la densité apparente de chaque engrais, c'est-à-dire du poids d'un volume déterminé de cet engrais, lui indiquerait la quantité à mettre dans le coffre dont il connaît la capacité maxima, et par suite lui permettrait d'obtenir une meilleure distribution.

Pour obtenir cette densité, il semble qu'il suffirait de remplir d'engrais un volume quelconque et d'en peser le contenu; on obtiendrait ainsi des résultats nullement comparables; l'étude du tassement nous le montrera très nettement.

Nous avons utilisé un procédé analogue à celui indiqué par la *Commission des Méthodes d'essais des matériaux de construction*. Nous avons obtenu la densité en pesant le contenu d'une mesure d'un litre, en forme de cylindre, remplie de la façon suivante : le litre étant disposé comme l'indique la figure 1, nous avons versé l'engrais dans un entonnoir E à tamis, par petites portions, en forçant l'engrais à passer par le tamis avec une petite spatule en bois. Pour les engrais hygrométriques ou à particules trop grosses, le tamis se bouchant rapidement, nous avons dû le remplacer par une main de cuivre placée, comme le tamis, à 10 centimètres du bord supérieur du litre, la même spatule en bois nous servant à faire tomber l'engrais par petites portions. Nous avons arrêté le remplissage quand la base du cône que formait l'engrais atteignait les bords supérieurs du litre, puis enlevé l'excès en faisant glisser sur ces bords l'arête d'une règle bien droite. *Le poids du décimètre cube ainsi rempli nous donnait la densité apparente.*

Nous avons effectué deux séries d'expériences, chacune d'elles comportant deux opérations successives. La moyenne des résultats obtenus dans chaque série nous a donné deux chiffres, dont la moyenne peut être considérée comme la densité apparente cherchée. Ces chiffres sont indiqués ci-après, pour chacun des engrais d'expérience :

N° d'ordre.	NATURE DE L'ENGRAIS.	POIDS APPARENT D'UN DCM. CUBE.		
		1 ^{re} série d'expériences.	2 ^e série d'expériences.	Moyen.
		kilogr.	kilogr.	kilogr.
1	Phosphate	1,009	1,011	1,010
2	Superphosphate	0,807	0,811	0,809
3	Scories	1,347	1,353	1,350
4	Kaïnite	0,823	0,820	0,807
5	Chlorure de potassium	0,724	0,720	0,722
6	Sulfate de potassium	0,923	0,925	0,924
7	Nitrate de soude { non broyé	1,034	1,027	1,031
	{ broyé	0,924	0,935	0,930
8	Sulfate d'ammoniaque	0,476	0,486	0,481
9	Viande desséchée	0,443	0,442	0,442
10	Sang desséché	0,631	0,631	0,631

Ainsi, la densité apparente varie de 0,442 (viande), à 1,350 (scories), soit dans le rapport de 1 à 3 ; la densité maxima est celle des scories.

Cette densité varie avec la grosseur des morceaux ; elle est d'autant plus faible que le produit est plus fin (1,031 pour le nitrate non broyé, — 0,930 pour le nitrate broyé).

Elle varie aussi avec le mode de remplissage, et par suite avec le tassement plus ou moins grand de l'engrais ; nous verrons plus loin qu'un tassement énergétique peut augmenter de un cinquième à un tiers le poids d'un même volume d'engrais, et ce résultat justifie les précautions que nous avons dû prendre pour nos expériences.

Remarquons enfin que, dans chacun des groupes chimiques que forment les engrais minéraux, l'ordre des densités apparentes est le même que celui des poids spécifiques.

CHAPITRE V

VIDES ET PLEINS

La connaissance du poids spécifique et de la densité apparente nous permet de chercher la valeur relative des volumes vides et des volumes pleins dans un engrais. Nous allons faire ici le calcul pour l'engrais non tassé, c'est-à-dire pour un engrais qui se trouve dans les mêmes conditions qu'au moment où nous en prenons la densité apparente.

Prenons, par exemple, le phosphate. Il a, comme caractéristiques :

$$\Delta = 2,66 \quad \text{et} \quad D = 1,01.$$

C'est dire qu'un décimètre cube pèse, *sans vides* : 2^{kg},660, et *avec vides* : 1^{kg},010.

Si donc 2^{kg},660 de phosphate représentent le poids d'un volume de 1 décimètre cube sans vides, 1^{kg},010 correspondront à un volume sans vides de :

$$x = \frac{1 \times 1\,010}{2\,660} = \frac{D}{\Delta} = 0^{\text{dm}^3},379,$$

et, par suite, le volume des vides dans le phosphate est :

$$1^{\text{dm}^3} - 0^{\text{dm}^3},379 = 0^{\text{dm}^3},621,$$

soit 62,1 p. 100 du volume total.

En effectuant le même calcul pour chacun des engrais considérés, nous avons obtenu les résultats suivants :

N ^{os} d'ordre.	Nature de l'engrais.	Volume des vides.
1	Phosphate	62,1 p. 100
2	Superphosphate	59,8 —
3	Scories	62,0 —
4	Kaïnite	60,4 —
5	Chlorure de potassium.	62,0 —
6	Sulfate de potassium. .	60,2 —
7	Nitrate de soude. . . .	58,3 —
8	Sulfate d'ammoniaque .	72,1 —
9	Viande desséchée	67,5 —
10	Sang desséché.	50,7 —

Pour tous les engrais, les vides prennent donc plus de moitié du volume, presque les $\frac{2}{3}$.

Le volume des vides est voisin de 60 p. 100 pour tous les engrais phosphatés et potassiques. Il est maximum pour le sulfate d'ammoniaque, minimum pour le sang desséché. Ce dernier résultat ne doit pas nous surprendre; étant données la forme sphérique régulière et la petitesse des particules qui composent le sang desséché, ces particules se juxtaposent presque complètement, en tout cas plus facilement et plus étroitement que si elles étaient anguleuses.

Nous reprendrons plus loin la détermination de ces volumes vides dans le cas d'un engrais tassé.

Remarque. — Nous avons, pour obtenir ce volume des vides, calculé le rapport $\frac{D}{\Delta}$. Le rapport inverse $\frac{\Delta}{D}$ est intéressant à connaître. Il est le suivant :

N ^o d'ordre.	Nature de l'engrais.	Coefficient $\frac{\Delta}{D}$.
1	Phosphate	2,6
2	Superphosphate	2,5
3	Scories	2,5
4	Kaïnite	2,5
5	Chlorure de potassium	2,6
6	Sulfate de potassium	2,5
7	Nitrate de soude	2,4
8	Sulfate d'ammoniaque	3,6
9	Viande desséchée	3,08
10	Sang desséché	2,0

Il nous montre que, pour tous les engrais minéraux, le sulfate d'ammoniaque mis à part, le poids spécifique Δ est 2,5 fois plus grand que la densité apparente D.

CHAPITRE VI

TALUS NATUREL

Les coffres des semoirs à engrais ont toujours une forme complètement arbitraire, et la section la plus généralement adoptée est une section géométrique simple (triangle, rectangle, trapèze), à cause de la facilité de son exécution et de son prix de revient peu élevé. La connaissance du talus naturel de l'engrais nous donnera des indications sur la pente minima à donner aux côtés non parallèles du coffre.

Nous avons fait tomber l'engrais, d'une main en cuivre sur un plan horizontal, par petites masses, jusqu'à ce que le sommet du cône formé soit à 10 centimètres environ du point initial de chute (fig. 2). Nous avons mesuré les angles tels que

$S \acute{a} h$ dans 2 plans verticaux perpendiculaires : $S h h'$ et $S v v'$, et nous en avons déduit les angles à la base du cône formé par l'engrais.

Les résultats sont les suivants :

N ^{os} d'ordre.	Nature de l'engrais.	Talus naturel.
1	Phosphate	40°5 41°5
2	Superphosphate.	44° 44°
3	Scories.	38° 40°
4	Kaïnite.	52° 54°5
5	Chlorure de potassium.	53°5 54°5
6	Sulfate de potassium	48° 53°
7	Nitrate de soude.	49°5 51°5
8	Sulfate d'ammoniaque.	50° 52°
9	Viande desséchée.	42°5 43°5
10	Sang desséché.	35° 36°

Le cône formé par le sang desséché est le plus évasé; c'est dû à la ténuité et surtout à la mobilité excessive des particules qui composent cet engrais.

Les engrais phosphatés, à éléments plus fins que les engrais potassiques et les engrais azotés, ont un talus naturel à pente plus faible. D'ailleurs, il ressort des chiffres précédents que le talus naturel d'un engrais a une pente d'autant plus faible que cet engrais est formé d'éléments plus fins.

Si nous considérons maintenant les groupes chimiques, il est facile de vérifier que, dans chaque groupe, les engrais se classent, au point de vue du talus naturel, dans un ordre inverse de celui correspondant à leur densité apparente.

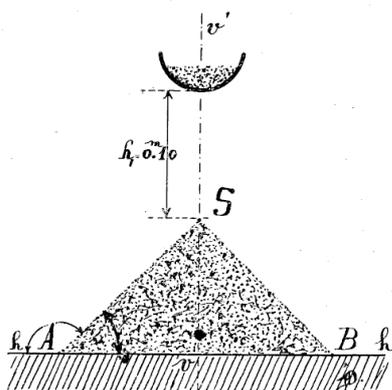


Fig. 2.

DEUXIÈME PARTIE

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

Nous avons cherché à réunir, dans cette dernière partie, un certain nombre de données pratiques, dont la connaissance sera très utile pour l'étude proprement dite des différents systèmes de distributeurs d'engrais. Les résultats de nos recherches sont indiqués dans les chapitres suivants :

- 1° Étude du tassement;
- 2° Influence du tassement sur le volume des vides;
- 3° Étude du frottement;
- 4° Influence du mécanisme;
- 5° Influence de la section des orifices.

CHAPITRE PREMIER

TASSEMENT

Considérons un semoir à engrais se déplaçant sur un chemin quelconque, les roues rencontrent à tout instant un obstacle : pierre, dos d'âne, caniveau, etc... Le passage de cet obstacle se traduit immédiatement par une secousse plus ou moins brusque qui se transmet à tout l'appareil, et en particulier à l'engrais contenu dans le coffre. Dans les sols meubles, l'appareil reçoit peu de secousses : 1 ou 2 tous les mètres; dans les sols difficiles, les secousses deviennent plus fréquentes et il s'en produit une au moins tous les 40 centimètres. En moyenne, on peut compter qu'un semoir reçoit 5 secousses par mètre d'avancement.

Nous avons cherché à déterminer comment se comporte l'engrais soumis à ces secousses répétées et quelle est leur influence; nous les avons réalisées artificiellement au moyen de l'appareil suivant (fig. 3), monté à la Station d'essais de Machines.

L'appareil (fig. 4) se compose d'un bâti en bois B reposant sur le sol par trois pieds; les deux montants verticaux supérieurs B portent un axe horizontal o , garni de deux plaques circulaires en fonte c réunies à leur périphérie par trois petits cylindres également espacés; o peut être mis en mouvement par un volant V. Dans le mouvement de rotation de l'axe o , chacun des trois petits cylindres précédents entraîne à son tour le mentonnet m d'un marteau M en fer, et communique à ce dernier un mouvement vertical ascendant, jusqu'au moment où le cylindre abandonne le mentonnet m ; le marteau M, guidé dans sa course par 2 brides en cuivre et, aidé dans sa chute par 2 ressorts dont la tension peut être réglée à volonté au moyen de la vis v_1 , retombe de tout son poids sur une planche en bois p , garnie de deux fers feuillards protecteurs; p repose sur une enclume E et porte, à une extrémité, le récipient R contenant l'engrais. Le poids de l'engrais tend à faire descendre p_1 ; le marteau M en tombant sur elle, la fait remonter, provoquant ainsi une secousse. La course de p_1 est limitée, en haut par une barrette a , en bas par une planche de support s . Les ressorts r réglés une fois pour toutes, nous ont permis de donner au marteau une chute de

2 centimètres, correspondant à une secousse qui donne au récipient R un déplacement vertical d'une amplitude de 3 à 4 millimètres.

Pour faire une expérience, nous avons utilisé le récipient cylindrique R, d'une capacité de 1 décimètre cube, rempli d'un poids P d'engrais, comme

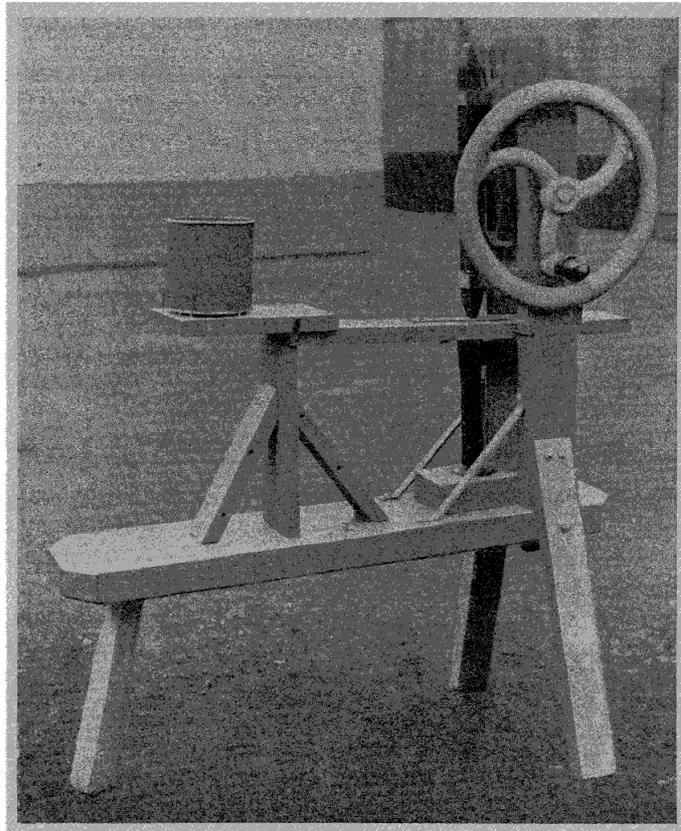


Fig. 3. — Appareil utilisé pour la recherche de l'influence d'un tassement progressif sur le poids d'un décimètre cube d'engrais.

nous l'avons fait lors de la détermination de la densité apparente (I^{re} partie, chap. iv).

Le récipient R, placé sur l'appareil, a reçu un certain nombre n de secousses (3 secousses par tour du volant). Il en est résulté une certaine diminution de volume v que nous avons mesurée, et nous en avons déduit le poids p d'un déci-

mètre cube d'engrais pris dans les conditions nouvelles où il se trouve après le tassement produit par les n secousses.

Nous avons de même mesuré, après n' , n'' , n''' ... secousses, les diminutions correspondantes de volume v' , v'' , v''' ... et déduit les poids p' , p'' , p''' ... d'un décimètre cube d'engrais de plus en plus tassé.

Les résultats de nos expériences sont consignés dans le tableau suivant :

N ^o D'ORDRE.	NATURE de L'ENGRAIS.	POIDS D'UN DÉCIMÈTRE CUBE (EN GRAMMES)						
		non tassé.	après 10 secousses.	après 20 secousses.	après 40 secousses.	après 120 secousses.	après 200 secousses.	après 400 secousses.
1	Phosphate	1 010	1 150	1 201	1 258	1 295	1 340	1 363
2	Superphosphate.	809	863	886	905	924	940	954
3	Scories.	1 350	1 425	1 490	1 530	1 615	1 679	1 717
4	Kaïnite.	821	915	939	962	985	1 000	1 009
5	Chlorure de potassium.	722	803	831	852	872	885	899
6	Sulfate de potassium.	924	985	1 011	1 038	1 064	1 090	1 116
7	Nitrate de soude.	930	1 000	1 011	1 026	1 035	1 061	1 079
8	Sulfate d'ammoniaque.	481	554	577	595	617	636	649
9	Viande desséchée.	442	488	495	505	513	521	534
10	Sang desséché.	631	684	702	714	720	738	750

On peut représenter graphiquement les résultats obtenus. En portant en abscisses le nombre de secousses et en ordonnées les poids du décimètre cube, en joignant les points obtenus pour chaque engrais par une courbe, on voit que toutes les courbes obtenues (fig. 5) ont très sensiblement l'allure d'une branche parabolique.

N ^o D'ORDRE.	NATURE de L'ENGRAIS.	POIDS PROPORTIONNELS D'UN DÉCIMÈTRE CUBE						
		non tassé.	après 10 secousses.	après 20 secousses.	après 40 secousses.	après 120 secousses.	après 200 secousses.	après 400 secousses.
1	Phosphate	1	1,15	1,20	1,25	1,29	1,33	1,34
2	Superphosphate.	1	1,07	1,09	1,12	1,14	1,16	1,18
3	Scories.	1	1,05	1,09	1,14	1,19	1,24	1,27
4	Kaïnite.	1	1,11	1,14	1,17	1,20	1,22	1,23
5	Chlorure de potassium.	1	1,12	1,15	1,18	1,21	1,23	1,25
6	Sulfate de potassium.	1	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21
7	Nitrate de soude.	1	1,08	1,09	1,10	1,12	1,14	1,17
8	Sulfate d'ammoniaque.	1	1,15	1,19	1,23	1,28	1,32	1,35
9	Viande desséchée.	1	1,10	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20
10	Sang desséché.	1	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16	1,19

C'est dire que la compression de la matière n'est pas indéfinie et se fait d'autant moins facilement que l'énergie employée à la produire augmente; c'est dire aussi que les différents engrais se tassent différemment pour une même

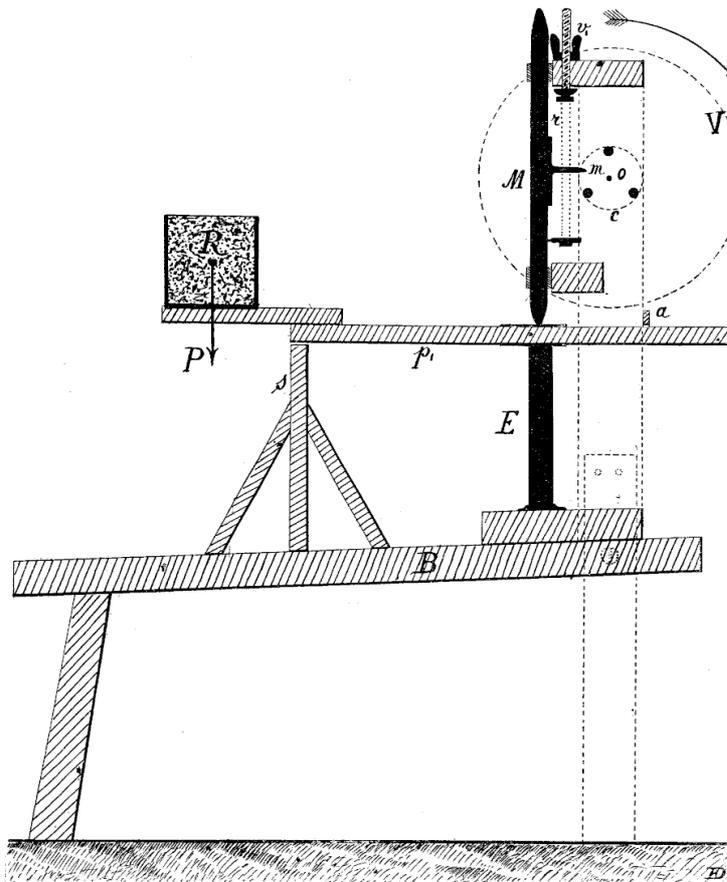


Fig. 4. — Recherche de l'influence du tassement.
(Coupe de l'appareil précédent).

dépense d'énergie, et que cette compression se fait plus ou moins rapidement suivant la nature de l'engrais.

Pour simplifier les résultats obtenus et en dégager des conclusions précises, nous pouvons représenter par 1 le poids d'un décimètre cube d'engrais non tassé et calculer, pour chaque engrais essayé, les poids de ce décimètre cube après 10,

20, 40, ... 400 secousses. Nous obtenons ainsi des poids proportionnels que nous groupons dans le tableau qui précède.

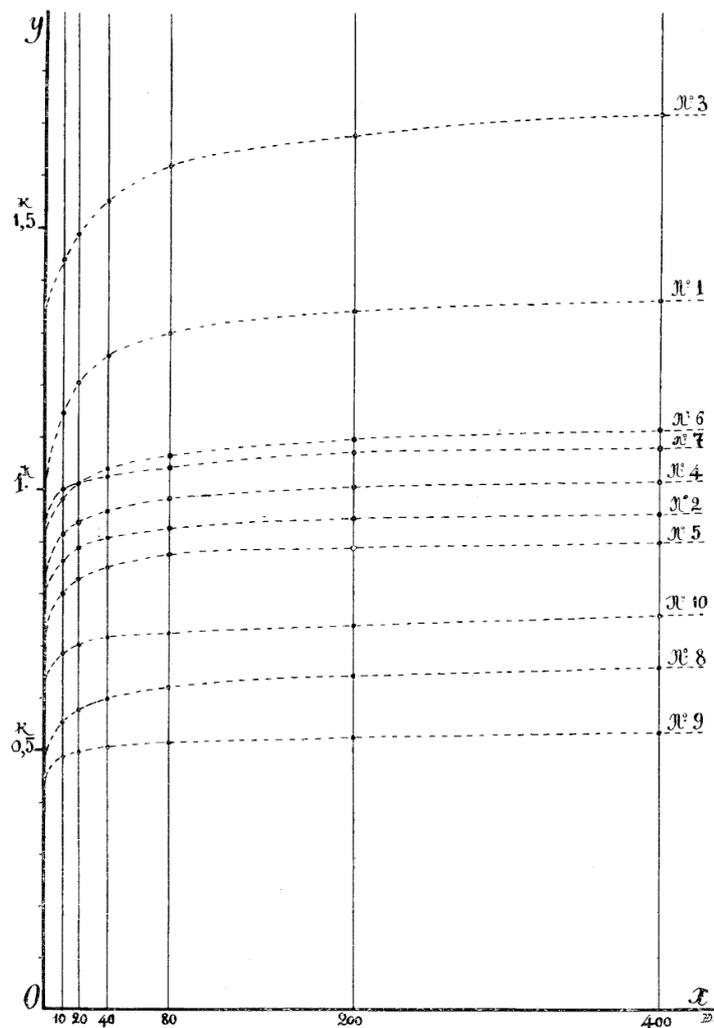


Fig. 5. — Poids successifs (y) d'un décimètre cube d'engrais soumis à un tassement progressivement croissant (x). (Les numéros des courbes correspondent aux numéros d'ordre des engrais d'expérience.)

Ces chiffres nous montrent que si le nitrate se tasse peu, il est loin d'en être

ainsi pour le phosphate et surtout pour le sulfate d'ammoniaque qui, de tous les engrais, est celui qui se tasse le plus.

En somme, grâce à un tassement énergique, nous avons pu augmenter le poids d'un même volume d'engrais dans des proportions sensibles (de 17 à 35 p. 100), que nous indiquons d'ailleurs ci-après, pour chacun des engrais essayés.

Sulfate d'ammoniaque.	35	p. 100
Phosphate.	34	—
Scories	27	—
Chlorure de potassium.	25	—
Kaïnite	23	—
Sulfate de potassium.	21	—
Viande desséchée	20	—
Sang desséché.	19	—
Superphosphate	18	—
Nitrate de soude.	17	—

Cet ordre suivant lequel se classent nos engrais n'a rien qui doive nous surprendre et nous pouvions le prévoir. Si le sulfate d'ammoniaque se tasse davantage que les autres, c'est que chez lui le volume des vides est le plus grand; c'est l'inverse chez le nitrate.

En général, tous les engrais minéraux se tassent d'autant plus que le volume de leurs vides est plus grand; et si l'on fait deux classifications de ces engrais dont l'une soit la précédente et dont l'autre soit basée sur le volume des vides, ces deux classifications seront exactement inverses l'une de l'autre.

CHAPITRE II

INFLUENCE DU TASSEMENT SUR LE VOLUME DES VIDES

Nous avons exposé précédemment (I^{re} partie, chap. v) notre façon de procéder pour déterminer le volume des vides dans le cas où l'engrais n'était pas tassé. Nous allons répéter ce calcul, mais pour le cas où l'engrais a subi un fort tassement, et nous prendrons immédiatement pour poids du décimètre cube le poids obtenu après 400 secousses. Nous obtenons ainsi les résultats suivants :

N ^o d'ordre.	Nature des engrais.	Volume des vides.
1	Phosphate.	48,8 p. 100
2	Superphosphate	52,6 —
3	Scories.	51,7 —
4	Kaïnite.	51,3 —
5	Chlorure de potassium	52,7 —
6	Sulfate de potassium	51,9 —
7	Nitrate de soude.	51,7 —
8	Sulfate d'ammoniaque	62,3 —
9	Viande desséchée.	60,8 —
10	Sang desséché.	41,4 —

D'une façon générale, le volume des vides a diminué avec le tassement, et la diminution, plus ou moins importante suivant la nature de l'engrais, bien qu'elle ait varié du simple au double, n'a pas été considérable dans l'ensemble (6,6 p. 100 pour le nitrate, — 13,3 p. 100 pour le phosphate). Le sulfate d'ammoniaque, qui a cependant subi le plus fort tassement, conserve le volume des vides le plus grand (62 p. 100). Pour les autres engrais minéraux, ce volume devient très voisin de la moitié du volume total.

Ce volume des vides après tassement peut, *a priori*, paraître encore très élevé. Il ne présente cependant rien d'anormal; nous verrons en effet, en étudiant la marche de la pénétration d'un corps dans de l'engrais tassé, qu'un prisme droit à base carrée découpé par une règle qu'on enfonce verticalement dans l'engrais peut encore diminuer notablement de volume, de plus des deux tiers même.

D'autre part, il faut également faire entrer en ligne de compte, pour certains engrais, les espaces vides laissés à l'intérieur des cristaux par le retrait des eaux mères, espaces vides que le tassement ne comble pas. Il serait intéressant de déterminer leur proportion; c'est du domaine de la chimie et nous nous éloignerions du point de vue qui nous occupe.

CHAPITRE III

FROTTEMENT

Nous avons vu, en étudiant le talus naturel (I^{re} partie, chap. vi), que les coffres des semoirs ont généralement un profil géométrique simple (trapèze, rectangle, triangle). L'intérieur de ces coffres peut être formé de matériaux divers : *bois* et surtout bois blanc (généralement du peuplier), *tôle*; on a proposé le *verre*; et la connaissance du frottement de l'engrais sur ces différents matériaux nous permettra de chercher à déterminer l'inclinaison à donner aux parois du coffre pour que l'écoulement de l'engrais se fasse bien et régulièrement.

On pourra aussi chercher à obtenir pour le coffre une capacité maxima, détail important surtout quand il s'agit de répandre de très fortes doses à l'hectare.

a) *Frottement de l'engrais sur lui-même.* — Nous avons mesuré (p. 527) l'angle à la base du cône formé par l'engrais tombant d'une hauteur déterminée sur un plan horizontal. La *tangente* de cet angle nous donnera, par définition, le frottement f de l'engrais sur lui-même.

Si α_1 et α_2 sont les deux angles mesurés, nous obtenons les résultats suivants :

N ^o D'ORDRE.	NATURE DE L'ENGRAIS.	COEFFICIENT DE FROTTEMENT.		
		Tg α_1 .	Tg α_2 .	Moyen $f = \text{tg } \alpha$.
1	Phosphate.	0,854	0,884	0,869
2	Superphosphate	0,963	0,963	0,963
3	Scories	0,781	0,839	0,810
4	Kaïnite.	1,280	1,401	1,341
5	Chlorure de potassium.	1,351	1,401	1,376
6	Sulfate de potassium.	1,110	1,327	1,209
7	Nitrate de soude.	1,171	1,235	1,203
8	Sulfate d'ammoniaque.	1,191	1,280	1,236
9	Viande desséchée	0,916	0,949	0,932
10	Sang desséché.	0,700	0,726	0,713

f varie du simple au double, de 0,713 à 1,376. f est de même ordre dans chaque groupe chimique, plus grand pour les engrais potassiques que pour les engrais azotés, phosphatés et organiques.

b) *Frottement de l'engrais sur différents matériaux.* — Nous nous sommes servis des matériaux les plus ordinairement usités dans la construction des coffres des semoirs : bois et tôle. Nous avons pris également une plaque de verre, parce qu'à plusieurs reprises différents constructeurs ont essayé d'utiliser ce corps; il nous suffira de rappeler, entre autres, le modèle présenté en 1899 au concours général agricole de Paris, et dans lequel la partie inférieure du coffre était formée de deux plaques de verre dont l'une était mobile.

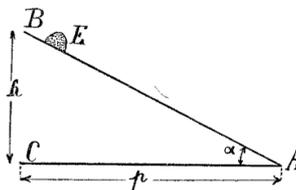


Fig. 6.

Pour obtenir le coefficient de frottement de l'engrais sur ces différents matériaux, nous nous sommes servis d'un plan incliné A B, mobile autour d'une charnière A (fig. 6). L'engrais est placé en E, sur toute la largeur du plan, par petits tas de la grosseur d'une noix. Il suffit de faire tourner A B autour de A; tant que l'inclinaison n'est pas suffisante, l'engrais ne bouge pas. Mais il arrive un moment où l'équilibre n'existe plus, et où, sous l'influence d'une légère secousse en B, une certaine quantité d'engrais se met à glisser et *glisse d'un mouvement uniforme de B en A.*

Si α est l'angle en A à ce moment, on a, par définition :

$$f = \text{tg } \alpha.$$

La mesure des quantités h et p nous donne f , car on a :

$$\frac{h}{p} = \operatorname{tg} \alpha = f.$$

Étudions donc successivement le frottement sur ces différents matériaux :

1° *Bois*. — Prenons notre plan incliné et supposons que nous augmentions peu à peu sa pente; à un moment donné, sous l'influence d'une très légère secousse, l'engrais se déplace à peine d'une quantité très petite. En notant l'angle correspondant, nous nous sommes aperçus que ce premier point de départ était le même pour tous les engrais d'un même groupe chimique. Ce résultat, intéressant en lui-même, n'a pas un intérêt d'ordre général. Aussi le laisserons-nous de côté pour ne nous arrêter qu'au véritable coefficient de frottement, tel que nous l'avons défini.

Examinons d'abord ce qui se passe lorsque l'écoulement de l'engrais se produit *dans le sens des fibres du bois*; nous obtenons les résultats suivants :

N° d'ordre.	Nature de l'engrais.	Coefficients de frottement.		
		Résultats d'expérience.		Moyen.
1	Phosphate.	1,065	1,054	1,060
2	Superphosphate	0,981	0,965	0,960
3	Scories	1,025	1,034	1,039
4	Kaïnite	1,054	1,064	1,059
5	Chlorure de potassium.	1,049	1,045	1,047
6	Sulfate de potassium.	1,010	0,994	1,002
7	Nitrate de soude.	0,986	0,993	0,990
8	Sulfate d'ammoniaque.	0,986	1,008	0,997
9	Viande desséchée	1,017	1,017	1,017
10	Sang desséché.	0,997	0,969	0,973

Lorsqu'au contraire, l'écoulement se produit *dans le sens perpendiculaire à la direction des fibres du bois*, les résultats sont sensiblement différents, comme le montre le tableau ci-après :

N° d'ordre.	Nature de l'engrais.	Coefficients de frottement.		
		Résultats d'expérience.		Moyen.
1	Phosphate.	1,078	1,088	1,083
2	Superphosphate	0,994	0,977	0,986
3	Scories	1,088	1,078	1,083
4	Kaïnite	1,095	1,140	1,127
5	Chlorure de potassium.	1,127	1,105	1,116
6	Sulfate de potassium.	1,040	1,025	1,033
7	Nitrate de soude.	1,054	1,063	1,060
8	Sulfate d'ammoniaque.	1,072	1,036	1,054
9	Viande desséchée	1,017	1,017	1,017
10	Sang desséché.	0,997	0,997	0,997

Le frottement est légèrement supérieur dans ce cas à ce qu'il est dans le cas précédent; c'était d'ailleurs facile à prévoir.

2° *Tôle.* — La tôle qui nous a servi est de la tôle ordinaire bien plane et lisse, et nous a donné une autre série de résultats :

N ^{os} d'ordre.	Nature de l'engrais.	Coefficients de frottement.		
		Résultats d'expérience.		Moyen.
1	Phosphate.	1,032	1,037	1,045
2	Superphosphate	0,960	0,964	0,962
3	Scories	1,001	1,013	1,007
4	Kainite	1,047	1,047	1,047
5	Chlorure de potassium	1,040	1,044	1,042
6	Sulfate de potassium	0,997	0,994	0,996
7	Nitrate de soude	0,997	0,997	0,997
8	Sulfate d'ammoniaque	0,999	1,019	1,009
9	Viande desséchée	0,985	0,968	0,976
10	Sang desséché.	0,977	0,960	0,968

3° *Verre.* — Une plaque de verre poli nous a donné les résultats suivants :

N ^{os} d'ordre.	Nature de l'engrais.	Coefficients de frottement.		
		Résultats d'expérience.		Moyen.
1	Phosphate.	1,035	1,046	1,050
2	Superphosphate	1,114	1,120	1,117
3	Scories	0,992	0,983	0,988
4	Kainite	1,272	1,257	1,254
5	Chlorure de potassium	1,330	1,316	1,293
6	Sulfate de potassium	1,171	1,164	1,163
7	Nitrate de soude	1,359	1,352	1,301
8	Sulfate d'ammoniaque	1,487	1,475	1,466
9	Viande desséchée	1,079	1,072	1,075
10	Sang desséché.	0,986	0,977	0,982

N ^{os} D'ORDRE.	NATURE DE L'ENGRAIS.	COEFFICIENTS MOYENS DE FROTTEMENT.			
		TÔLE.	BOIS.		VERRE.
			Sens des fibres.	Sens perpendiculaire.	
1	Phosphate.	1,045	1,060	1,083	1,050
2	Superphosphate	0,962	0,969	0,986	1,117
3	Scories	1,007	1,039	1,083	0,988
4	Kainite	1,047	1,059	1,121	1,262
5	Chlorure de potassium	1,042	1,047	1,116	1,313
6	Sulfate de potassium	0,996	1,002	1,033	1,166
7	Nitrate de soude	0,977	0,990	1,060	1,337
8	Sulfate d'ammoniaque	1,009	0,997	1,054	1,476
9	Viande desséchée	0,976	1,017	1,017	1,075
10	Sang desséché.	0,968	0,973	0,997	0,982

Le frottement sur le verre est assez élevé; presque tous les coefficients sont nettement supérieurs à l'unité. Pour la kaïnite, le chlorure de potassium, le nitrate, la grosseur des grains a une certaine influence : ce sont ceux chez lesquels nous avons trouvé les plus fortes variations. L'hygroscopicité semble également devoir exercer de l'influence.

En réunissant en un seul tableau tous les coefficients de frottement, on voit que, même pour le verre cependant peu employé en pratique, les coefficients de frottement des différents engrais sur les matériaux envisagés, sont peu différents les uns des autres et tous voisins de l'unité. Cependant, en examinant de près les chiffres du précédent tableau, on voit que les différents matériaux employés n'offrent pas la même résistance à l'écoulement de l'engrais, et, qu'à ce point de vue, ils peuvent se classer dans l'ordre suivant, en partant du corps offrant la plus faible résistance :

Tôle.	{	
Bois.	{	Sens des fibres.
	{	Sens perpendiculaire aux fibres.
Verre.	{	

En somme, une inclinaison voisine de 45 degrés pour chacun des côtés non parallèles du coffre est nécessaire, et l'inclinaison minima réelle varie avec chacun des matériaux employés.

Dans la pratique, les différentes valeurs que nous avons trouvées pour $tg\alpha$ doivent être affectées d'un coefficient de diminution. Il est bien évident, en effet, que les secousses interviennent en facilitant l'écoulement de l'engrais; au moment du départ surtout, lorsque la pente est presque assez grande pour vaincre la résistance due à l'adhérence de l'engrais, il suffit d'une secousse un peu forte pour rompre l'équilibre. D'ailleurs l'écoulement une fois commencé se continue généralement de lui-même.

CHAPITRE IV

INFLUENCE DU MÉCANISME

Il arrive souvent, sinon au début, du moins au bout de quelque temps d'usage, que dans les semoirs à engrais dont le distributeur est placé en dessous du coffre, ou sur le côté, l'engrais se prenne en masse, se mette en boule, sous l'influence seule du tassement, ou sous l'influence combinée de son hygroscopicité et du tassement. Pour remédier à cet inconvénient, les constructeurs ont placé dans l'intérieur du coffre, un ou plusieurs agitateurs, formés généralement d'un arbre garni de palettes en fer de forme quelconque. Nous allons essayer de déterminer le mode d'action de ces agitateurs, leur influence sur l'engrais.

a) Lorsque l'agitateur reçoit un mouvement de rotation continu, il joue bientôt le rôle d'un véritable malaxeur; l'engrais se prend peu à peu après ses dents, la matière devient très dure, se transforme en véritable mortier. Il serait très intéressant de connaître l'augmentation progressive de la quantité d'énergie absorbée par l'agitateur tout seul; elle doit dans tous les cas être très rapide.

Une expérience dynamométrique directe permettrait d'ailleurs très facilement de s'en rendre compte.

b) Les agitateurs à mouvement alternatif évitent en majeure partie l'inconvénient des précédents et semblent bien fonctionner, surtout si leur course est relativement courte; il faut éviter, en effet, de serrer l'engrais contre les parois du coffre, si l'on ne veut pas que l'agitateur, formant piston, vienne les défoncer.

Pour nous rendre compte de leur fonctionnement et voir leur action sur l'engrais, nous avons opéré comme suit :

Une règle verticale r , graduée, à section carrée d'un centimètre de côté, est surmontée d'un plateau horizontal P (fig. 7), fixé à une corde aa' passant sur la gorge d'une poulie A ; aa' porte à l'extrémité a' un petit plateau qui a été taré à l'avance de façon que tout le système soit en équilibre indifférent. En mettant sur P des poids successivement croissants p, p', p'', p, \dots

le plateau P s'enfonce, dans un récipient R contenant de l'engrais, de quantités l, l', l'', l''', \dots

Les expériences faites avec les engrais non tassés nous ont donné des résultats différents de ceux obtenus avec des engrais tassés. Cela était d'ailleurs facile à prévoir, car le tassement, qu'il soit obtenu par secousses ou par pénétration, a toujours pour effet de combler les espaces vides entre les particules composant l'engrais.

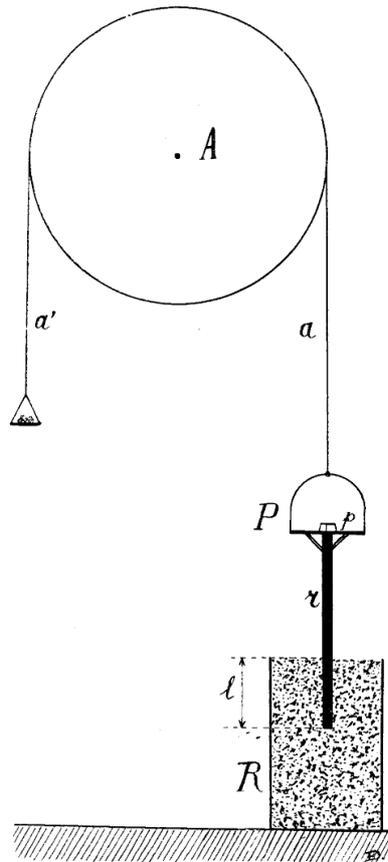


Fig. 7. — Appareil de pénétration dans un engrais.

1° *Engrais non tassé*. — Les déterminations ont été faites avec un récipient cylindrique de 0^m,40 de diamètre, de 0^m,23 de profondeur, rempli de la même façon que si nous avions voulu prendre la densité apparente de l'engrais.

Le tableau suivant nous donne, en millimètres, les profondeurs de pénétration obtenues avec des poids successifs de 50, 100, 200, 300, 400, 500 grammes.

N ^o D'ORDRE.	NATURE DE L'ENGRAIS.	PROFONDEURS DE PÉNÉTRATION (EN MILLIMÈTRES) POUR DES POIDS DE :					
		50 grammes.	100 grammes.	200 grammes.	300 grammes.	400 grammes.	500 grammes.
1	Phosphate.	30	50	107	157	»	»
2	Superphosphate	15	41	96	152	171	180
3	Scories	20	49	115	169	»	»
4	Kaïnite	10	34	148	175	»	»
5	Chlorure de potassium.	17	49	126	185	192	200
6	Sulfate de potassium.	6	46	130	187	»	»
7	Nitrate de soude.	5	20	50	88	118	140
8	Sulfate d'ammoniaque	26	115	157	195	»	»
9	Viande desséchée.	17	58	154	190	194	196
10	Sang desséché.	4	20	70	88	»	»

Proposons-nous de chercher une interprétation graphique des résultats obtenus.

Portons sur l'axe des *x* les poids successifs dont nous nous sommes servis, et sur l'axe des *y* les profondeurs de pénétration correspondantes; joignons ensuite par une courbe les points relatifs à chaque engrais.

Toutes les courbes obtenues (fig. 8) sont très sensiblement des *droites*, c'est-à-dire que la profondeur de pénétration augmente d'abord régulièrement, proportionnellement aux poids mis sur le plateau P. En s'enfonçant peu à peu, la règle *r* découpe dans la masse de l'engrais un prisme dont la hauteur et, par suite, le volume vont constamment en diminuant; et cela dure jusqu'au moment où le volume des vides de ce prisme d'engrais est réduit, non pas peut-être à 0, mais tout au moins à un chiffre très petit. Ce moment est atteint plus ou moins vite suivant les engrais, comme le montrent bien les déterminations complémentaires que nous avons faites pour quelques engrais (superphosphate, chlorure de potassium, nitrate de soude, viande desséchée); et, à partir de ce moment, la profondeur de pénétration n'augmente plus que de quantités très faibles quand les poids mis sur P augmentent. La courbe représentative du phénomène prend alors une allure parabolique, avec l'axe des *x* pour direction asymptotique.

2° *Engrais tassé*. — Les déterminations ont été faites avec le récipient cylindrique de 1 décimètre cube de capacité qui nous a servi à obtenir les densités

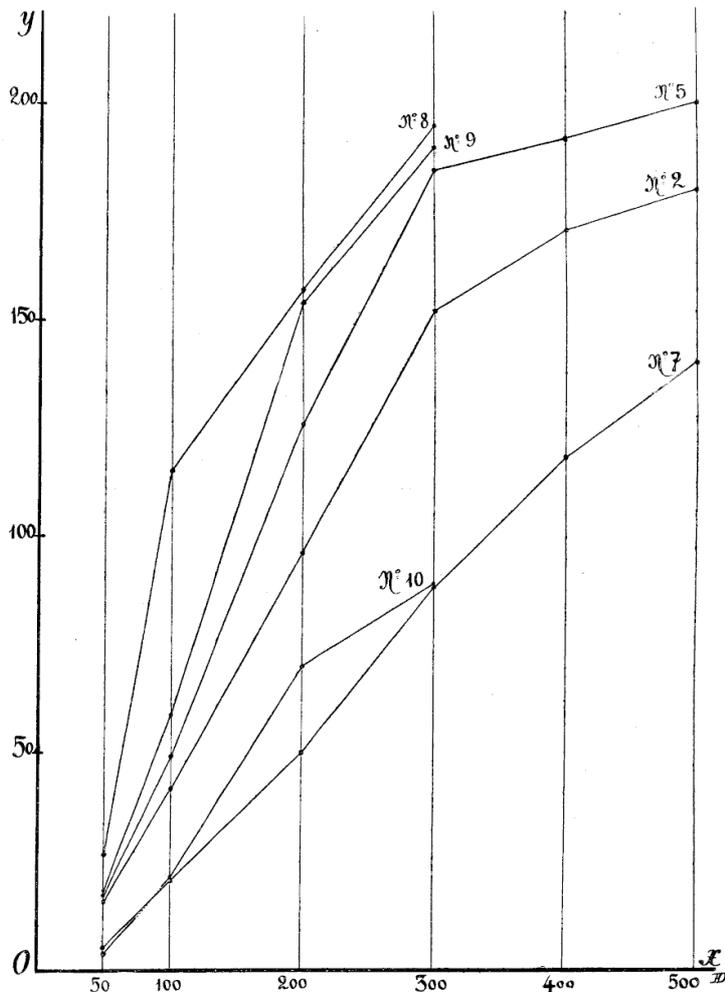


Fig. 8. — Profondeurs de pénétration (y) en millimètres, correspondant à des poids successivement croissants (x) en grammes, — dans des engrais non tassés. (Les numéros des courbes correspondent aux n° des engrais d'expérience.)

apparentes. Les résultats ont été obtenus avec la série de poids suivante : 0^{kil}, 500-1-2-5-7 kilogrammes, sur de l'engrais tassé par 400 secousses de l'appareil décrit au chapitre 1 de cette II^e partie.

Les résultats des expériences se trouvent indiqués dans le tableau suivant :

N ^{OS} D'ORDRE.	NATURE DE L'ENGRAIS.	PROFONDEURS DE PÉNÉTRATION (EN MILLIMÈTRES) POUR DES POIDS DE :				
		0 ^g ,500.	1 kil.	2 kil.	5 kil.	7 kil.
1	Phosphate	5	41	23	50	60
2	Superphosphate.	16	35	65	90	93
3	Scories.	4	10	18	33	40
4	Kainite.	15	30	48	70	78
5	Chlorure de potassium	16	31	52	71	79
6	Sulfate de potassium	35	55	75	90	93
7	Nitrate de soude.	16	23	38	65	71
8	Sulfate d'ammoniaque.	44	61	80	90	93
9	Viande desséchée.	20	52	75	90	93
10	Sang desséché	2	20	30	48	56

Interprétons encore graphiquement les résultats et construisons la courbe correspondant à chaque engrais, en prenant les mêmes axes de coordonnées que dans le cas précédent.

Les courbes obtenues (fig. 9) ont toutes, dès le début, une allure franchement parabolique. Le prisme droit à base carrée découpé par la règle r se comprime moins facilement ici, et cela se conçoit aisément par ce fait que l'engrais a déjà subi un tassement relativement considérable. Comme pour l'engrais non tassé, la compression limite est plus ou moins rapidement atteinte suivant la nature de l'engrais.

Examinons maintenant les profondeurs de pénétration obtenues en mettant un même poids p sur le plateau P, respectivement dans un engrais tassé et dans un engrais non tassé. Les déterminations complètes faites sur quelques-uns de nos engrais nous permettent de donner le tableau suivant :

N ^{OS} d'ordre.	Nature de l'engrais.	Profondeurs de pénétration obtenues (en millimètres).	
		Engrais non tassé.	Engrais tassé.
1 ^o Poids de 0 ^{kg} ,200			
2	Superphosphate.	96	5
5	Chlorure de potassium.	126	8
7	Nitrate de soude.	50	7
2 ^o Poids de 0 ^{kg} ,500			
2	Superphosphate	180	16
7	Nitrate de soude.	140	18

Ainsi, les profondeurs de pénétration deviennent de plus en plus petites au fur et à mesure que le tassement augmente, et, à partir d'une certaine limite, la variation devient insignifiante, presque nulle.

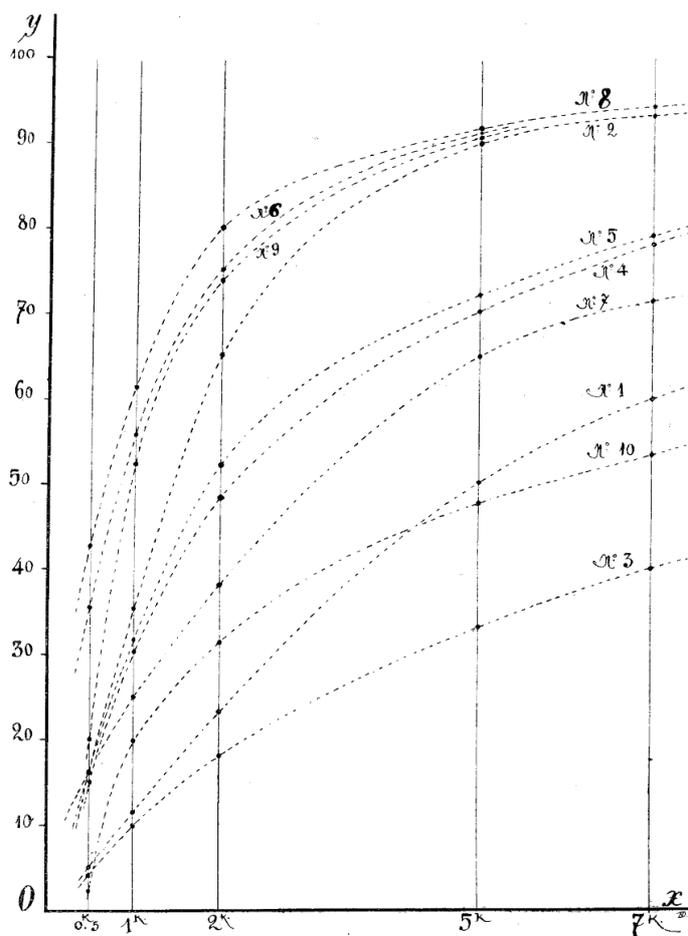


Fig. 9. — Profondeurs de pénétration (y) en millimètres, correspondant à des poids graduellement croissant (x) en kilogrammes, et obtenues dans des engrais fortement tassés.

Ce qui précède va nous permettre de voir ce qui se passe dans un semoir muni d'un agitateur à mouvement alternatif.

La course de l'agitateur restant la même, chaque dent, en se déplaçant, augmente le tassement naturel de l'engrais, et assez rapidement on arrive à la limite de compression que nous venons de signaler à l'instant, surtout si le semoir débite peu. Pour peu que l'engrais soit humide, ce qui est malheureusement le cas le plus général, la distribution ne se fait plus uniformément, l'engrais ne recouvre plus le sol d'une façon continue, mais par petites masses irrégulièrement distantes.

Si nous examinons maintenant ce qui se passe dans les distributeurs du système *hérisson*, on voit immédiatement qu'on doit obtenir un meilleur épandage, que ce soit la caisse qui monte ou le hérisson qui descende. On peut toutefois leur faire un reproche : en effet, au fur et à mesure que se fait la distribution, le tassement de l'engrais augmente et la quantité d'engrais distribuée par chaque dent du hérisson augmente également.

Mais nous avons vu que, si le tassement est rapide au début, l'augmentation devient bientôt peu sensible; comme le seul fait de verser l'engrais dans le coffre sans aucune précaution tasse déjà pas mal l'engrais, les variations de la répartition de l'engrais ne doivent donc pas être par trop sensibles.

CHAPITRE V

INFLUENCE DE LA SECTION DES ORIFICES

Dans certains cas, lorsque le distributeur est en dessous du coffre ou sur le côté, l'écoulement de l'engrais peut se produire par un ou plusieurs orifices, dont la section, quelquefois invariable, peut être le plus souvent réglée par une vanne plus ou moins fermée. Il est intéressant de connaître l'ouverture minima à donner pour obtenir, dans chaque cas, une distribution aussi régulière que possible.

Nous avons mis l'engrais dans des tubes cylindriques en verre de 30 centimètres de hauteur et de diamètres graduellement croissants, fermés à leur partie inférieure par un bouchon; nous avons provoqué ensuite un tassement énergique en plaçant les tubes sur l'appareil décrit au chapitre 1. Puis, les tubes placés verticalement, nous avons enlevé très délicatement le bouchon et noté le diamètre du tube duquel s'écoulait l'engrais.

Nous avons opéré avec des tubes dont les diamètres intérieurs étaient de 10-16-20-26-30-36-41-43-46-48-50-55-60 millimètres.

Chaque engrais, dans les conditions de l'expérience, a pour ainsi dire son

diamètre spécifique, c'est-à-dire que l'écoulement s'est naturellement produit par des tubes de diamètre différent pour chacun d'eux, et que voici :

N ^{os} d'ordre.	Nature de l'engrais.	Diamètre du tube où s'est produit l'écoulement.
1	Phosphate.	48 millimètres.
2	Superphosphate	46 —
3	Scories	46 —
4	Kaïnite	43 —
5	Chlorure de potassium.	50 —
6	Sulfate de potassium.	55 —
7	Nitrate de soude.	30 —
8	Sulfate d'ammoniaque	55 —
9	Viande desséchée	20 —
10	Sang desséché.	16 —

Ces chiffres nous montrent de suite que, si l'on veut pouvoir utiliser le même appareil pour tous les engrais, la section des orifices de distribution doit pouvoir se régler à volonté, d'où l'utilité des vannes de réglage.

Dans certains appareils particuliers, d'emploi relativement récent, on a réalisé la distribution de l'engrais en lignes ou en bandes. Ces appareils servent surtout pour la culture de la betterave; on les a essayés pour la culture de la pomme de terre. Le coffre comprend deux agitateurs : le supérieur est garni de broches, l'inférieur est garni de palettes qui projettent l'engrais dans un tuyau de descente. — Pour une fumure formée par exemple de superphosphate et sulfate d'ammoniaque, les résultats obtenus nous montrent que, dans ce cas, le tuyau de descente devra avoir un orifice dont la section sera voisine de 55 millimètres. Pour une fumure différente, la section de l'orifice pourra varier; elle devra toujours être au *moins égale au diamètre spécifique* le plus fort.

Il reste maintenant à appliquer les résultats que nous avons obtenus à l'étude de la valeur comparative des principaux systèmes de distributeurs d'engrais pulvérulents employés en pratique, à l'étude de la qualité du travail effectué par chacun de ces distributeurs dans les différentes conditions de fonctionnement (régularité de distribution et uniformité de répartition, — influence du débit, de la nature de l'engrais, — quantité d'énergie absorbée par le fonctionnement du distributeur, etc...).

Ces expériences seront faites cette fois, dans les champs, sur des appareils fonctionnant dans les conditions normales de la pratique.

ARTS MÉCANIQUES

EXPÉRIENCES SUR LE TRAVAIL DES MACHINES-OUTILS

Par **M. Codron**, *lauréat de la Société d'Encouragement* (Suite) (1).

Copeaux de forage.

Le copeau débité par un outil peut caractériser, par sa constitution, la coupe de l'outil et la texture du métal mis en œuvre. L'artisan ne s'y trompe pas : son attention première est toujours portée vers le copeau dès que l'outil entame la pièce.

La conformation d'un copeau n'est pas simple. Celle des copeaux des forets est l'une des plus complexes ; elle varie avec la nature du métal, avec l'épaisseur enlevée, avec les multiples aléas de l'opération.

Copeaux de foret à pointe dans du plomb.

Considérons la coupe d'un foret à pointe ordinaire dans du plomb, métal mou en même temps que très ductile et peu tenace. Au début de l'opération, en supposant d'abord que l'avance $AD = a$ (fig. 1008) soit donnée sans rotation du foret, celui-ci pénètre comme une tranche dont les faces de côté sont obliques à la ligne tranchante AA' formée par les biseaux qui font entre eux un angle Φ' inférieur à celui Φ des deux tranchants. En outre, chaque face de côté et chaque biseau correspondant au tranchant de la face adjacente constituent également une tranche dont la face de côté fait un angle nul ou de faible valeur avec la direction de la pénétration.

Les trois tranchants AA' , AB , $A'B'$, et les quatre faces du foret déterminent une empreinte $CEC'E'A'A$ en forme de V limitée par deux plans obliques passant par AA' et par deux plans CAE , $C'A'E'$ verticaux ou peu inclinés. Si l'on fait tourner le foret d'un certain angle plus petit que 90° par exemple, l'arête AA' dégagera la base d'un cylindre de diamètre égal à AA' (fig. 1009). Chaque partie AC et $A'C'$ des arêtes AB et $A'B'$ dégagera la matière qui correspond aux triangles ACD $A'C'D'$, complétant ainsi le tronçon de cône enlevé pendant une demi-rotation du foret.

Les points des arêtes arrière étant en dépouille ne restent pas en contact avec la pièce.

Comme les divers points de chaque moitié de l'arête AA' ne peuvent couper le métal, à cause de l'angle de coupe trop grand $\left(\frac{\Phi'}{2} + 90^\circ = \text{environ } 140^\circ\right)$, le plomb du petit cylindre est refoulé dans la masse ou entraîné avec les parties enlevées par les triangles CAD , $C'A'D'$. Et l'entraînement se produit en effet,

(1) 2^e fascicule; *Bulletin* de janvier, 1903.

puisque les épaisseurs de métal enlevées par les arêtes AC et A'C' correspondraient aux hachures normales aux tranchants, lesquelles s'enchevêtrent entre elles et avec celles du cylindre AA', comme le montre mieux la fig. 1010 à plus grande échelle sur laquelle est représenté le tronc de cône $C_1A_1A'_1C'_1$ engendré par AA', AC et A'C'. Les hachures indiquent qu'il ne resterait à refouler que le cône $A_1IA'_1$.

Un tel cône se produit lorsqu'un métal assez dur, non fragile, tel que du laiton, oppose une grande résistance au refoulement ou au grattage de l'arête AA'; celle-ci est alors obligée de s'excentrer et de tourner autour du cône formé, ce

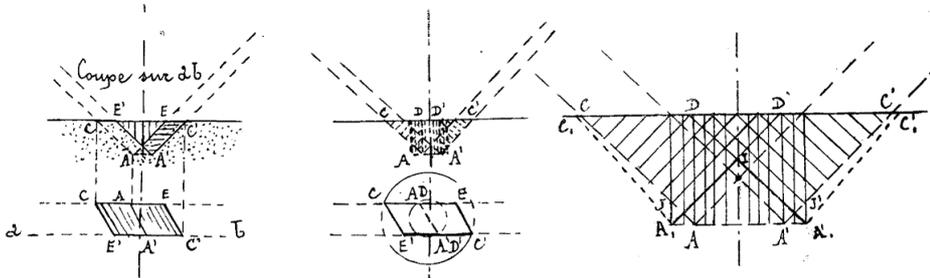


Fig. 1008 à 1010.

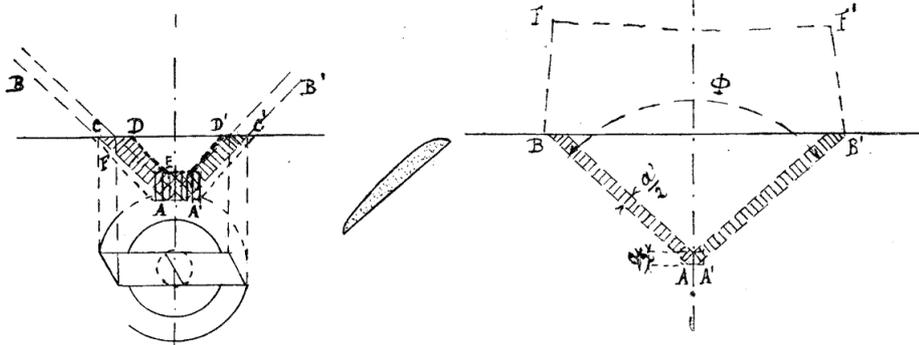


Fig. 1011 à 1013.

qui est une cause de rupture de la pointe du foret. Ce cône s'accuse particulièrement au début du perçage, alors que le foret, moins bien guidé, se déplace latéralement. Le métal refoulé du cylindre AA' et la coupe défectueuse de la pointe du foret exigent des pressions longitudinales assez élevées par rapport à celles que nécessitent les autres parties de l'outil.

Après une rotation de 180°, une nouvelle avance étant produite, en supposant encore que le foret ne tourne pas, le métal à enlever par chaque ligne tranchante serait celui qui correspond à très peu près aux hachures (fig. 1011); le tronc de

cône réel ne diffère guère de ce volume indiqué. On retrouve de nouveau le cylindre de diamètre AA' enchevêtré dans les épaisseurs enlevées par les tranchants AC et A'C'. Mais, ici, chaque copeau comprend une partie d'épaisseur constante entre les points D et E. La tranche extérieure de chaque copeau correspond à la ligne de surface extérieure CD avec réduction d'épaisseur selon les ordonnées du triangle CDF; il s'ensuit que la section du copeau affecte un arrondi (fig. 1012). Du côté de la tranche intérieure, soit celle vers le point A, le métal étant moins libre qu'en C, la coupe est plus complexe; le copeau est arraché, la tranche présente des irrégularités aux points qui correspondent à une couche de métal d'épaisseur constante; le copeau a des épaisseurs variables qui croissent de A vers B, à cause du débit plus grand vers B que vers A, débit proportionnel à la hauteur des ordonnées indiquées par les hachures et à la vitesse de chaque point de coupe, c'est-à-dire à la distance de chaque point du tranchant à l'axe de rotation. La partie qui correspond à une couche d'épaisseur constante devrait, par suite, accuser une section trapézoïdale. Si nous considérons (fig. 1013) la position du foret pour laquelle les arêtes AB, A'B' attaquent sur toute leur longueur, les copeaux auront alors leur largeur maximum.

Nous pouvons maintenant concevoir la formation, dès l'origine, d'un copeau sous avance constante a par tour du foret, soit un copeau d'épaisseur :

$$\frac{a'}{2} = \frac{a \sin \frac{\Phi}{2}}{2}$$

puisqu'il y a deux tranchants et que chacun d'eux enlève pendant un tour complet une tranche de même épaisseur $\frac{a'}{2}$.

Chaque copeau se développe en s'appliquant contre la face avant du foret; les divers éléments se dirigent à l'origine dans la direction normale à l'arête tranchante (fig. 1014-1015); puis ils s'infléchissent vers l'axe, par suite du débit plus grand vers B que vers A.

Lorsque la longueur débitée est suffisante, l'extrémité vient toucher la face supérieure de la pièce, ce qui détermine une flexion, un enroulement (fig. 1016-1017), une forme plus ou moins tirebouchonnée.

Le débit se poursuivant sans interruption sous largeur croissante, et la partie extrême s'étant relevée, le copeau vient toucher le bord du trou par sa tranche intérieure (fig. 1017); il prend de nouveau appui, et un enroulement de plus grande courbure se produit. Le copeau se relève jusqu'à ce qu'un débit supplémentaire détermine un nouvel appui suivi d'un autre enroulement, et ainsi de suite. La fig. 1016 montre d'un côté, à droite, que le copeau vient de toucher le bord du trou : il est sur le point de se rouler; tandis qu'à gauche, l'enroulement vient de s'achever.

La fig. 1018 est relative à un copeau qui s'étend sur toute la largeur du tranchant; la partie supérieure s'étant assez redressée, une nappe a pu se former librement. Nous avons arrêté l'opération au moment où le copeau allait de nouveau prendre appui.

Le foret étant complètement engagé, le copeau se débite sous régime à peu près uniforme si les deux tranchants sont bien symétriques, si le foret tourne régulièrement.

Mais, comme le copeau ne peut se développer à l'aise, il ne tarde pas à se

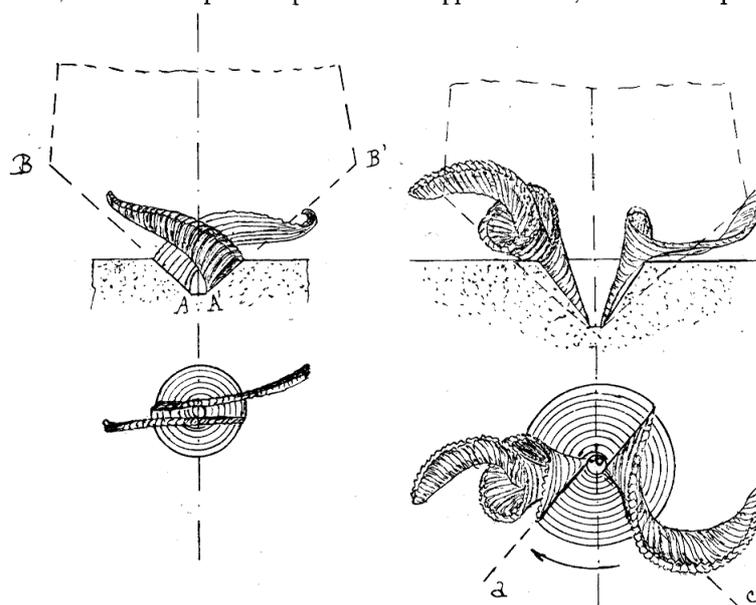


Fig. 1014 à 1017. — Copeaux de plomb.

rouler, s'affaisser, se coller, se souder aux parois du trou. Il se forme des bavures prononcées (1019, 1020, 1021); puis le trou se bourre, l'opération ne peut se poursuivre d'une façon normale; il faut la suspendre pour prévenir la rupture de l'outil.

Notons que la face avant d'un copeau présente des petites ondulations, des plissements multiples plus ou moins accentués selon que le foret enlève des épaisseurs plus ou moins fortes; les directions des faites et des thalwegs sont rectilignes ou courbes. La face arrière, soit celle qui glisse sur le foret, est lisse, est polie par le frottement produit par la pression de coupe et le déplacement du copeau. Sur les deux faces s'accusent des lignes concentriques, circulaires ou en hélice qui marquent les traces des défauts du tranchant; de même, la

surface du fond du trou présente des lignes circulaires et d'autres, qui rayonnent (fig. 1022-1024).

Lorsque les points extrêmes BB' sont engagés, ils laissent deux saillies hélicoïdales dont les faces sont engendrées par les lignes AB et BF (fig. 1025).

Supposons d'abord qu'il n'y ait qu'une seule ligne tranchante ABF . Après un tour complet, le foret est venu en $A_1B_1F_1$; l'avance serait $BB_1 = a$; l'épaisseur enlevée normalement par AB , à partir de B vers A , serait $B_1E_1 = a'$; les épaisseurs enlevées par BF correspondraient aux hachures du triangle $B_1I_1E_1$; il resterait une saillie hélicoïdale de section $BB'I_1$. Mais l'outil comprenant deux lignes tranchantes ABF et $A_1B_1F_1$ symétriques, lorsque la rotation est de 180° , la ligne brisée $A'B'F'$ est venue

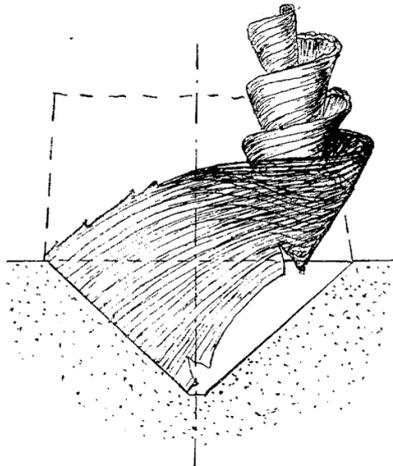
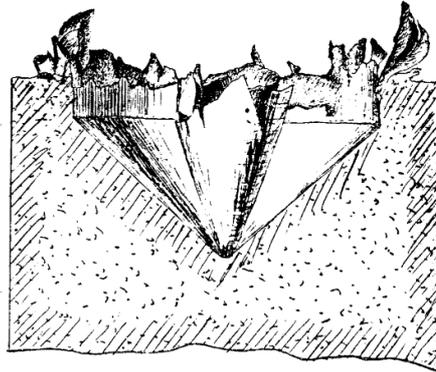


Fig. 1018. — Copeaux de plomb.

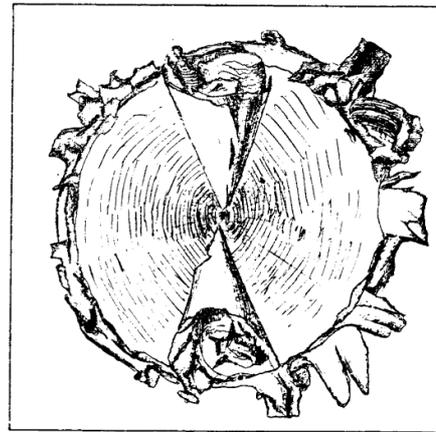


Fig. 1019 et 1020.

(fig. 1026) en $A'_1B'_1F'_1$; on voit que les tranchants $A'_1B'_1$ et $B'F'$ ont enlevé une moitié de l'épaisseur a' , laissant à enlever par AB et par BF , l'autre moitié $\frac{a'}{2}$. La saillie BB_1F_1 est devenue BIB'_1 et $B'_1I'B_1$; le triangle $B_1I'E'$ correspond à la partie enlevée par le tranchant BF .

Pour prévenir les saillies telles que BIB'_1 , il faut ménager au foret des tran-

chants latéraux BF, B'F' parallèles à l'axe de rotation sur une hauteur un peu supérieure à $\frac{a}{2}$.

D'ailleurs les avances sont très petites, rarement supérieures à 0,5 de milli-

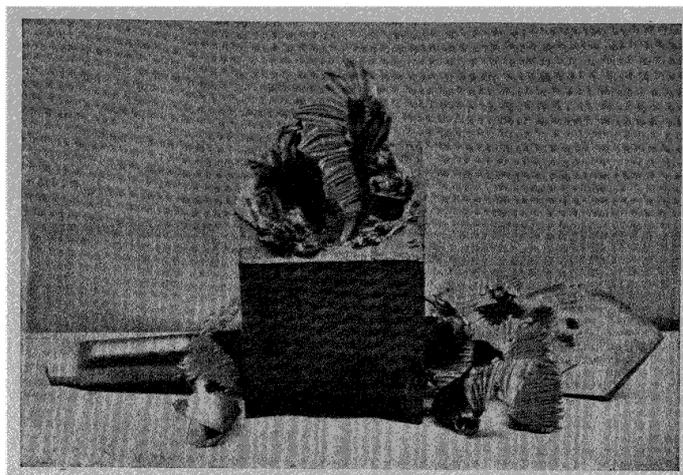


Fig. 1021.

mètre; le sommet B est arrondi, de sorte que les saillies sont nulles ou très petites. Néanmoins, nous nous sommes arrêtés à ces considérations parce qu'elles permettent de se rendre compte de la formation des dentelures plus ou moins régulières que présente le bord extérieur de certains copeaux.

Avec du plomb, lorsque l'outil réalise toutes les conditions de symétrie et

de bon fonctionnement toujours très difficiles à obtenir, les copeaux sont pour ainsi dire identiques et affectent une surface avant dont les plissements sont faibles, tandis que si le foret donne lieu à une opération irrégulière, les copeaux peuvent être très différents et les surfaces sont très accidentées.

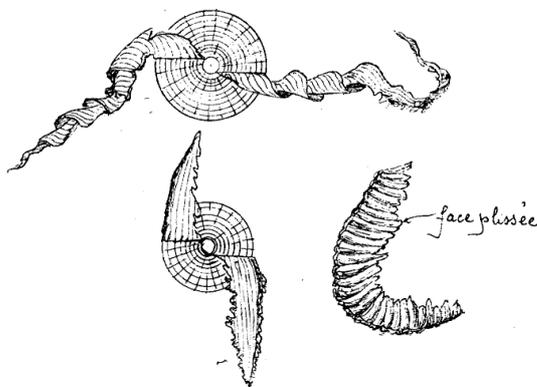


Fig. 1022 à 1024.

La formation des protubérances s'explique par le mode d'action de l'outil. Chaque face avant du foret (fig. 1027) à grande échelle pousse le métal, le refoule, le relève de la position horizontale à la position verticale, en le coupant et l'arrachant en chaque point de l'arête tranchante AB.

L'angle α étant plus grand que 90° ou voisin, il y a plutôt arrachement que coupe.

Le refoulement sous effort, qui croît, forme un premier renflement en avant, qui s'étend plus ou moins selon l'épaisseur enlevée; lorsque l'effort de refoulement dépasse la résistance de glissement dans la zone d'activité de l'outil, il se produit un débit plus rapide du copeau avec chute d'effort; pendant cette

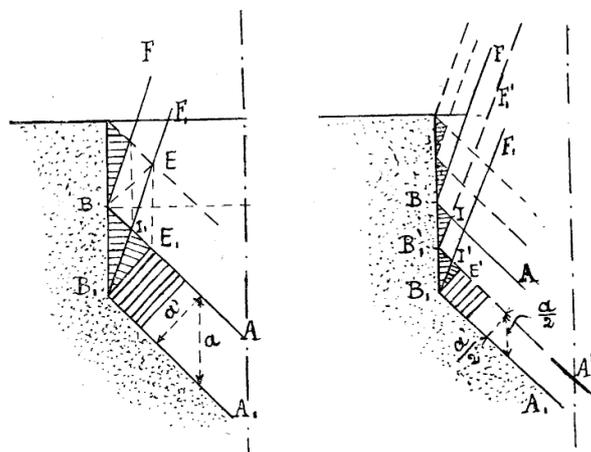


Fig. 1025 à 1026.

période, le refoulement prend une moindre importance. La partie davantage glissée correspond donc à la moindre épaisseur (fig. 1026-1031). Ensuite un nouveau refoulement plus accusé a lieu, suivi d'un autre glissement relatif, et le copeau, grâce à la plasticité du plomb, se développe en s'appliquant et frottant sur la face avant de l'outil.

Les efforts qui se développent sur chaque face avant de l'outil varient périodiquement (fig. 1032). Avec le plomb, les différences entre les maxima et les minima ne sont pas élevées.

Le refoulement général est très grand parce que le métal est très mou en même temps que très ductile et assez résistant à la coupe; l'outil ayant un angle de coupe voisin de 90° , ce refoulement, mesuré par le rapport $\frac{l-l'}{l}$ (l longueur de coupe ou chemin parcouru par l'outil, l' longueur du copeau), est de 50 p. 100

pour les épaisseurs de copeau voisines de 1 millimètre, de 75 p. 100 pour une épaisseur enlevée de 0,5 de millimètre; de 85 p. 100 pour 0,1 de milli-

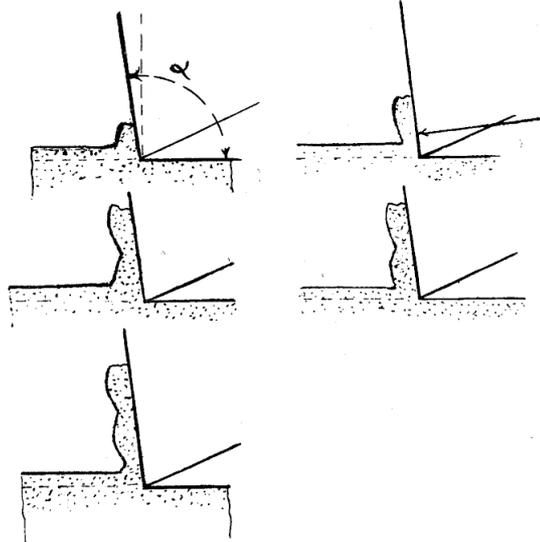


Fig. 1027 à 1031.

mètre. Nous verrons, à la coupe, des outils de rabotage dont le mode d'action est beaucoup plus simple que celui du foret à pointe, que la longueur l' d'un copeau de plomb de très mince épaisseur est inférieure au dixième de la longueur primitive l . Comme dans un foret la vitesse en chaque point du tranchant AB est proportionnelle à sa distance à l'axe de rotation, le débit du

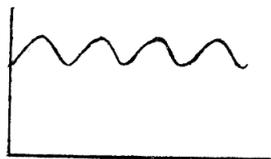


Fig. 1032. — Variation des efforts.

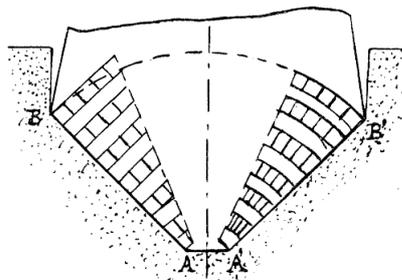


Fig. 1033.

copeau est beaucoup plus grand vers B que vers A (fig. 1033); le refoulement atteint plus vite en B sa valeur maximum qui précède le glissement, de sorte que si nous supposons le copeau décomposé en tranches distinctes, chaque tranche comprise entre A et B comporterait un nombre de plissements proportionnel à

sa longueur. Mais, la liaison entre chaque élément adjacent étant intime, la tranche vers B tend à faire glisser plus tôt la tranche voisine, tandis que celle-ci retarde le glissement de la première.

Il en est de même entre chaque tranche fictive adjacente, à mesure que l'on se rapproche de l'axe du trou. Les efforts se répartissent entre toutes les tranches fictives de manière à déterminer périodiquement sur toute la largeur du copeau un refoulement suivi d'un glissement, et la nappe se débite sur toute la longueur du tranchant à des vitesses différentes.

C'est pourquoi les copeaux, en général, présentent des plissements réguliers évidemment plus serrés vers le plus petit rayon de courbure que vers le plus grand. En outre, le refoulement étant ainsi moins prononcé vers le centre que

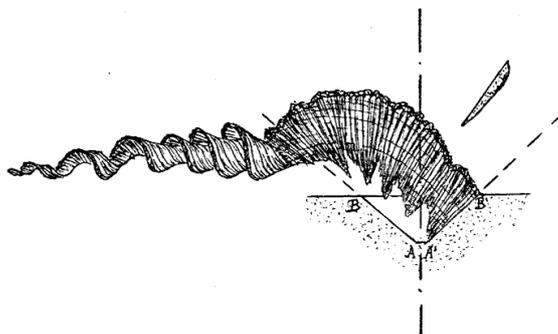


Fig. 1034.

vers le pourtour, le copeau a une moindre épaisseur réelle vers le centre que vers le pourtour.

Si le copeau se dégage librement, il prend la courbure qui résulte du débit général, soit celle en éventail.

Selon l'épaisseur, la nature du métal, la coupe de l'outil, cette courbure simple ou double est très variable (fig. 1034). Dans le cas de dégagement libre et courbe, l'épaisseur réelle entre les points A et B est toujours plus forte que l'épaisseur théorique ou normale $\frac{a'}{2}$.

Au delà de B, lorsque la tête du foret est complètement engagée, le métal est davantage relié à la masse que lorsque l'outil amorce le trou. Dans ce dernier cas, la tranche extérieure est plissée librement, tandis que dans le premier cas des arrachements ont lieu; ils sont accusés par des bavures, et les plissures s'infléchissent davantage.

Quant à la tranche intérieure du copeau, elle affecte des aspects très variés, très influencés par le mode d'action de l'arête extrême AA'.

Nous ne nous attarderons pas à examiner de plus près la formation des copeaux; cela sera plus simple quand nous traiterons des outils de rabotage. Nous signalerons seulement ici les formes générales plus ou moins bizarres que donnent les principaux forets.

Avec le plomb, lorsque l'avance n'est pas trop forte, on obtient des copeaux de début qui se tirebouchonnent bien, et l'on constate des variations du pas des

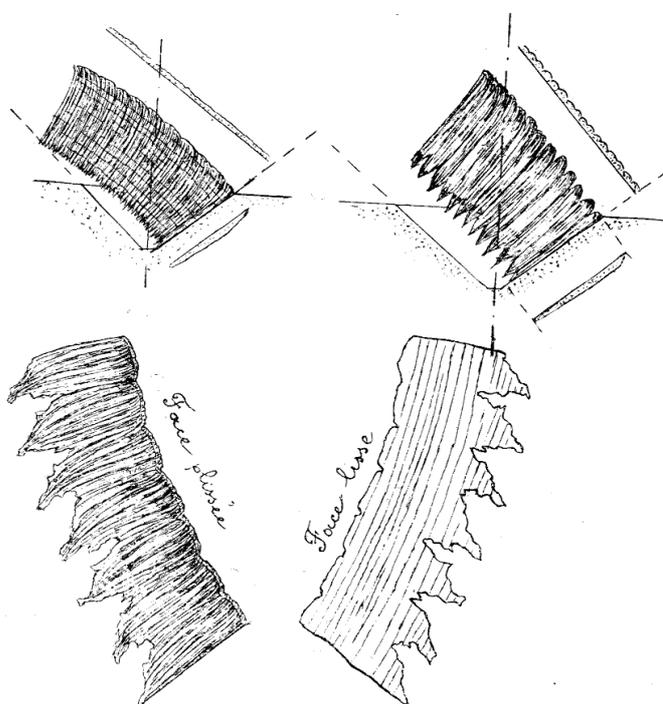


Fig. 1033 à 1038.

spires (fig. 1034). Le plus souvent, avec ce métal, l'enroulement cesse; si l'on a soin de diriger le copeau de manière à l'empêcher de se courber particulièrement pendant la période de début de l'opération, on obtient des copeaux curieux tels que ceux (fig. 1035 et suivantes), dont les largeurs variables correspondent, à diverses pénétrations du foret. Ces copeaux ont été obtenus sans avance variable avec le même foret à pointe de 50 millimètres, employé aussi pour les copeaux qui précèdent; après quelques tours de l'outil, le copeau ne s'est plus roulé (fig. 1034) : il s'est développé en éventail. La tranche extérieure est un peu ondulée, tandis que la tranche intérieure est très dentelée. Les plissements

sont bien accusés; ces diverses irrégularités se sont accentuées à mesure que l'avance et la pénétration augmentaient, ainsi que l'indiquent d'une manière bien incomplète les fig. 1035-1041.

Comme on ne pouvait obtenir un long copeau sans déformation anormale,



Fig. 1039 à 1041.

nous n'avons représenté que des parties prises de distance en distance. On arrêterait l'opération pour couper, détacher la portion de copeau formée.

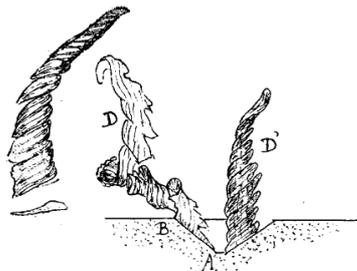


Fig. 1042 et 1043.

On remarque la grande régularité des ondulations et des dentelures. Les fig. 1035-1038 se rapportent à des petites épaisseurs; les dentelures sont plus nombreuses, moins prononcées que dans les autres. La raison de ces formes est assez difficile à donner, car nous les avons constatées avec du plomb dans le sens inverse, c'est-à-dire que les dentelures se trouvent sur la tranche extérieure (fig. 1044).

La disposition des dents dénote-t-elle un allongement partiel relatif ayant amené successivement les déchirures plus ou moins accentuées?

Le point faible de ces copeaux provient-il d'un manque de métal dû, par exemple, à ce que les tranchants non symétriques attaquent sous épaisseurs différentes en leurs divers points? L'un des tranchants entamerait davantage

vers A que vers B; l'autre, au contraire, entamerait plus vers B que vers A, ces effets pouvant aussi se produire par les déplacements relatifs latéraux entre l'outil et la pièce non maintenus assez rigides.

Cette dernière cause nous paraît justifiée par les copeaux que l'on obtient avec le foret à pointe au début de l'opération (fig. 1042-1043) alors que le

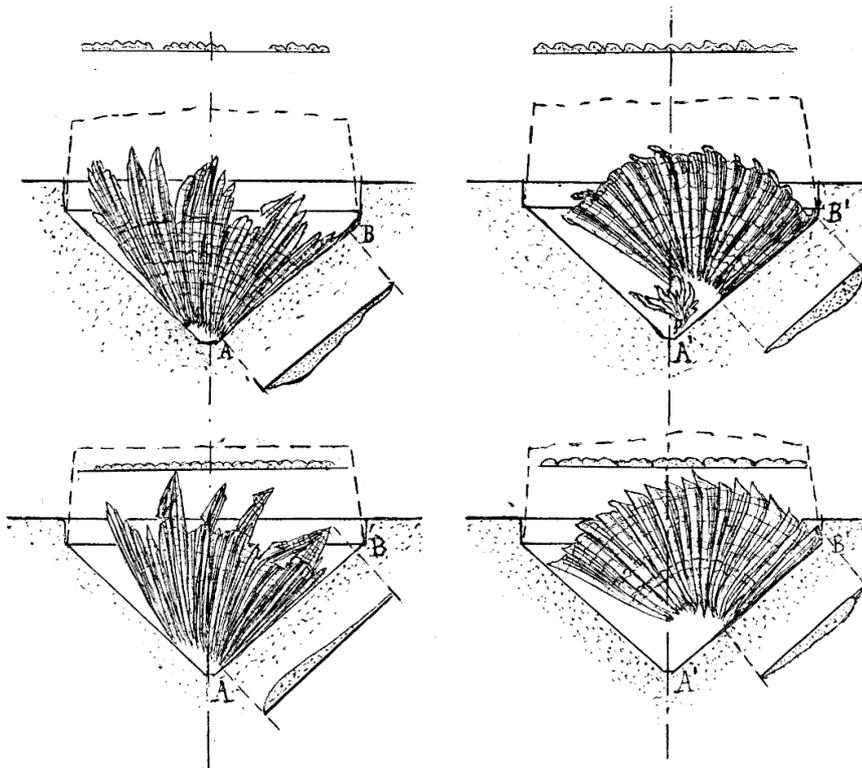


Fig. 1044 à 1047.

foret mal guidé forme des amorces de trous irrégulières. D'ailleurs, nous avons produit de nombreux spécimens et nous avons le plus souvent constaté que c'était la non-symétrie du travail de l'outil qui déterminait les formes à dentelures accentuées. Par exemple, l'un des tranchants donnait un copeau (fig. 1043) plus épais, à la tranche extérieure, que celui de l'autre tranchant qui attaquait davantage vers la pointe pour donner une tranche intérieure plus forte.

On suppose ici que le copeau est formé en plein trou; sinon les défauts

que peut présenter la surface de la pièce donnent lieu à des tranches extérieures ondulées diversement.

A cette cause pourraient s'en ajouter d'autres : le débit du métal étant plus grand vers B que vers A, le copeau a une plus forte tendance à se développer vers la normale BM que vers la normale AN (fig. 1048-1049). Au point A le débit de la coupe est très réduit et déjà, sans qu'il se produise de déchirure, on constate (fig. 1037) que la tranche intérieure se redresse ; cela, parce qu'elle est tirée, sollicitée par la partie de copeau plus développée. De nouveau, si on suppose que le tranchant AB coupe des bandes indépendantes de très petite lar-

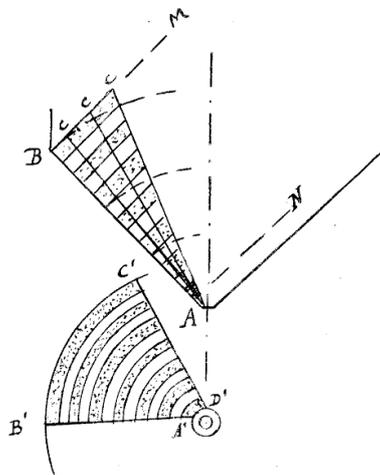


Fig. 1048 et 1049.

geur afférentes à un secteur A'B'C'D (fig. 1049), toutes ces bandes réduites en longueur par suite du refoulement se développeraient sur la face du foret en restant normales à l'arête AB ; leurs longueurs seraient proportionnelles à leurs distances respectives à l'axe de rotation.

Les lignes telles que AC interceptent entre chaque bande des longueurs qui vont en croissant de AB vers AC. Cet accroissement de longueur, qui tendent à prendre de telles lignes fictives dans un copeau sans solution de continuité, détermine des tensions suivant ces lignes et, par suite, des allongements ou des arrachements dont l'importance règle

précisément la courbure que prend le copeau selon la nature du métal ?

Il s'ensuit donc que, même avec un copeau d'épaisseur $\frac{a'}{2}$ constante, des déchirures peuvent se produire du côté de la tranche intérieure. Il suffit que la partie du copeau vers la tranche extérieure soit assez résistante à la flexion pour ne pas s'infléchir. Or, lorsque le copeau n'est pas roulé ; lorsqu'il s'applique bien sur la face de l'outil, sa résistance à la flexion sur champ est assez grande. Le copeau prenant peu ou pas de courbure et se dirigeant dans le voisinage de la tangente BM, les allongements se produisent à la tranche intérieure, et ensuite les déchirures successives.

Ces déchirures sont d'ailleurs favorisées, d'abord par le mode de formation du copeau qui présente des épaisseurs réduites aux divers plissements ; par l'état général d'écroutissage que le plomb présente à ce moment malgré sa grande ductilité primitive, écroutissage qui se prête aux déchirures ; en outre,

par la moindre quantité de métal enlevé vers A que vers B. Toutes les déchirures correspondent, en effet, à des thalwegs de plissements adjacents. La ductilité que possède encore le plomb se prêtant à la déformation générale, le copeau se développe suivant une faible courbure.

Remarquons que dans les fig. 1042-1043, qui se rapportent à un début de l'opération, l'un des copeaux, celui de gauche, est dentelé sur sa tranche intérieure; l'autre, celui de droite, est dentelé sur sa tranche extérieure. Les dentelures ne sont pas de même nature; le copeau D comporte des dents déchirées, tandis que celles du copeau D' sont dues à un manque de métal et non à des allongements. Ces particularités proviennent de ce que l'outil avait des tranchants dont l'un entamait davantage vers B que vers A et donnait le copeau D,

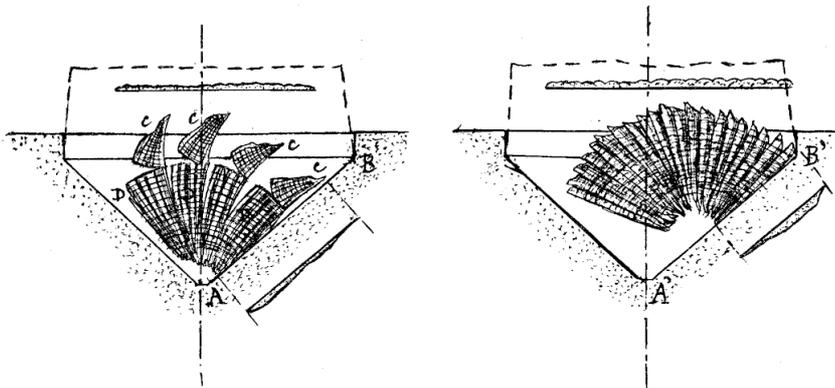


Fig. 1050 et 1051.

tandis que l'autre entamait beaucoup plus vers A' que vers B' pour donner le copeau D'. Le copeau D s'est enroulé comme dans le cas normal; mais celui D' s'est développé presque verticalement, et chacun des éléments est très distinct; la direction prise par le copeau D' est assez difficile à justifier.

Avec une petite avance, nous avons obtenu les copeaux fig. 1050-1051; le tranchant A'B' a donné un copeau analogue à ceux qui se développent d'une façon rationnelle; mais celui du tranchant AB présente des éléments séparés par déchirement suivant une ligne circulaire qui correspond à une moindre épaisseur localisée.

Les parties C se sont infléchies en sens inverse des parties principales D; le débit accuse même des lignes circulaires dont le rayon de courbure décroît jusqu'à l'extrémité. Il faut admettre que vers l'extrémité C, l'épaisseur enlevée est très faible; le refoulement est alors beaucoup plus grand que vers la base de la partie déchirée; les efforts intérieurs ont déterminé une déchirure.

rure qui rend possible la courbure en sens inverse de celle du débit principal.

Copeau du foret droit. — Les trois lignes d'arête AA', AB, A'B' (fig. 1052) de la petite pointe du foret droit agissent comme celles du foret ordinaire.

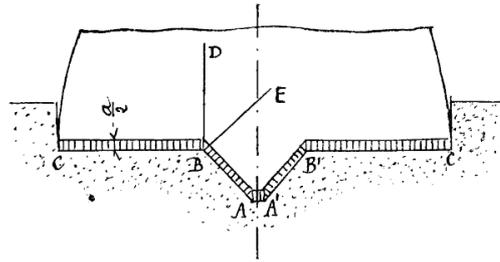


Fig. 1052.

Les arêtes BC et B'C' enlèvent la plus grande partie du métal sous une épaisseur $\frac{2}{a}$.

Aux points B et B' le débit a tendance à se faire suivant les deux directions : BD normale à CB, et BE normale à AB. Le copeau se déchire en B et les ranchants tels que A'B' et B'C' donnent deux copeaux (fig. 1053-1055), celui de A'B' étant de petites dimensions.

Le bord intérieur du copeau principal a ses déchirures inclinées en sens inverse du débit. Le bord extérieur accuse des bavures ou des dentelures régulières moins prononcées que celles du foret ordinaire ; et cela, parce que les lignes d'arête extérieures sont parallèles à l'axe de rotation. Les plissements

sont peu accentués. Selon l'épaisseur, ce copeau est plus ou moins cintré, la plus petite courbure correspond à la plus forte épaisseur (fig. 1055). Le copeau s'appliquant sur la face avant du foret, la courbure est simple. La plus faible courbure des fortes épaisseurs provient probablement des glissements et des arrachements ou allongements relatifs plus prononcés dans les fortes épaisseurs que dans les petites, le refoulement prenant moins d'importance relative vers l'axe de l'outil que vers le pourtour lorsque les copeaux sont plus épais. Les arrachements déterminent ainsi des allongements plus grands vers le bord

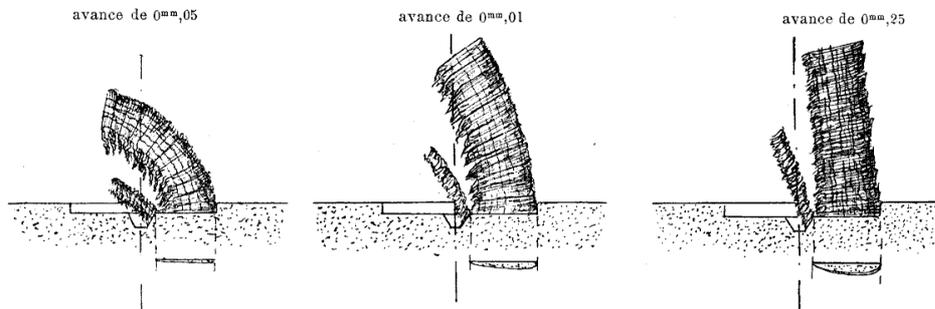
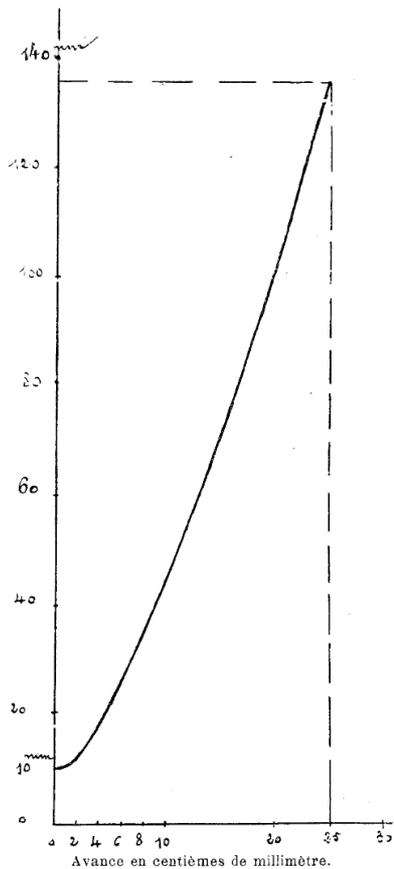


Fig. 1053 à 1055. — Copeaux d'un foret droit. — Plomb.

sont peu accentués. Selon l'épaisseur, ce copeau est plus ou moins cintré, la plus petite courbure correspond à la plus forte épaisseur (fig. 1055). Le copeau s'appliquant sur la face avant du foret, la courbure est simple. La plus faible courbure des fortes épaisseurs provient probablement des glissements et des arrachements ou allongements relatifs plus prononcés dans les fortes épaisseurs que dans les petites, le refoulement prenant moins d'importance relative vers l'axe de l'outil que vers le pourtour lorsque les copeaux sont plus épais. Les arrachements déterminent ainsi des allongements plus grands vers le bord

intérieur. On voit que les rayons de courbure croissent rapidement avec l'avance a ou l'épaisseur $\frac{a'}{2}$ (fig. 1056), sur laquelle nous avons indiqué la variation des rayons extérieurs en ordonnées et les avances en abscisses. La courbe présente

Variation des rayons de courbure extérieurs.



l'allure d'une parabole dont le sommet est sur l'axe des ordonnées à une hauteur égale à la largeur du copeau, valeur minimum que peut prendre le rayon de courbure extérieur.

Le copeau non fragmenté du foret droit se dégage mieux que celui du foret à pointe, puisque la direction de la tangente à l'origine de chaque point est parallèle à l'axe du foret. On conçoit que le

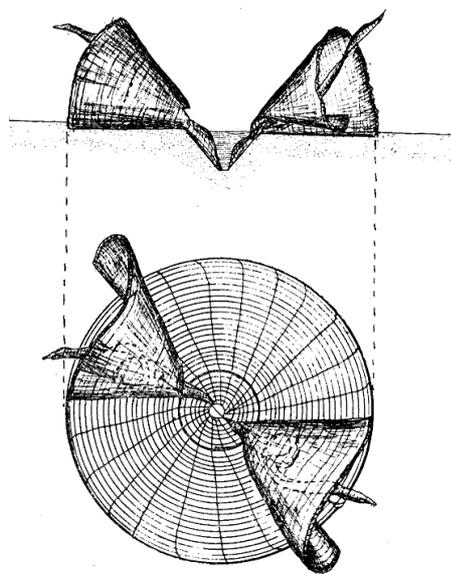


Fig. 1056. — Foret droit. Copeau de plomb.

Fig. 1057 et 1058. — Copeaux de plomb, foret droit.

dégagement dans les trous profonds se fait d'autant mieux que les copeaux de plomb sont plus épais, puisque la courbure extérieure est d'autant plus petite. Lorsque les copeaux se roulent, ils affectent les formes (fig. 1057-1060). Le foret de 50 millimètres de diamètre avait des tranchants dégagés dont l'angle était

de 75° , ce qui a réduit la période de glissement : la face avant du copeau présente des plis très peu accentués.

Copeaux de plomb avec le foret hélicoïdal. — En mince épaisseur le foret hélicoïdal débite des copeaux contournés en hélicoïde par l'appui de la nappe

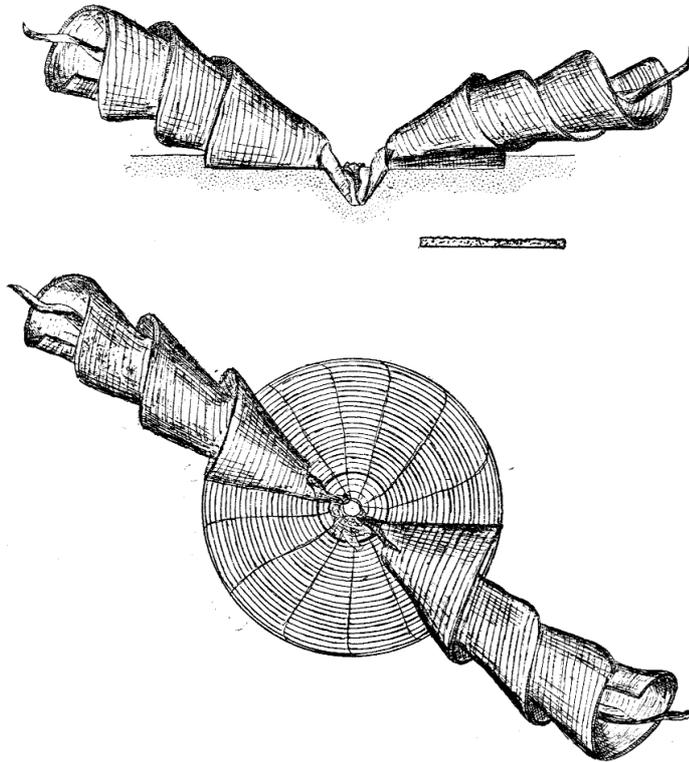


Fig. 1059 et 1060. — Copeaux de plomb. Foret droit.

sur le fond de la gorge, appui produit par la courbure initiale que prend le copeau en quittant le tranchant.

Le pas des hélices du copeau augmente avec les fortes épaisseurs (fig. 1061-1066); le copeau s'applique dans le fond de la gorge avec moins de tendance à s'en écarter, et ici encore la forme plus allongée est motivée par la moindre courbure au départ du tranchant. Ces coupes sous épaisseurs variables montrent que le foret hélicoïdal dégage les copeaux de plomb beaucoup mieux que les autres forets, avantage important pour les trous profonds.

Dans les copeaux (fig. 1061-1062), on ne constate pas de déchirure sur les bords ; mais dès que la tête du foret est engagée, des dentelures régulières s'accusent d'une façon très nette sur le bord extérieur (fig. 1064). Ces dentelures

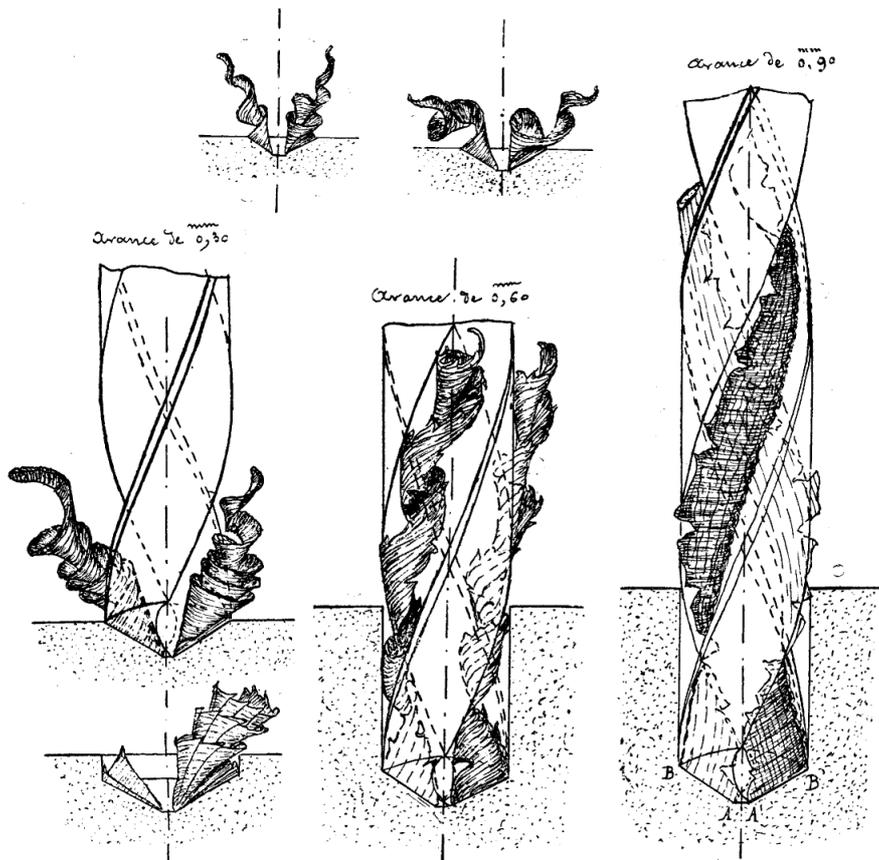


Fig. 1061 à 1066. — Copeaux de plomb.

disparaissent quand l'épaisseur est forte (fig. 1066) ; dans ce cas, des déchirures apparaissent sur le bord intérieur. On conçoit que ces déchirures sont d'autant plus prononcées que le pas des hélices du copeau est plus grand, et que le débit vers le centre est plus petit par rapport au débit de pourtour.

Avec les avances de 0,60 et 0,90 de millimètre, le foret avait une très grande tendance à engager.

Le foret employé de 25 millimètres de diamètre donnait des copeaux bien égaux; ceux dont le contournement est accusé (fig. 1067-1070) présentent des



Fig. 1067 à 1070. — Copeaux de plomb, foret hélicoïdal.

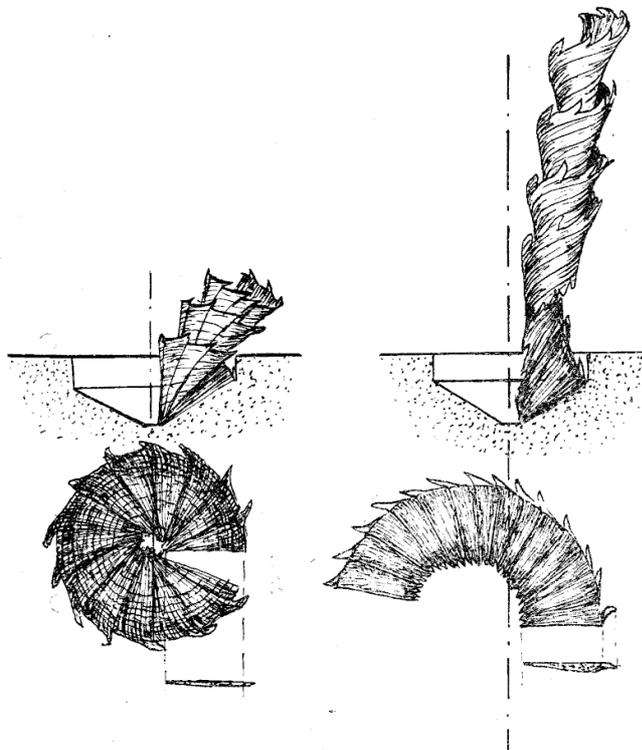


Fig. 1071 à 1074. — Copeaux de plomb, foret hélicoïdal.

lignes de rupture ou de plus mince épaisseur localisée, qui correspondent au glissement principal de chacun des éléments de forme générale triangulaire ou à secteur. Plus adhérents vers le centre que vers le pourtour, ces éléments se

séparaient sans grand effort; ils caractérisent bien les secteurs débités entre la période qui correspond à deux minima successifs de l'effort de coupe. Comme le foret hélicoïdal a des angles plus petits que 90° , le tranchant coupe le métal plutôt qu'il ne l'arrache; les protubérances sont peu prononcées; le refoulement a une moindre importance que dans le cas du foret ordinaire.

En développant les copeaux sur couronne plane (fig. 1071-1074), les rayons des couronnes sont ici, encore, d'autant plus grands que les épaisseurs sont plus fortes.

Aux raisons signalées ci-avant pour expliquer ce fait, s'ajoute la flexion que prend le copeau dans la gorge du foret flexion d'autant plus prononcée que l'épaisseur est plus petite. Une plus grande flexion réduit les allongements de la tranche intérieure; la résistance à la flexion croissant comme le carré de l'épaisseur, on conçoit que si le copeau épais ne fléchit pas, ne se contourne pas, il faut que le bord intérieur s'allonge. Les allongements sont tels que des déchirures se produisent (fig. 1075) d'autant plus grandes que l'épaisseur est plus forte. Quant aux dentelures du bord extérieur, elles proviennent de la coupe latérale au voisinage du point B de chaque tranchant.

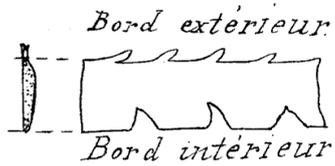


Fig. 1075.

Copeaux de fonte. — Un métal dépourvu de ductilité, tel que la fonte douce, donne des copeaux dont les éléments se séparent, non plus sur une très petite longueur en restant intimement liés entre eux; mais la séparation est telle qu'ils sont complètement séparés par la solution de continuité ou surface de rupture AB (fig. 1076-1083), qui se déclare alors que l'effort de refoulement et de redressement en avant est supérieur à la résistance de glissement et d'arrachement.

Les ruptures se font d'une façon brusque suivant les lignes de moindre résistance, soit pour un même métal suivant des lignes ayant une même inclinaison générale moyenne.

Un premier élément ABC étant rompu, le déplacement de l'outil le relève, le fait pivoter plus ou moins autour du point B; ou bien, il est soulevé tout en glissant sur l'arête B. Le soulèvement est encore accentué par le métal que l'outil enlève de nouveau en moindre épaisseur d'abord, ce qui donne lieu à de nombreuses ruptures auxiliaires, à des éléments poussiéreux qui se trouvent intercalés entre les parties principales. Une déviation angulaire s'accuse ainsi, pour se cumuler et donner la courbure qu'affecte le copeau.

Quant le foret attaque de nouveau l'épaisseur totale, il débite un autre élément principal (fig. 1079) dont la liaison avec celui qui précède est très faible,

sinon nulle. De tels copeaux ne peuvent, en effet, être manipulés qu'avec de grandes précautions pour éviter leur réduction en poussière. Les parties se groupent comme (fig. 1083) en se superposant, en formant des stries sur la face avant; la face arrière est lissée par le frottement sur le tranchant et les vides sont partiellement bouchés par les poussières de fonte.

Les vitesses étant variables en les divers points du tranchant, la rupture des

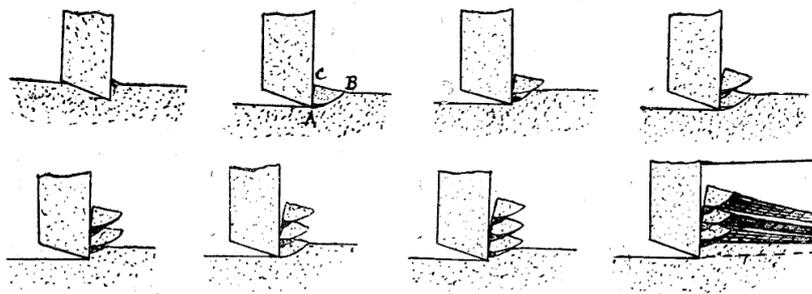


Fig. 1076 à 1083. — Copeaux de fonte.

parties voisines de l'élément de pourtour considéré, supposé de faible largeur et d'épaisseur exagérée, se propage de proche en proche, en activant les ruptures du pourtour vers le centre; de telle sorte que la section du copeau est encore quelque peu trapézoïdale. Toutes ces ruptures successives plus ou moins régulières donnent un copeau dont les parties sont désagrégées ou très peu liées entre elles.

Ajoutons que dans le cas de la fonte la pointe de l'outil exige un grand effort pour le déplacement du métal du petit cylindre qui correspond à l'arête extrême; le grattage ne tarde pas à l'émousser.

Les efforts de coupe varient plus ou moins; les différences entre les maxima et les minima sont le plus souvent compensées par l'action non simultanée des deux tranchants pendant les périodes de refoulement ou de glissement. En tout cas, pour chacune d'elles, la chute de l'effort est plus rapide qu'avec le plomb (fig. 1084). Quand l'angle de coupe α est inférieur à 80° , on obtient des copeaux partiellement roulés; c'est ainsi que le foret hélicoïdal donne les spécimens (fig. 1085-1086), tandis que le foret à pointe, dont la valeur de α est supérieure ou égale à 90° , donne des fragments détachés souvent réduits en poussière. Les parties roulées restent entières au début du trou, mais à une faible profondeur, elles ne peuvent se dégager sans appui contre la paroi du trou; la liaison des éléments étant très faible, ils se séparent, se brisent pour former la poussière,

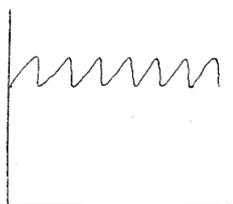


Fig. 1084.

Les efforts de coupe varient plus ou moins; les différences entre les maxima et les minima sont le plus souvent compensées par l'action non simultanée des deux tranchants pendant les périodes de refoulement ou de glissement. En tout cas, pour chacune d'elles, la chute de l'effort est plus rapide qu'avec le plomb (fig. 1084). Quand l'angle de coupe α est inférieur à 80° , on obtient des copeaux partiellement roulés; c'est ainsi que le foret hélicoïdal donne les spécimens (fig. 1085-1086), tandis que le foret à pointe, dont la valeur de α est supérieure ou égale à 90° , donne des fragments détachés souvent réduits en poussière. Les parties roulées restent entières au début du trou, mais à une faible profondeur, elles ne peuvent se dégager sans appui contre la paroi du trou; la liaison des éléments étant très faible, ils se séparent, se brisent pour former la poussière,

qui s'accumule dans le fond; il faut suspendre l'opération, retirer cette poussière, sinon elle détermine un bourrage par son accumulation en avant des faces du



Fig. 1085. — Copeaux de fonte, foret hélicoïdal.

foret (fig. 1087-1089). La matière est tassée, serrée avec force si elle éprouve de la difficulté à s'élever; la résistance à la rotation augmente par suite des frottements qui se déterminent; ceux-ci échauffent la pièce et l'outil; ce dernier ne



Fig. 1086. — Copeaux de fonte. Foret hélicoïdal à tranchant brisé de $d = 25$ millimètres.

tarde pas à être émoussé; la résistance à la pénétration s'accroît à son tour; l'opération ne saurait être poursuivie.

C'est l'une des conditions les plus essentielles dans le forage des trous pro-

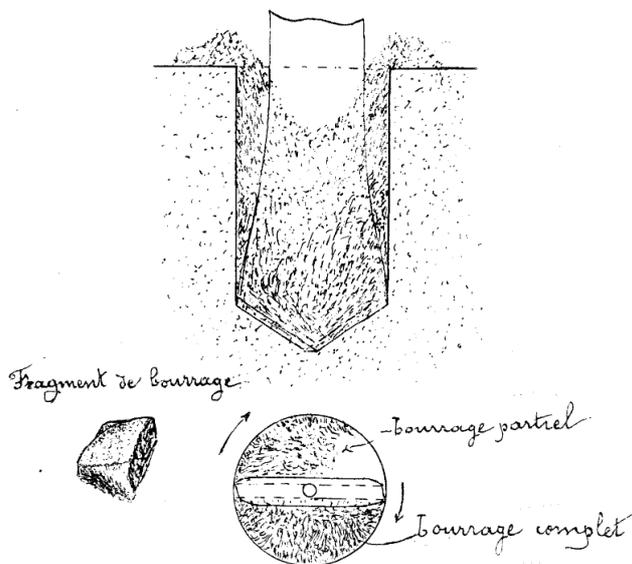


Fig. 1087 à 1089.

fonds, de prévenir le bourrage en réalisant, si possible, l'évacuation des copeaux à mesure de leur formation; sinon, il faut arrêter pour retirer les déchets.

C'est ainsi que dans le forage des longues pièces d'outre en outre, les outils sont encore tellement défectueux sous le rapport du dégagement des copeaux que l'on est obligé tous les 2 à 10 centimètres, selon l'importance du diamètre, de faire la manœuvre précitée, cause d'une grande perte de temps.

Copeaux de laiton et de bronze. — Les métaux peu ductiles, mais tenaces et assez élastiques, tels que le laiton, le bronze, donnent des copeaux roulés en

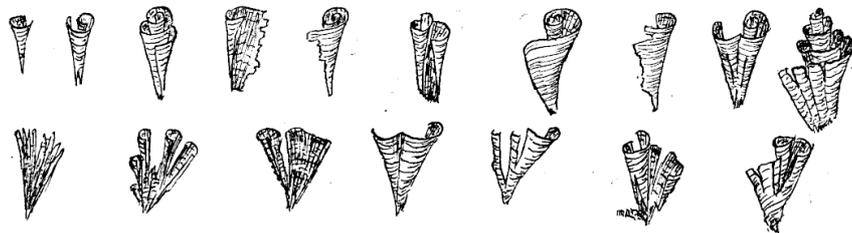


Fig. 1090. — Copeaux de laiton et de bronze. Trou de 25 millimètres de diamètre. Foret hélicoïdal.



Fig. 1091. — Foret à pointe.

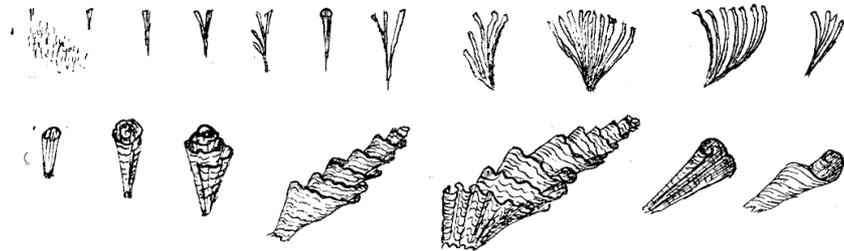


Fig. 1092. — Foret droit.



Fig. 1093. — Foret à double biseau.

hélicoïde (fig. 1090) lorsqu'au début de l'opération ils peuvent se dégager librement. Avec de fortes épaisseurs, les copeaux se brisent sous forme de petits cornets. Les moindres épaisseurs (centièmes de millimètre) accusent un glissement relatif moins prononcé que dans les épaisseurs plus fortes; les éléments ont encore une liaison suffisante pour produire une certaine courbure en avant

de l'outil; l'épaisseur étant petite, la résistance à la flexion l'est aussi, le copeau se roule.

Quand l'épaisseur augmente, le glissement de pourtour étant plus grand, les parties se séparent plus ou moins, se déchirent en premier et davantage vers le pourtour que vers le centre. La déchirure générale se propage plus vite que le refoulement et que le glissement; le copeau conserve vers le centre des parties peu glissées sans solutions de continuité apparentes; ces parties retiennent les premières pour former un ensemble dont tous les éléments présentent une

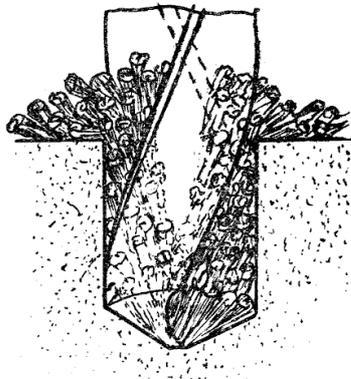


Fig. 1094 et 1095.

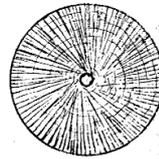


Fig. 1096.

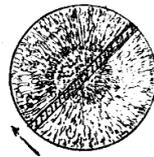


Fig. 1097 et 1098.

certainne solidarité. Avec un laiton élastique, tenace, tel que le *roma*, les copeaux de un à deux dixièmes de millimètre se roulent bien dans le cas du foret hélicoïdal. Lorsque la profondeur du trou est telle que les copeaux se brisent, les petits cornets se groupent dans les gorges du foret comme (fig. 1094-1095). La pointe étant en bas, ils sont expulsés assez facilement. Néanmoins, il importe de débourrer, si le trou est profond, afin de prévenir une résistance plus grande qui ferait engager l'outil. Les forets ordinaires donnent souvent des fragments, entièrement séparés ou solidaires du côté de la pointe; ils forment des gerbes ou des éventails (fig. 1091-1093) qui marquent que l'arrachement de la nappe hélicoïdale se propage du pourtour jusqu'à la pointe. Ces copeaux sont produits

lorsque le fond du trou est ondulé, strié par de nombreux sillons (fig. 1096) qui rayonnent et s'opposent à la continuité de la coupe. L'élasticité du métal est aussi favorable à la formation des gerbes; les parties se séparent partiellement par la réaction vive qui se produit au moment de la rupture.

Le foret droit dégage moins bien les copeaux que le foret à pointe, parce qu'avec le premier les petits cornets font des angles plus grands avec l'axe de l'outil que dans le cas du second. Les copeaux se brisent davantage; les parcelles restent au fond du trou, s'accumulent à l'avant des faces, s'y trouvent fortement



Fig. 1099. — Copeaux de métal antifriccion. Foret hélicoïdal.

serrés, forment des agglomérats tels que (fig. 1097-1098), qui obligent à suspendre l'opération pour débourrer. De même, lorsque l'angle Φ des deux tranchants est inférieur à 90° , les cornets ont de la difficulté à sortir; ils se brisent, bourrent dans le fond, échauffent l'outil et la pièce; les tranchants s'émoussent vers la pointe. En augmentant la vitesse du foret et réduisant l'avance, on



Fig. 1100. — Foret droit.

favorise l'expulsion des copeaux ou des fragments qui se brisent avec une plus grande élasticité favorable au dégagement.

Copeaux de métal antifriccion. — Le métal blanc dit antifriccion étant peu résistant, peu ductile, mais assez mou, donne des copeaux roulés, ondulés (fig. 1099-1100) qui se coupent bien. Ils se dégagent facilement avec le foret hélicoïdal en se logeant dans les gorges, se groupant de manière à se pousser hors le trou (fig. 1101-1102). Les copeaux du foret droit (fig. 1103-1106) permettent de distinguer nettement la déchirure du petit copeau de la pointe et du copeau principal de la partie droite du tranchant, déchirure due à la tendance au développement du petit copeau au point B, suivant BC' , et du grand suivant BC .

Copeaux de zinc. — Le zinc laminé en barre se laisse couper dans la perfection par les forets. Les copeaux sont peu glissés, sont uniformes, se tiennent

bien, s'enroulent en hélicoïdes ou se développent en nappe sans rupture (fig. 1107-1109). La face extérieure est du plus beau poli ; les stries de la face intérieure sont très peu accentuées.

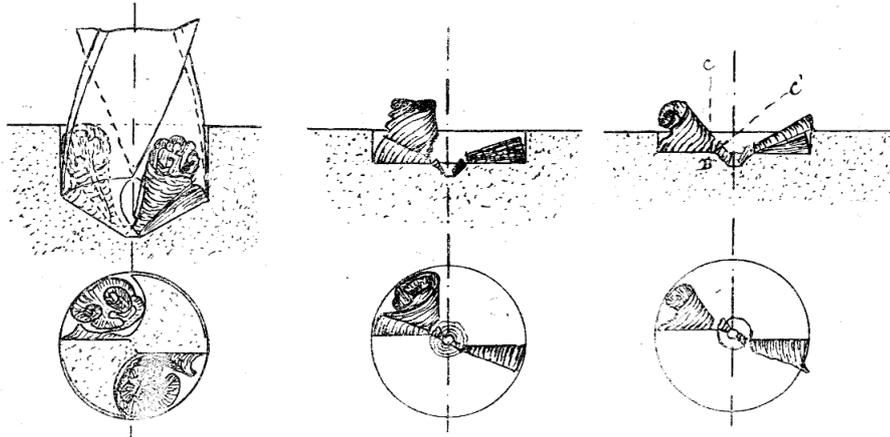


Fig. 1101 à 1106.

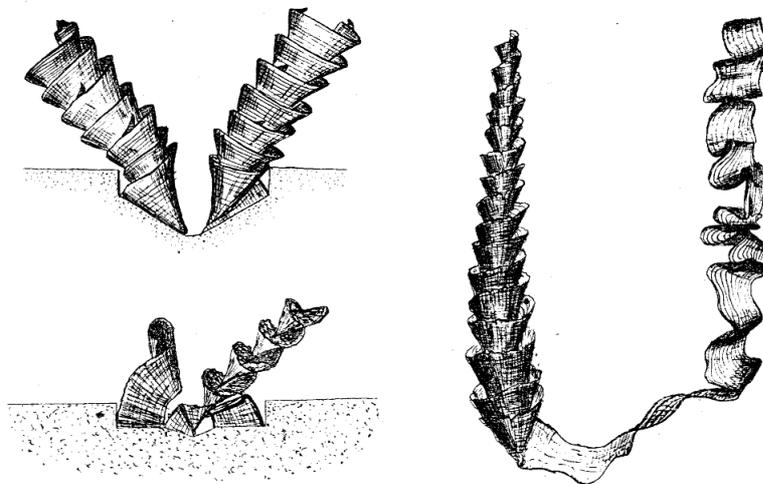


Fig. 1107 à 1109. — Copeaux de zinc. Foret hélicoïdal et foret droit.

Copeaux de cuivre. — Le cuivre, métal assez mou, ductile, tenace, métal gras, en termes d'atelier, est très difficile à forer. Sous forte épaisseur le foret

hélicoïdal seul peut être utilisé; les autres ne coupent pas assez, refoulent trop, ne dégagent pas le trou.

Le bourrage même partiel, à faible profondeur (fig. 1110-1111), produit la rupture de l'outil.

La paroi du trou dénote des arrachements latéraux ou de fond.

En mince épaisseur, quelques centièmes de millimètre, on obtient avec le

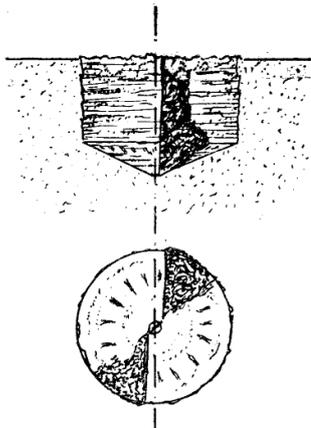


Fig. 1110 à 1111.

foret ordinaire des copeaux assez réguliers accusant de nombreux arrachements vers la pointe. Les défauts s'accroissent avec l'épaisseur; le tranchant ne coupant pas ($\alpha\tau = 90^\circ$), le métal est très refoulé par suite de la grande malléabilité; comme il est tenace, les arrachements intéressent la masse au-dessous de la trace de l'outil, suivant la ligne AB (fig. 1112-1120) qui représente à grande échelle la formation des éléments successifs d'un copeau. Les parties sont refoulées en avant de l'outil; puis soulevées, fléchies, arrachées plutôt que coupées. La surface du trou accuse des zones lisses avec stries partielles, et des zones grenues qui correspondent aux petites cavités des arrachements non touchées par l'outil. Le

cuivre, ayant été très refoulé, s'est écroui; le glissement a lieu sur toute

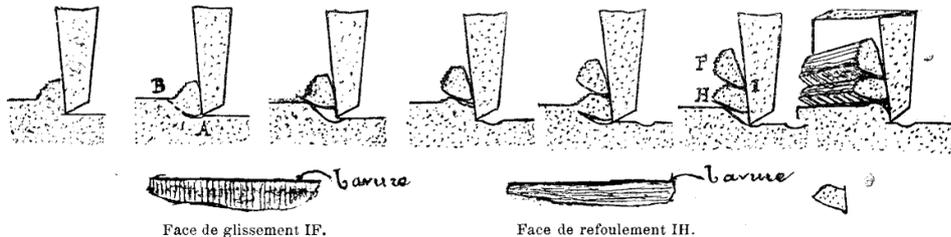


Fig. 1112 à 1120. — Copeaux de cuivre.

l'épaisseur; les divers éléments d'un copeau sont très distincts, assez adhérents néanmoins.

Les lignes de séparation des surfaces de contact de deux éléments adjacents sont visibles sur la face lisse, polie au contact de l'outil. Les séparations des fragments de copeau accusent nettement une section de glissement (fig. 1119) accolée à une surface de refoulement (fig. 1120) moins large et moins régulière. Les deux bords sont en liaison par des bavures. La fig. 1121 indique les

copeaux d'un foret à pointe de 25 millimètres de diamètre. Un autre de 50 millimètres de diamètre a donné, comme avec le plomb, des copeaux irréguliers

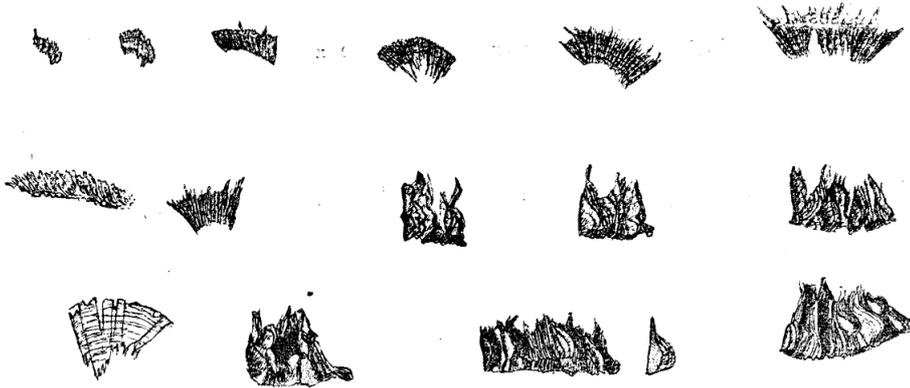


Fig. 1121. — Trou de 25 millimètres. Foret à pointe.

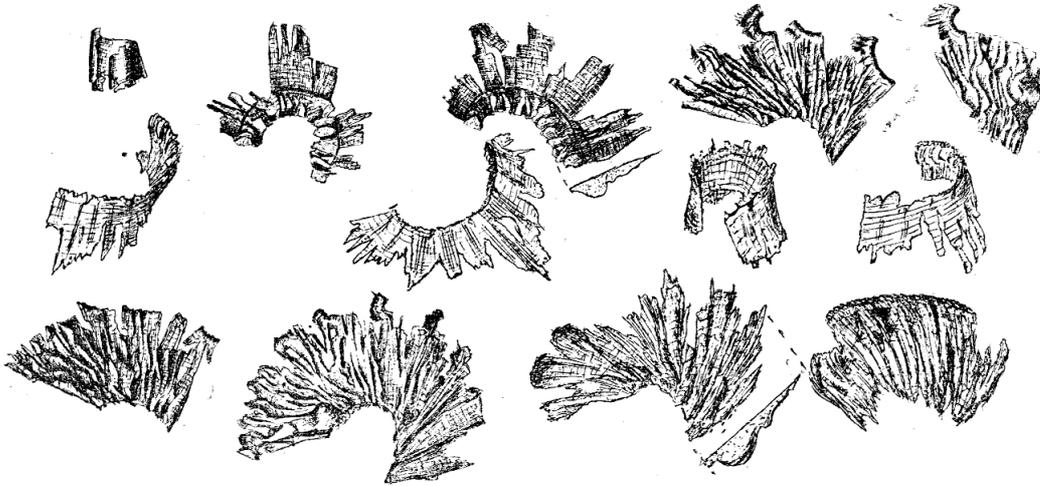


Fig. 1122. — Trou de 25 millimètres de diamètre. Foret à pointe.

(fig. 1122), à protubérances localisées et très accentuées, à solutions de continuité plus ou moins importantes.

Le foret droit donne des copeaux analogues; signalons le spécimen (fig. 1123-1126) caractérisé par une bordure extérieure à stries, plissements prononcés des plus réguliers; l'épaisseur du bord extérieur est beaucoup plus

forte que celle du bord intérieur dentelé; la face plissée accuse des directions obliques entre elles aux divers plis. L'inclinaison des stries extérieures provient sans doute de la liaison avec la masse latérale; la face lisse présente de nombreuses traces d'arrachements.

Le foret hélicoïdal, grâce à ses angles de coupe α inférieurs à 90° , coupe

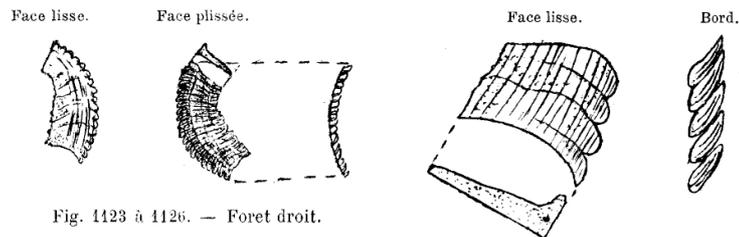


Fig. 1123 à 1126. — Foret droit.

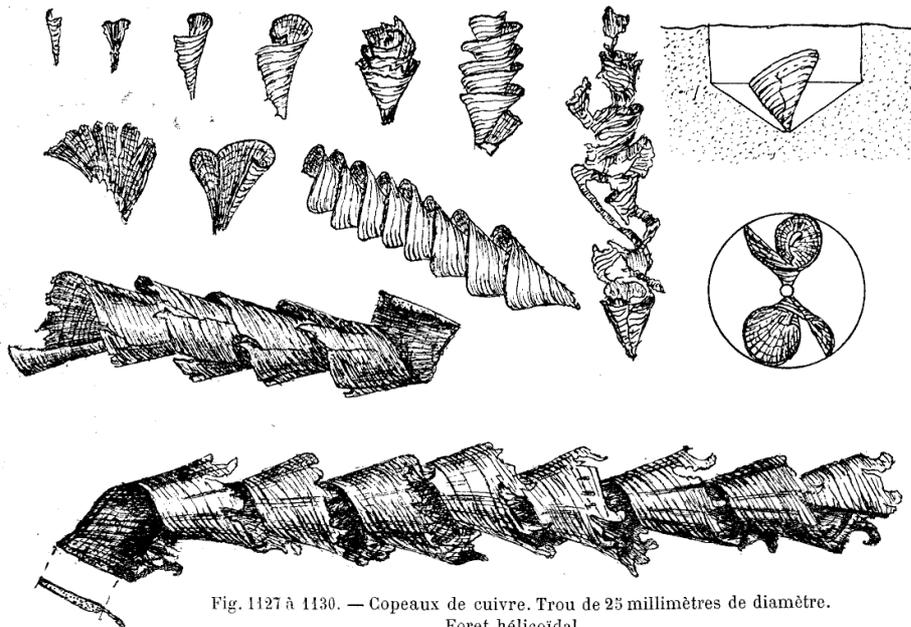


Fig. 1127 à 1130. — Copeaux de cuivre. Trou de 25 millimètres de diamètre.
Foret hélicoïdal.

assez bien le cuivre lorsque l'épaisseur n'est pas trop forte; les copeaux se dégagent lorsqu'ils se roulent en hélicoïdes (fig. 1127-1130). En pleine prise, les bavures latérales, soit celles sur le bord extérieur, s'accusent avec des déchirures partielles. La flexion de contournement produit des cassures apparentes du côté de la surface lisse; elles dénotent que le métal a été écroui par

le refoulement, que les sections de glissement n'ont qu'une faible liaison; d'ailleurs le copeau assez élastique se brise sans grand effort transversal.

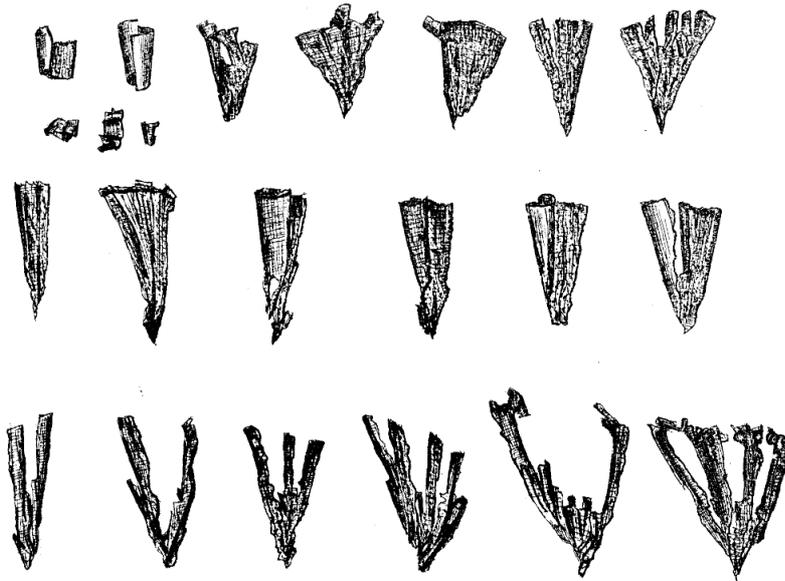


Fig. 1131. — Copeaux de cuivre. Foret hélicoïdal de 50 millimètres de diamètre. Avant-trou de 12 millimètres.

Le bord intérieur présente une épaisseur relativement forte parce que le

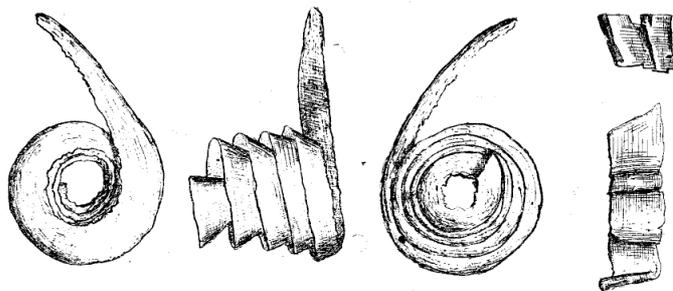


Fig. 1132.

métal est tenace, ductile, résiste à l'arrachement progressif; c'est la caractéristique des copeaux bien roulés.

Les spécimens (fig. 1131) se rapportent à un foret hélicoïdal de 50 milli-

mètres de diamètre; la pièce était percée d'un avant-trou de 12 millimètres de diamètre. On y trouve des gerbes bien caractérisées. Lorsque l'avant-trou est plus grand, 16 millimètres, et l'agrandissement plus petit, soit 8 millimètres en plus, le copeau se roule ou s'étale (fig. 1132).



Fig. 1133. — Copeaux d'aluminium. Sans graissage. Foret hélicoïdal.

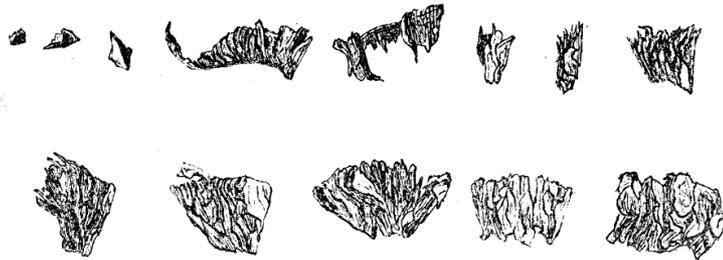


Fig. 1134. — Foret à pointe.



Fig. 1135. — Foret droit.

Copeaux d'aluminium. — L'aluminium foré sans graissage donne des copeaux très refoulés, arrachés, à protubérances plus prononcées encore qu'avec le cuivre (fig. 1133). Le foret hélicoïdal, même en mince épaisseur, ne peut les contourner, les débiter sous longueurs plus grandes que celles indiquées par

les fig. 1133. La surface de fond du trou est irrégulière, avec lignes d'arrachement apparentes (fig. 1136-1137).

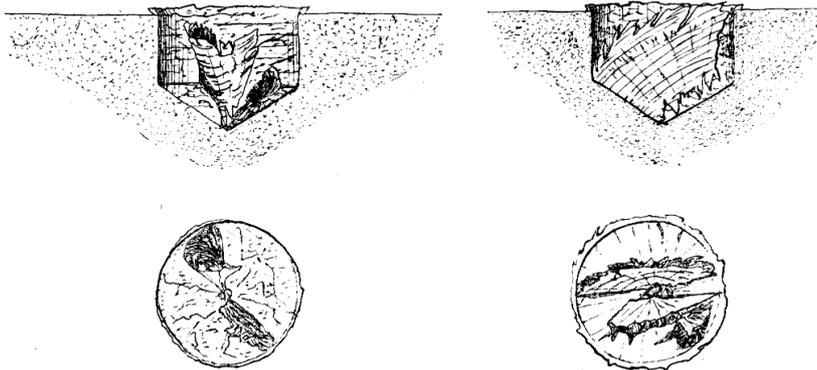


Fig. 1136 et 1137. — Copeaux d'aluminium. Sans graissage. Foret hélicoïdal.

Fig. 1138 et 1139. — Copeaux d'aluminium. Sans graissage. Foret à pointe.

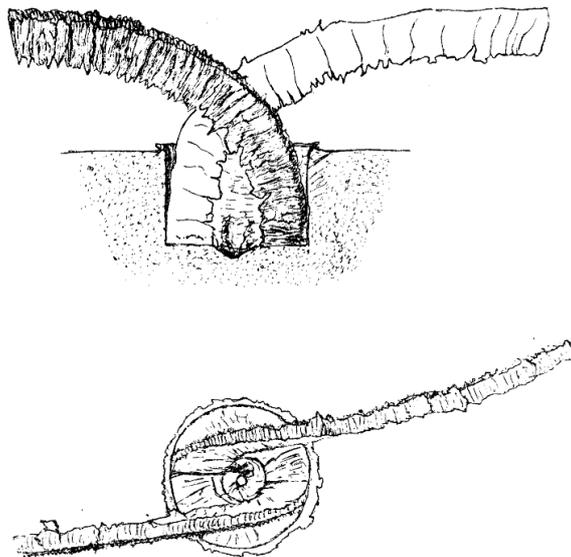


Fig. 1140 et 1141. — Copeaux d'aluminium. Sans graissage. Foret droit.

En graissant avec abondance, la coupe est très améliorée; les arrachements sont moindres; néanmoins, le foret hélicoïdal ne développe que des petites

longueurs sans rupture; les éléments se séparent sous faible effort en accusant des glissements accentués.

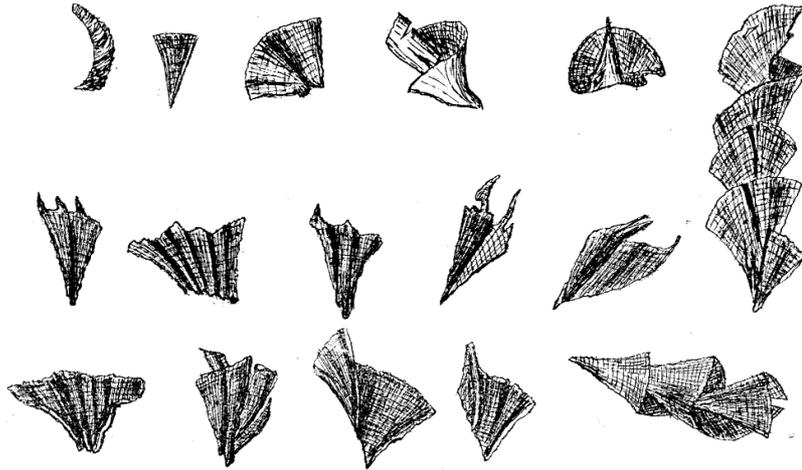


Fig. 1142. — Copeau d'aluminium. Avec graissage. Foret hélicoïdal.

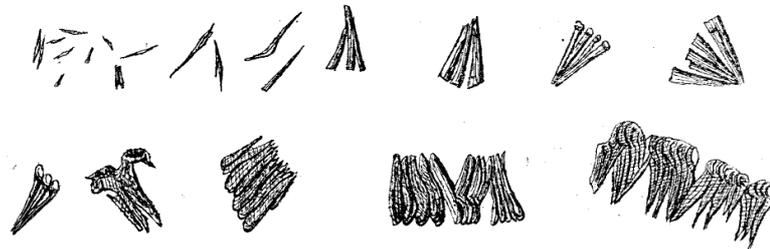


Fig. 1143. — Foret à pointe.

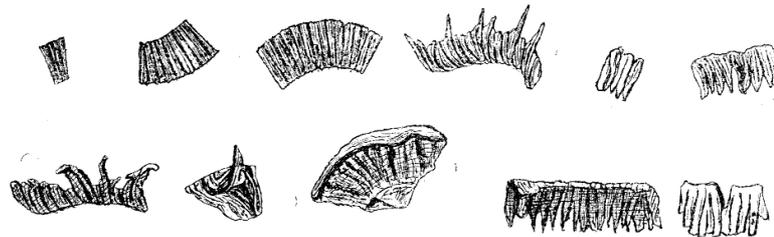


Fig. 1144. — Foret droit.

C'est un métal gras assez difficile à couper avec les forets; il exige, comme le cuivre, des petits angles de coupe α et une grande vitesse en réduisant l'épaisseur.

Copeaux de fer. — Le fer soudé, à cause de sa contexture peu homogène, donne avec le foret à pointe des copeaux à fragments détachés ou groupés en gerbes plus ou moins fournies (fig. 1145-1150).

Nous avons représenté trois éléments à échelle quatre fois grandeur naturelle; ces éléments ont été obtenus sous une avance de 20 millimètres; le foret de 25 millimètres avait un angle Φ de 120° .

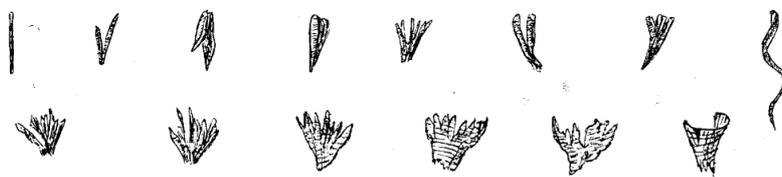


Fig. 1145 à 1150. — Copeaux de fer. Trou de 25 millimètres de diamètre. Foret à pointe.

On constate, dans le premier copeau, que le refoulement s'exerce sur une zone d'action étendue du côté de la tranche extérieure; que cette zone est très petite du côté de la pointe. Dans un deuxième copeau, le refoulement s'est accru vers la pointe; la face d'arrachement est presque aussi large du côté de la pointe que du côté de la tranche extérieure.

Le troisième spécimen comprend deux fragments adjacents non séparés vers la pointe.

Les surfaces avant dénotent par leurs plis multiples un fer assez ductile.

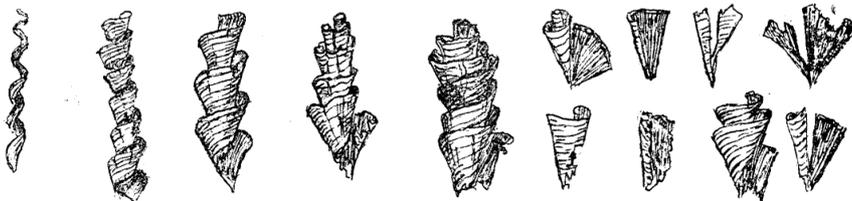


Fig. 1151. — Foret hélicoïdal.

Avec le foret à pointe il convient, au point de vue de la coupe, d'opérer sous avances moyennes 10 à 15 centièmes de millimètre. De même avec le foret hélicoïdal si les trous sont profonds, afin de faciliter le contournement des copeaux et leur dégagement, prévenir les ruptures, assez nombreuses cependant (fig. 1151).

Copeaux de fer fondu et d'acier. — Le fer fondu ainsi que les divers aciers, beaucoup plus homogènes que le fer soudé, donnent avec les divers forets des

copeaux (fig. 1152-1154) qui se roulent, ondulent, résistent bien à la rupture lorsque l'avance n'est pas excessive ni le trou trop profond.

Ce sont les métaux qui, après le zinc, se coupent le mieux quand ils ne sont

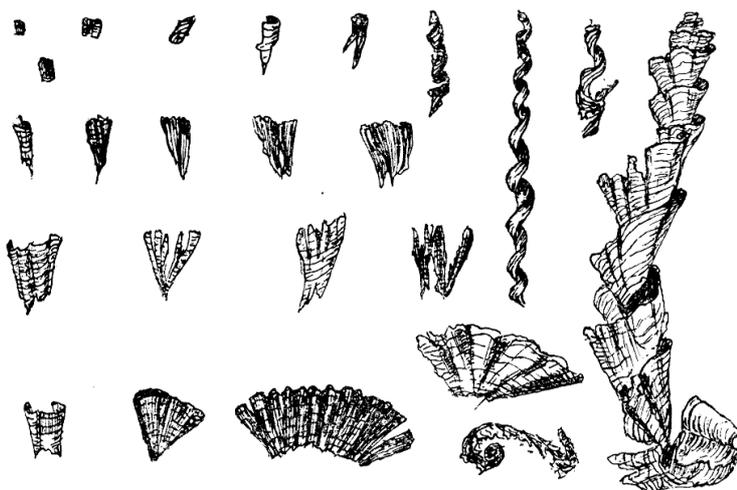


Fig. 1152. — Copeaux de fer fondu et d'aciers divers. Trou de 25 millim. de diamètre. Foret à pointe.

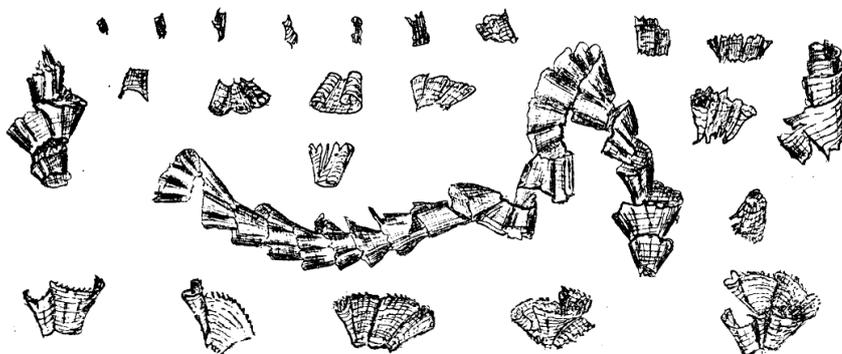


Fig. 1153. — Foret droit.

pas trop durs et que la vitesse est convenable. Leur ductilité a pour effet de limiter la rupture par glissement des diverses parties qui constituent le copeau ; elles conservent une liaison assez étendue du côté du centre du trou, liaison d'autant plus grande que l'angle de coupe α est moindre, puisque à une plus faible valeur de cet angle correspondent un glissement et un refoulement plus

petits. C'est aussi pourquoi ces copeaux ont des sections plus uniformes se rapprochant davantage du rectangle, et de faibles stries rayonnantes, tout au

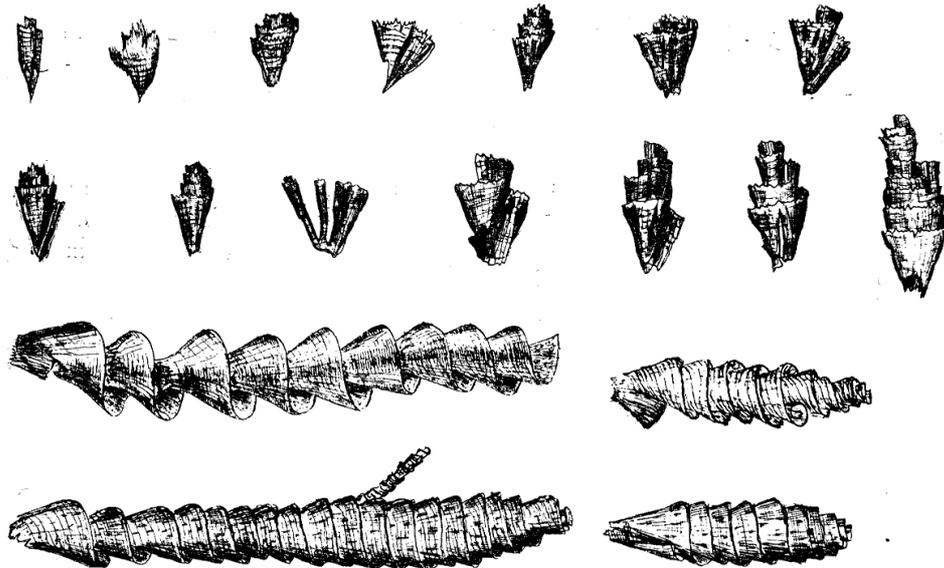


Fig. 1154. — Copeaux de fer fondu et d'aciers divers. Trou de 25 millimètres de diamètre. Foret hélicoïdal.

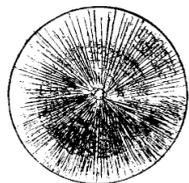
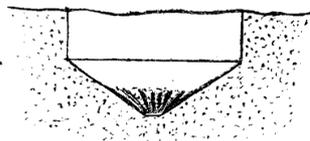


Fig. 1156 et 1157.

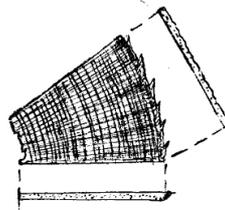


Fig. 1155.

moins dans les épaisseurs inférieures à 40 millimètres (fig. 1155) à échelle agrandie. Le foret hélicoïdal conserve toujours la priorité sur les forets ordi-

naires; il produit des copeaux de très grande longueur se dégageant facilement dans les gorges qui les guident.

Dans le fond du trou, on distingue bien (fig. 1156-1157) la zone de pourtour où l'outil coupe d'une façon nette, tandis que la zone plus voisine du centre dénote des arrachements par une surface à petites ondulations multiples difficiles à représenter. Le bord de pourtour des copeaux présente de nombreuses dentelures analogues à celles du plomb, mais beaucoup plus petites, très caractérisées dans l'acier nickel (fig. 1155). Lorsque le foret hélicoïdal est apointé, les tranchants de pointe coupent un petit copeau auxiliaire que représente l'une des fig. 1154. Nous signalerons plus loin quelques autres spécimens de copeaux de forage quand nous traiterons des essais faits avec des forets spéciaux et des lames.

(A suivre.)

COMMERCE

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS. *Office national de la Propriété industrielle.*

La Société d'Encouragement pour l'industrie nationale a, de tout temps, étudié avec la plus vive sollicitude les questions qui intéressent la Propriété industrielle. Le *Bulletin* a publié plusieurs rapports, approuvés par le Conseil et tendant à obtenir des réformes utiles, notamment en ce qui concerne l'installation du service des brevets d'invention, la communication plus complète et la publication plus rapide des brevets. En 1884, sur le rapport du Comité du Commerce, le Conseil exprimait le vœu que le service des brevets fût transféré au Conservatoire des Arts et Métiers et qu'il fût doté de ressources suffisantes pour lui permettre de donner satisfaction à l'industrie ainsi qu'aux inventeurs, et de soutenir la comparaison avec les services analogues installés à Londres, à Berlin, à Berne, aux États-Unis (1). La loi du 9 juillet 1901 a enfin réalisé la réforme longtemps sollicitée en créant l'Office national de la Propriété industrielle, et en l'annexant au Conservatoire. Nous extrayons d'un rapport de M. Liébaut, publié dans le *Journal officiel* du 9 mars 1903, le chapitre relatif à l'Office national de la Propriété industrielle. (C. L.).

Dès sa création l'office national de la propriété industrielle s'est préoccupé de publier les brevets d'invention *in extenso* et par fascicules séparés, conformément aux prescriptions de la loi du 9 juillet 1901. D'après cette loi, la publication devait avoir lieu après le paiement de la seconde annuité des brevets. Or, comme près de 50 p. 100 des brevets ne résistent pas à cette épreuve, c'était de 6 000 à 6 500 brevets qui devaient être publiés. Un crédit de 300 000 francs était ouvert annuellement, dans ce but. L'office se rendit bientôt compte que s'il bornait à sa tâche, il ne répondrait pas aux vœux depuis longtemps exprimés et qui tendaient à la publication de tous les brevets immédiatement après leur délivrance. Aussi, le directeur de l'office prit-il l'initiative d'entrer en relation avec un certain nombre d'éditeurs et d'imprimeurs pour leur proposer de se charger de l'impression de l'intégralité des brevets. Cette tentative fut couronnée de succès, car l'office reçut immédiatement les offres de service d'un certain nombre d'éditeurs qui lui proposaient de publier tous les brevets sans exception moyennant un forfait de 300 000 francs, chiffre fixé par la loi.

L'Imprimerie nationale qui, depuis 1844 publiait les brevets par extrait ou en titre, se mit également sur les rangs. Il est inutile d'indiquer les raisons pour lesquelles le Conservatoire donna la préférence à ce dernier établissement pour l'impression de documents administratifs ayant à certains égards un caractère confidentiel. La conclusion de ce marché eut

(1) *Bulletin* de mai 1884.

immédiatement pour conséquence de permettre au Parlement de voter une proposition de loi dont il était saisi et qui ordonnait la publication intégrale de tous les brevets d'invention au moment même de leur délivrance. Il n'est pas inutile de faire remarquer que cette combinaison permettait à l'État de réaliser une économie de 300 000 francs par an.

Vous n'attendez pas de nous que nous indiquions dans quelles énormes proportions se sont développés les travaux de l'office national de la propriété industrielle, depuis sa création. Il faudrait que nous vous parlions non seulement des brevets d'invention, des marques de fabrique et de commerce, des dessins et modèles industriels, mais encore de tout ce qui s'est fait en matière de secret de fabrique, de récompenses industrielles, de fonds commerciaux, de concurrence déloyale et de fausses indications de provenance.

Ces détails se trouvent dans le très intéressant rapport présenté par M. Couhin au nom de la commission technique.

La loi du 9 juillet 1901 avait déjà décidé que les dessins produits à l'appui des demandes de brevets d'invention seraient établis dans un format et à une échelle qui seraient déterminés par arrêté du ministre du commerce. Il s'agissait d'assurer la reproduction photographique des dessins dans des conditions économiques ; la loi du 7 avril 1902 a été plus loin.

Elle a conféré au ministre du commerce le soin de déterminer les conditions de forme, de dimensions, de rédaction que devraient présenter non seulement les dessins, mais encore les descriptions annexées aux demandes de brevets. Au moment où la législation ordonnait la publication intégrale de tous les brevets, il était indispensable d'imposer aux inventeurs certaines règles et certaines limites sans lesquelles l'opération aurait pu exiger des capitaux considérables. Il ne s'agissait pas de modifier la loi du 7 avril 1844 dans celles de ses conditions qui prescrivent la délivrance des brevets d'invention sans examen préalable. Les congrès nationaux ont en effet montré leurs préférences pour ce régime qui dispense l'État de garantir soit la réalité, la nouveauté ou le mérite de l'invention, soit l'exactitude de la description et qui laisse à l'autorité judiciaire le soin de se prononcer sur toutes les contestations qui peuvent naître en matière de propriété industrielle. Mais il est évident que, même restreint aux conditions de forme et de rédaction fixées par l'arrêté ministériel, cet examen exigeait des connaissances absolument techniques. C'est ce qui explique la création d'un service d'ingénieurs qui rendent à l'office les plus grands services.

Si désireux que nous soyons d'abrégé cet exposé nous ne pouvons passer sous silence l'œuvre entreprise en vue de la confection d'un répertoire des marques de fabrique et de commerce et celle qui a trait à la modification du catalogue des brevets d'invention. Nous avons en effet le devoir de signaler que si ces travaux ont pu être entrepris, c'est grâce aux subventions qui ont été accordées à l'office par l'association des ingénieurs-conseils en matière de propriété industrielle et par l'union des fabricants pour la protection internationale de la propriété industrielle et artistique. Il est à noter en effet que par le fait de son transfert au Conservatoire, l'office participe aux avantages que confère la personnalité civile à cet établissement public qui peut recevoir les libéralités nécessaires pour assurer le fonctionnement des services qui s'y trouvent centralisés.

Nous citerons également, pour être complet, l'autorisation qui a été accordée à l'office de délivrer, moyennant un tarif déterminé, des copies des descriptions et des dessins annexés aux brevets ainsi que des certificats d'identité des marques de fabrique et de commerce.

Nous en aurons fini avec cette énumération en rappelant que M. le ministre du commerce a chargé l'office de présider à une vaste enquête sur les modifications à apporter à la législation sur la matière.

.....

Dans son rapport à la commission du budget, M. le député Astier a exprimé le vœu de voir centraliser au Conservatoire les services de la recette centrale qui reçoit les annuités des brevets et du dépôt des demandes de brevets, services qui sont actuellement à la préfecture de la Seine. Ces deux mesures, qui complèteraient l'office de la propriété industrielle, ne pou-

vaient que rencontrer l'adhésion unanime de la commission technique et du conseil d'administration du Conservatoire.

Nous souhaitons que les pourparlers engagés permettent d'assurer à bref délai la réalisation de ces deux importantes réformes.

Cet exposé déjà trop long ne donne qu'une faible idée des travaux qui ont été effectués par l'office depuis sa création. Pour se rendre compte de l'étendue de l'œuvre accomplie, il faut lire le rapport qui a été rédigé par la commission technique sur le fonctionnement de l'office pendant les dix-huit derniers mois.

En créant cet office, M. le Ministre du commerce a compris la nécessité de placer auprès de lui des conseils éminents chargés d'éclairer sa marche. C'est l'idée qui a présidé à l'institution de la Commission technique au sein de laquelle se rencontrent les représentants les plus autorisés du monde des affaires, de la science et du barreau. Avec de pareils guides, il n'est pas douteux que le fonctionnement de l'office ne soit sérieusement assuré quand la situation budgétaire aura permis de doter l'office de subsides qui répondent aux nécessités de ce grand service public.

Et on ne saurait se dissimuler la puissance des considérations que la Commission invoque pour justifier une majoration des crédits :

1° L'office, dit-elle, ne coûte rien à l'État. Alors que le Trésor encaisse (1901) une somme de 3343613 francs, représentant le montant des annuités des brevets, les frais de fonctionnement de l'office n'exigent qu'une somme de 428934 francs, dont 314000 francs pour les travaux d'impression des brevets et du *Bulletin officiel* (le fonctionnement des services administratifs proprement dit, personnel et matériel, ne représente qu'une somme de 114934 francs);

2° Alors que la loi du 9 juillet 1901 avait ouvert un crédit de 300000 francs pour la publication de 6300 brevets environ, l'office a réussi à publier le double des brevets pour la même somme, ce qui fait une économie annuelle de 300000 francs pour l'État.

3° Le Trésor encaisse annuellement, du fait de l'application de l'article 12 de la loi du 5 juillet 1844, une somme de 9000 francs environ, représentant les droits versés pour frais de copie de brevets, alors que le crédit correspondant mis à la disposition de l'office pour ces travaux, n'est que de 2200 francs;

4° La loi du 7 avril 1902, qui a prescrit de publier tous les brevets au moment même de leur délivrance, publication dont la préparation devait avoir nécessairement sa répercussion sur les travaux de l'office, n'a ouvert aucun crédit pour en assurer l'exécution.

Comment, dit le rapport, pourrait-on, en ces circonstances, refuser à l'office les crédits nécessaires pour réaliser l'augmentation du personnel sans laquelle il lui deviendra de plus en plus difficile, pour ne pas dire impossible, d'assurer l'expédition des affaires.

Comme conclusion, voici le texte de deux vœux que la Commission technique a soumis au Conseil d'administration :

1° Que le Conseil d'administration veuille bien laisser le service des marques de fabrique et de commerce dans les locaux actuels, qui ont été provisoirement affectés à ce service, les bâtiments nouvellement construits devant être insuffisants pour le service des brevets d'invention;

2° Que le personnel de l'office national de la propriété industrielle soit augmenté le plus tôt et le plus largement possible, cette augmentation étant le seul moyen de permettre à l'office de faire face aux exigences de ses divers services, exigences qui ont été considérablement accrues, notamment par la nécessité de tenir la main à l'exécution des prescriptions nouvelles et très minutieuses édictées en vue de la publication *in extenso* des brevets d'invention et par le nombre beaucoup plus grand des visiteurs qui viennent consulter les brevets d'invention et les marques de fabrique et de commerce.

Le Conseil d'administration est disposé à donner satisfaction au premier de ces vœux. Toutefois, il n'a pas encore pu statuer définitivement, la question n'étant pas suffisamment étudiée.

En ce qui concerne le deuxième vœu, relatif à l'augmentation du personnel, le Conseil a chargé M. le Directeur de signaler tout particulièrement la situation à l'attention de M. le

Ministre du commerce, en lui rappelant la demande déjà adressée à son département en vue d'obtenir une augmentation des crédits actuellement inscrits au budget.

Le Conseil, témoin des travaux effectués par l'Office national de la propriété industrielle, désire vivement que cette augmentation puisse être accordée. Aucun pays n'a, plus que le nôtre, le devoir de veiller avec sollicitude aux intérêts de ses inventeurs et au respect de ses marques de fabrique. Le génie de ses savants, l'intelligente initiative de ses chefs d'industrie, l'habileté professionnelle de ses ouvriers, la probité parfaite de tous, ont fait éclater dans l'univers la bonne renommée de la France. C'est par le développement et la constante application des facultés spéciales de l'esprit français que nous pouvons surtout accroître la richesse nationale. D'autres pays sont plus favorisés par les matières premières que la nature a déposées dans les entrailles de la terre : aucun n'a reçu des dons intellectuels et moraux qui puissent constituer une aussi précieuse propriété industrielle. La loi du 9 juillet a mis entre les mains de nos inventeurs un instrument précieux, dont nos concurrents étrangers avaient depuis longtemps éprouvé l'efficacité. Il importe de ne pas refuser les ressources financières indispensables pour qu'elle puisse produire les résultats importants qu'on est en droit d'en attendre.

NOTES DE MÉCANIQUE

MACHINE D'EXTRACTION DES MINES DE *Bruay*

La machine d'extraction *a* (fig. 1) comprend un régulateur de vapeur à tiroir *b*, un avertisseur *c*, un indicateur de position des cages *d*, un frein à vapeur *efg*, une prise de vapeur avec papillon *h*, commandé par un électro-aimant *i*, à commutateur *l*, près des molettes et *m* sur l'indicateur; un second électro-aimant *p* commande le frein

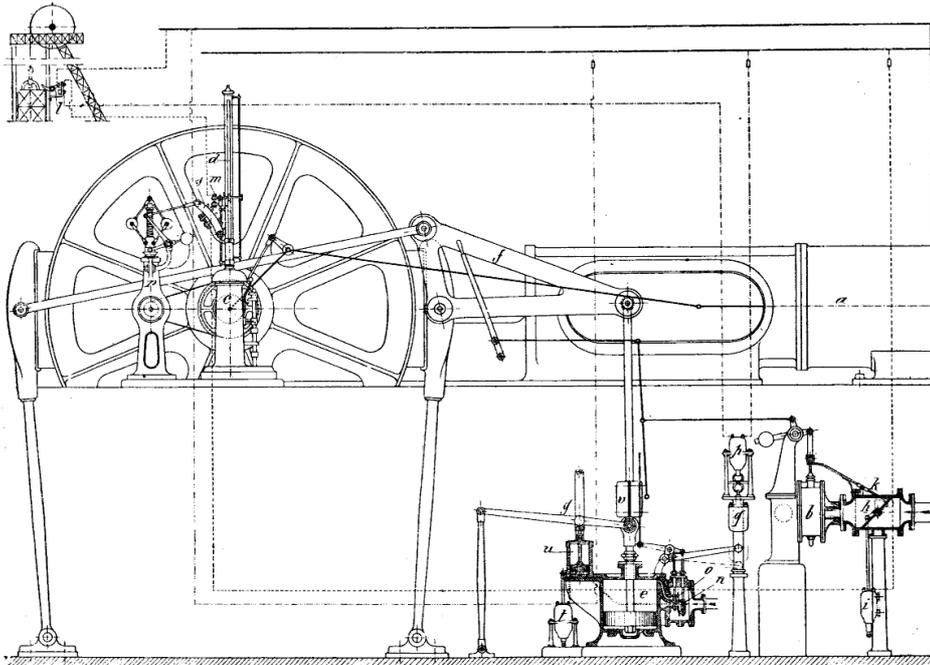


Fig. 1. — Machine d'extraction des mines de *Bruay*, élévation.

pour l'arrêt; un troisième électro *t*, soumis au régulateur, commande le serrage graduel du frein.

L'électro-aimant *i* maintient *h* normalement ouvert; dès que l'interrupteur *m* (fig. 4) rompt le circuit de *i*, il lâche son armature qui, par son poids, ferme *h*, et *h*,

reste fermé par le cliquet k jusqu'à ce que le mécanicien ait fermé le régulateur b , dont le mouvement déclanche k et permet ainsi à i de rouvrir h , de sorte que la vapeur peut passer par le régulateur b plus ou moins ouvert afin de compléter lentement la manœuvre des cages. Le papillon h ne ferme jamais entièrement; il laisse ainsi toujours passer la vapeur nécessaire pour éviter le recul des molettes par sa compression dans

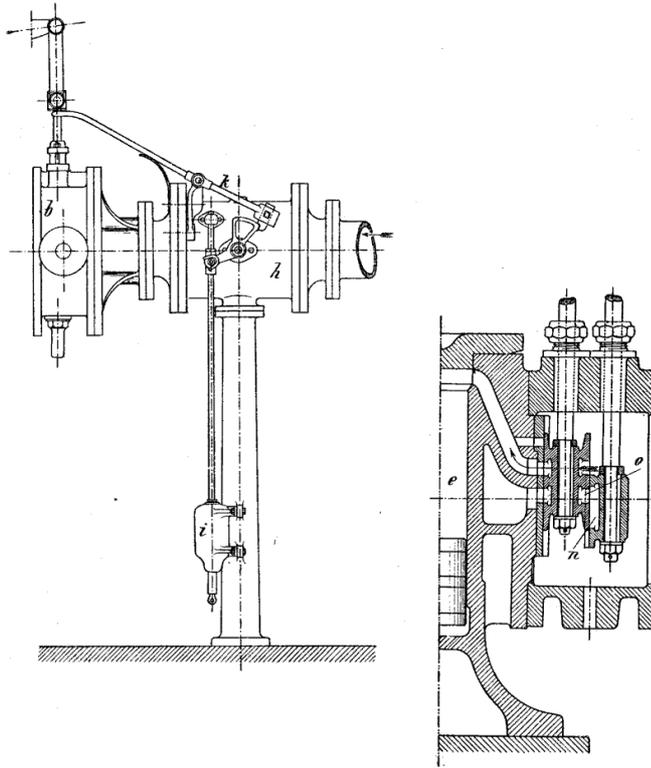


Fig. 2. — Détail du cliquet k (Fig. 1). Fig. 3. — Tiroirs du cylindre e (Fig. 1).

les cylindres de la machine. Le cliquet k peut (fig. 2) s'ajuster de manière à permettre le réglage de cette compression.

Lorsque la cage arrive à deux ou trois mètres, de la recette, elle repousse le double interrupteur l , un pour chaque cage, qui agit simultanément sur i et sur p de manière à fermer h et à serrer le frein par la chute du poids q de p sur le levier du tiroir o ; cette chute de 120 millimètres actionne très vivement le tiroir o (fig. 3), indépendamment du second tiroir n , qui reste toujours maniable par le mécanicien. La figure 5 indique comment la chute du poids q se fait par l'attraction de la pièce qui le retient, et le frein ne peut être desserré qu'après avoir ramené l , q et o à leurs positions primitives.

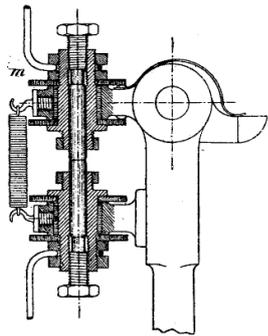


Fig. 4. — Détail de l'interrupteur *m*
(Fig. 1).

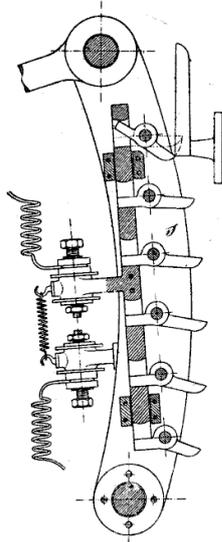
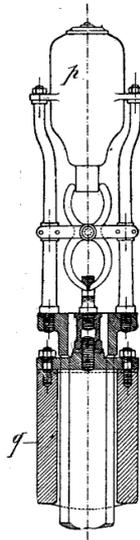


Fig 5 et 6. — Détail de la commande du poids *q*
et du régulateur de vitesse *s* (Fig. 1).

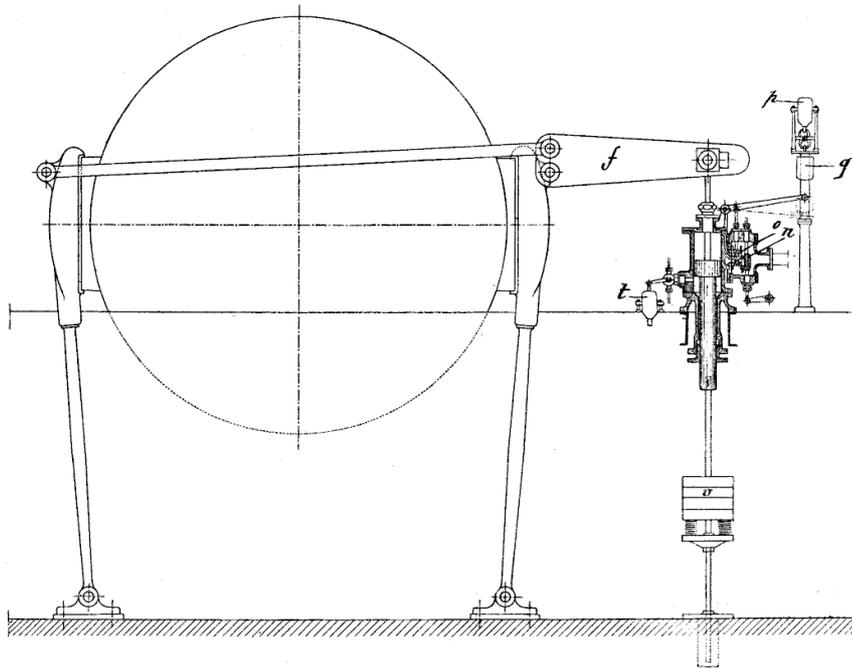


Fig. 7. — Machine d'extraction de *Bruay*, variante.

Si la vitesse dépasse la limite prévue, le régulateur r amène au droit de l'indicateur m les touches s (fig. 6) qui agissent sur l'électro-aimant t de manière qu'il ouvre à l'échappement le cylindre u , de desserrage du frein, et permette ainsi au poids v de serrer ce frein suffisamment pour ramener la machine à sa vitesse normale.

La figure 7 représente, avec les mêmes lettres, une disposition plus directe et simple de ce mécanisme d'arrêt et de ralentissement par le frein.

INDICATEUR DE PRESSION *Petavel et Kingsmill* (1)

Cet indicateur est destiné à mesurer des pressions instantanées et très élevées, comme celle des mélanges gazeux détonants et des explosifs ou poudres.

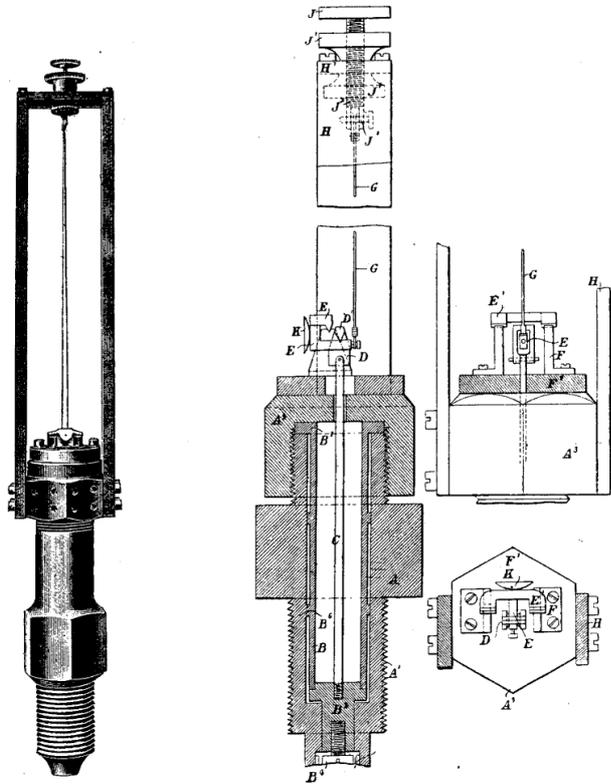


Fig. 1 à 4. — Indicateur de pressions *Petavel et Kingsmill*.

L'organe essentiel de cet indicateur est un tube d'acier BB' (fig. 1 à 4) guidé dans la prise de pression AA' , que l'on visse sur le récipient ou le canon dans lequel se fait

(1) *Engineering*, 13 mars, p. 339.

l'explosion, et serré en A³. Ce tube se termine par un piston B², qui reçoit en B⁴ le choc de l'explosion, et qui est sans cesse tiré par la tige C, dont l'étrier D appuie par son couteau D' sur le levier EE', à couteaux E' F' à pivotés sur le châssis FF', et qui est tiré par le fil d'acier G, à tension réglable par la vis J', prenant appui sur le montant H et faisant écrou sur la vis d'attache JJ² J³ de G. Le levier EE' porte, en K, un miroir amplificateur de ses oscillations.

L'étanchéité du piston B² est assurée par un cuir embouti en B⁴. Diamètre du tube B 127 millimètres. Les couteaux D' et E' E', situés dans un même plan, peuvent être rapprochés à 1/100 millième de pouce, mais un écartement de 1/16 de pouce (1^{mm},6 suffit en général. Le tambour enregistreur, renfermé dans un cylindre, reçoit, par une fente de 1/32 de pouce (0^{mm},8), la trace d'un filament de lampe à incandescence projeté par K perpendiculairement à la fente, et porté, au moment de l'explosion, au double de son voltage normal.

L'emploi du tube en acier B permet de donner aux pièces mises en mouvement par l'explosion un poids W très faible, de manière à rendre très petite la durée d'une oscillation simple de ce ressort, donnée par la formule $t = \pi \sqrt{\frac{Wf}{Ag}}$, dans laquelle A est la charge sur B et f son raccourcissement, en kilogrammes et millimètres. La déformation f est transformée et amplifiée sans jeux ni erreur sensibles par le mécanisme précis et simple GDEK.

L'appareil est gradué à la pression hydraulique; la déformation f ne dépasse guère 1/1000 de pouce.

M. Petavel poursuit, avec cet appareil, des recherches très intéressantes pour la théorie des moteurs à gaz (1).

APPLICATION DES DYNAMOS TRIPHASÉES A LA CONDUITE DES MACHINES-OUTILS
d'après M. A. C. Eborall (2).

Les dynamos triphasées sont, en général, préférables pour la commande des machines-outils et autres mécanismes d'atelier en raison de leurs plus grandes simplicité, souplesse et sûreté, ainsi que de leur bon marché d'établissement et d'entretien; elles se prêtent aux surcharges et aux coups mieux que les dynamos à courants directs, mais elles ne peuvent pas conserver leur économie de fonctionnement entre des limites aussi étendues que les dynamos directes; c'est là leur point faible. L'absence de balais constitue une simplification pratique importante en supprimant un organe qui s'use, et dont la surveillance est continuellement nécessaire.

On sait que les moteurs triphasés se divisent en deux grandes classes : ceux à cage d'écreuil, ou toujours en court-circuit, et ceux à rotors avec enroulements et bagues de mise en résistance temporaires pour faciliter le démarrage (3). La figure 1 représente un moteur triphasé de 45 chevaux, avec introduction de résistances dans l'induit par des frotteurs que l'on sépare des bagues dès que le moteur atteint sa vitesse de régime et que l'on supprime les résistances de démarrage. Cette disposition

(1) *Revue de mécanique*, février 1903, p. 200.

(2) *Journal of the Society of Arts*, 3 avril 1903.

(3) L'introduction des résistances dans l'induit, au démarrage, peut être remplacée par d'autres dispositifs, parmi lesquels il suffit de rappeler ceux de Boucherot, de Déri et de F. Hinnen.

devrait être adoptée pour tous les grands moteurs, à partir de 5 kilowatts environ, car elle évite l'usure inutile des frotteurs et les pertes par leurs circuits après un démarrage.

Les moteurs triphasés à cage d'écurieil sont, une fois mis en train, excellents pour les marches à vitesse constante, en raison de leur extrême simplicité et de leur innocuité parfaite, même dans des atmosphères inflammables; on en facilite le démarrage en les accolant à une mise en train par poulie folle ou en les mettant en train par un petit transformateur auxiliaire ou compensateur à voltage réduit. Ces moteurs absorbent,

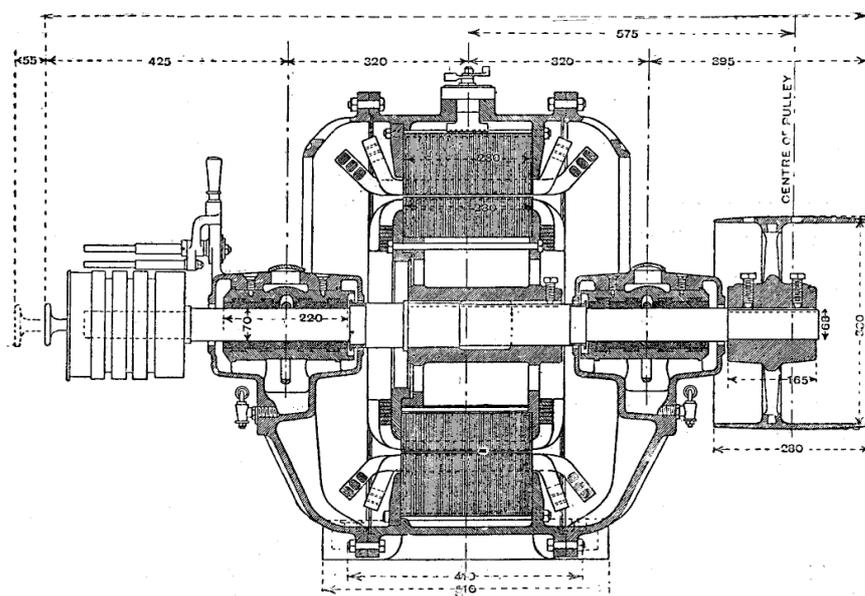


Fig. 1. — Moteur triphasé, avec bagues de démarrage, de 45 chevaux, 220 volts : fréquence 50 950 tours par minute.

au démarrage, une grande intensité de courant, avec un facteur de puissance beaucoup plus faible que ceux des moteurs triphasés à bagues de démarrage. De là, la nécessité de limiter l'emploi de ces moteurs aux faibles puissances toutes les fois qu'il faut mettre en train avec le couple de rotation ou le torque maximum.

Les diagrammes (fig. 2) donnent le fonctionnement d'un moteur triphasé de 10 chevaux à cage d'écurieil étudié spécialement, avec un glissement considérable, de 6 p. 100 en pleine marche (1).

Le tableau ci-dessous fournit quelques données principales relatives aux types usuels de ces moteurs de 1 à 5 chevaux.

(1) Le glissement est la vitesse relative de rotation de la cage dans le champ tournant.

	Puissances en chevaux effectifs.			
	1	2	3	5
Surcharge sans ralentissement.	1,6	3,6	6,6	10
Rendement à 50 p. 100 de surcharge.	73	79	85	87
Pleine charge.	81	82,4	86,4	88,3
Demi-charge.	79	81	84	89
Facteur de puissance à 50 p. 100 de surcharge.	73	80	89	90
Pleine charge.	82	85	85	88
Demi-charge.	69	72	74	77
Glissement à 50 p. 100 de surcharge.	8	4,5	4,5	4,3
Pleine charge.	3,8	3,5	3,0	2,85
Demi-charge.	1,8	1,6	1,4	1,3
Poids des moteurs en kilogrammes.	65	90	120	160

Les courbes du diagramme (fig. 3) donnent la marche d'une dynamo à cage (fig. 4),

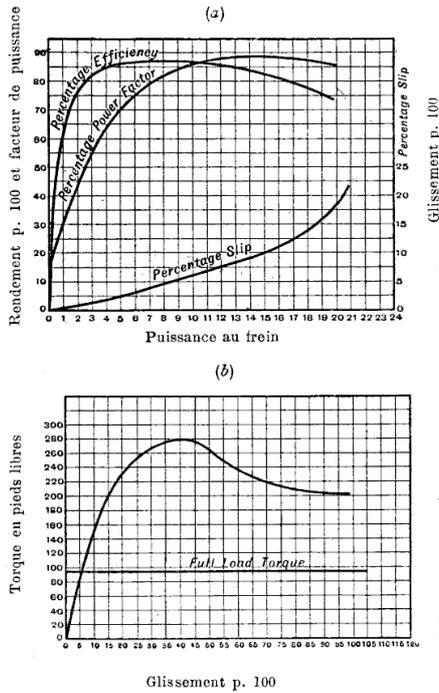


Fig. 2. — Diagrammes de démarrage et de marche normale d'un moteur triphasé de 10 chevaux à cage d'écureuil.

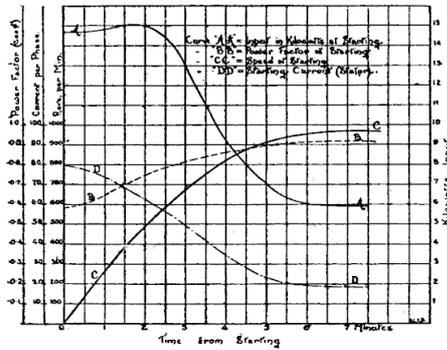


Fig. 3. — Courbes de démarrage du moteur fig. 4.

accouplée directement à une turbine de sucrerie, application à laquelle ces moteurs conviennent tout particulièrement en raison de leur rusticité et de la facilité de leur

manipulation par un simple commutateur. Ce moteur est de six chevaux, à 200 volts, 950 tours et 50 périodes. En raison de la masse considérable à mettre directement en mouvement, il prend environ six minutes pour atteindre sa pleine vitesse; au démarrage, sa puissance est d'environ 13 kilowatts, et elle tombe à 5 kilowatts en pleine marche; l'intensité du courant y tombe de même de 80 à 18 ampères, et le facteur de puissance (Cos. φ) passe de 60 p. 100 au démarrage à 91 p. 100 en pleine marche (1).

Ces moteurs doivent, en raison des conditions rigoureuses de leur démarrage, être

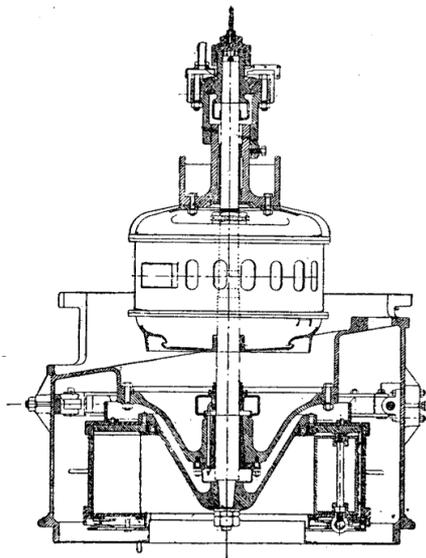


Fig. 4. — Dynamo triphasée à cage d'écureuil commandant directement une essoreuse.

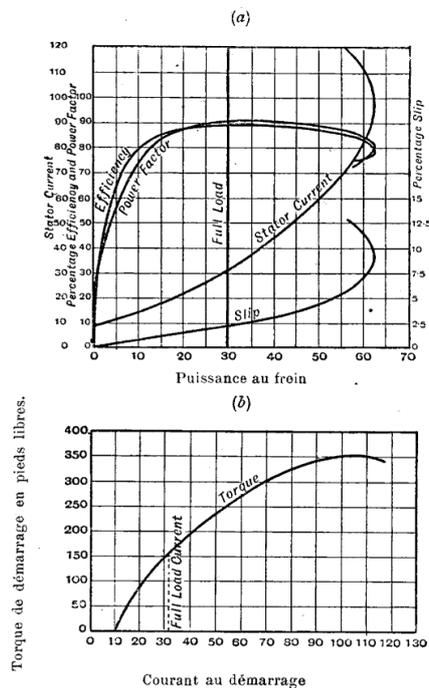


Fig. 5. — Diagrammes de marche et de démarrage d'un moteur triphasé de 15 chevaux à bagues de démarrage.

bien à l'abri du brûlage par un isolement parfait et des connexions autant que possible entièrement mécaniques et sans soudures.

Les moteurs qui commandent des arbres de transmissions pour machines-outils doivent développer, au démarrage, un torque égal à la moitié environ de celui de pleine marche, de sorte que, s'ils sont du type à cage, ils devront absorber, au démarrage, un courant presque triple de celui de la pleine marche; ce courant pourrait être

(1) φ est le décalage dû à l'auto-induction et donné par la relation $\text{tg } \varphi = \omega \frac{l}{r}$; ω étant la vitesse angulaire du rotor dans le champ, r la résistance et l le coefficient d'induction d'une spire.

réduit au double de l'intensité normale par l'emploi d'un transformateur de démarrage ou d'une poulie folle, mais toujours avec un facteur de puissance très faible, de 20 p. 100 environ pour le démarrage.

Certains moteurs, comme ceux des grues, doivent démarrer avec un torque égal à celui même de la pleine charge, parfois même supérieur, de sorte que l'intensité au démarrage atteint jusqu'à cinq fois l'intensité moyenne dans le stator, ainsi soumis à des réactions excessives, même pour un temps très court, et qui nécessitent l'emploi

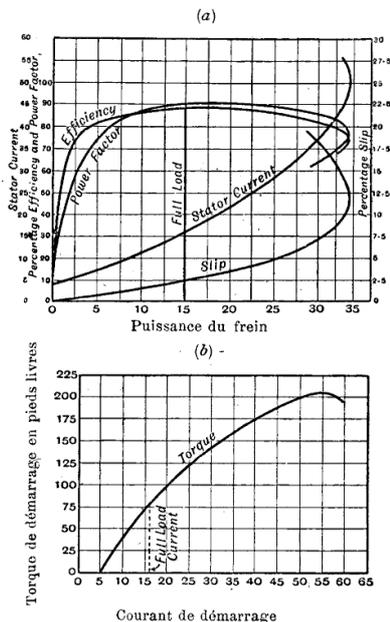


Fig. 6. — Diagramme de marche et de démarrage d'un moteur triphasé de 15 chevaux avec bagues de démarrage.

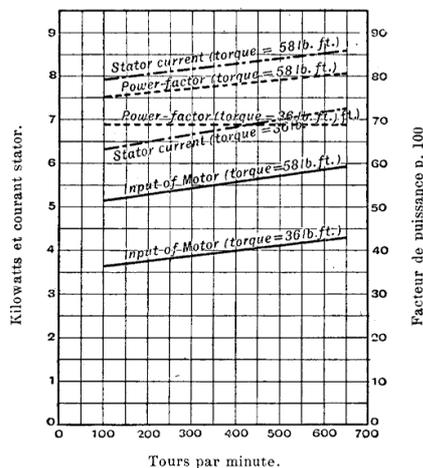


Fig. 7. — Moteur triphasé de 5 chevaux, à bagues de démarrage, sous différentes vitesses et à torque constant.

d'un transformateur de démarrage à partir d'une certaine puissance des moteurs fonction de la puissance même de l'installation générale, de la fréquence des démarrages et de la sensibilité avec laquelle les lampes branchées sur le circuit général sont influencées par les variations des moteurs. En général, dans de pareilles conditions, l'on ne doit guère dépasser cinq chevaux pour les moteurs à cage sans transformateurs démarreurs.

L'emploi d'un rhéostat de démarrage au rotor diminue la dépense d'intensité au démarrage et augmente le facteur de puissance presque à sa valeur en marche normale; en outre, le démarrage est graduel et facilement réglable par le mécanicien, comme le montrent les diagrammes fig. 5 et 6. On voit que ces moteurs démarrent avec un torque égal à celui de pleine marche, une intensité presque égale à celle du courant normal, et que le torque de démarrage peut facilement y atteindre le double de sa

pleine marche sans que l'intensité du courant dépasse une fois et demie l'intensité normale.

Les courbes du diagramme (fig. 8) permettent de comparer les démarrages des moteurs triphasés et des moteurs à courants directs, et montrent que le démarrage est aussi satisfaisant avec les triphasés, jusqu'à un torque correspondant à celui de la pleine charge ; au delà, le moteur en série est le plus économique.

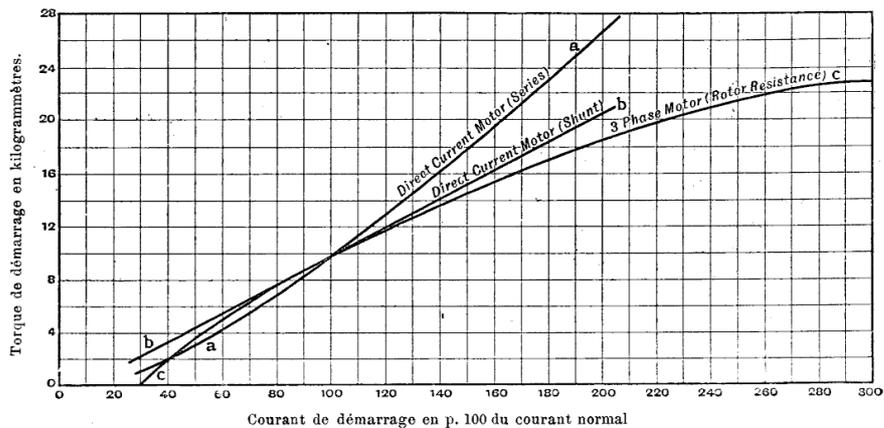


Fig. 8.

On trouvera, au tableau ci-dessous, les principales données du fonctionnement des moteurs triphasés de 7 à 90 chevaux, du type à frotteurs, avec résistance de démarrage dans l'induit.

Puissance en chevaux.	Vitesse en pleine charge. Tours par minute.	Rendement par 100.			
		1/4 de charge.	1/2 charge.	Pleine charge.	50 p.100 de surcharge.
7	1,440	63	78	86	86
9	1,440	65	80	88	87
14	960	68	82,5	89	88
18	960	70	84	89	88
25	960	71	85	90	89
30	960	72	86	90	89
45	960	73,5	87,5	91	89,5
60	725	75	88,5	92	90
90	725	77	89	92	90

Il faut, pour faire varier la vitesse d'un moteur triphasé fonctionnant avec un torque constant, faire varier en conséquence la résistance de l'induit ou rotor, et ce moteur fonctionne alors comme un moteur à courants directs et en dérivation avec voltage constant à l'inducteur et une résistance variable dans l'armature. Dans les deux cas, l'introduction de ces résistances diminue le rendement, le débit du courant étant, à torque égal, à peu près indépendant de la vitesse, comme on le voit en figure 7. On y remarquera, qu'à valeur constante du torque, l'intensité du courant et le facteur de puissance ne varient presque pas entre des vitesses de 100 et 700 tours par minute.

On peut aussi faire varier la vitesse des triphasés en changeant le nombre des pôles du stator en jeu, car cette vitesse est, à fréquence constante, inversement proportionnelle à ce nombre; mais cette limite s'appliquerait mieux aux petits moteurs à cages qu'aux petits moteurs à frotteurs. Des raisons de construction limitent, en effet, en général, le nombre des pôles du stator à deux : à 4 et 8, par exemple, pour un moteur à normalement 8 pôles marchant avec une fréquence de 50, à 1500 puis à 750 tours, de sorte que les moteurs à frotteurs sont presque toujours bien préférables. Ils fournissent actuellement la seule solution générale véritablement pratique, comme simplicité et sécurité; les moteurs à courant direct l'emportent comme économie d'électricité, mais seulement dans les cas qui exigent continuellement de grandes variations de vitesse avec la charge; cette variation s'y produit, en effet, automatiquement, tandis que la vitesse des triphasés reste pratiquement indépendante de la charge, dans les limites prévues de leur puissance.

Dans la plupart des ateliers et manufactures, comme les tissages, ce que l'on demande, c'est surtout une vitesse constante, de sorte que les triphasés y sont tout indiqués en raison de leur simplicité; ceux dont la vitesse devra varier seront du type à résistance de démarrage sur l'induit.

En général, ces moteurs doivent être de force à supporter une surcharge de 50 p. 100 au delà de leur charge normale en travail courant, condition très facile à réaliser avec les triphasés actuelles; ce qu'il faut éviter, c'est de faire travailler le moteur trop au-dessous de sa puissance normale.

Les tableaux ci-dessous donnent la puissance des moteurs à employer avec des machines-outils de différents types courants, en fréquences de 40 à 50, commandant les machines par engrenages et courroies.

A. Tours à fileter.

Hauteur de pointe. mm.	Distance entre pointes.	Puissance du moteur. ch.
115 à 150	500 à 840	1/4
180 à 216	951 à 2 ^m .	1/2
215 à 320	1 ^m ,50 à 2 ^m ,50	1
350 à 415	2 ^m ,50 à 3 ^m ,50	1,5
415 à 480	3 ^m ,50 à 4 ^m ,50	2

B. Tours à plateau.

Diamètre du plateau.	Diamètre maximum à tourner.	Puissance du moteur. ch.
915 ^{mm} à 1 ^m ,25	1 ^m ,20 à 1 ^m ,60	2
1,50 à 1 ^m ,60	1 ^m ,60 à 2 ^m ,35	3
2 m. à 2 ^m ,50	2 ^m ,65 à 3 ^m ,55	5
4 m.	5 ^m ,35	10

C. Tours à revolver travaillant avec un outil seulement.

Hauteur de pointe.	Diamètre maximum tourné.	Longueur maxima.	Puissance du moteur. ch.
230	510	840 ^{mm}	1
290	610	1 ^m ,10	3
300	645	840	2
330	710	1 ^m ,40	5
425	866	1 ^m ,60	5

D. Tours alésoirs verticaux.

Diamètre du plateau.	Diamètre maximum tourné.	Puissance du moteur. ch.
1 ^m ,27	1 ^m ,30	2
1 ^m ,73	2 ^m ,10	3
2 ^m ,10	2 ^m ,45	5
2 ^m ,12	3 m.	5
4 m.	7 ^m ,60	15

D. Perceuses.

Types.	Diamètre maximum admissible sur la table.	Distance maxima du porte-foret à la table.	Puissance du moteur.
Rapide. .	150 à 250 ^{mm}	230 à 915 ^{mm}	0 ^{ch} 5
A colonne.	250 à 330	810 à 1 ^m ,22	1
Radiale. .	1 ^m à 1 ^m ,83	1 ^m ,22 à 2 ^m	2
A 3 forets.	150 mm.	790 à 900 ^{mm}	1

E. Alésoirs horizontaux.

Hauteur maxima de la barre.	Longueur maxima d'alésage.	Puissance du moteur ch.
530 à 635 ^{mm}	1 ^m à 2 ^m	1 ^{ch} 1/2
840 à 1 ^m ,40	2 ^m à 3 ^m ,55	2

E. Fraiseuses.

Types.	Table		Distance maxima de l'axe porte-fraise à la table.	Puissance du moteur.
	Longueur.	Largeur.		
Universelle.	760 ^{mm}			
Moyenne. . .	760 ^{mm}	127	305 ^{mm}	1
Grosse. . . .	1 ^m ,47	280	360	1
Verticale. . .	1 ^m ,80	335	360	3
Id.	3 m.	1 ^m ,30	1 ^m ,12	5
Fraiseuses à tailler les pignons de 500 ^{mm}				
à 1 ^m ,22.				2 ch.
Id. 3 ch. pour jusqu'à 1 ^m ,40				

H. Meules.

Diamètre de la meule.	Puissance du moteur.
250	0 ^{ch} 5
350 à 350	1
350 à 360	2

I. Étaux limeurs.

Course.	Avance transversale.	Distance maxima du bras à la table.	Puissance du moteur.
120	380	200	0 ^{ch} 5
460	760	500	1
500	500	500	1
635	635	400.	1

K. Mortaiseuses.

Course. mm.	Largeur de la coupe.	Profondeur de la coupe.	Table.	Puissance du moteur.
125	350	300	300 × 300	0 ^{ch} 5
150	600	230	500 × 400	1
200	500	610	Diam. 710	1,5
200	760	760	» 760	1,5

L. Marteaux à étamper.

Poids de la masse. kil.	Chute maxima.	Coups par minute.	Puissance du moteur.
150	1 ^m ,10	155	7,5
250	1 ^m ,27	126	7,5

M. Marteaux pneumatiques.

Poids de la masse et de son piston. kil.	Course.	Coupe par minute.	Hauteur maxima de la pièce.	Puissance du moteur.
74	300	220	125	3
125	355	200	180	4,5
200	430	180	225	6,5
300	480	170	260	8
450	535	150	300	10
640	585	130	350	12 à 15
815	685	110	400	17 à 20

Dans les ateliers nouveaux, il vaut mieux que chaque machine ait son moteur, et soit ainsi tout à fait indépendante.

Les moteurs triphasés sont tout indiqués pour la commande des *métiers de filatures* : en groupes ou séparés pour la laine et le coton, toujours séparés pour la soie, car on évite ainsi le danger de taches d'huile tombant des transmissions; les métiers sont soumis à un contrôle parfait de leur conducteur, qui peut les arrêter instantanément en cas de rupture d'un fil, et cet arrêt peut se faire automatiquement. En outre, ce système de commande électrique des métiers est plus économique que celui des transmissions ordinaires et moins cher d'établissement.

Les figures 9 et 10 représentent l'application d'une commande de métier à coton, par groupes, au moyen de triphasés remplaçant les anciennes transmissions par cordes, qui absorbaient 25 à 30 p. 100 de la puissance motrice; chacun des groupes de 20 métiers exige une dynamo de 7 chevaux à 860 tours, commandant son arbre par courroies à 170 tours. Les dynamos sont disposées par paires dans la muraille, pivotées et appuyées par un ressort sur leurs courroies (fig. 10). Ces dynamos sont à cage d'écureuil et, au démarrage, on les soulage en détendant leur courroie au moyen de la vis du ressort. Le rendement, de la machine motrice à ces dynamos, est d'environ 77 p. 100, ce qui donne une économie sensible sur les transmissions par cordes et, en outre, les dynamos permettent de gagner du terrain et d'étendre très facilement l'usine à très peu de frais, sans rien changer au reste de l'installation.

Le diagramme (fig. 11) donne les variations de puissance exigées par la commande

de quatre self-acting pour coton, commandées par une triphasée au moyen d'une

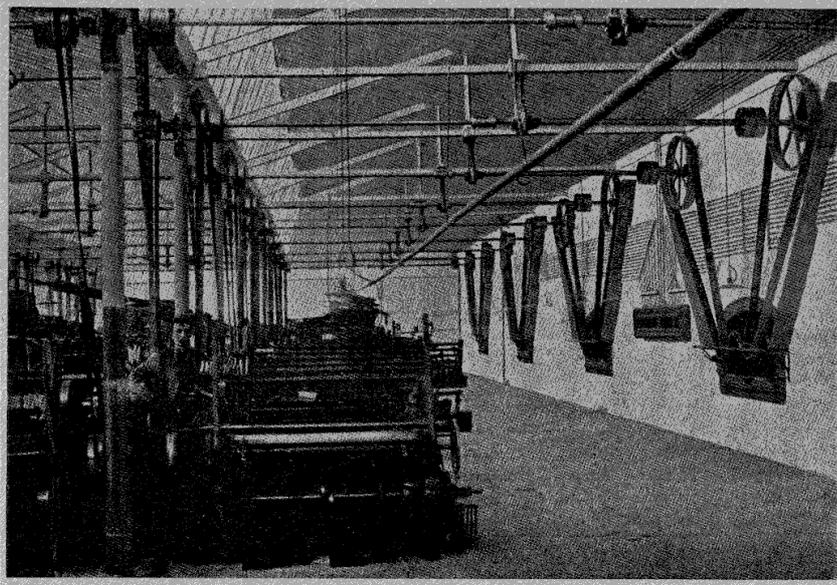


Fig. 9. — Commande de métiers à coton par des triphasés. Filature de Gand.
Installation Brown-Boverg.

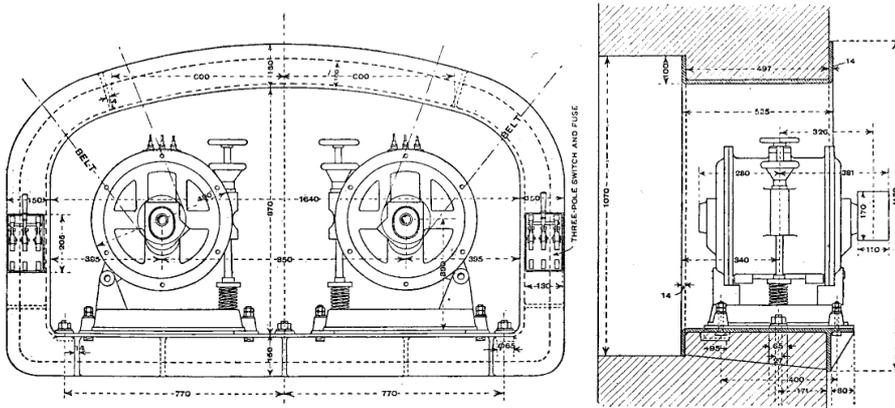


Fig. 10. — Installation murale des triphasés fig. 9.

transmission unique ; la dynamo était de 33 chevaux et la puissance totale absorbée variait de 5 à 32 chevaux ; moyenne 19.

Les métiers à soie exigent, en moyenne, un moteur de 0^{ch},3 ; les jacquards exigent

0^{ch},5 : ce sont des moteurs à cage ; fréquence 37, voltage 110, vitesse 1 000 tours (fig. 12), suspendus à leurs courroies de manière à faciliter le démarrage, avec arrêt casse-fil automatique, facile grâce à la liaison élastique du moteur avec sa courroie.

Le diagramme (fig. 13) donne le fonctionnement d'un moteur triphasé à cage du type fig. 12 et de 1/3 de cheval pesant 23 kilogrammes, dont 4^{kil},5 pour le rotor : poids total du dispositif, 34 kilogrammes ; ce moteur donne normalement 1/3 de cheval à 1 000 tours par minute, avec 115 volts et une fréquence de 37, mais il supporte faci-

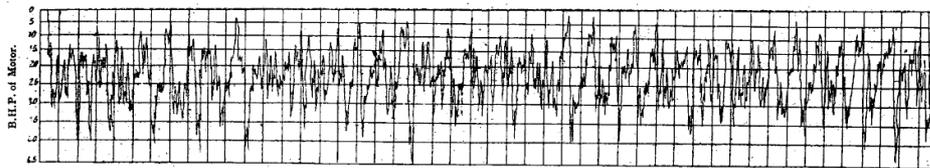


Fig. 11. — Diagramme de la puissance absorbée par 4 self-acting à coton commandés ensemble par l'électricité.

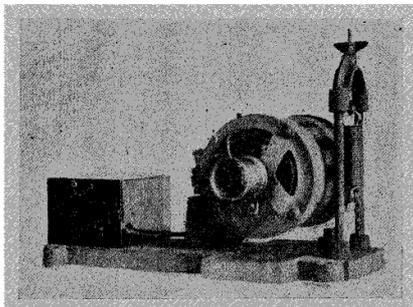


Fig. 12. — Triphasé de 1/3 de cheval à 1 000 tours suspendus par un ressort réglable.

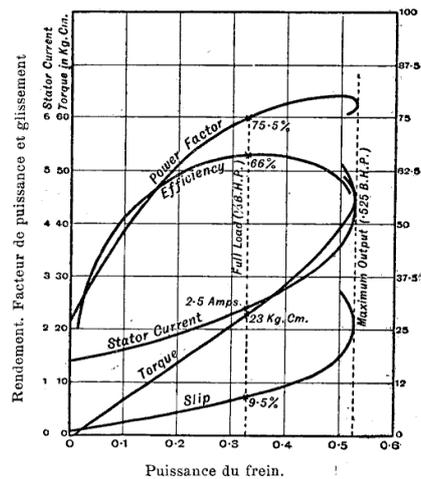


Fig. 13. — Diagramme du moteur fig. 12.

lement une surcharge de 50 p. 100. Le rendement en pleine charge est de 66 p. 100, avec un facteur de puissance de 75 p. 100 et un glissement de 9,5 p. 100, données très favorables pour un si petit moteur.

En résumé, pour un bon emploi de ces moteurs triphasés, le voltage ne devrait guère varier de plus de 18 p. 100 entre la marche à vide et celle en pleine charge ; le facteur de puissance devrait rester constant sur une très grande étendue des variations de la puissance ; ne pas s'abaisser, par exemple, au-dessous de 80 p. 100 de la demi-charge à la pleine charge, pour des moteurs de 3 chevaux et au-dessus, et il devrait en être de même du rendement ; le démarrage doit être aussi facile que possible,

condition qui limite, comme nous l'avons vu, l'emploi des moteurs à cage aux faibles puissances.

TOURS VERTICAUX CONSTRUITS PAR LES ATELIERS DUCOMMUN (1)

Le tour représenté par la figure 1 est à présent deux porte-outils à mouvements indépendants, commandés par engrenages (sans frictions).

La barre d'alésage, à l'encontre de la disposition habituelle, est commandée par se bas; cette disposition présente les avantages suivants : le poids de la barre d'alésage et celui de son mécanisme de commande, ainsi que la réaction de l'effort exercé

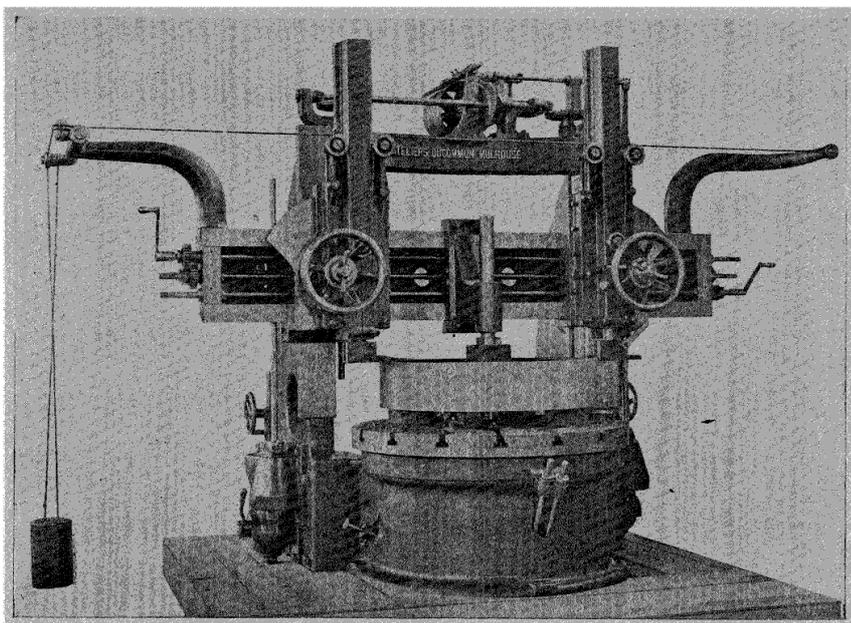


Fig. 1. — Tour vertical *Ducommun*.

sur l'outil sont supportés par le socle de la machine et par les fondations; la traverse horizontale n'a plus à porter qu'une lunette relativement légère, et dont on pourra se passer pour les alésages courts; le dessus de la machine se trouvera dégagé pour le montage des pièces; la commande de la barre a plus de puissance.

Ces avantages ont une importance plus grande encore dans les grands tours à montants mobiles, dans lesquels les anciens mécanismes d'alésage, fixés en porte-à-faux contre la traverse des porte-outils d'un poids considérable, exercent des efforts

(1) Communiqué par M. G. Nardin, ingénieur de la maison Ducommun, et inventeur de ces ingénieuses machines.

de torsion sur la traverse des porte-outils, et où la barre d'alésage fixe travaille dans de mauvaises conditions.

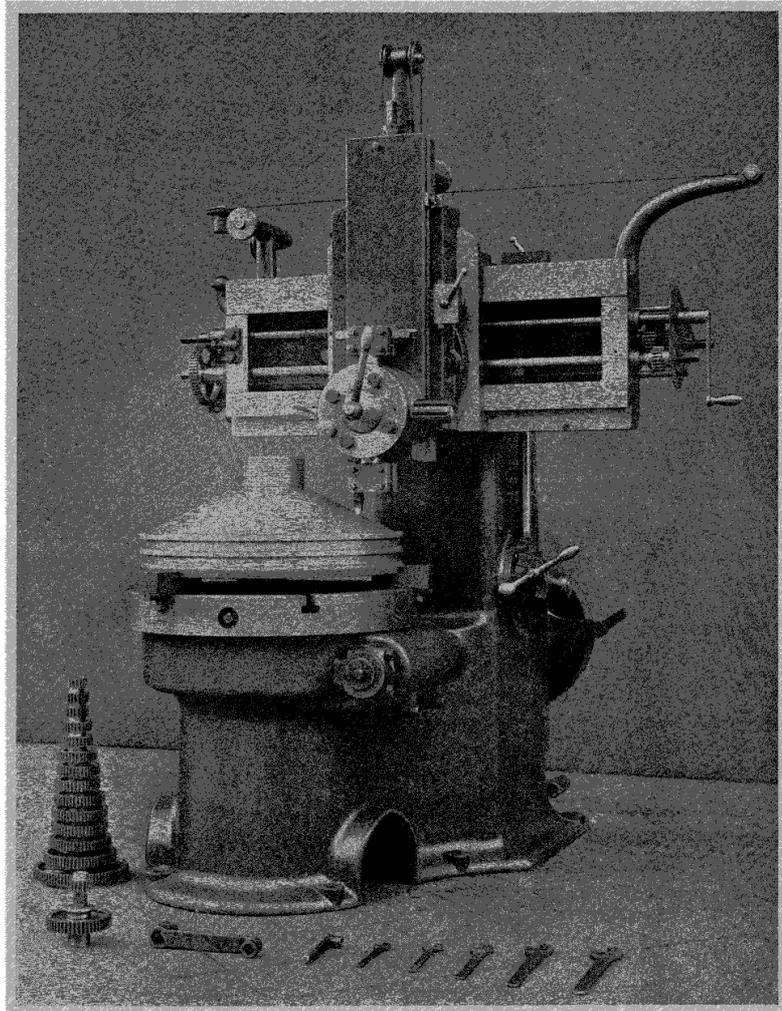


Fig. 2. — Teur vertical conique *Ducommun*; diamètre maximum admis, 850 mm.; hauteur maximum 420; course du porte-outil 400 mm.

La barre d'alésage autonome supprime ces inconvénients. Le mouvement de rotation de la barre permet de faire l'alésage à la vitesse de coupe la plus avantageuse,

pendant que la pièce tourne à une vitesse relativement lente pour travailler la partie circonférentielle à l'aide des deux porte-outils.

Cette disposition d'alésage nouvelle trouve son application dans les tours de moyenne grandeur pour la fabrication de pièces telles que roues de wagon, poulies, etc. ; dans les grands tours pour l'usinage de pièces de toute sorte. Dans le tour représenté par la photographie, la barre d'alésage tourne en sens inverse du mouvement du plateau à des vitesses variables déterminées par différents rapports d'engrenages ; le levier d'embrayage de ces différentes vitesses se trouve sur le côté du tour. Des deux carrelets visibles à l'avant de la machine, l'un sert à régler, respectivement à débrayer le mouvement de pénétration de la barre d'alésage, l'autre à déplacer cette barre rapidement à la main (1).

On a donné aux cornes d'attache des câbles de contrepoids une grande envergure pour permettre d'incliner la barre porte-outil à 45° lorsque les chariots se trouvent au bout de la traverse horizontale.

Le petit tour vertical universel avec chariot revolving à base pivotante de la figure 2 est disposé pour tourner mécaniquement des surfaces planes, cylindriques ou coniques à tout angle et pour fileter, avec arrêt automatique du porte-outil à distance voulue dans tous les sens, plateau-mandrin concentrique, commande de l'avance par engrenages.

Le filetage, dans ce tour, s'opère par le seul changement de marche du coulisseau porte-outil, la pièce continuant à tourner dans le même sens ; les reprises se font automatiquement. Pour le cas où la forme de la pièce ne permettrait pas d'incliner le porte-outil convenablement pour tourner une partie conique, par exemple un fond de cylindre ou le piston représenté par la photographie, il est possible de tourner conique à l'aide des roues de rechange servant au filetage, ainsi que cela se passe sur certains gros tours horizontaux.

Supposons que l'on ait à tourner la partie conique AB du piston fig. 3. On commandera simultanément les mouvements des avances horizontales et verticales à des vitesses dans le rapport $\frac{AC}{CB}$. Lorsqu'il n'existe pas de roues de rechange convenables pour obtenir ce rapport, on peut diminuer l'inclinaison obtenue à l'aide d'un autre rapport d'engrenages, en inclinant le porte-outil de façon que CB (avance verticale) vienne prendre la direction CB₁ par exemple ; l'outil suivra alors la ligne AB₁.

Pour déterminer l'angle α , c'est-à-dire l'inclinaison à donner au porte-outil pour réduire un angle donné A, afin d'obtenir A₁, nous avons la relation : $\sin B_1 = \cotg A \times \sin A_1$ et $\alpha = 90^\circ - A_1 - B_1$, d'où $\cotg A_1 = \frac{AC - CB \cos C_1}{CB \sin C_1}$.

Ce mouvement combiné peut être employé dans des tours de toute dimension ; nous croyons qu'il trouvera d'autres applications en mécanique.

(1) Pour le détail de cette commande voir la *Revue de mécanique* de septembre 1902, p. 299.

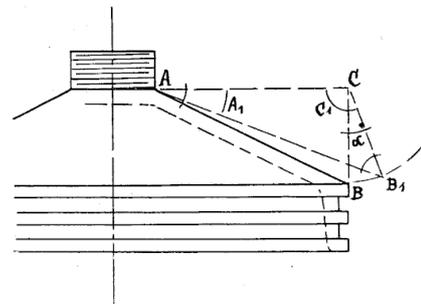


Fig. 3.

Dans le *tour vertical fraiseur* représenté par les figures 4 et 5, le porte-outil de gauche est remplacé par un appareil de fraisage comprenant un chariot A, coulissant

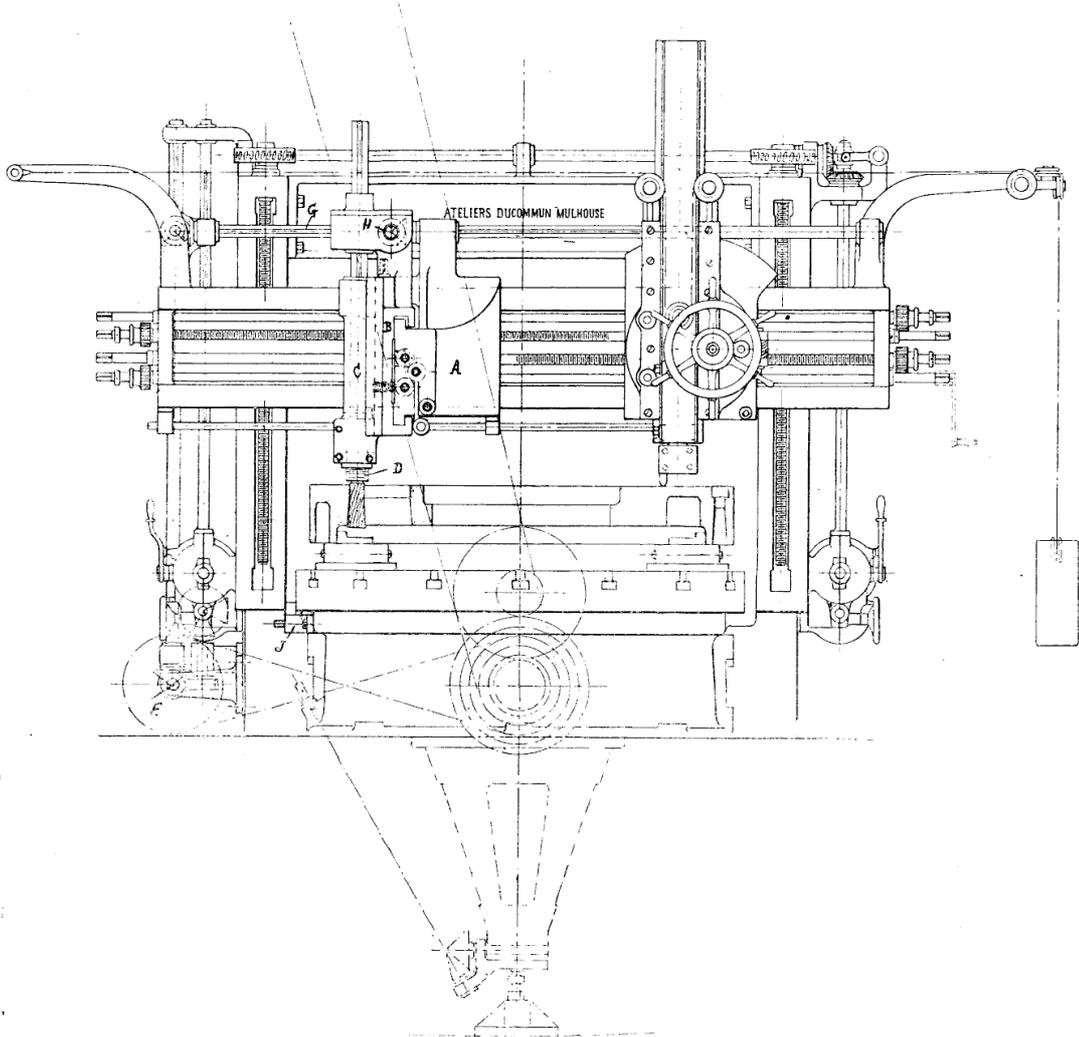


Fig. 4. — Tour vertical fraiseur *Ducommun*, élévation.

sur la traverse horizontale, et un chariot B, coulissant transversalement sur le premier et formant guidage de la poupée porte-fraise verticale C.

Le chariot A est disposé de façon à permettre d'amener le porte-fraise au delà de

Fig. 5. — Tour vertical fraiseur
Ducommun, vue par bout.

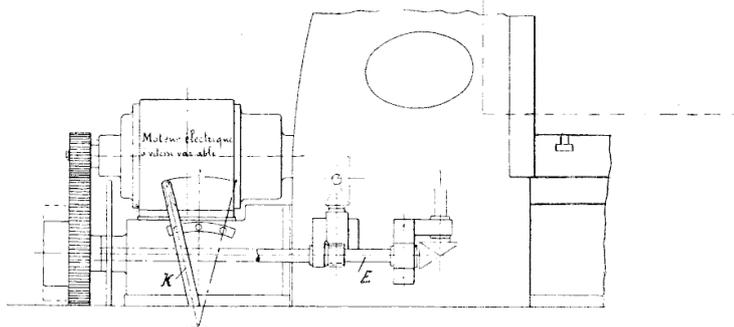
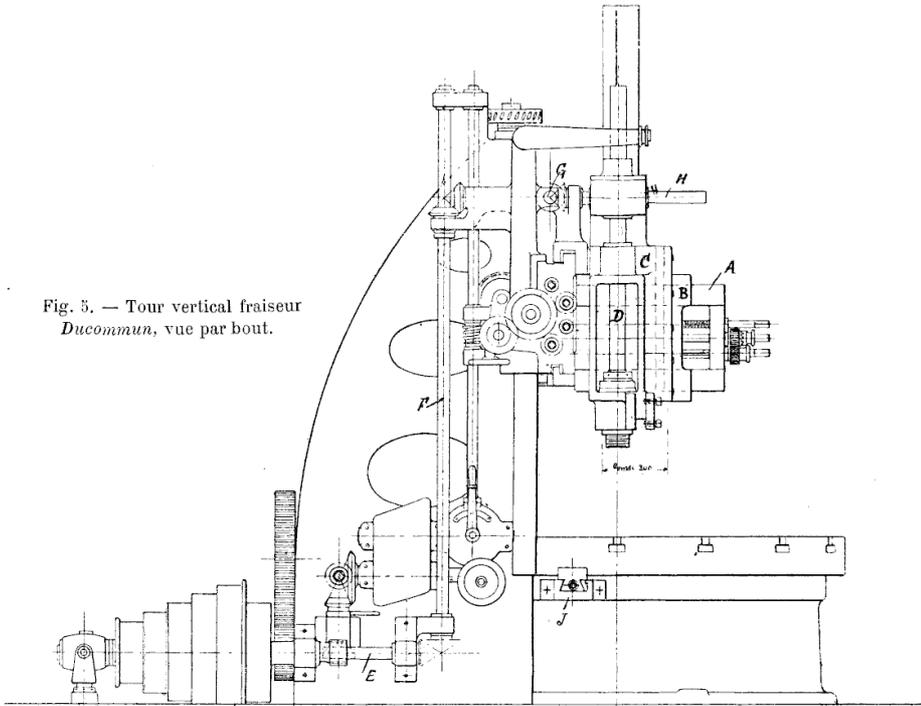


Fig. 6. — Disposition de la commande électrique.

l'axe du plateau dans les deux sens perpendiculaires; d'autre part, ce chariot peut être amené vers l'extrémité de la traverse horizontale, ce qui permet de fraiser des pièces dont les dimensions dépassent celles du plateau.

L'arbre porte-fraise D peut être animé de 10 vitesses de rotation et de 8 vitesses d'avances mécaniques et réversibles dans les trois sens indiqués; les mouvements d'avance (serrage) peuvent aussi être donnés à la main; pour les mouvements longitudinal et transversal, il est prévu un arrêt automatique à distance voulue.

A son extrémité inférieure, l'arbre porte-fraise est pourvu d'un emmanchement conique et d'un nez fileté; le chariot porte-fraise peut servir au besoin pour tourner.

Pour passer des travaux de tour au fraisage, il n'est pas nécessaire de déplacer

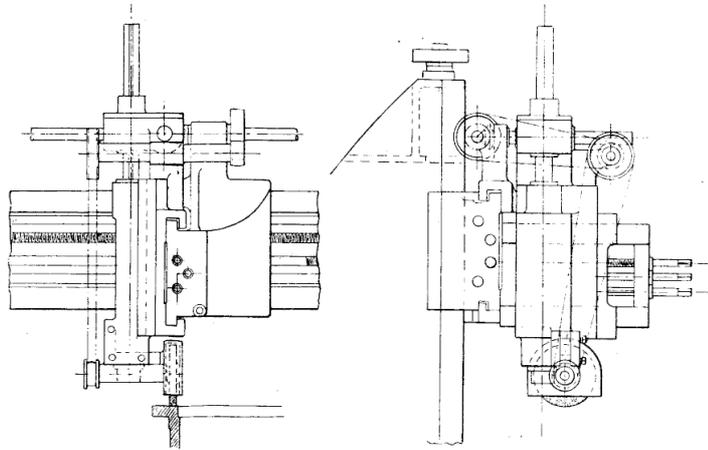


Fig. 7. — Appareil pour vérifier à la meule.

aucune pièce de la commande du tour, les changements s'opérant à l'aide de manchons de débrayage appropriés.

Le mouvement est transmis à l'arbre porte-fraise par le cône du tour à l'aide d'un arbre de renvoi E, placé sur le côté du tour, et par les arbres à rainures F, G et H.

Le plateau peut recevoir un mouvement de rotation lent à la main, pour amener en position la partie à fraiser, pour fraiser circulairement ou pour percer des trous sur une circonférence; il peut aussi être bloqué solidement à l'aide de l'étau J.

L'appareil pour rectifier à la meule les brides de cylindres, les segments de piston, etc., représenté par la figure 7, peut être adapté aisément au porte-outil de fraisage décrit plus haut.

La figure 6 représente une disposition de commande électrique pour tours verticaux.

Les moteurs généralement employés sont des moteurs à vitesse variable dans le rapport d'environ 1 à 3, avec un rendement pratiquement constant. Dans les moteurs à courants triphasés, la variation de vitesse est obtenue à l'aide d'enroulements multiples et d'un commutateur des pôles; dans les moteurs à courant continu, par le réglage de l'intensité du champ magnétique, obtenu soit mécaniquement en augmentant l'entrefer, soit plus simplement par des moyens électriques.

Le moteur attaque directement l'arbre de commande du tour à l'aide d'un pignon en cuir vert; les différents rapports d'engrenages sont renfermés dans le socle portant le moteur; on les embraye à l'aide du levier à trois positions, K visible à l'avant de ce socle; un système de verrouillage est prévu, qui empêche de marcher à la volée avant d'avoir débrayé les harnais.

On voit en outre, par la figure 7, que la commande électrique sans courroies n'est pas plus encombrante que la commande mécanique (fig. 5).

LIVRES ET OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN AVRIL 1903

De la collection *Scientia*, La **compressibilité des gaz réels**, par M. L. Decombe. In-8°, 100 p. Paris, Nared.

Instructions météorologiques, par M. A. Angot, 4^e édition. In-8°, 164 p. Paris, Gauthier-Villars.

Aide-Mémoire de photographie, par M. C. Fabre. In-12°, 300 p. Paris, Gauthier-Villars.

Recueil des Lois, Ordonnances, Décrets concernant les services dépendant du Ministère des travaux publics; 1^{re} série, tome 8; 2^e série, tome 10; 2 vol. in-8°; 820, 720 p. Paris, Jousset.

Traité des distributions et canalisations d'électricité, par M. Pacoret. In-8°, 320 p. Paris, Loubat.

Traité des appareils de levage et de manutention, par M. Pacoret. In-8°, 540 p. Paris, Loubat.

Gisements miniers, par M. F. Miron, Encyclopédie Leauté. In-8°, 190 p. Paris, Gauthier-Villars.

Exposition de 1900. Rapport du Jury international. Groupes 9, 10, 12 et 16, 4 vol. in-8°, 698, 556 et 480 p. Paris, Imprimerie nationale.

Traité de technologie mécanique métallurgique, par M. A. Ledebur. In-8°, 749 p. Paris, Gauthier-Villars.

L'aluminium, ses propriétés, ses applications, par M. Maissonnier. In-8°, 219 p. Paris, Gauthier-Villars.

Traité pratique des cultures tropicales, par M. J. Dybowski. Tome 1^{er}, in-8°, 583 p. Paris, Challamel.

Nineteenth Annual Report of the Bureau of American Ethnology, 1897-98, 2 vol. in-8°, 1160 p. Washington.

Publications of the Bureau of American Ethnology, *Bulletin* 27. In-8°, 244 p. Washington.

Annual Report, 1897-1898, 2 vol. 1160 p. et **Tsemshian Texts**, 1 vol., 244 p.

De l'accaparement, Les cartels et syndicats en Allemagne, par M. F. Laur, vol. 2 in-8°, 467 p. Paris. Société des publications scientifiques et industrielles.

PROCÈS-VERBAUX
DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Séance du 27 mars 1903

Présidence de *M. Le Chatelier*, vice-président.

M. Linder, président, retenu par une légère indisposition, s'excuse de ne pouvoir assister à la séance.

M. Collignon, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. A. Commine, à Connigis, par Condé-en-Brie (Aisne), demande le concours de la Société pour l'étude d'un *aérostat*. (Arts mécaniques.)

M. A. Vigé attire l'attention de la Société sur l'*Exposition industrielle* qui s'ouvrira à Reims, le 15 mai 1903.

M. Allain, 69, rue Saint-Fargeau, demande le concours de la Société pour la construction de modèles de *réchauds à pétrole*. (Arts économiques.)

M. Queffeliert remercie la Société d'Encouragement de l'annuité de brevet qui lui a été accordée pour un système de panneaux.

M. Aquenneville remercie la Société d'Encouragement de l'annuité de brevet qui lui a été accordée pour un monte-courroies.

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la p. 441 du *Bulletin* de mars.

DÉCLARATION D'UNE VACANCE A LA COMMISSION DES FONDS. — *M. Fouret* déclare une vacance ouverte à la Commission des fonds par la suite de la démission de *M. Dumont*.

NOMINATIONS DE MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ. — Sont nommés membres de la Société :

M. Miquet, directeur de la Société du petit outillage, à Nouzon, présenté par *MM. H. Le Chatelier* et *G. Richard*.

M. D'Archemont (Olivier), licencié ès sciences, 17, rue Richelieu, présenté par *MM. R.-G. Lévy* et *G. Richard*.

M. Marette (Henry), ancien élève de l'École polytechnique, présenté par *MM. le général Sebert* et *Dupuis*.

La *Société des mines de Malfidano*, 13, boulevard Haussmann, présentée par *M. Demenge*.

CONFÉRENCE. — *M. Mamy* fait une conférence sur la *prévention des accidents du travail*.

M. le Président remercie vivement *M. Mamy* de sa très intéressante conférence, qui sera reproduite au *Bulletin*.

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Mars au 15 Avril 1903

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

<i>Ag.</i>	Journal de l'Agriculture.	<i>Ms.</i>	Moniteur scientifique.
<i>Ac.</i>	Annales de la Construction.	<i>MC.</i>	Revue générale des matières colo- rantes.
<i>ACP.</i>	Annales de Chimie et de Physique.	<i>N.</i>	Nature (anglais).
<i>AM.</i>	Annales des Mines.	<i>PC.</i>	Journal de Pharmacie et de Chimie.
<i>AMa.</i>	American Machinist.	<i>Pm.</i>	Portefeuille économ. des machines.
<i>Ap.</i>	Journal d'Agriculture pratique.	<i>RCp.</i>	Revue générale de chimie pure et appliquée.
<i>APC.</i>	Annales des Ponts et Chaussées.	<i>Rgc.</i>	Revue générale des chemins de fer et tramways.
<i>Bam.</i>	Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.	<i>Rgds.</i>	Revue générale des sciences.
<i>BMA.</i>	Bull. du ministère de l'Agriculture.	<i>Ri.</i>	Revue industrielle.
<i>CN.</i>	Chemical News (London).	<i>RM.</i>	Revue de mécanique.
<i>Cs.</i>	Journal of the Society of Chemical Industry (London).	<i>Rmc.</i>	Revue maritime et coloniale.
<i>CR.</i>	Comptes rendus de l'Académie des Sciences.	<i>Rs.</i>	Revue scientifique.
<i>DoL.</i>	Bulletin of the Department of La- bor, des États-Unis.	<i>Rso.</i>	Réforme sociale.
<i>Dp.</i>	Dingler's Polytechnisches Journal.	<i>RSL.</i>	Royal Society London (Proceedings).
<i>E.</i>	Engineering.	<i>Rt.</i>	Revue technique.
<i>E'</i>	The Engineer.	<i>Ru.</i>	Revue universelle des mines et de la métallurgie.
<i>Eam.</i>	Engineering and Mining Journal.	<i>SA.</i>	Society of Arts (Journal of the).
<i>EE.</i>	Eclairage électrique.	<i>SAF.</i>	Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
<i>Elé.</i>	L'Électricien.	<i>ScP.</i>	Société chimique de Paris (Bull.).
<i>Ef.</i>	Économiste français.	<i>Sie.</i>	Société internationale des Électri- ciens (Bulletin).
<i>EM.</i>	Engineering Magazine.	<i>SiM.</i>	Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.
<i>Es.</i>	Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).	<i>SiN.</i>	Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
<i>Fi.</i>	Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).	<i>SL.</i>	Bull. de statistique et de législation.
<i>Gc.</i>	Génie civil.	<i>SNA.</i>	Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
<i>Gm.</i>	Revue du Génie militaire.	<i>SuE.</i>	Stahl und Eisen.
<i>IC.</i>	Ingénieurs civils de France (Bull.).	<i>USR.</i>	Consular Reports to the United States Government.
<i>Ie.</i>	Industrie électrique.	<i>VDI.</i>	Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
<i>Im.</i>	Industrie minérale de St-Étienne.	<i>ZOI.</i>	Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur und Architekten- Vereins.
<i>IME.</i>	Institution of Mechanical Engi- neers (Proceedings).		
<i>IoB.</i>	Institution of Brewing (Journal).		
<i>La.</i>	La Locomotion automobile.		
<i>Ln.</i>	La Nature.		
<i>Lo.</i>	Locomotion.		

AGRICULTURE

- Bétail.** Sérums antiaphteux. *Ap.* 16 Mars, 370.
 — Race bovine *Ag.* 28 Mars, 496, 4-11 Avril, 533, 575.
 — — ovine de Dishley. *Ap.* 4 Avril, 444.
Mélasses et sucre dénaturé. Consommation croissante en Allemagne. *Ap.* 9 Avril, 464.
Engrais. Fixation de l'azote par les végétaux, historique (Naudin). *Ms.* Avril, 226.
Entomologie agricole. Laboratoire régional. Bulletin. *Ag.* 11 Avril, 578.
Machines agricoles au concours de Paris. *Ap.* 26 Mars, 404; 4-11 Avril, 441, 464. *Ag.* 11 Avril, 581.
Orge de brasserie, culture en Alsace. *Ag.* 4 Avril, 328.
Plâtre. Emploi en agriculture. *Ap.* 19 Mars, 368; 2 Avril, 432.
 — Dans les prairies artificielles. *Id.* 26 Mars, 400.
Pommes de terre. Choix des semences. *Ap.* 26 Mars, 400.
 — Influence du sectionnement et de la position des semences sur la récolte. *SNA. Fév.,* 138.
 — Culture à la station de Cappelle. *Ag.* 28 Mars, 489.
Topinambours. Récolte et conservation (Schribaux). *SNA. Fév.,* 147.
Trèfles et luzerne. Semences délivrées à l'agriculture (Schribaux). *Ap.* 29 Mars, 401.
Vigne. Concentration des vins (Rocques). *Rgds.* 15 Mars, 275.
 — Phylloxérées. Emploi du crud d'ammoniaque. *Ag.* 11 Avril, 579.

CHEMINS DE FER

- Automoteur à vapeur** du London Brighton. *E.* 10 Avril, 372.
Chemins de fer urbains et interurbains aux États-Unis (Porter). *E.* 20 Mars, 369.
 — En Afrique. *Ef.* 21-25 Mars, 384, 427.
 — Inde Anglaise en 1900. *Rgc.* Avril, 241.
 — d'Albata St-Maurice *VDI.* 21 Mars, 405.
 — Américains (pratique des). *E.* 24 Mars, 420.
 — Métropolitain de Paris. *Gc.* 28 Mars, 337; *Rgc.* Avril, 205; *Gc.* 4 Avril, 361.
 — de New-York. *E.* 10 Avril, 469.
 — Transsibériens. *SL.* Mars, 470.

Chemins de fer. Rachat de l'Ouest et du Midi (projets). *Ef.* 11 Avril, 497.

- Électriques** en Europe. *E.* 20 Mars, 283.
 — Fayet-Chamounix. *Elé.* 21-28 Mars, 177, 198; 4-11 Avril, 219, 230.
 — La Valteline (Korda). *SiÉ.* Mars, 96.
 — Traction à unités multiples Westinghouse. *Ie.* 25 Mars, 131.
 — Sprague à motrices multiples. *Sié.* Mars, 138.
 — Bologna San Felice par accumulateurs. *EE.* 4 Avril, 5.
Éclairage des trains. Électriques sur l'État prussien. *Rgc.* Avril, 254.
Freins Westinghouse. Electro-magnétique. *Rgc.* Avril, 250.

Locomotives. Diverses. *Dp.* 28 Mars, 195.

- Express du Midland. Courbes de démarrage. *E.* 27 Mars, 415. du Calédonien. *Rg. E.* 3 Avril, 331.
 — à vapeur surchauffée de l'État prussien. *Ri.* 21 Mars, 114.
 — Compound à quatre cylindres du Jura-Simplon. *Rgc.* Avril, 234.
 — à marchandises. Rapide du Great Central. *E.* 20 Mars, 393.
 — — à 8 roues couplées du chemin de fer de la Méditerranée. *E.* 27 Mars, 415.

Fumivore Marcotte (Société d'Encouragement de Berlin). *Mars.* 75.

Voie. Tirefonds Thiollier. *Ri.* 21 Mars, 43.

- Tracé des déviations des (Gorceix). *Gm.* Mars, 223.
 — Voitures à l'Exposition de Dusseldorf, *VDI.* 11 Avril, 531.

TRANSPORTS DIVERS

Automobiles. (Effort de traction des). *Ri.* 25 Mars, 167.

- Essieux. *Lo.* 4-11 Avril, 215, 232.
 — Électriques à trolley. Marcher. *Elé.* 4 Avril, 215.
 — à pétrole. Thornycroft. *La.* 19 Mars, 182.
 — Beaufort. *E.* 3 Avril, 444.
 — Fourgons militaires Daimler. *E.* 10 Avril, 482.
 — Motocyclettes Caps. *La.* 19 Mars, 185.
 — Minerva. *Lo.* 26 Mars, 198. Détermination de la puissance des moteurs. *La.* 11 Avril, 235.

- Automobiles à vapeur.* Serpollet. *La.* 11 *Avril*, 235.
 — — Camion de trois tonnes Thornycroft. *E.* 27 *Mars*, 407.
Pneumatiques à croissants cardés. *Lo.* 28 *Mars*, 200.
Tramways électriques de Glasgow. *EE.* 21-28 *Mars*, 443.
 — à contacts Stuckert. *E.* 27 *Mars*, 411.
 — à adhérence magnétique Honey. *Ri.* 11 *Avril*, 146.
Bicyclettes (les) au Salon du Cycle (Bourlet). *Gc.* 21-28 *Mars*, 323, 351.
 — rétro directe. *Lo.* 28 *Mars*, 201.

CHIMIE ET PHYSIQUE

- Acides** pyrophosphoreux (Anger). *CR.* 30 *Mars*, 814.
 — plombique. Combinaison avec les acides organiques (Colson). *CR.* 16 *Mars*, 675.
 — gras. Action des métaux à chaud (Hébert). *CR.* 16 *Mars*, 682.
 — Carbonique et hydride de potassium (Moissan). *CR.* 23 *Mars*, 723.
 — Sulfurique. Fabrication catalytique (Chiaraviglio). *Rep.* 22 *Mars*, 124; 5 *Avril*, 144. Au contact Schroeder. (Meyer, Stone Reese). *Cs.* 31 *Mars*, 348. Tirage artificiel dans les chambres de plomb et emploi de l'eau pulvérisée au lieu de vapeur (Kestner). *Cs.* 31 *Mars*, 329. Emploi des élévateurs automatiques d'acide pour les tours de Glover (Kestner), *cd.* 337.
Alcool en franchise pour l'industrie (Tyer). *Cs.* 16 *Mars*, 257.
 — Chimique. *SNA. Fév.*, 123.
Affinités aux basses températures. Réaction du fluor liquide (Moissan et Dewar). *CR.* 30 *Mars*, 785.
Baryum. Sous-sels de (Gunz). *CR. Mars*, 749.
Brasserie. Divers. *Cs.* 16-31 *Mars*, 310, 374.
Caoutchouc. Fabrication du. *Cs.* 31 *Mars*, 338.
Carbures aromatiques. Chloruration par le chlorure plombico-ammoniacal (Seyewetz et Trawitz). *ScP.* 20 *Mars*, 225.
Caséine vraie. Détermination dans le lait (Denigès). *CN.* 9 *Avril*, 171.
Chaux et ciment. Divers. *Cs.* 16 *Mars*, 299.
Chaleur de solidification et température d'ébullition (de Fourcrand). *Acp.* *Avril*, 531.
Collargol (le) (Hanriot). *CR.* 26-31 *Mars*, 680, 365.
Corrosion des métaux dans l'eau de mer (Diegel), *Société d'Encouragement de Berlin.* *Mars*, 93.
Distillerie. Chimie du whisky (Schidrowitz). *Ms.* *Avril*, 287.
Égouts de Mulhouse. Irrigation de la Hart par les eaux de. *ScM. Déc.*, 399.
 — Traitement bactériel. *E.* 10 *Avril*, 487.
 — Admission des eaux de fabrique aux égouts. *E.* 3 *Avril*, 453.
Eaux. Usine d'ozonisation de Wiesbaden. *Gc.* 21 *Mars*, 327; *Rep.* 22 *Mars*, 121.
 — Action du zinc sur les microbes de l'. (Dienert). *CR.* 16 *Mars*, 707.
Essences et parfums. Divers. *Cs.* 16-31 *Mars*, 316, 377.
Éclairage. Incandescence au pétrole (Kitson). *SA.* 27 *Mars*, 445.
 — Composition et utilisation des benzols (Frank). *Ms.* *Avril*, 260.
 — Constitution d'huiles à gaz (Robs et Leather). *Ms.* *Avril*, 275.
Explosifs. Stabilité des nitrocelluloses. *Fi.* *Mars*, 161.
Fluor. Solidification et combinaison du fluor solide avec l'hydrogène. *CR.* 16 *Mars*, 655.
Gaz d'éclairage. Divers. *Cs.* 16 *Mars*, 287.
Gazogènes. Analyse du gaz des hauts fourneaux. *Ms.* *Avril*, 267.
 — Production du goudron et de l'ammoniac du gaz des hauts fourneaux. *Ms.* *Avril*, 267.
Hydrogène. Action sur les sulfures d'arsenic en présence d'antimoine (Pelabon). *CR.* 30 *Mars*, 812.
Krypton et Néon dans l'atmosphère (Ramsay). *CN.* 3 *Avril*, 159.
Laboratoire. Analyse des roches, méthodes modernes (Hillebrand). *Fi.* *Mars*, 181.
 — Dosage et analyse des petites quantités de glycérine (Nicloux). *ScP.* 22 *Mars*, 245.
 — Dosage gravimétrique du tellure (Mac Ivor). *CN.* 3 *Avril*, 163.
 — Recherche de l'iode (Guerbet). *Pc.* 1^{er} *Avril*, 313.
 — Séparation et dosage du zinc et de l'antimoine par électrolyse (Hollard). *Sep.* 5 *Avril*, 262, 266.

- Laboratoire.** Dosage de la vanilline dans les vanilles (Moulin). *Sep.* 5 *Avril*, 278.
 — — de la glycérine dans le vin (Trilat). *Sep.* 5 *Avril*, 281.
 — — électrolytique des métaux. Emploi d'une cathode tournante. (Croch et Medway). *American Journal of Science*, *Avril*, 328.
- Nitrocelluloses.** Constitution des (Vignon). *CR.* 30 *Mars*, 818.
- Optique.** Jumelle Dallmeyer. *N. Mars*, 473.
 — Structure des spectres (Fabry). *Rgds.* 15 *Mars*, 237.
- Papier.** Divers. *Cs.* 16 *Mars*, 315.
 — Fabrication actuelle. *Dp.* 11 *Avril*, 227.
- Phosphore blanc** en phosphore rouge. Chaleur de transformation (Geran). *CR.* 16 *Mars*, 677.
- Photographie.** Divers. *Cs.* 31 *Mars*, 379.
 — Emploi de l'acétone comme succédané des alcalis dans les révélateurs (Lumière et Segewetz). *Ms.* *Avril*, 237.
- Poids atomique**, du Lanthane (Jones), *CN.* 9 *Avril*, 169.
- Polonium** (Gresel). *CN.* 20 *Mars*, 133.
- Pyromètres nouveaux** (Granger). *Rep.* 5 *Avril*, 141.
- Radium.** Position dans le système périodique (Runge et Precht). *CN.* 27 *Mars*, 145.
 — Émanation du (Crookes). *CN.* 3 *Avril*, 157.
- Radiomicroscope** Boys. *American Journal of Science*, *Avril*, 249.
- Sucrierie.** Divers. *Cs.* 16 *Mars*, 308.
- Sulfate de soude.** Propriétés de la dissolution (Marie et Marquis). *CR.* 16 *Mars*, 684.
- Sulfure de carbone.** Composés sulfurés et azotés dérivés du : thermo-chimie (Delépine). *Sep.* 5 *Avril*, 269.
- Teinture.** Divers. *Cs.* 16-31 *Mars*, 292, 358, 360.
 — Taches spontanées sur les tissus de soierie (Marnas). *MC.* 1^{er} *Avril*, 97.
 — Oxydation de l'indigo par l'acide chromique en présence d'autres acides (Prudhomme). *Id.*, 98.
 — Propriétés oxydantes des mélanges d'acide chromique avec divers acides. *Id.*, 100.
 — Essais pour augmenter la solidité à la lumière des colorants pour cotons (Krais). *Ms.* *Avril*, 281.
- Teinture.** Théorie de la teinture (Knecht). *Ms.* *Avril*, 282.
 — Mercerisation des fils à la rupture (Reichenbach). *Ms.* *Avril*, 286.
 — Rongeants blancs et colorés sur fonds noir, bleu (Schmid). *ScM. Déc.*, 418.
 — — bleu sur tissus mordancés au tannin (Tigerstedt). *Id.*, 421.
 — Réserves de couleurs azoïques sous bleu indigo vapeur (Colli). *Id.*, 424.
- Thermodynamique.** Fondements de la (Duhem). *Rgds.* 30 *Mars*, 301.
 — Température absolue déduite du thermomètre normal (Pellat). *CR.* 30 *Mars*, 809.
- Vanadium.** Réduction de l'acide hydrochlorique (Crooch et Itooky). *American Journal of Science*, *Nov.*, 369.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

- Argentine** (l') (Corthell), *Fi. Mars*, *Avril*, 213, 241.
- Afrique du Sud**, au point de vue de l'ingénieur. *Ef.* 20-27 *Mars*, 281, 305.
 — L'Uganda (Samuel). *SA.* 20 *Mars*, 390.
- Assurances sur la vie.** Nouveaux aspects (Schooling). *SA.* 20 *Mars*, 400.
- Australie** (Situation en). Socialisme. *Ef.* 11 *Avril*, 504.
- Brevets.** Loi des États-Unis. *E.* 3 *Avril*, 455.
- Commerce extérieur** de la France, de la Grande-Bretagne, de l'Allemagne et des États-Unis pendant ces 20 dernières années. *Ef.* 11 *Avril*, 499.
- Éducation des ingénieurs** aux États-Unis. *Ef.* 3 *Avril*, 346.
- France.** Rachat des chemins de fer et crédit public. *Ef.* 21 *Mars*, 381.
 — Marine marchande, primes depuis 1881. *Ef.* 21 *Mars*, 383.
 — Industrie textile. Laine. *Ef.* 4 *Avril*, 465.
 — Avenir des finances. *Ef.* 28 *Mars*, 422. 4 *Avril*, 457.
 — et étranger. Situation économique comparative (Blondel). *Rso.* 1^{er} *Avril*, 572.
 — Caisses d'épargne en 1904, *SL.* *Mars*, 341, 355.
 — Assistance publique, budget de 1903,

- charges et réorganisation des établissements hospitaliers. *Ef.* 41 *Avril*, 302.
- Frais de justice.* *Ef.* 4 *Avril*, 459.
- Grève des charbons aux États-Unis.* *Ef.* 27 *Mars*, 317.
- Inde.* Question monétaire (Robertson). *SA.* 27 *Mars*, 423.
- Italie.* Relèvement des finances. *Ef.* 4 *Avril*, 461.
- Maroc* (le) (Douté). *Rgds.* 15 *Mars*, 260.
- Monnayage* en Allemagne et en Angleterre. *SL. Mars*, 444, 451.
- Russie*, commerce extérieur au XIX^e siècle. *SL. Mars*, 468.
- Paris.** Valeur de la propriété immobilière. *SL. Mars*, 362.
- Recette des théâtres en 1902. *id.* 390.
- Taxes municipales de remplacement des droits d'octroi en 1902 (*id.*) 380.
- Protectionnisme.* Accentuation en Europe. *Ef.* 21 *Mars*, 379.
- Retraites ouvrières obligatoires.* *Rso.* 1^{er} *Avril*, 548.
- Salaires.* Saisies-arrêt sur les (Delcourt-Haillet). *Rso.* 1^{er} *Avril*, 526.
- Socialisme municipal* (Porter). *E.* 20 *Mars*, 307. 3 *Avril*, 462.
- Tunnel du Simplon* et ses conséquences. *Ef.* 27 *Mars*, 309.
- Trades Unions* en 1902 (Alfassa). *Musée social. Mars.*

CONSTRUCTIONS ET TRAVAUX PUBLICS

- Arcs en anse de panier.* *ZOI.* 3 *Avril* 209.
- Béton armé.** Système Siegwart. *Le Ciment. Mars*, 40.
- Études sur le (Canovetti). *id.* 44.
- Ponts.** Construction en Amérique. *Ef.* 20 *Mars*, 283, 10 *Avril*, 357.
- Sur la Tyne. *Ef.* 10 *Avril*, 373.

ÉLECTRICITÉ

- Accumulateurs.** Théories jusqu'en 1901 (Jouve). *RCP.* 22 *Mars*, 134.
- Liants de la matière active des plaques. Valeur des (Leuner). *EE.* 11 *Avril*, 52.

- Bobines d'induction.** Expériences sur étincelles de 1 mètre de long. (Klingelfuss). *EE.* 28 *Mars*, 480.
- Trembleurs rapides. *Elé.* 4 *Avril*, 209.
- Diélectriques.** Glycérine solide (Wilson). *RSL. Fév.*, 241.
- Conductibilité des dissolutions au point de congélation (Withmann). *RSL. Avril*, 232.
- Distribution** par stations centrales (Chattock). *EE.* 21 *Mars*, 457.
- Instruction pour l'établissement des conducteurs. *Elé.* 28 *Mars*, 193.
- Sous-stations transformatrices pour la traction et l'éclairage (Ebborall). *EE.* 11 *Avril*, 41.
- Dynamos** continues de l'Exposition universelle (Druebert). *EE.* 21 *Mars*, 415. 11 *Avril*, 52.
- A 8 pôles 375 kw. Mather et Platt. *Ef.* 10 *Avril*, 373.
- Eclairage.** Photométrie des lampes électriques (Fleeming). *EE.* 11 *Avril*, 65.
- Arc alternatif de très faible intensité entre électrodes métalliques (Guye et Monash). *EE.* 4 *Avril*, 18.
- Électro-chimie.** Divers. *Cs.* 16-31 *Mars*, 303, 370.
- Rendement des fours électriques (Richards). *CN.* 20 *Mars*, 136.
- Influence de la cathode sur la séparation quantitative des métaux par électrolyse (Hollard). *ScP.* 20 *Mars*, 217.
- Électrolyse Schoop pour la décomposition de l'eau. *EE.* 11 *Avril*, 55.
- Ions.** Recombinaison et mobilité dans les gaz (Lancevin). *ACP.* *Avril*, 433.
- Mesures.** Magnétomètres différentiels et à torsion sans perturbation (du Bois, Kohlrausch et Hofborn). *EE.* 4-11 *Avril*, 30, 57.
- Shunts pour galvanomètres à cadre mobile, Vockmav. *EE.* 11 *Avril*, 56.
- Piles.** Carbi. *Elé.* 21 *Mars*, 181.
- Thermo-électriques, nouvel élément (Heil). *EE.* 28 *Mars*, 478.
- Stations centrales.** Saint-Maurice. *E.* 10 *Avril*, 481.
- Athènes et le Pirée. *Elé.* 11 *Avril*, 225.

Télégraphie sans fils (la) (Fleming). *E.* 20-27 Mars, 387, 422. Marconi, nouveaux récepteurs. *EE.* 21 Mars, 439.

Téléphone. Durée des poteaux créosotés. *EE.* 21 Mars, 436.

— Transmetteur Gally. *Elé.* 11 Avril, 428.

Verre. Applications en électricité. *Ie.* 25 Mars, 125.

HYDRAULIQUE

Château d'eau aux ateliers Westinghouse. *E.* 10 Avril, 363.

Pompe à incendies chimique Meryveather. *E.* 20 Mars, 298.

Presses hydrauliques (Résistance des). *AMA.* 11 Avril, 441.

Roues tangentielles. *E.* 27 Mars, 401.

Turbine mixte Gunther. *E.* 3 Avril, 349.

— (Indicateur pour). *AMA.* 4 Avril, 400.

MARINE, NAVIGATION

Bateaux à faible tirant (Propulsion des) (Yarrow). *E.* 10 Avril, 498.

Dock flottant de 6000 tonnes pour Barcelone. *E.* 24 Mars, 415.

Embarcations électriques. *Elé.* 4 Avril, 212.

— Halage et remorquage électrique des bateaux sur canaux (Marchant). *EE.* 11 Avril, 72.

Machines marines. Vibrations des navires. (Melville). *E.* 20-27 Mars, 278, 405.

— Croiseur russe Bogatyr. *E.* 20 Mars, 379.

— Corrosion des tuyauteries en cuivre à bord (Stewart). *E.* 10 Avril, 274.

Marine de guerre. Cuirassés modernes. *E.* 3 Avril, 344. (Prix des). *E.* 10 Avril, 370. (Whiting). *E.* 3 Avril, 463.

— Croiseurs rapides (Fitz Gerald). *id.* 464.

— Anglaise. *E.* 24 Mars, 419.

— Française. *E.* 20 Mars, 293.

— Américaine. Éducation des ingénieurs (Dalby). *E.* 10 Avril, 500.

— **Sous-marins** anglais. *E.* 20 Mars, 391. Américains. *E.* 20 Mars, 294.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

Aérostation. Aviateur Chanute. *Lo.* 11 Avril, 225.

— Direction des ballons (la) (Gertsner). *ZOI.* 10 Avril, 229.

Air comprimé. Accidents par combustion dans les compresseurs. *Eam.* 28 Mars, 482.

— Compresseur direct Hoerbiger. *VDI.* 4 Avril, 477.

Chaudières à tubes d'eau Renshaw. *Ri.* 4 Avril, 435.

— Surchauffe à l'Exposition de Dusseldorf (Compire). *Ri.* 21 Mars, 118.

— Accidents en 1901. *AM. Déc.* 530. *Janv.*, 117.

— Dépôts. Chimie des (Ridenour). *Ms.* *Avril*, 297.

— — purification des eaux Archbutt De-eley. *E.* 3 Fév., 349.

— Calorifuges, essais de (Davis). *RM.* *Mars*, 267.

— Grilles mécaniques à la mer. *E.* 3 Avril, 344.

— Foyers ondulés. Écrasement des (Roundthwaite). *E.* 10 Avril, 497.

— Purgeur de vapeur Granger. *E.* 3 Avril, 446.

— Chaufferie à tirage forcé (Josse). *VDI.* 4 Avril, 481.

— Soupape de sûreté et réductrice Royle. *E.* 10 Avril, 376.

Courroies. Glissement des (Stormouth). *E.* 3 Avril, 335.

Dragues. Les (Bard). *RM.* *Mars*, 243.

— Smulders. *E.* 3 Avril, 448.

— et excavateurs modernes (Robinson). *EM.* *Avril*, 16.

Machine à écrire électrique Bleckensderfer. *Ic.* *Fév.*, 347.

Embrayage Churchill. *Ge.* 21 Mars, 332.

Froid. Magasins frigorifiques (Galpin). *Cs.* 31 Mars, 346.

— Essai d'une machine à ammoniac (Stetefeld). *VDi.* 4 Avril, 498.

Indicateurs Maihak. *Ri.* 28 Mars, 121.

Levage. à l'Exposition de Dusseldorf. *Dp.* 28 Mars, 199; 4 Avril, 209; *VDi.* 28 Mars, 455.

— Ascenseurs des Prudential Buildings. *RM.* *Mars*, 259.

— Basculeur de charbons Rigg. *Ri.* 21 Mars, 116.

— Cabestan électrique Scott-Mountain. *E.* 10 Avril, 480.

Machines-outils. Ateliers Vulcan. *VDI.* 21 Mars, 410. Application du « Pre-

- mium System » (Rowan). *E.* 24 Mars, 432; *E'*. 10 Avril, 370.
- Machines-outils.** Travail des machines-outils 4. *AMA.* Avril, 404.
- à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 24 Mars, 416.
 - à commande électrique. *AMA.* 28 Mars-11 Avril, 370-441; *RM.* Mars, 269. par triphasés (Eborall). *SA.* 3 Avril, 464.
 - Outils à grande vitesse. *RM.* Avril, 294; *EM.* Avril, 81. Structure des aciers pour. *E'*. 3 Avril, 331.
 - Machine à retreindre Dayton. *Ri.* Avril, 141.
 - Rivense Martin. *RM.* Avril, 307.
 - Cisaille rotative Sundt. *RM.* Mars, 269.
 - Presse à forger Davy et Crowe. *RM.* Avril, 305. à filière Krupp. *Id.*, 307.
 - Le Meulage (Horner). *RM.* Avril, 275; *E.* 20 Mars, 371; 3 Avril, 439. (Derbyshire). *E'*. 20-27 Mars, 299, 305; 10 Avril, 358. Meules Landis, Reineker. *RM.* Avril, 293. pour robinets. *AMA.* 11 Avril, 437.
 - Fabrication des tôles pour induits dentés. *EE.* 21 Mars, 430.
 - Fraise Krupp. *RM.* Avril, 274.
 - Frappeur Fries. *RM.* Avril, 275.
 - *Fraiseuses* universelle. *AMA.* Droop et Rein. *Ge.* 21 Mars, 333. à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 4 Avril, 455. à copier Pratt-Whitney. *E.* 10 Avril, 495. Commandes à vitesse constante. *AMA.* 4 Avril, 408. Cheney, pour crémailières. *RM.* Avril, 272. Otto pour plaques de chaudières. *AMA.* 28 Mars, 375.
 - Poinçonnesuses électriques. *Elé.* 28 Mars, 193.
 - — Slocomb. *RM.* Avril, 303.
 - Morton. *RM.* Avril, 273.
 - Travail du fraisage-rainage. *AMA.* 28 Mars, 193.
 - Perceuse (Mueller). *AMA.* 11 Avril, 433.
 - — pneumatique Columbus. *E.* 27 Mars, 427. polygonale Black. *RM.* Avril, 303.
 - Tours. Théorie du chuck géométrique (Partridge) *Fi.* Mars, 195.
 - — Vertical Colburn. *AMA.* 28 Mars, 377.
- Machines-outils** à roues Demoor. *Ri.* 4 Avril 1903.
- — à plaques Ward. *E'*. 3 Avril, 335.
 - Scie à métaux Courtial. *Ri.* 28 Mars, 126.
 - Taille des pignons, machines Beale, Handerson, Atlas. *RM.* 299, 301.
 - à bois. Saboteuse pour traverses de chemins de fer Cochet. *Ge.* 21 Mars, 321.
 - Tour ornemental Holtzappel. *E.* 10 Avril, 474.
 - à pierres. Sciage des roches au fil héli-coïdal. *Ge.* 28 Mars, 354.
- Manographe.* Hospitalier-Carpentier. *IC.* Fév., 322.
- Mécanique des systèmes matériels.* Définition des phénomènes (Gouilly). *IC.* Fév., 280.
- Moteurs à vapeur.** Vertical 3000 chevaux. Mac-Laren. *E'*. 27 Mars, 312.
- Condensations centrales. *Ri.* 25 Mars, 170. Condensateurs Ljungstrom. *E'*. 3 Avril, 346.
 - détente adiabatique. Courbes de. (Foster). *E'* 10 Avril, 358.
- Turbines à vapeur surchauffée (les). (Lewicki) *VDI.* 28 Mars, 442; 4-11 Avril, 491, 525.
- à gaz. Compound. *E'*. 20 Mars, 296.
 - Allumages électriques. *Lo.* 28 Mars, 193, 198; 11 Avril, 231. Brasier Boiron. *Lo.* 21 Mars, 182, 185; 4 Avril, 220. Lehmann. *Elé.* 21 Mars, 186.
 - pour éclairage électrique (Graham). *EE.* 21 Mars, 455.
 - Soupapes commandées. *Ri.* 21-28 Mars, 114-122; 2-11 Avril, 136-144.
 - à pétrole. Minerve 12 chevaux. *Lo.* 9 Avril, 233.
 - Carburateurs. *Lo.* 28 Mars, 194; 4 Avril, 209. Fonctionnement des (Meyer). *VDI.* 11 Avril, 514.
 - à alcool. Au concours de 1902 (Ringelmann). *RM.*
- Ventilateurs* Rateau. *RM.* Mars, 266.

MÉTALLURGIE

- Alliages.** Ségrégation et migrations au-dessous du point critique (Stead). *Cs.* 31 Mars, 340.

- Cuivre.** Raffinage électrolytique en 1902. *Eam.* 14 Mars, 408.
 — Dimensions des cubilots. *Eam.* 21 Mars, 442.
- Fer et acier.** Affinage Talbot à Frodingham. *Gc.* 21 Mars, 327.
 — à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 21 Mars, 421.
 — Trempe des aciers (A. Le Chatelier). *CR.* 16 Mars, 664.
 — Fonte. Influence de son traitement sur sa résistance (Outerbridge). *Fi.* Avril, 289.
 — Constitution des aciers au carbone (Guillet). *Gc.* 4 Avril, 369.
 — Poches de coulée à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 11 Avril, 520.
 — Laminoirs, Calibrage des. *SuE.* 1^{er} Avril, 442. des forges de Rochling. *C.* 10 Avril, 482.
 — Machines soufflantes. Lilleshall Co. 20 Mars, 297. Galloway. *id.* 3 Avril, 333.
 — Métallographie. Importance industrielle (Sauveur). *Fi.* Avril, 273.
 — Fours Martin. Décomposition des gaz dans les réchauffeurs. *SuE.* 1^{er} Avril, 446.
 — Fonderie économique (Buchanan). *EM.* Avril, 49.
 — Hauts fourneaux. Égalisateur de température des fours à air chaud. *SuE.* 1^{er} Avril, 449.
 — Clapets de régénérateurs. *Id.* 486.
- Gazogènes.* Fonctionnement thermique (Lerrmann). *SuE.* 1^{er} Avril, 433.
Slimes. Traitement dans les réservoirs à fonds coniques. *Eam.* 28 Mars, 482.

MINES

- Abatage mécanique* dans les mines de houilles d'Angleterre (Deflinx). *AM.* Janv., 5.
 — *Argent.* Région de Iglesias (Sardaigne) *Eam.* 14 Mars, 410.
Australie de l'Ouest. Métaux de l'É. 27 Mars, 314.
Cuivre. Mines de Birbei, Arizona. *Eam.* 21 Mars, 444.
Eau dans les flons. Théorie (Rickard). *Eam.* 14 Mars, 402.
Filons. Discussion sur les. *Bam.* 28 Mars, 476.
Gaz naturel et pétrole. Origine volcanique. *Eam.* 21 Mars, 440.
Gîtes minéraux. Théorie des. Géologie du graphite. Rôle du titane en géologie; les kaolins de St-Yrieix (de Launay) *AM.* Janv., 49.
Graphite. Canadien. *Eam.* 28 Mars, 485.
Mexique. Minas nuevas à Parral. *Eam.* 21 Mars, 440.
Or. Placers de la Sibérie (Bordeaux). *Rev. Fév.*, 109; Gisements de quartz (Bordeaux). *AM.* Dec. 499.
 — Drague électrique. *Eam.* 14 Mars, 411.
Ventilateurs Guibal. Dimensions des (Thiriart). *Rev. Fév.*, 210.

Le Gérant : GUSTAVE RICHARD.

BULLETIN
DE
LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

ARTS ÉCONOMIQUES

RAPPORT présenté, au nom du *Comité des Arts économiques*, par **M. Hippolyte Fontaine** sur le *stérilisateur domestique Forbes* présenté par **M. Lepage**.

MESSIEURS,

M. Lepage, constructeur à Paris, a présenté à la Société d'Encouragement un petit appareil servant à la stérilisation de l'eau.

Ce stérilisateur domestique, inventé par un Américain, M. Forbes, est basé sur l'emploi de la chaleur comme moyen de destruction des microbes pathogènes.

Il se compose (fig. 1 et 2) de trois organes principaux :

1° Un réservoir supérieur alimenté par la canalisation d'eau, et muni d'un robinet flotteur maintenant le niveau constant;

2° Un bouilleur métallique en communication avec le réservoir chauffé par un bec de gaz ou par une lampe à alcool;

3° Un récupérateur échangeur de température, sorte de cylindre vertical en tôle à deux compartiments longitudinaux traversés l'un par l'eau froide non épurée, l'autre par l'eau chaude sortant du bouilleur.

Le réservoir d'eau est réuni par un tuyau avec la partie inférieure d'un des compartiments du récupérateur. Ce compartiment est relié, par en haut,

avec le fond du bouilleur. L'eau est ainsi au même niveau dans le réservoir et le bouilleur.

Le bec de gaz élève la température dans le bouilleur et stérilise l'eau qu'il contient. L'eau chaude sort par la partie supérieure du bouilleur, descend dans le second compartiment du récupérateur, puis remonte par un tuyau extérieur pour se déverser dans un tonnelet en verre.

L'ensemble constitue, comme on voit, un circuit d'eau complet, partant du réservoir et aboutissant au tonnelet, en traversant le bouilleur et les deux compartiments du récupérateur.

Les deux compartiments de ce récupérateur sont séparés par une cloison plissée, à grande surface, procurant l'absorption presque complète de la chaleur transmise à l'eau dans le bouilleur, par l'eau froide venant du réservoir. Grâce à cet agencement, l'eau, à son arrivée au bouilleur, après avoir traversé le récupérateur se trouve à une température déjà élevée et n'exige qu'une très faible consommation de gaz pour entrer en ébullition, tandis que l'eau stérilisée arrive au tonnelet à une température très voisine de celle de la canalisation.

La dépense en gaz, d'après M. Lepage, n'excède pas, à Paris, un quart de mètre cube, soit 5 centimes, pour la stérilisation de 30 litres d'eau.

Un dispositif très simple permet de mettre le récupérateur hors du circuit quand, au lieu d'eau fraîche, on désire de l'eau chaude.

L'idée de l'échange de température, qui consiste à faire côtoyer aussi longtemps que possible et en sens inverse, les courants d'eau froide et d'eau chaude, n'est pas nouvelle; elle a été déjà appliquée à plusieurs stérilisateurs notamment à celui de MM. Vaillard et Desmaroux, décrit dans le *Bulletin* du mois de mars 1902. Mais ce qui caractérise l'appareil présenté par M. Lepage, ce qui constitue son originalité et son principal mérite, c'est le mode de sortie de l'eau du bouilleur. Voici en quoi consiste cette innovation :

Le bouilleur est mis en communication avec le récupérateur au moyen d'un tube recourbé en col de cygne dont le sommet se trouve un peu plus haut que le niveau de l'eau, de sorte que cette eau ne peut passer du bouilleur au récupérateur qu'à l'état d'ébullition tumultueuse, état qui ne se manifeste qu'à la température de 100 degrés.

La différence de hauteur entre le sommet du col de cygne et le niveau de l'eau, assure automatiquement le succès de l'opération puisqu'il est reconnu par tous les hygiénistes qu'à 100 degrés les germes nuisibles contenus dans l'eau sont entièrement détruits. Cette différence est calculée pour

que la durée d'ébullition soit très courte, afin que l'eau n'ait pas le temps de perdre les gaz qui lui donnent sa saveur et qui maintiennent les sels calcaires

Fig. 1.

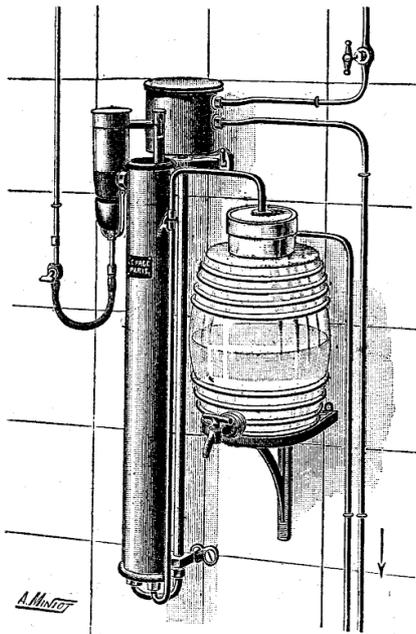


Fig. 1. — Stérilisateur Lepage n° 3; débit 10 à 15 litres à l'heure. Hauteur totale 0m,95, poids 9 kil.

Fig. 2. — Stérilisateur Lepage.
Schéma du fonctionnement.

L'eau impure et non stérilisée remplit le réservoir (1) qu'alimente une conduite (2) branchée sur une canalisation d'eau. Le niveau de l'eau XX est maintenu constant dans ce réservoir, grâce à un flotteur et à un trop-plein (10). L'eau descendant par le tuyau (3), remplit le compartiment (4) puis le bouilleur (5), et s'arrête à un niveau légèrement inférieur à celui XX. Si on approche de ce bouilleur une source de chaleur quelconque (7), bec de gaz ou lampe à alcool, l'eau du bouilleur entre en ébullition et une légère pression s'établit dans la partie supérieure du bouilleur (5). Sous l'action de cette pression, le niveau de l'eau dans le bouilleur s'abaisse légèrement et atteint le tube d'échappement (6). A ce moment, un mélange de vapeur et d'eau ayant atteint une température supérieure à celle de 100° monte par le tuyau (6) et vient se déverser en (8) où l'eau arrive stérilisée.

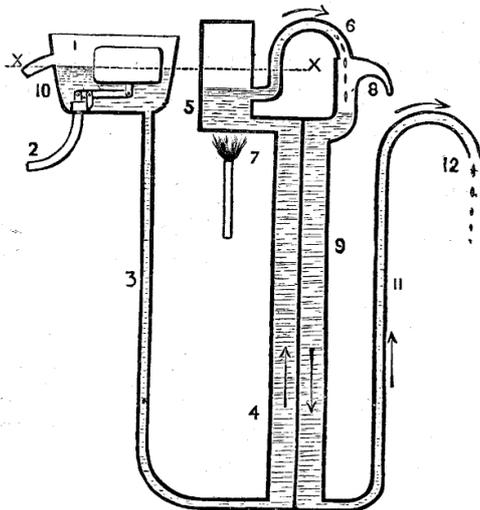
L'eau n'étant dans l'appareil que très peu en contact avec l'air et le temps pendant lequel elle est portée à l'ébullition étant assez court, quelques secondes à peine, elle n'a pas le temps de perdre les gaz dissous qui lui donnent sa saveur.

L'eau stérilisée s'accumule dans le compartiment (9) puis dans le siphon (11); quand le niveau s'est assez élevé pour atteindre le sommet du siphon, l'eau sort par l'extrémité (12); on la recueille dans un récipient quelconque.

Il faut remarquer qu'à mesure que l'eau en ébullition s'échappe par le petit tuyau (6), elle est immédiatement remplacée dans le bouilleur, puisque le niveau XX est maintenu constant par le flotteur du premier récipient; l'opération est, de ce fait, très régulière et la circulation de l'eau dans l'appareil se fait sans aucune brusquerie.

La cloison (10) de séparation des deux compartiments (4) et (9) présente une grande perméabilité à la chaleur, et facilite l'échange de température entre l'eau non stérilisée froide du compartiment (4) et l'eau stérilisée chaude du compartiment (9); l'eau froide s'échauffe donc petit à petit en montant vers le bouilleur, de façon, quand elle y arrive, à être déjà très chaude; en revanche l'eau arrivant bouillante dans le compartiment (9) perd de sa chaleur en descendant dans ce compartiment de manière à arriver complètement froide dans le siphon (11).

Fig. 2.



en dissolution. Il se précipite seulement un peu de carbonate de chaux dont on la débarrasse aisément.

Un stérilisateur domestique est bon et peut être recommandé quand il possède quatre qualités : efficacité, économie, simplicité d'emploi et facilité d'entretien. Ces quatre qualités se rencontrent dans le stérilisateur présenté par M. Lepage. La simplicité d'emploi n'a pas besoin d'être démontrée puisqu'il suffit de raccorder l'appareil à une conduite d'eau et d'allumer un bec de gaz ou une lampe à alcool sous le bouilleur. En l'absence de canalisation d'eau on place un récipient en verre au-dessus du bouilleur et on le remplit d'eau à chaque opération. Rien n'est donc plus simple à installer et à employer. La facilité d'entretien est prouvée par l'usage assez répandu de ce stérilisateur depuis plusieurs années. L'enquête à laquelle nous nous sommes livré, à ce sujet, nous a convaincu qu'à part un nettoyage bimensuel, l'appareil n'exigeait aucun soin spécial et n'était susceptible d'aucune détérioration rapide.

L'économie est absolue par le récupérateur, échangeur de température.

Reste la question d'efficacité. Elle est, comme nous l'avons dit, une conséquence directe d'un détail de construction qui empêche l'eau de circuler si elle n'a pas atteint la température de 100 degrés, à un certain endroit de son parcours. Le tout est de savoir si l'appareil, ainsi combiné, a répondu à l'attente de l'inventeur. Des expériences directes et nombreuses faites par le Conseil des officiers supérieurs aux États-Unis et par M. Bonjean, chef du laboratoire du Comité consultatif d'hygiène publique de France, ne laissent subsister aucun doute à cet égard.

Voici les conclusions du rapport de M. Bonjean ; celles des officiers américains sont identiques en ce qui concerne l'état de pureté de toutes les eaux soumises à leur examen :

« Les résultats des analyses chimiques et des examens bactériologiques précédents sont ceux que l'on est en droit de demander à la stérilisation de l'eau par la chaleur. Tous les germes pathogènes sont détruits ; l'eau très fortement contaminée par des produits de toutes espèces, comme l'eau de la Seine, distribuée dans les canalisations de Paris, devient généralement stérile après son passage dans le stérilisateur américain de M. Lepage ou renferme tout au plus les spores des espèces absolument banales et inoffensives.

« L'eau sort à une température très voisine de celle qu'elle a à son entrée dans l'appareil, ce qui permet son utilisation immédiate.

« Le débit de l'eau est continu, l'appareil est automatique et l'eau une fois stérilisée ne peut être souillée que volontairement.

« L'eau sortant du stérilisateur contient généralement du carbonate de chaux précipité en suspension : il suffit de la filtrer par un procédé quelconque, par exemple sur un filtre de papier que l'on change tous les jours, pour lui restituer ses propriétés objectives séduisantes. »

Ces conclusions sont catégoriques. Inutile d'y rien ajouter. Nous ne ferons à leur sujet qu'une seule remarque ayant trait à la possibilité de se passer, le plus souvent, du filtrage final. En nettoyant le bouilleur deux fois par mois, l'eau est assez limpide, surtout à Paris, pour être employée directement à la sortie du tonnelet.

M. Lepage construit des appareils de divers types suivant les quantités d'eau à épurer.

Le dessus qui accompagne ce rapport représente un stérilisateur pouvant débiter de 10 à 15 litres à l'heure. Sa hauteur totale est de 0^m,85 ; son poids de 8 kilos ; son prix de 75 francs.

Le même appareil peut être disposé pour donner de l'eau très fraîche. A cet effet, le réservoir supérieur est agrandi de manière à pouvoir contenir une certaine quantité de glace, ce qui permet d'avoir très rapidement de l'eau stérilisée, à une température plus basse que celle de la canalisation.

Nous signalerons encore les stérilisateurs pour les hôtels, collèges et hôpitaux pouvant débiter de 50 à 75 litres à l'heure.

M. Lepage pense que le même système pourrait être appliqué à des stérilisateurs très puissants destinés à l'alimentation de villes entières ; mais comme nous aurions de sérieuses critiques à formuler sur l'application en grand d'un appareil excellent pour les faibles débits, nous préférons n'en rien dire, et rester dans le domaine des emplois purement domestiques.

Notre conclusion est donc tout en faveur de l'appareil dont nous venons d'exposer les multiples avantages. Il n'existe pas, à notre avis, de *stérilisateur d'eau par la chaleur et pour les besoins du ménage* qui puisse lui être comparé.

En conséquence, nous avons l'honneur de proposer au Conseil, au nom du Comité, de remercier M. Lepage de son intéressante communication, et de décider que le présent rapport sera inséré au *Bulletin* de la Société, avec dessins à l'appui.

Signé : HIPPOLYTE FONTAINE, rapporteur.

Lu et approuvé en séance le 8 mai 1903.

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT présenté, au nom du *Comité des Arts mécaniques*, sur les calibres
Johansson, par **M. Ed. Sauvage**.

M. L. Diot a présenté à la Société d'Encouragement une série de calibres exécutés par M. Johansson, maître armurier suédois, suivant un système spécial. Les barrettes ou règles à bouts, généralement usitées dans l'industrie, forment des séries donnant les diverses longueurs qu'on peut avoir besoin de vérifier, soit directement, soit parfois par la juxtaposition bout à bout de deux ou plusieurs barrettes. On se limite habituellement aux longueurs exprimées par des nombres entiers de millimètres et à certaines dimensions spéciales. Au contraire, la série Johansson est disposée de manière à donner une cote quelconque en centièmes de millimètre, par la juxtaposition d'un nombre convenable de barrettes, juxtaposition qui, au lieu d'être exceptionnelle, devient la règle générale. A cet effet, les barrettes sont terminées par des faces planes rectangulaires relativement grandes, de 33 sur 9 millimètres. En appuyant légèrement l'un sur l'autre deux calibres, on obtient une adhérence complète, et les deux calibres n'en font plus qu'un.

Pour donner toutes les cotes en centièmes de millimètre, de 1 à 200 millimètres, M. Johansson a composé deux séries, l'une de 103 calibres, ayant les dimensions suivantes, en millimètres : 0,25 — 1,01 — 1,02 — 1,03 — 1,04 — 1,05 — 1,06 — 1,07 — 1,08 — 1,09 — 1,10 — 1,11 — 1,12 — 1,13 — 1,14 — 1,15 — 1,16 — 1,17 — 1,18 — 1,19 — 1,20 — 1,21 — 1,22 — 1,23 — 1,24 — 1,25 — 1,26 — 1,27 — 1,28 — 1,29 — 1,30 — 1,31 — 1,32 — 1,33 — 1,34 — 1,35 — 1,36 — 1,37 — 1,38 — 1,39 — 1,40 — 1,41 — 1,42 — 1,43 — 1,44 — 1,45 — 1,46 — 1,47 — 1,48 — 1,49 — 0,50 — 1 — 1,5 — 2 — 2,5 — 3 — 3,5 — 4 — 4,5 — 5 — 5,5 — 6 — 6,5 — 7 — 7,5 — 8 — 8,5 — 9 — 9,5 — 10 — 10,5 — 11 — 11,5 — 12 — 12,5 — 13 — 13,5 — 14 — 14,5 — 15 — 15,5 — 16 — 16,5 — 17 — 17,5 — 18 — 18,5 — 19 — 19,5 — 20 — 20,5 —

21 — 21,5 — 22 — 22,5 — 23 — 23,5 — 24 — 24,5 — 25 — 50 — 75 — 100.

Une série réduite, de 46 calibres, donne la plupart des mêmes cotes de 1 à 200 millimètres, avec les épaisseurs suivantes, en millimètres : 1,01 — 1,02 — 1,03 — 1,04 — 1,05 — 1,06 — 1,07 — 1,08 — 1,09 — 1,1 — 1,2 — 1,3 — 1,4 — 1,5 — 1,6 — 1,7 — 1,8 — 1,9 — tous les nombres entiers de 1 à 25 — 50 — 75 — 100.

L'exécution de ces calibres est remarquable : on sait, en effet, combien est difficile la réalisation précise de faces planes parallèles. La température choisie comme normale pour ces calibres est de 20° centigrades.

L'observation de quatre calibres, choisis dans une boîte soumise au Comité international des poids et mesures, a donné les résultats suivants :

Les dimensions, après réduction à la température de 0°, sont très sensiblement

Pour le calibre de	20	—	19,9930
—	10	—	9,9963
—	6	—	5,9997
—	2	—	2,0006

A la température de 20°, ces calibres se rapprochent beaucoup de leur cote nominale, car la dilatation les allonge d'environ deux dix-millièmes de leur longueur, c'est-à-dire respectivement de 4 — 2 — 1,2 — 0,4 microns. La plus forte erreur porte sur le calibre de 2 millimètres, trop long de 1 micron environ.

On pourrait croire que l'utilité d'obtenir une cote quelconque en centièmes de millimètre n'est pas très grande, car les cotes des pièces de machines sont généralement exprimées par des nombres entiers de millimètres. Mais, dans la construction soignée, les jeux des pièces sont déterminés, et ces pièces sont vérifiées à l'aide de calibres minima et maxima, présentant, avec la cote moyenne entière, des différences exprimées, suivant les cas, en dixièmes et en centièmes de millimètre. Pour l'établissement et la vérification de ces calibres de réception, les barrettes Johansson peuvent être fort utiles.

Votre Comité vous propose de remercier M. Diot de son intéressante communication et de publier le présent rapport au *Bulletin*.

Signé : E. SAUVAGE, rapporteur.

Lu et approuvé en séance, le 24 avril 1903.

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT présenté par **M. Imbs**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*,
sur les *raccords pour tuyauterie* de **M. Paul Durand**.

M. P. Durand a présenté à la Société d'Encouragement, diverses dispositions de raccords pour tuyauterie pour lesquelles il est breveté. Ces dispositions, variant selon la nature et la destination des tuyaux (tuyaux métalliques, en caoutchouc ou autres, pour vapeur, pour liquides, pour pompes à incendie, etc.), reposent toutes sur une même idée, répondant au

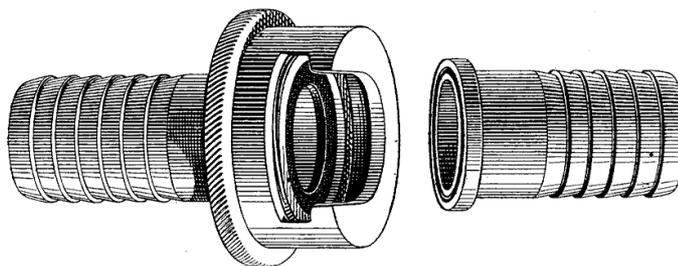


Fig. 1. — Raccord *Durand* démonté.

but de rendre les raccords plus durables et plus convenables que les raccords ordinaires dans les cas où la fréquence des démontages et remontages est accentuée et où la rapidité de l'opération a de l'importance.

Cette idée consiste à ne pas séparer complètement les deux parties d'un raccord à vis ordinaire, de sorte que la partie formant écrou ne quitte jamais la partie fixe formant vis et que l'écrou n'est jamais retiré, mais seulement desserré. Comme il faut, cependant, que la séparation se fasse pour les tuyaux, dont chacun porte, à son extrémité, l'embase voulue pour le joint à rapprocher et à comprimer, l'écrou est muni d'une entaille latérale formant ouverture sur un peu plus du quart de sa circonférence et sur la moitié de la hauteur de la boîte à deux fonds que forme l'écrou, et le tuyau, mobile avec son embase se retire de côté commodément. Les deux fonds de

la boîte écrou laissent, par leur distance, le jeu nécessaire pour emboîter le tuyau mobile et serrer en $1/4$ ou $1/2$ tour ou pour desserrer et déboîter à l'inverse, et il n'y a jamais ni tâtonnement ni engagement à faux pour

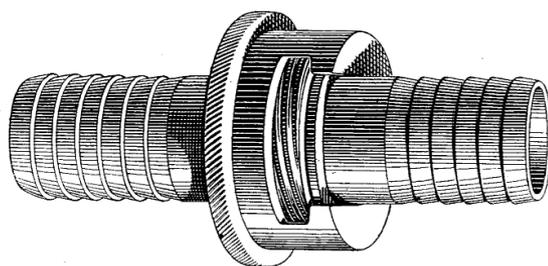


Fig. 2. — Raccord *Durand* accouplé.

la prise de l'écrou sur la vis, ni serrage ni desserrage prolongé à effectuer sur plusieurs tours.

Les brevets de M. Durand étant récents, les applications pratiques réalisées pour ses raccords sont encore peu nombreuses, mais elles sont favorables. La très grande simplicité de ses dispositions ne laisse d'ailleurs que peu de prise aux objections.

En conséquence, le Comité des Arts mécaniques propose de remercier M. Durand de sa communication et d'insérer au *Bulletin* le présent rapport avec les dessins explicatifs nécessaires.

Signé : J. IMBS, rapporteur.

Lu et approuvé en séance, le 24 avril 1903.

HYGIÈNE

PRÉVENTION DES ACCIDENTS DU TRAVAIL (*Musée d'hygiène industrielle*),

PAR **M. H. Mamy** (1).

MESSIEURS,

A plusieurs reprises déjà, la Société d'Encouragement m'a fait l'honneur de m'appeler à exposer devant elle certains points spéciaux de cet important problème de la prévention des accidents du travail et de l'hygiène des ateliers.

Aussi, Messieurs, vous me permettrez, pour ménager vos instants, de ne pas entrer dans de trop longs développements sur la question.

Je rappellerai brièvement qu'il n'est pas de pays industriel qui ne s'en préoccupe aujourd'hui. Soit que l'on se place au point de vue purement humanitaire; soit que l'on envisage, au point de vue économique, l'intérêt de l'industrie et l'intérêt de la société tout entière, il n'est pas possible de rester indifférent devant l'énorme somme de souffrances, directes et indirectes, qui résultent des accidents du travail; devant l'amointrissement du capital humain qui en est la conséquence.

Les conditions du travail se sont profondément modifiées depuis un siècle. Certes, on ne peut pas dire que l'accident du travail soit un fait nouveau; il est aussi ancien que le travail lui-même. De tout temps, il y a eu des ouvriers victimes de l'exercice de leur profession. Mais combien l'apparition de la machine à vapeur, la création et le développement progressif du machinisme ont augmenté les dangers auxquels l'ouvrier est exposé!

Que nous sommes loin de l'atelier d'autrefois où le patron, avec quelques compagnons et apprentis seulement, travaillait et vivait dans une intimité presque familiale, ne se servant que d'outils manuels dont il était le maître absolu, et qui, suivant la très juste expression de l'honorable M. Cheysson, n'étaient, pour ainsi dire, que le prolongement de ses organes.

Aujourd'hui, dans ces vastes ruches bourdonnantes que sont les usines modernes, tout un essaim de machines-outils met au service de l'homme une

(1) Conférence du 27 mars 1903.

force aveugle et brutale. Le nombre de ces machines croît sans cesse; leur vitesse tend toujours à augmenter. Elles reçoivent la force et le mouvement par l'intermédiaire de toute une série d'organes, câbles, courroies, volants, poulies, engrenages. Une atmosphère de danger est ainsi créée, atmosphère au milieu de laquelle l'ouvrier est contraint de vivre et de travailler, sous la menace incessante d'un péril, auquel toute sa prudence, toute son adresse, toute son attention ne suffisent pas toujours à le soustraire.

Combien sont éloquentes, dans leur froide précision, les douloureuses statistiques des victimes du travail. Je voudrais citer seulement quelques chiffres, empruntés aux relevés annuels que publie l'Office impérial des Assurances de Berlin.

En 1899, dans les corporations industrielles seulement, on comptait, en Allemagne :

Accidents déclarés.	298 918
Morts	4 772
Incapacité permanente totale	581
Incapacité permanente partielle.	23 837
Incapacité temporaire de plus de treize semaines.	19 985

Si l'on réfléchit que ces chiffres ne concernent qu'une seule année et qu'un seul pays; que tous les ans un nouveau contingent de blessés et de morts s'ajoute aux contingents précédents; que ce qui se passe en Allemagne, à cet égard, se répète dans tous les pays industriels; on a véritablement le droit d'être effrayé de cette situation et l'on ne peut qu'applaudir à la somme d'efforts qui sont tentés de toutes parts pour l'améliorer.

Messieurs, en nous bornant exclusivement à la France, nous constatons que les pouvoirs publics ne sont pas restés inactifs et que des mesures très sérieuses et très efficaces ont été prises déjà pour accroître, dans la mesure du possible, la sécurité du travail et l'hygiène de l'atelier.

La loi du 2 novembre 1892, concernant le travail des enfants, des filles mineures et des femmes, contient, dans plusieurs de ses articles, des dispositions visant l'hygiène et la sécurité du travail.

Cette loi, il est vrai, ne s'applique pas dans les établissements où ne travaillent que des adultes hommes. Mais la loi du 12 juin 1893, d'un caractère plus général et s'appliquant dans tous les ateliers, a été spécialement édictée en vue de l'hygiène et de la sécurité. Elle a été complétée par le décret du 10 mars 1894. Une inspection officielle est spécialement chargée de surveiller et de contrôler l'exécution de la loi et des règlements.

De son côté l'initiative privée n'avait pas attendu, pour agir, l'intervention des pouvoirs publics. Vous connaissez, Messieurs, la grande efficacité de ces Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, qui fonctionnent sur divers

points de notre territoire et se sont donné pour mission la surveillance des générateurs à vapeur. Il suffit de rappeler que les explosions ont presque disparu dans les chaudières soumises à leur contrôle et à leur examen.

L'action si utile de ces Associations se limite cependant à un organe déterminé. Il restait encore à enchaîner le danger qui résulte de l'outillage de l'usine : moteurs, transmissions, machines-outils, ainsi qu'à veiller à l'application des meilleures conditions hygiéniques. C'est la tâche qu'ont assumée les Associations contre les accidents du travail.

Il est juste de rappeler que l'honneur de cette initiative revient à la France. C'est en 1867 en effet, à Mulhouse, alors terre française, qu'un grand industriel alsacien, Engel-Dollfus, créa la première Association contre les accidents de fabrique. Je salue en passant la mémoire de cet homme de bien, et je constate que l'exemple qu'il a donné n'a pas été infructueux. C'est sur le modèle de l'Association de Mulhouse que s'est créée, en 1880, l'Association normande, à Rouen, et qu'Émile Muller a fondé, en 1883, l'Association parisienne des Industriels de France contre les accidents du travail. Plus tard, l'étranger devait entrer dans ce mouvement et nous permettre d'applaudir aux efforts, couronnés de succès, de l'Association des Industriels de Belgique et de l'Association des Industriels d'Italie.

Vous connaissez, Messieurs, les moyens d'action de ces diverses Associations.

En prenant comme exemple l'Association des Industriels de France, l'élément le plus efficace de son intervention réside dans les visites que font ses ingénieurs-inspecteurs dans les usines et les ateliers. Elle complète ces visites par des publications diverses, bulletins, brochures, circulaires, dans lesquelles le problème des accidents du travail est traité sous toutes ses faces, technique, législative, réglementaire, statistique; par des affiches, imprimées en gros caractères, destinées à être placardées dans l'atelier et à mettre en permanence sous les yeux des ouvriers et des contremaîtres ce qu'il leur est recommandé et ce qu'il leur est défendu de faire. Elle y joint aussi des concours annuels internationaux en vue de provoquer la création ou l'amélioration d'appareils de sécurité ou d'hygiène. Elle décerne, enfin, des récompenses aux ouvriers, contremaîtres, ingénieurs ou directeurs d'usines qui se font remarquer par le soin avec lequel ils observent ou appliquent les mesures conseillées, ainsi qu'à ceux qui créent ou perfectionnent des dispositifs protecteurs.

Il n'est pas possible, Messieurs, de méconnaître les heureux effets, les bons résultats obtenus par cette action parallèle des pouvoirs publics et de l'initiative privée, se prêtant un concours réciproque, un appui mutuel.

Mais, si excellente que soit cette action, elle laisse subsister cependant une lacune, déjà comblée dans d'autres pays.

Les appareils protecteurs, les dispositifs de sécurité et d'hygiène, ne sont signalés, ne sont indiqués qu'à une petite minorité, aux industriels appartenant aux associations préventives, mais la masse les ignore. Ils ne sont pas exposés aux yeux de tous, dans un lieu déterminé, permettant aux ouvriers, aux contremaîtres, aux ingénieurs, de venir à leur jour, à leur heure, examiner, étudier, apprécier ces appareils, se convaincre de leur existence et de leur utilité, y puiser même les éléments nécessaires pour des créations ou des améliorations nouvelles.

C'est le rôle d'un Musée de Prévention des accidents du travail et d'hygiène industrielle.

Il existe actuellement plusieurs Musées de cette nature, à Zurich, Vienne, Amsterdam et Munich. L'Allemagne en crée un, très important, à Charlottenbourg, près Berlin.

Nous passerons très rapidement en revue chacun d'eux.

MUSÉE DE ZURICH

Le Musée de Zurich a été fondé, en 1883, par les inspecteurs fédéraux des fabriques. Ils avaient réuni une petite collection d'appareils protecteurs ayant figuré à l'Exposition nationale de Zurich, et qui, pour la plupart, leur avaient été gracieusement offerts par des industriels ou des inventeurs. Augmentés du « Bati de Mulhouse » don de M. Engel Dollfus, ces modèles formèrent un premier noyau qui fut installé d'abord au Musée industriel de Winterthur. Lorsqu'on créa au Polytechnicum de Zurich une chaire d'hygiène industrielle, le désir naquit d'utiliser cette collection pour les démonstrations de ce cours et on la transféra au Polytechnicum, où elle constitue aujourd'hui un petit Musée.

Il se compose d'un certain nombre de modèles, de dessins et de photographies.

Les ressources au moyen desquelles il se développe sont :

- 1° Les dons faits par des particuliers ;
- 2° Les subventions accordées par le département fédéral de l'industrie ;
- 3° Les crédits que le Polytechnicum peut y consacrer.

MUSÉE DE VIENNE

Le Musée de Vienne est plus important que celui de Zurich.

Il a été créé en 1890, par l'initiative du Dr Franz Migerka, alors inspecteur central du travail dans l'industrie.

En 1889 s'est tenue à Berlin une importante Exposition universelle pour la protection contre les accidents.

La section autrichienne y comptait un certain nombre d'appareils de sécurité et d'hygiène. Frappé de l'intérêt que présentait cette collection, le D^r Migerka conçut la pensée de l'empêcher de se disséminer, en la réunissant à Vienne dans un Musée spécial, dont la gestion, l'entretien et le développement seraient confiés à l'initiative privée.

Il fit les démarches nécessaires auprès du Gouvernement et des exposants pour obtenir la cession des objets exposés, qui devaient former le premier noyau du Musée, et il constitua « l'Association pour l'entretien du Musée viennois d'hygiène industrielle et d'économie sociale ».

Le but que se propose l'Association du Musée est le suivant :

1^o Former des collections méthodiques d'appareils, de modèles, de dessins, de descriptions et méthodes de protection du travail;

2^o Provoquer et exécuter des études pratiques et des essais industriels de ces appareils et de ces méthodes;

3^o Les vulgariser par des conférences, des publications, des brochures, des conseils et des renseignements fournis aux industriels;

4^o Créer des prix pour les meilleurs appareils de protection;

5^o Provoquer la rédaction et l'application de règlements pour prévenir les accidents;

6^o Constituer une Bibliothèque spéciale et réunir les éléments d'une statistique des accidents.

Les questions d'hygiène industrielle doivent tenir une grande place dans les préoccupations de l'Association. Elle se propose également de réunir tout ce qui concerne les *institutions créées en vue du bien-être matériel et moral des ouvriers*. Elle entre ainsi dans la voie de l'économie sociale et agrandit considérablement le cadre de son action.

Afin de vulgariser les documents qui y sont réunis, l'Association s'efforce de provoquer des visites. *Elle lance des invitations aux chefs d'usines et aux Associations ouvrières.*

Des groupes d'ouvriers appartenant à un même établissement ou à des établissements similaires viennent visiter le Musée le dimanche, sous la conduite d'un garde-interprète ou d'un inspecteur qui explique les appareils protecteurs les plus employés dans l'industrie à laquelle appartiennent les visiteurs, en démontre le fonctionnement et l'utilité.

On familiarise ainsi les ouvriers, les industriels, les contremaîtres, avec ces organes de protection et on en répand l'usage.

En 1901, le Musée a compté 4 221 visiteurs.

Un autre mode de vulgarisation employé par l'Association du Musée, ce sont les *expositions temporaires*.

Il y en a déjà eu dans plusieurs centres industriels, à Prague, à Pilsen,

Aussig, Reichenberg, Olmütz, Eger, avec conférences à l'appui. Pour ne pas dégarnir le Musée de Vienne, on a construit des doubles des modèles originaux et ce sont ces doubles qui figurent aux expositions temporaires.

Enfin l'Association publie des circulaires (plus de 200 ont déjà paru) dans lesquelles elle traite toutes les questions qui lui paraissent intéressantes.

MUSÉE D'AMSTERDAM

Le Musée d'Amsterdam a été créé en 1891 par l'initiative de la section d'Amsterdam de l'Association pour l'accroissement de l'industrie manufacturière dans les Pays-Bas.

Elle résolut, avec l'appui du Gouvernement, des autorités et d'hommes influents, de créer un Musée d'appareils protecteurs contre les accidents du travail et d'hygiène industrielle.

Elle rencontra dès le début de vives et puissantes sympathies. Le Gouvernement la dota d'un *subside annuel* de 5000 florins. La ville d'Amsterdam lui offrit le local convenable à l'érection du Musée. Les *dons* affluèrent de tous côtés.

Le Comité décida de placer, dans la mesure du possible, sous les yeux des visiteurs, les engins de préservation en grandeur naturelle et en marche.

Le Musée est situé 44, Grøene Burgwal, à Amsterdam.

Les salles où se trouvent les modèles et les appareils ont une superficie de 454 mètres carrés.

Le mouvement est donné aux machines par un *moteur à gaz* de 6 chevaux et un *électromoteur* de 1 cheval; 3 *arbres de transmission*, d'une longueur totale de 20 mètres, actionnent les appareils.

Plus de 300 *objets* figurent dans les collections du Musée, auquel est annexée une *bibliothèque spéciale*.

Le Musée est ouvert gratuitement au public les lundi, mardi, mercredi et jeudi, de 10 à 4 heures, ainsi que les 1^{er} et 3^e dimanches de chaque mois, de 1 à 4 heures.

MUSÉE DE MUNICH

L'Union polytechnique de Munich avait recueilli des fonds pour la création projetée d'un Musée d'hygiène ouvrière, Mais ce n'est qu'au printemps de 1901 que cette pensée a pu être réalisée, sous les auspices du ministère de l'Intérieur bavarois.

Le Musée de Munich entend être une exposition permanente de tout ce qui a trait à la sécurité du travail, à l'hygiène industrielle, aux institutions diverses destinées à l'amélioration du bien-être matériel et moral des ouvriers.

L'administration du Musée est installée 14, Maximilianstrasse, à Munich, dans le bâtiment du Ministère. Quant au Musée lui-même, aux salles d'exposition, elles ont été installées dans les locaux gracieusement offerts par la grande fabrique de papier Dachauer, de Munich, 3 Kegelhof.

Aujourd'hui, ce Musée compte déjà plus de 600 modèles dont la moitié a trait à la sécurité du travail et la moitié à l'hygiène. Les autres conditions du bien-être ouvrier y sont également représentées par plus de 300 numéros.

Les ressources se composent des fonds versés par l'Union polytechnique de Munich et des dons qui sont adressés par les inventeurs et les industriels.

MUSÉE DE CHARLOTTENBURG PRÈS BERLIN

L'exposition générale contre les accidents du travail, qui s'était tenue à Berlin en 1889, avait inspiré en Allemagne, comme en Autriche, la pensée de fonder un Musée de prévention des accidents et du bien-être ouvrier. Mais, tandis qu'en Autriche le Dr Migerka réalisait ce désir et créait le Musée de Vienne, l'idée ne rencontrait pas tout d'abord, en Allemagne, le même succès, et les efforts de M. le conseiller intime Reichel échouaient devant le refus du Gouvernement d'accorder une subvention. On se contenta donc de rassembler une petite collection d'appareils protecteurs, qui fut exposée dans les locaux de l'Office des assurances de l'Empire, et qui s'augmenta peu à peu par les soins de M. le professeur Konrad Hartmann.

Cependant l'Office impérial des assurances continuait à appeler l'attention du Gouvernement sur l'utilité et la nécessité d'un semblable Musée. Ses efforts étaient restés infructueux, bien qu'il eût fait porter la question au Reichstag même, où le Gouvernement la repoussa.

Enfin, en 1900, M. de Posadowsky, secrétaire d'État de l'Intérieur, s'intéressa à la question et la création du Musée fut décidée.

Le Reichstag accorda, dans ce but, une subvention de 568 000 marks pour l'exercice 1900, de 300 000 marks pour 1901 et de 175 000 marks pour 1902, soit, au total, 1 043 000 marks.

Avec ces ressources on put acheter le terrain nécessaire et édifier un bâtiment d'administration et un hall d'exposition.

Le bâtiment d'administration comprend, outre les pièces de l'administration proprement dite, une bibliothèque, une salle de lecture, des salles pour le Musée de la tuberculose et une salle de conférences pouvant recevoir 200 auditeurs.

Le hall d'exposition présente, au rez-de-chaussée, une superficie de 1 360 mètres carrés; il possède une galerie supérieure de 830 mètres carrés de surface, soit, au total, 2 190 mètres carrés.

Au rez-de-chaussée on installe environ 100 machines-outils, dont 50 seront actionnées directement par une transmission, 15 à 20 par des électromoteurs. La force motrice nécessaire est évaluée de 50 à 60 chevaux.

La galerie est principalement réservée aux objets et modèles se rapportant au bien-être ouvrier.

On ne demande aux exposants que de fournir leurs appareils; ils n'ont pas de loyer de place à payer, et la force motrice leur est donnée gratuitement.

Quant à l'entretien et à la surveillance du Musée, le Reichstag a voté dans ce but un crédit de 30 000 marks pour 1902 et un crédit de 40 000 marks pour 1903.

L'administration est confiée aux conseillers intimes Werner, Dr Sprenger et Konrad Hartmann, auxquels est adjoint, comme collaborateur, le professeur Dr Albrecht.

L'ouverture du Musée doit se faire vers la fin de mai 1903.

Messieurs, la France ne peut pas, ne doit pas rester en arrière de ce mouvement.

L'Association des Industriels de France contre les accidents du travail a pris l'initiative de provoquer la création, à Paris, d'un Musée semblable à ceux qui viennent d'être signalés. Nous avons le désir, en associant nos efforts à ceux du Conservatoire national des Arts et Métiers, que nous sollicitons à cet effet, de créer ce Musée, véritable exposition permanente, qui placera, autant que possible, sous les yeux des intéressés, des machines en mouvement munies de tous les dispositifs de nature à garantir du danger. A côté du mécanisme aveugle, qui déchire et qui tue, nous voudrions montrer l'organe bienfaisant, qui protège et qui sauve. Nous avons la conviction que, pour une œuvre de cette nature, le concours des pouvoirs publics, le concours de la Ville de Paris, ne sauraient nous faire défaut, et nous avons aussi la conviction, Messieurs, qu'en accomplissant cette tâche nous servirons utilement la cause du progrès industriel et du progrès social.

H. MAMY.

MÉTALLURGIE

LES ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ANTIMOINE, PAR **M. Baykoff.**

En étudiant la structure des alliages de cuivre et d'antimoine, j'ai observé que les alliages contenant de 50 à 70 p. 100 de cuivre ne sont pas toujours de la même structure : cela dépend de la rapidité avec laquelle ils se refroidissent après leur solidification.

Les recherches de M. Le Chatelier ayant montré que ces alliages donnent des solutions solides, on en peut conclure que cette différence de structure dépend de ce que, pendant le refroidissement rapide, les solutions solides ne se décomposent pas, tandis que, au refroidissement lent, cette décomposition a lieu.

Ce même phénomène est bien connu pour l'acier, dans lequel la décomposition des solutions solides est accompagnée de la récalescence; cela me donna l'idée de rechercher s'il ne se produisait pas un phénomène semblable à la récalescence dans les alliages de cuivre et antimoine.

Les premières expériences faites dans ce but montrèrent un arrêt pendant le refroidissement de ces alliages à la température de 400° C. environ, ce qui indiquait une transformation accompagnée d'un dégagement de chaleur. Cette observation montrait sans aucun doute possible qu'il fallait chercher là l'explication de la différence de la structure de ces alliages.

Aussi ai-je étudié d'une manière plus détaillée les alliages du *Cu* et *Sb*. Mes recherches se divisent en deux parties : il fallait d'abord établir exactement le nombre et la composition des combinaisons définies, puis étudier les transformations subies par ces alliages à l'état solide, c'est-à-dire le phénomène de la trempe lui-même.

Dans ce but, j'ai étudié la fusibilité, la dureté et la force électromotrice de ces alliages en fonction de leur composition, puis l'allure de leur refroidissement et l'influence de la rapidité du refroidissement sur leur microstructure. La détermination de la température de solidification se faisait au moyen du pyromètre de M. Le Chatelier. Pour chaque alliage, j'ai suivi le refroidissement en entier, de façon à observer tous les arrêts du pyromètre non seulement pendant la solidification, mais encore pendant les transformations de l'alliage solidifié. Dans ce but, j'ai noté les indications du pyromètre à des intervalles de temps

égaux et, d'après ces données, j'ai tracé la courbe de refroidissement. Je me suis aussi servi de l'appareil de M. Roberts Austen, qui permet d'obtenir les courbes directement sur une plaque photographique. Pour obtenir plus d'exactitude j'ai fait certaines observations avec un couple double. La graduation de ces couples était la suivante :

	T	Déviaton du galvanomètre.
Glace	0°	0,0
Ebullition de l'eau.	100°	14,2
— de la naphthaline.	217°	34,0
Fusion du plomb.	323'	53,3
— du zinc.	420°	72,0
— de l'aluminium.	653°	121,6

On voit qu'une division du galvanomètre correspond à 5°; les lectures peuvent se faire à une demi-division près; il en résulte que l'exactitude des mesures peut être estimée de 2 à 3°.

J'ai fait cinq séries d'observations; la série B était faite avec un pyromètre double et la série E au moyen de l'appareil de Roberts Austen. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau ci-dessous, dont les deux dernières colonnes se rapportent aux alliages complètement solidifiés.

La représentation graphique de ces résultats est donnée par les courbes du diagramme, p. 629. Sur ce diagramme la courbe ABCDEF et les courbes auxiliaires LR et CH correspondent au passage des alliages de l'état liquide à l'état solide; la courbe HRPNF et les courbes auxiliaires SQR et N se rapportent aux transformations dans l'état solide; ce sont les courbes de la trempe.

La courbe de fusibilité est formée de quatre branches, AB, BC, CD et EF. Chacune de ces branches correspond à la formation d'une phase solide spéciale : la branche AB à l'antimoine, la branche BC à la combinaison définie $SbCu_2$, la branche CDE à la combinaison définie $SbCu_3$ ou aux solutions solides, la branche EF au cuivre. L'antimoine et le cuivre forment deux combinaisons définies : $SbCu_2$ et $SbCu_3$. Depuis longtemps, les recherches de M. Le Chatelier ont bien établi la première combinaison; la deuxième combinaison a été moins étudiée. M. Stead, d'après ses recherches microscopiques, lui attribue la formule $SbCu_3$; mes observations confirment cette conclusion.

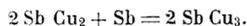
Ces deux combinaisons : $SbCu_2$ et $SbCu_3$ ont des propriétés caractéristiques : la première est d'une couleur violette, le deuxième est gris clair, avec une légère nuance verdâtre. La combinaison $SbCu_3$ fond à 681° et se solidifie à température constante; elle forme des solutions solides avec le cuivre et l'antimoine. Le domaine de ces solutions solides va de 53,3 p. 100 à 69 p. 100 de Cu. La combinaison $SbCu_2$ fond en se décomposant à 587°. Ce phénomène

est analogue à la fusion d'un sel dans son eau de cristallisation (par exemple $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). La température de 586° est le point de transition de SbCu_2 en

TABLEAU I

Sb%	Cu%	T _r	T ₂	T ₃	ÉTAT SOLIDE.	
S é r i e A.						
100	—	629	—	—	—	—
90	10	576,5	—	524,5	—	—
75	25	527	—	524,5	—	—
65	35	562,5	—	524,5	—	—
55	45	619,5	586	524,5	—	—
50	50	652,5	586	524,5	—	—
45	55	673	—	—	467,5	410,5
40	60	676	—	—	—	409,5
38	62	667	—	—	—	401
33	65	648	—	—	—	401
S é r i e B.						
100	—	631	—	—	—	—
91	9	582,5	—	524,5	—	—
83,5	16,5	549,5	—	524,5	—	—
65	35	567	—	528,5	—	—
60	40	589	—	528,5	—	—
56	44	610	585,5	525,5	—	—
49	51	652,5	584	—	—	—
44	56	676	—	—	467	402
39,5	60,5	681	—	—	406	401
39	61	681	—	—	407	—
S é r i e C.						
70	30	584	—	522,5	—	—
30	70	628	—	—	—	401
S é r i e D.						
45	55	668	—	—	503	401
43	57	672	—	—	448	401
38	62	667	—	—	405	392
37	63	652	—	—	397	388
35	65	648	—	—	—	388
33	67	638	—	—	—	397
S é r i e E.						
46	54	"	—	—	552	400
39,5	60,5	"	—	—	—	397
39	61	"	—	—	—	391
33,5	61,5	"	—	—	—	391
37	63	"	—	—	—	391
35	65	"	—	—	—	386
31	69	"	—	—	—	417
29	70	"	—	—	—	415

SbCu_3 , comme 33° l'est pour la transition $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, et la formation de SbCu_2 doit s'écrire :



Ces relations déterminent la marche de la courbe de fusibilité. Les alliages de la branche AB ont deux arrêts : Sb et alliage eutectique; la branche BC

également deux arrêts : $SbCu_2$ et alliage eutectique. Les alliages de 40 à 51 p. 100
 $SbCu_2$ $SbCu_3$

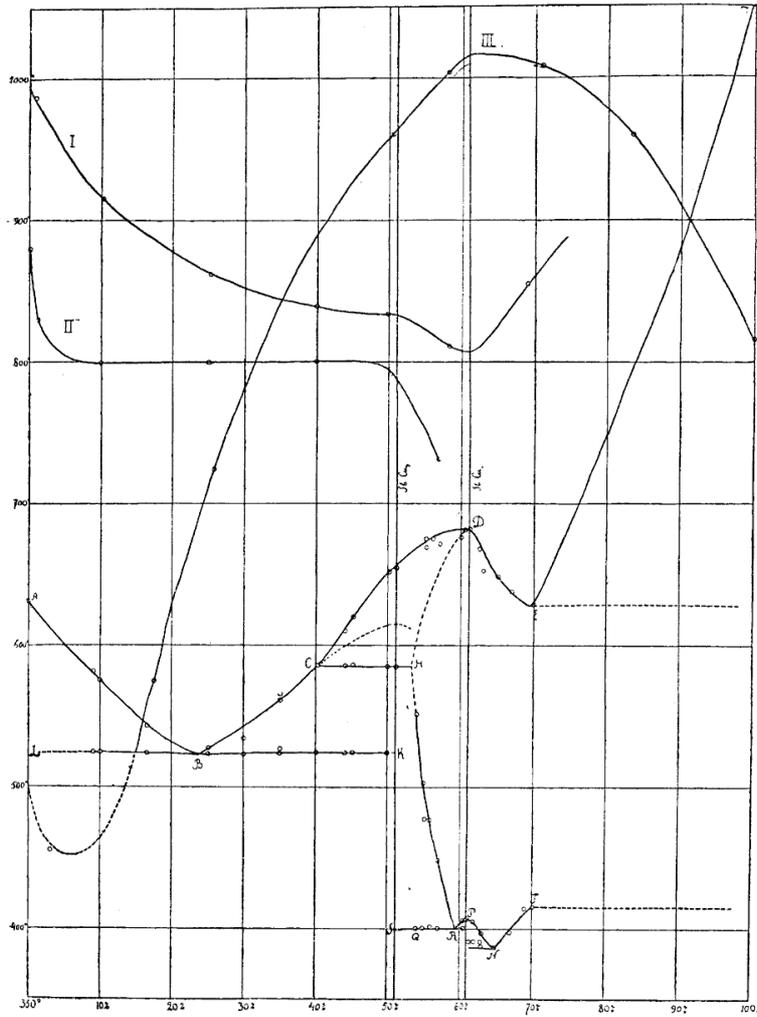


Fig. A. — Diagramme des propriétés physiques.

ABCDE — Courbe de fusibilité.
 HRPNT — Courbes des transformations.
 I » Dureté.
 II » Force électromotrice.
 III » Dilatation.

de cuivre branche CD, donnent trois arrêts. Le premier, dont la température

dépend de la composition de l'alliage, correspond à la formation des cristaux SbCu_3 (solutions solides). Les arrêts suivants ont lieu à des températures constantes : l'un à 584° correspond à la transition de SbCu_3 dans la combinaison SbCu_2 , et l'autre à la température $524\text{-}525$ correspond à la solidification de l'alliage eutectique de même composition que celui des branches AB et BC.

Les alliages de 51 p. 100 à 53,5 p. 100 Cu donnent deux arrêts : le premier, qui dépend de la composition de l'alliage et correspond à la formation des solutions solides, SbCu_3 , l'autre, à la température 586° , au point de transformation d'une partie des cristaux de SbCu_3 en SbCu_2 .

Les alliages de 53,5 p. 100 à 61 p. 100 Cu ne donnent qu'un arrêt; mais ils se solidifient non pas à température constante, mais dans certaines limites de température. L'alliage à 61 p. 100 Cu se solidifie à une température constante.

Les alliages de 61 p. 100 à 69 p. 100 Cu donnent un arrêt; mais dans certaines limites de température c'est la formation des solutions solides du SbCu_3 et Cu. Enfin, sur la branche EF, les alliages donnent deux arrêts : Cu et solution solide SbCu_3 , Cu.

Outre les données de fusibilité, j'ai déterminé la dureté de ces alliages et leur force électromotrice de dissolution.

La dureté fut déterminée au moyen d'un diamant de forme conique, qui était chargé d'un poids constant et traçait une ligne sur la surface polie de l'alliage. La largeur de cette ligne fut mesurée (en millimètres) au moyen d'un microscope grossissant 150 fois. Les données obtenues sont résumées dans le tableau 2. La représentation graphique est donnée par la courbe 1 de la figure 1.

La force électromotrice fut déterminée en faisant passer le courant entre des électrodes d'antimoine et de l'alliage dans une solution $\text{SbCl}_3 + \text{HCl}$. La courbe II de la figure 1 résume les résultats obtenus. Enfin la courbe de dilatation III est tracée d'après les données de M. Le Chatelier.

On voit bien que tous les points singuliers de ces courbes correspondent ou à la composition 51 p. 100 Cu, ou à celle de 61 p. 100 Cu, c'est-à-dire aux combinaisons SbCu_2 et SbCu_3 .

Si l'on observe le refroidissement des alliages solidifiés pour les teneurs comprises entre 53,5 p. 100 à 69 p. 100 Cu, on y observe deux arrêts du pyromètre, dont l'un varie suivant la composition de l'alliage et l'autre, plus considérable, a lieu à une température constante d'environ 400° à peu près. Ces arrêts se manifestent clairement sur les courbes du refroidissement; mais ils se distinguent plus clairement si l'on trace les courbes de la rapidité du refroidissement (fig. 2). Les données relatives à ces arrêts sont résumées dans le tableau 2.

TABLEAU II

Sb p. 100.	Cu p. 100.			
46	54	532	400	»
43	55	503	401	»
44	56	467	402	»
43	57	448	401	»
39,5	60,5	406	401	»
39	61	407	»	»
38,5	61,5	»	»	391
38	62	405	»	392
37	63	397	»	388
{ 35	65	»	»	386
{ 35	65	»	»	388
33	67	397	»	»
31	69	417	»	»
30	70	415	»	»

Comme on voit d'après ces chiffres, l'alliage de 61 p. 100 (SbCu_3) divise le tableau en deux parties dont la première correspond aux solutions solides de SbCu_3 et Sb, et la deuxième aux solutions solides SbCu_3 et Cu.

Il est à remarquer que cette transformation concerne non seulement les solutions solides, mais aussi la combinaison SbCu_3 elle-même, et que, plus la composition d'un alliage se rapproche de la formule SbCu_3 , plus les arrêts du pyromètre deviennent longs, et le phénomène de la récalescence s'observe plus distinctement. L'expérience montre que ce phénomène est réversible. En outre, cet alliage reste parfaitement homogène. Tout ceci nous permet de conclure que le SbCu_3 est dimorphe, et le point de transition se trouve à la température de 407°. Suivant la notation de M. Osmond pour le fer, je désigne ces deux modifications par β et α : la lettre β se rapporte à la forme stable au-dessus de 407°. Cette transformation



se fait assez vite; mais si le refroidissement s'opère en plongeant l'alliage dans de l'eau froide, elle ne peut se faire d'une façon notable. Le poids spécifique de ces deux modifications est très différent. Pour la déterminer, l'alliage SbCu_3 fut versé à l'état liquide dans deux creusets, dont un fut laissé se refroidir lentement tandis que l'autre, où l'on avait placé un pyromètre, fut plongé dans l'eau froide lorsque sa température fut tombée à 600°. L'alliage refroidi rapidement donna 8,51 pour poids spécifique : celui qui s'était refroidi lentement donna 8,48.

Les alliages contenant un excès d'antimoine par rapport à la composition $SbCu_3$, forment des solutions solides en se solidifiant. Au point de vue cristal-

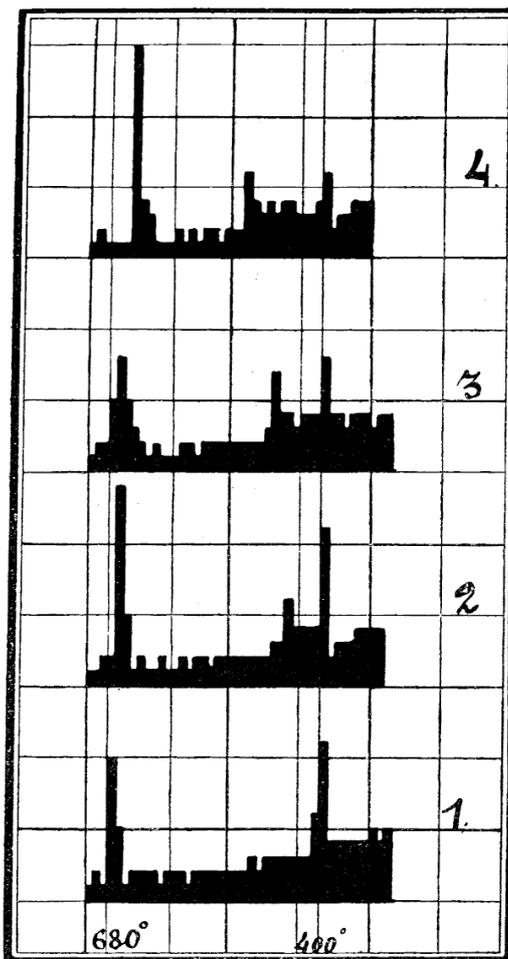


Fig. B. — Diagramme de récalescence.

1.	2.	3.	4.
Sb = 39,5%.	Sb = 43%.	Sb = 44%.	Sb = 45%.
Cu = 60,5%.	Cu = 57%.	Cu = 56%.	Cu = 55%.

lographique, ces solutions solides sont constituées par des cristaux mixtes de la forme β . Le point de transition pour ces cristaux mixtes, s'ils se décomposent

en même temps, doit être inférieur à celui de combinaison pure. Il est très difficile de résoudre cette question par l'expérience, étant donné que la courbe de cette transformation est très courte; la cause en est que, dans ces solutions solides, outre la transformation dimorphique des cristaux β en cristaux α , il se fait encore une autre transformation : la séparation de la combinaison SbCu_2 des solutions solides. La courbe de cette deuxième transformation commence à 584° pour l'alliage à 53,5 p. 100 de cuivre, qui représente la solution solide de plus grande concentration, et elle descend avec l'augmentation de la quantité de cuivre vers l'ordonnée correspondant à SbCu_3 ; elle se croise avec la première courbe aux environs de 60 p. 100 Cu. Ainsi la courbe de transformation dimorphique des cristaux β en α , qui commence à l'alliage à 61 p. 100 Cu, se termine sans avoir atteint l'alliage à 60 p. 100 Cu.

Outre la transformation dimorphique de ces alliages, il y a une autre transformation due à la séparation de la combinaison SbCu_2 . Aussi, toutes les solutions solides, en se décomposant, donnent-elles deux arrêts du pyromètre : le premier correspond à la séparation du dissolvant, qui, sur la branche RP, est SbCu_2 et, sur la branche HR, est SbCu_3 . Le deuxième arrêt correspond à la formation du mélange eutectique ou *perlite*. Il en est de même pour les solutions solides de Cu et de SbCu_3 .

Microstructure. — Les alliages contenant de 0 à 51 p. 100 de cuivre ont la même structure et celle-ci est indépendante de la rapidité du refroidissement (Phot. 1, 2, 3, 4, 5). Les alliages contenant plus de 51 p. 100 de Cu, au contraire, présentent une structure différente, dépendant de la rapidité de leur refroidissement. Aussi, la microstructure de chaque alliage a-t-elle été observée sur deux échantillons. Ces échantillons furent préparés de la manière suivante : l'alliage à l'état liquide fut versé dans deux creusets; on laissait l'un des creusets se refroidir lentement, tandis que, dans l'autre, on introduisait un pyromètre au moyen duquel on pouvait suivre la marche de la température. Lorsque le pyromètre montrait que la solidification était terminée et que la température recommençait à baisser, on plongeait l'alliage dans l'eau froide. Les échantillons obtenus de cette manière montrent que la vitesse du refroidissement influe essentiellement sur la structure. Les alliages trempés, contenant de 53,5 p. 100 à 69 p. 100 de Cu, ont la même structure (Phot. 6, 7, 23). L'attaque de ces alliages a été faite par l'eau régale ou par HCl sous l'action d'un courant électrique. Tous ces alliages montrent exactement la même structure. Les alliages qui contiennent du cuivre en plus grandes proportions forment en se solidifiant un corps hétérogène, comme on voit sur la photographie 8.

La structure de ces alliages, après un refroidissement lent, offre un tout autre aspect. Dans ce cas, les solutions solides se décomposent, et l'on obtient un

corps qui n'est plus homogène, mais qui est formé de deux éléments. Il n'y a qu'un seul alliage restant homogène au refroidissement lent. C'est l'alliage dont

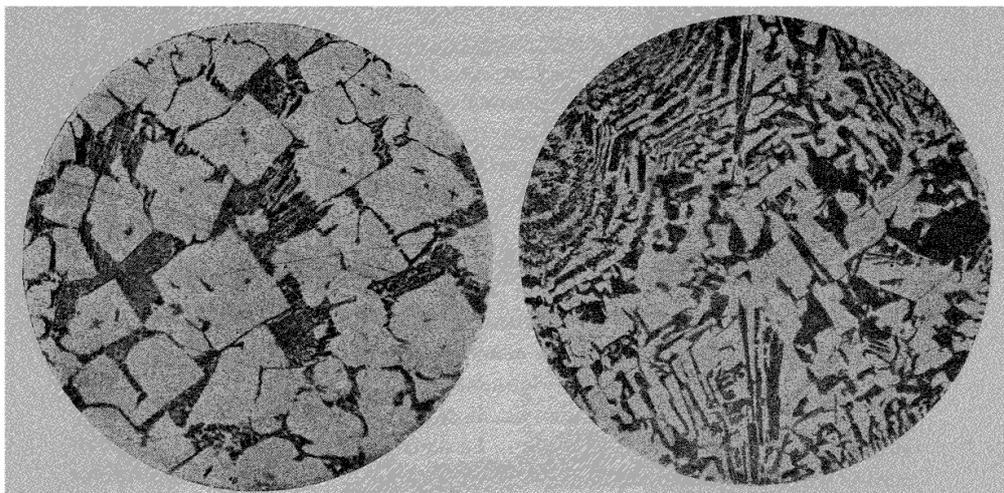


Fig. 1. — Sb = 90 0/0. Cu = 10 0/0.

Fig. 2. — Sb = 76 0/0. Cu = 24 0/0.

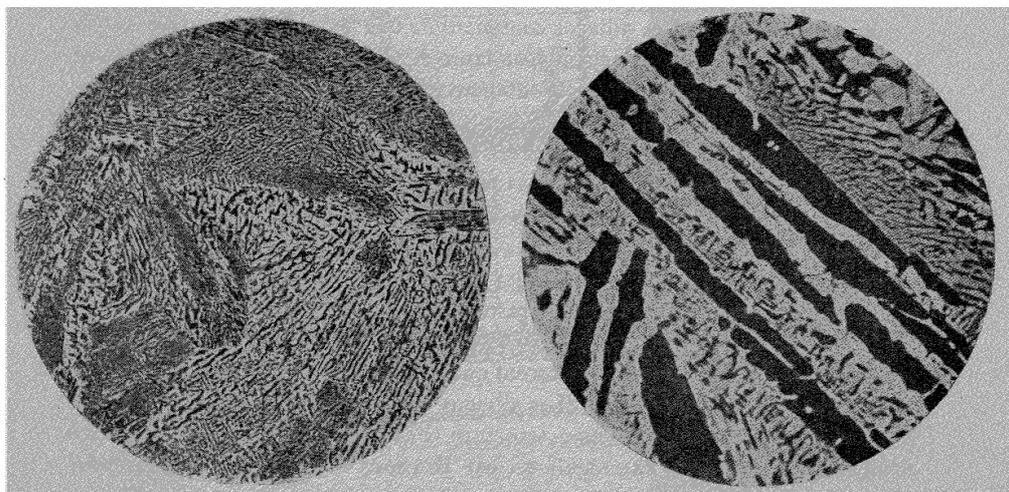


Fig. 3. — Sb = 76 0/0. Cu = 24 0/0.

Fig. 4. — Sb = 63 0/0. Cu = 33 0/0.

la composition correspond à la formule SbCu_3 (61 p. 100 Cu). Les photographies 9, 10, 11 et 12 représentent des alliages refroidis lentement, dont le premier correspond à SbCu_3 , et les autres contiennent un excès d'antimoine. Tous ces alliages

après refroidissement rapide, donnent la structure représentée sur la photographie 6. Ces alliages (6, 9, 10, 11, 12) ont été attaqués au moyen de l'eau

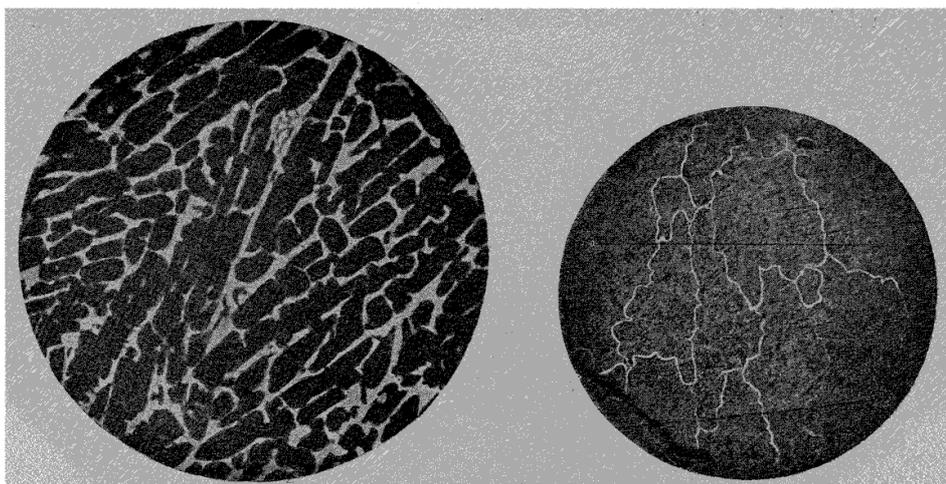


Fig. 5. — Sb = 35 0/0. Cu = 45 0/0.

Fig. 6. — Sb = 45 0/0. Cu = 55 0/0.

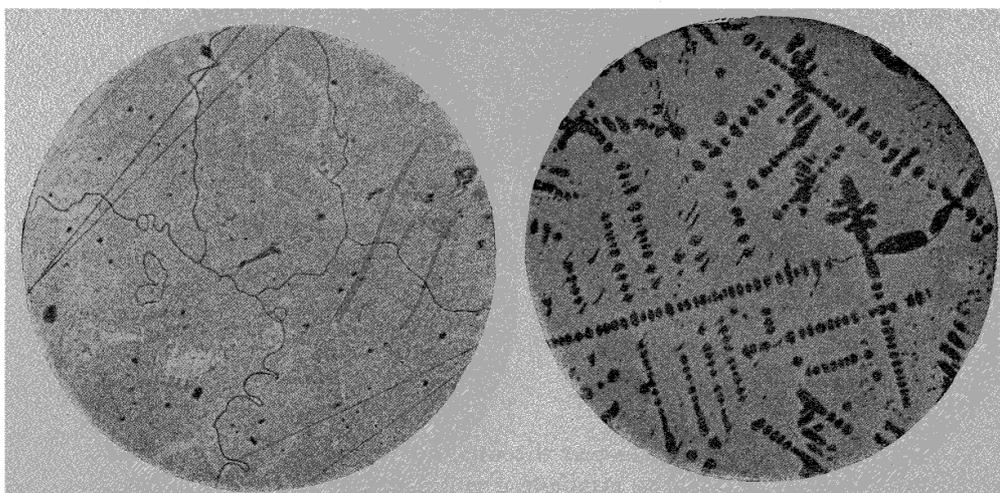


Fig. 7. — Sb = 39 0/0. Cu = 61 0/0.

Fig. 8. — Sb = 30 0/0. Cu 70 0/0.

régale (gross. 100 diam.). Il suffit de jeter un coup d'œil sur ces photographies pour voir quelles transformations considérables subissent ces alliages quand ils

sont refroidis lentement. Ainsi la trempe exerce une influence considérable sur la microstructure de ces alliages.

On a indiqué que l'effet de trempe dépend dans ce cas de deux transformations : de la décomposition des solutions solides (séparation de $SbCu_2$) et du

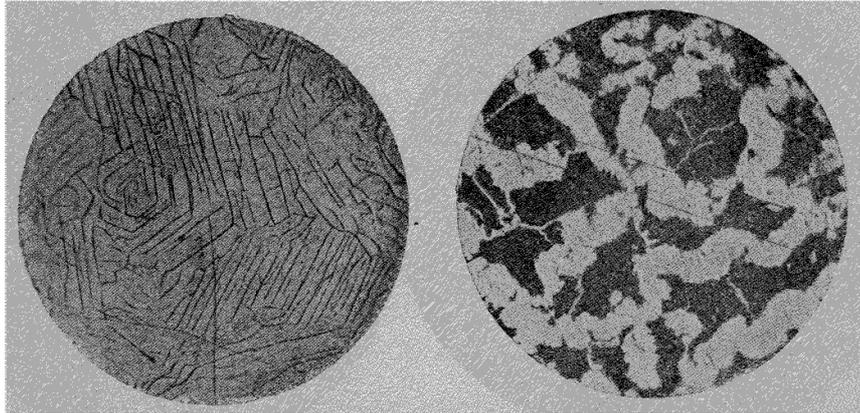


Fig. 9. — Sb = 39 0/0 Cu = 61 0/0.

Fig. 10. — Sb = 43 0/0. Cu = 57 0/0.

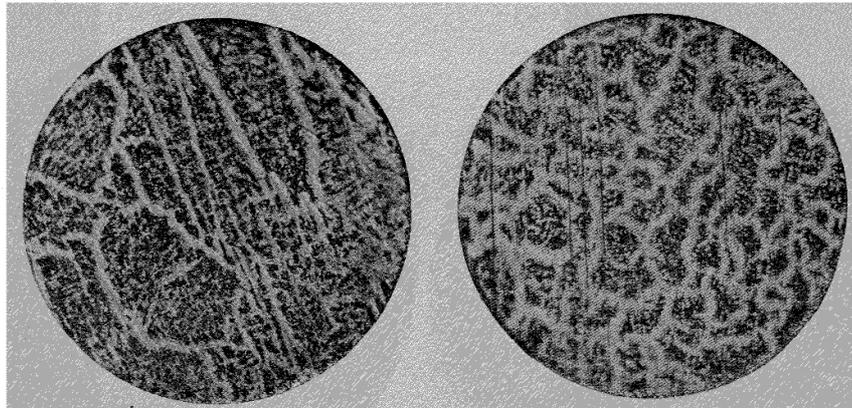


Fig. 11. — Sb = 45 0/0. Cu = 55 0/0.

Fig. 12. — Sb = 45,5 0/0. Cu = 54,5 0/0.

polymorphisme de $SbCu_3$. Ces deux circonstances ont une influence sur la structure, et chacune d'elles se manifeste d'une manière identique et constante. Pour suivre l'influence de ces deux facteurs, il est nécessaire d'appliquer deux procédés d'attaque au même alliage.

L'une doit être forte, pour montrer que l'alliage n'est pas homogène; l'autre doit être faible, pour montrer le changement de structure provenant du poly-

morphisme. Pour les alliages avec excès de Sb le meilleur réactif est l'eau. Si l'on met une goutte d'eau sur la surface polie d'un alliage il commence à

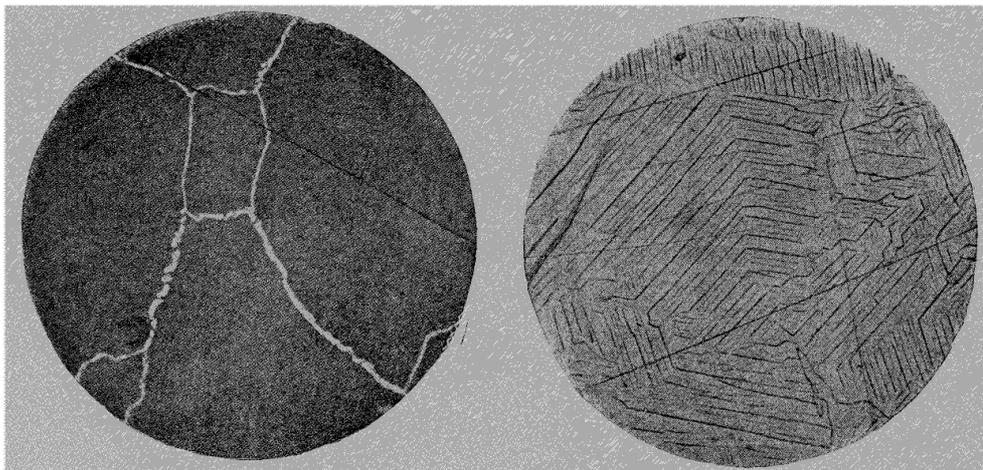


Fig. 13. — Sb = 39 % Cu. = 61 %.

Fig. 14. — Sb = 39 % Cu = 61 %.

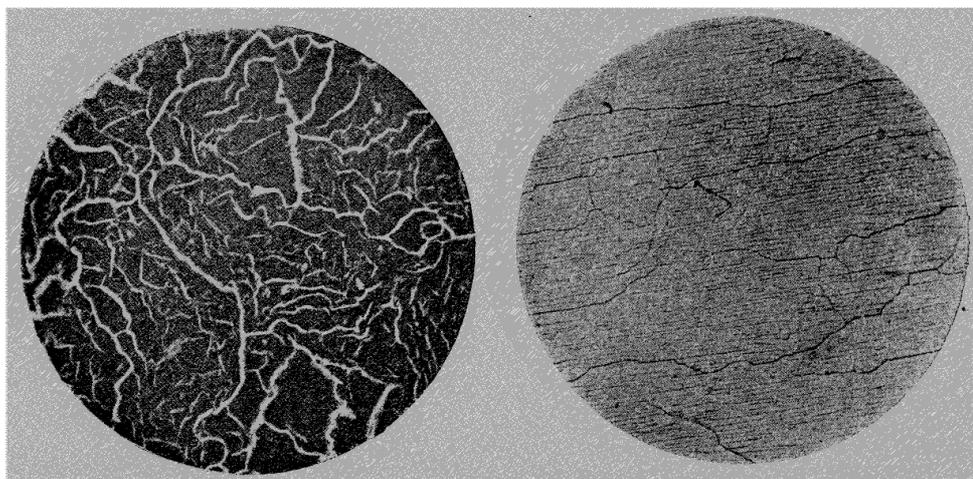


Fig. 15. — Sb = 40 % Cu = 60 %.

Fig. 16 — Sb = 40 % Cu = 60 %.

s'oxyder et au bout de quelques minutes (5-10) il est recouvert d'une couche très fine d'oxydes.

Il se trouve que c'est la combinaison $SbCu_3$ qui subit la première cette oxy-

dation, tandis que SbCu_3 reste inaltéré. Si ensuite on attaque la surface de cet alliage par une solution chlorhydrique faible, les oxydes se dissolvent, la surface

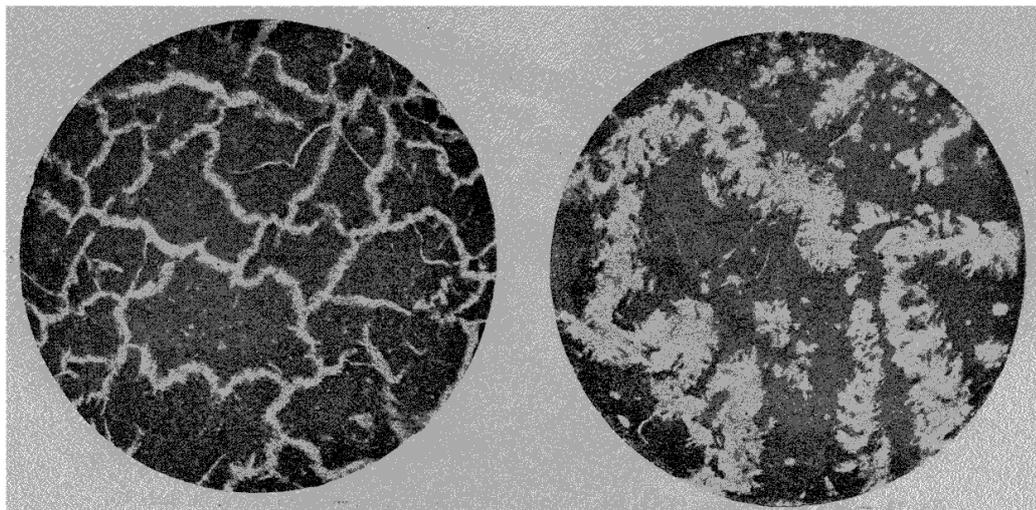


Fig. 17. — Sb = 41^o/_o. Cu = 59^o/_o.

Fig. 18. — Sb = 43^o/_o. Cu = 57^o/_o.

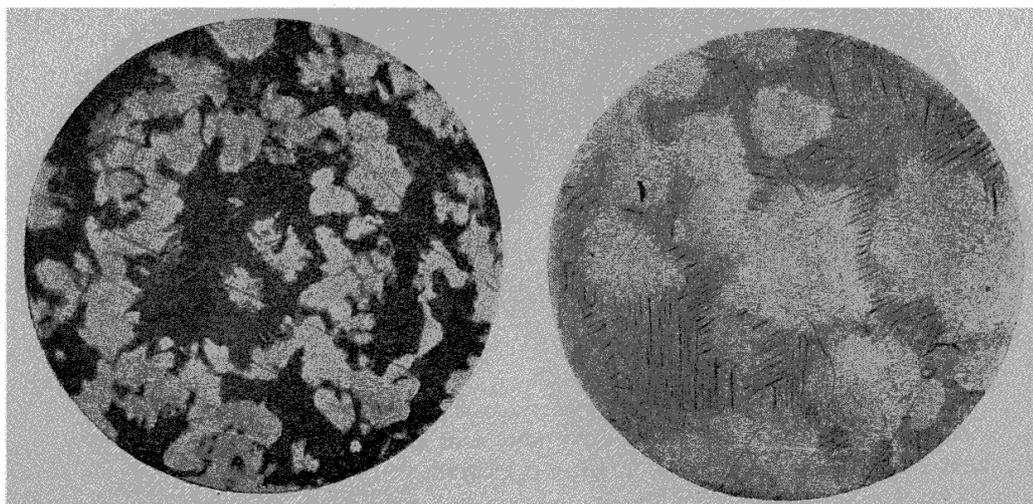


Fig. 19. — Sb = 44^o/_o. Cu = 56^o/_o.

Fig. 20. — Sb = 44^o/_o. Cu = 56^o/_o.

devient blanche; mais, en même temps, on aperçoit un dessin fin et caractéristique, qui doit son origine au phénomène de polymorphisme. Les photographies

19 et 20 montrent ces relations pour SbCu_3 (61 p. 100 Cu); la première photographie est obtenue après l'attaque par l'eau.

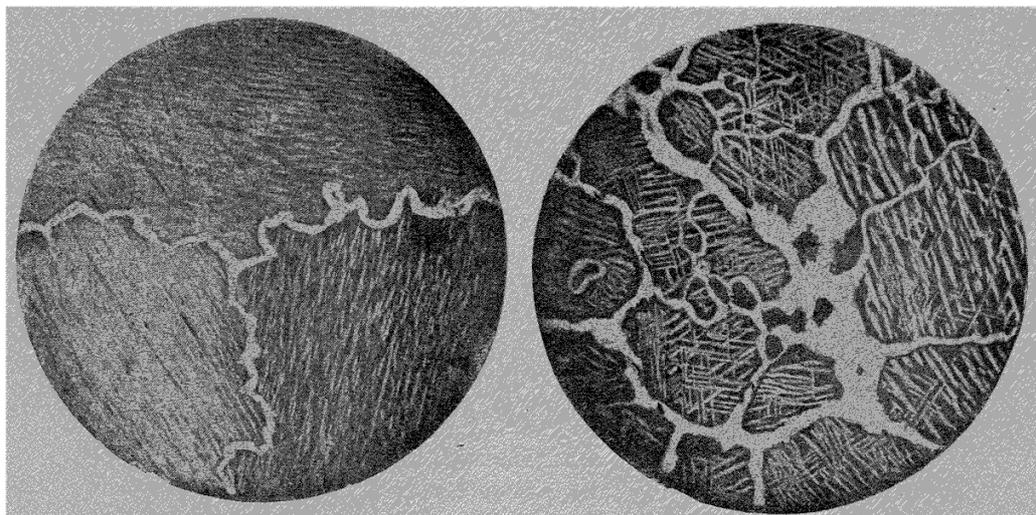


Fig. 21. — Sb = 46,5 0/0. Cu = 53,5 0/0.

Fig. 22. — Sb = 47 0/0. Cu = 53 0/0.

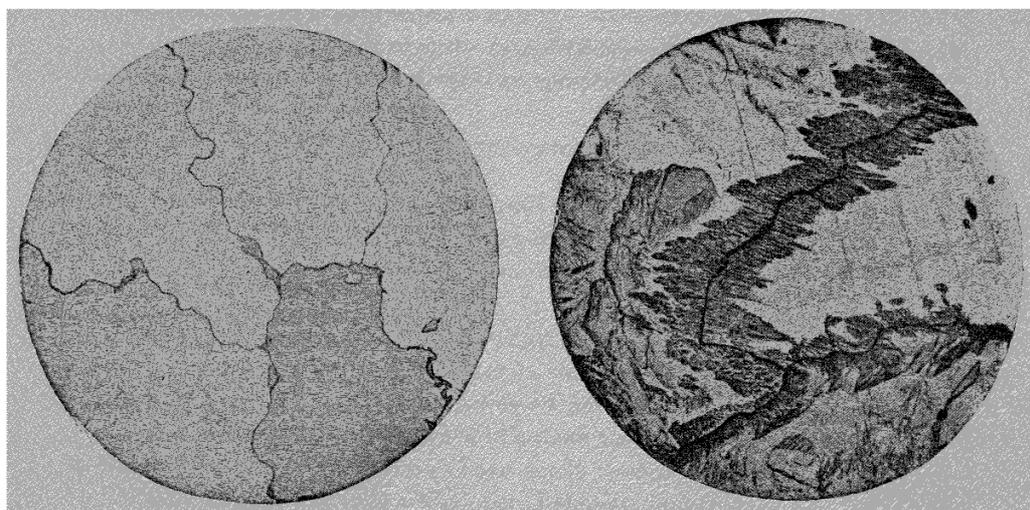


Fig. 23. — Sb = 36,5 0/0. Cu = 63,5 0/0.

Fig. 24. — Sb = 36,5 0/0. Cu = 63,5 0/0.

Elle montre de grands cristaux de SbCu_3 , avec une bordure fine de SbCu_2 , dont la présence est due à un petit excès de Sb. Les photographies 15 et 16 représentent la même relation [pour l'alliage à 60 p. 100 Cu, qui contient déjà un

excès de Sb. Plus l'excès d'antimoine est considérable, plus SbCu_2 se dégage en grande quantité de la solution, comme on voit sur les photographies 17, 18 et 19 (attaqué par l'eau) et 20 (attaqué par HCl de l'échantillon 19). Son aspect très caractéristique représente d'une manière claire les phases de la transformation des solutions solides.

Si l'on prend un alliage correspondant à la solution solide la plus concentrée (53,5 p. 100 Cu), on ne peut pas l'avoir parfaitement homogène après la trempe, étant donné que, dans ce cas, la température de décomposition est la même, que celle de solidification; c'est pourquoi, déjà pendant la solidification même, il commence à se séparer de la combinaison SbCu_2 (voir phot. 21, alliage trempé). Enfin, si l'on prend un alliage contenant encore plus d'antimoine, la combinaison SbCu_2 commence à se dégager au moment où la masse tout entière n'est pas encore solidifiée (voir phot. 22, alliage trempé).

Les photographies 23 et 24 donnent la microstructure des alliages avec excès de cuivre : l'un correspond au refroidissement rapide, et l'autre au refroidissement lent.

ARTS CHIMIQUES

ÉTUDE SUR LA CONSTITUTION DES CIMENTS HYDRAULIQUES
PAR **M. S. B. Newberry** AVEC LA COLLABORATION de **Melville M. Smith**.

Dans le Journal de la Société des Industries chimiques de novembre 1897 l'auteur de cette note et M. W. B. Newberry ont publié un travail sur la constitution des ciments hydrauliques qui donne des résultats d'expériences scientifiques inspirées par les recherches antérieures M. Le Chatelier.

Ces expériences avaient été entreprises dans l'espoir d'arriver à une formule qui permette de calculer exactement *a priori* la composition des mélanges convenables pour la fabrication du ciment. Les conclusions les plus importantes de ce travail ont été les suivantes :

1° Le ciment portland consiste essentiellement en un mélange de silicate tricalcique et d'aluminate bicalcique; sa composition peut être exprimée par la formule :



2° L'oxyde de fer contenu dans l'argile ne doit pas entrer en ligne de compte dans le calcul de la proportion de chaux nécessaire.

3° Les alcalis ne semblent jouer aucun rôle de nature à favoriser la combinaison des éléments du ciment.

4° La magnésie ne donne aucun produit hydraulique avec le silice, l'alumine ou l'argile; elle ne peut pas remplacer la chaux dans les mélanges et la composition de ces derniers doit être calculée en ne tenant compte que de la chaux.

Depuis la publication de ce travail l'auteur a continué ses expériences et les a étendues à l'étude de l'action de l'eau sur le ciment.

Silicate tricalcique. — Le Chatelier, Rebuffat, Meyer, Zulkonski n'ont pas réussi à préparer ce composé par la combinaison directe de la chaux et de la silice; ils ont seulement obtenu un mélange de chaux libre et de silicates moins basiques. L'auteur a cependant réussi à le préparer sans difficulté en chauffant un mélange intime de carbonate de chaux finement divisé et de silice.

Le docteur Rohland l'a également obtenu en chauffant ce mélange à la

température de la montre 30 de Séger, et il a reconnu que la matière fondait à la montre 33 à 34.

D'après Le Chatelier, ce corps serait le constituant actif essentiel du ciment portland; depuis, un grand nombre de chercheurs ont confirmé cette conclusion. Cette théorie, d'une part, et, d'autre part, l'échec des tentatives faites pour préparer ce corps ont engagé l'auteur à reprendre l'étude de ce silicate.

Matières premières. — Pour la préparation du silicate tricalcique on s'est servi de carbonate de chaux précipité chimiquement pur et de quartz broyé lévigné; ce quartz mis en suspension dans un grand vase était abandonné au repos pendant vingt minutes et on siphonnait le liquide laiteux surnageant que l'on laissait ensuite déposer. Cette opération fut répétée jusqu'à ce qu'on se soit procuré une quantité suffisante de cette matière très fine; le carbonate de chaux était sous la forme d'une poudre impalpable et ne laissait aucun résidu sur un tamis de 6 200 mailles au c².

L'analyse de ces deux matières a donné les résultats suivants :

Carbonate de chaux.	Ca O	55,42	Quartz.	Si O ²	98,08
	Mg O	0,12		Al ² O ³	0,86
	Perte au feu	44,27		Ca O	0,56
	TOTAL.	99,81		Mg O	0,11
				Perte au feu	0,23
				TOTAL.	99,84

Préparation. — 300 grammes de carbonate de chaux et 600 de quartz furent intimement mêlés, humectés d'abord, ensuite séchés; puis la pâte cassée en petits fragments. Pour la cuisson on s'est servi d'un fourneau à gaz de Fletcher muni d'une enveloppe en briques de magnésie. Le mélange était empilé dans la cavité du four et cuit pendant une heure en contact direct avec la flamme. Au refroidissement, les fragments cuits étaient légèrement agglomérés, présentaient une dureté considérable, mais étaient poreux; par le broyage, on obtint une poudre blanche donnant à l'analyse le résultat suivant :

	Trouvé.	Calculé pour 3 Ca O Si O ² .
Ca O	72,96	73,55
Si O ²	26,04	26,45
Al ² O ³	0,88	»
	99,88	100,00
Équivalents Ca O pour 1 Si O ²	3,022	3,000

Le poids spécifique du silicate après broyage et passage au tamis de 200 mailles fut trouvé égal à 3,055. Pour déterminer si la matière renfermait des quantités appréciables de chaux libre, 5 grammes finement broyés furent placés

dans un creuset avec un thermomètre au milieu de la masse et on nota la température; une quantité suffisante d'eau prise à la même température de 21° fut ajoutée goutte à goutte de façon à humecter la matière. Le thermomètre donna seulement une élévation de température de 1° et, après cinq minutes, il était retombé à 21°. Pour déterminer si la substance renfermait de la silice non combinée, on a employé le procédé de Lunge consistant en des traitements alternatifs par des solutions diluées d'acide chlorhydrique et de carbonate de soude.

Cette méthode, appliquée au quartz broyé et lévigné ayant servi aux expériences, donna un résidu de 98,32 p. 100 de silice insoluble montrant que le quartz finement divisé n'est pas du tout attaqué.

Le silicate tricalcique traité de la même façon donna seulement 0,05 de silice insoluble montrant que la combinaison était pratiquement complète.

De ces expériences, nous pouvons conclure que le silicate tricalcique préparé comme cela est indiqué plus haut est une combinaison chimique et non un mélange de chaux libre et de silicate monobasique, comme Le Chatelier et d'autres l'ont obtenu. La cause de cette divergence tient sans aucun doute à la finesse du quartz, à la température de cuisson et au contact direct de la flamme employée dans nos expériences.

Propriétés hydrauliques. — Le silicate tricalcique, préparé comme il vient d'être dit, et pulvérisé de façon à lui faire traverser le tamis de 200 mailles, a donné une poudre blanche douce et légère. Pour obtenir la pâte plastique, on a dû employer 51 p. 100 d'eau; la prise fut très lente, mais était bien complète après vingt-quatre heures dans l'air humide. Placées dans l'eau, les briquettes augmentèrent doucement de dureté; mais après plusieurs mois elles n'étaient encore que moyennement dures et en aucune façon semblables au ciment portland; on pouvait les casser dans les doigts.

La pâte, après vingt-quatre heures de prise à l'air, exposée à l'eau bouillante pendant trois heures, devint bien dure et ne montra ni fente ni déformation. De petites briquettes d'un demi-pouce carré dans leur section réduite, gâchées avec 35 p. 100 d'eau, présentèrent à sept jours une résistance moyenne à la traction, 9,7 kil. par cent. carré, et à vingt-huit jours 20 kil. par cent. carré. On voit, d'après cela, que si le silicate tricalcique cuit à une température un peu plus élevée que celle de la cuisson industrielle du ciment portland, présente une invariabilité de volume complète et possède des propriétés hydrauliques au point de vue du durcissement, cependant il est bien inférieur au ciment portland ordinaire. Cette infériorité peut s'expliquer par des différences d'état physique, telles que l'absence de cristallisation du silicate et la grande quantité d'eau nécessaire pour la confection de la pâte plastique; cette forte proportion d'eau produit nécessairement de la porosité et s'oppose à un durcissement convenable.

Silicate tricalcique fondu. — Les expériences intéressantes du Dr W. Michaelis sur le ciment portland fondu ont conduit l'auteur à étudier l'effet de la fusion. Le silicate, préparé comme il a été dit plus haut, fut chauffé dans la flamme oxyhydrique. On obtient une masse translucide d'un aspect perlé. Le professeur G. F. Kemp, de l'Université Columbia, a eu l'obligeance de préparer des lames minces de cette matière et de les examiner au microscope; voici le résultat de cette étude : le silicate tricalcique fondu est constitué par une matière possédant la double réfraction, des clivages rectangulaires et une direction d'extinction entre les nicols croisés parallèle au plan de clivage; il ne donne rien en lumière convergente, de telle sorte qu'il a été impossible de décider si c'est une substance à un ou à deux axes.

On voit que cette description correspond parfaitement à celle qui a été donnée par Le Chatelier pour le principal constituant des roches de ciment. Il l'a défini comme une matière « formée par des cristaux incolores à section carrée ou hexagonale semblable à des cubes et possédant une double réfraction faible ».

Propriétés hydrauliques. — En broyant le trisilicate on obtient une poudre dense, dure, d'un poids spécifique de 3,02; elle exigea seulement 24 p. 100 d'eau pour donner une pâte plastique. Cette pâte conservée à l'air humide acheva sa prise en trois heures et demie et ensuite durcit bien sous l'eau, montrant tant au point de vue de la prise que du durcissement des qualités tout à fait égales à celles des meilleurs ciments portland. Une galette exposée à la vapeur d'eau bouillante resta attachée au verre et ne présenta aucun gonflement; la quantité de matières disponibles ne permit pas de faire des briquettes; mais d'après la façon dont la pâte se comportait il n'y a aucun doute que la résistance à la traction du silicate tricalcique aurait été égale à celle de n'importe quel ciment portland commercial.

Silicate bicalcique. — En chauffant un mélange de quartz lèvigé et de carbonate de chaux précipité dans la proportion de $2 \text{ CaO} + \text{SiO}_2$ à la température de fusion commençante, il fut impossible d'obtenir un silicate bicalcique qui ne tombât pas en poudre au refroidissement. F. Schott dit que lorsque les matières sont suffisamment pulvérisées ou quand on rebroie et recuit le silicate bicalcique pulvérulents, la pulvérisation spontanée ne se reproduit pas; nous avons été incapables de reproduire ce résultat.

En trempant à partir du blanc le silicate bicalcique dans l'eau, nous avons pu obtenir seulement une poudre grossière qui, après séchage, ne donna qu'une perte à la calcination de 0.63 p. 100; le silicate bicalcique aussi bien trempé que pulvérulent montra des propriétés hydrauliques extrêmement faibles. La pâte était encore molle après vingt-quatre heures d'exposition à l'air et après plusieurs mois d'immersion sous l'eau. Nous devons faire remarquer ici que l'hypothèse de l'existence de deux formes isomériques du silicate bicalcique, un

composé actif méta et un inactif ortho, qui a été mis en avant par Zulkowski, Meyer et d'autres, nous semble reposer sur des bases bien faibles et demander une confirmation expérimentale.

Formation des silicates de chaux. — Des essais ont été faits pour étudier la marche de la combinaison de la silice avec la chaux, en chauffant les mélanges à différentes températures et déterminant dans le produit la proportion de silice restée libre par la méthode de Lunge. Celle-ci consiste à faire bouillir trois fois, pendant cinq minutes, la matière avec de l'eau acidulée à 40 p. 100 d'acide chlorhydrique, ensuite laver trois fois avec une solution à 5 p. 100 de carbonate de soude, enfin une fois avec une solution à 20 p. 100. Le quartz lèvigé employé a donné par ce traitement 98,32 de silice insoluble, tandis qu'un ciment portland bien cuit donne un résidu de 0,4 p. 100 seulement. Les mélanges de silice et de carbonate de chaux étaient chauffés deux heures dans un creuset de platine sur une lampe soufflée au rouge vif et parfois dans le fourneau de Fletcher au blanc.

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

TABLEAU I. — Formation des silicates de chaux.

	SILICE INSOLUBLE P. 100.	ÉQUIVALENTS CaO POUR SiO ² COMBINÉS.
CaO + SiO ² , 2 heures, chauffé au rouge.	26,32	2,189
2 CaO + SiO ² , 2 — — — —	9,44	2,738
2 CaO + SiO ² , 6 — — — —	7,20	2,318
2 CaO + SiO ² , 4 heure dans le fourneau de F., chauffé au blanc (pulvérulent).	0,66	2,038
2,5 CaO + SiO ² , 2 heures, chauffé au rouge.	1,11	Chauffé av. de l'eau.
3 CaO + SiO ² , 2 — — — —	0,24	Chauffé av. de l'eau.
3 CaO + SiO ² , 4 heure dans le fourneau de F., chauffé au blanc.	0,05	3,000

Tous les produits, excepté ceux qui renferment 2 1/2 et 3 de chaux et furent chauffés seulement pendant deux heures au rouge, ne donnèrent aucun échauffement au contact de l'eau, ni aucune variation de volume sur les pâtes exposées à la vapeur d'eau.

La chaux paraissait donc être entrée complètement en combinaison, mais aucun des produits cuits au rouge ne présentait de propriétés hydrauliques notables. Ce tableau met en évidence quelques résultats remarquables et fait envisager sous un nouveau jour la combinaison de la chaux et de la silice; on admettait que le composé le plus fusible, le silicate monobasique, se formait le premier et qu'il devenait ensuite plus basique et moins fusible en prenant

plus de chaux. C'est l'inverse qui semble se produire : en chauffant un mélange correspondant au silicate monobasique pendant deux heures au rouge, nous avons un mélange de silicate bibasique et de silice libre, avec un mélange correspondant au silicate bibasique nous avons un produit approchant du silicate tribasique avec silice libre et cette silice libre tend à se combiner partiellement au fur et à mesure qu'on prolonge le chauffage et la combinaison s'achève complètement quand la cuisson est portée au blanc. Avec 2 1/2 et 3 molécules de chaux la silice était, pratiquement, totalement entrée en combinaison après deux heures de cuisson au rouge; mais il y avait encore un peu de chaux libre, comme on le voit par l'échauffement produit au moyen de l'addition de l'eau. Cette chaux libre est entrée enfin en combinaison par une cuisson d'une heure au blanc.

Depuis que ces expériences ont été faites, Rebuffat a publié une note très instructive sur les ciments à prise rapide; elle donne des indications très utiles sur l'influence de l'état physique du carbonate de chaux, sur sa combinaison avec la silice et l'alumine. Nous avons l'intention de reprendre notre travail sur le silicate en utilisant les indications de Rebuffat, c'est-à-dire en employant différentes sortes de carbonate de chaux et de silice et déterminant les températures de cuisson.

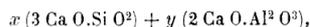
Composition des roches de ciment portland. — Les expériences décrites plus haut apportent de nouvelles preuves en faveur de la théorie de Le Chatelier adoptée par Meyer, Rebuffat, Michaelis, Ludwig et d'autres.

Elle consiste en ceci : les ciments portland sont essentiellement composés d'un silicate de chaux différant très peu de la composition 3 CO SiO_2 et d'un second élément inactif résultant de la précipitation chimique d'un silicate multiple qui sert de véhicule pour la silice et la chaux pendant la cuisson, et permet leur combinaison, mais reste inerte pendant le durcissement.

La silice et la chaux, si elles sont finement divisées, entrent en combinaison complète à des températures qui peuvent être atteintes pendant la cuisson du ciment portland. Le silicate résultant est cependant non cristallin et poreux et ne durcit qu'imparfaitement avec l'eau. Pour l'obtention d'un silicate cristallisé, dense, il faut une température suffisante pour fondre ce composé. En présence d'autres substances qui agissent comme fondant, telles que l'alumine ou l'oxyde de fer, le silicate se sépare graduellement de la masse plus ou moins fusible sous forme de cristaux qui, pendant le refroidissement, restent enveloppés dans un magma non cristallin de composition indéterminée.

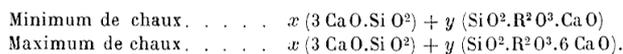
Composition du magma. — Différentes opinions ont été exprimées au sujet de la composition du résidu non cristallin dont se sépare le silicate tricalcique. Le Chatelier a montré qu'il consiste essentiellement en un silicate d'alumine de fer et de chaux dont il ne put déterminer même approximativement la composition. Les mêmes vues ont été développées par Meyer et par

Ludwig. L'auteur de ce mémoire avait, dans son premier travail, proposé la formule :



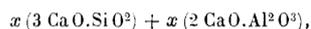
pour représenter la composition d'un ciment portland théorique. Le but de cette formule était plutôt industriel que scientifique; elle avait pour but de préciser la proportion de chaux qui peut être amenée en combinaison aux températures atteintes actuellement dans les usines. On se rappellera que l'auteur a préparé un ciment excellent et stable correspondant exactement à cette formule, même avec une proportion d'alumine aussi faible que 2 p. 100.

Meyer conteste cette formule en s'appuyant sur ce fait, qu'il n'y a pas d'aluminate de chaux libre dans les roches de ciment normal et propose d'autres formules qui sont simplifiées par Ludwig sous la forme suivante :

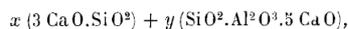


Le premier constituant est un composé cristallisé; le second, d'après Meyer un silico-alumino-ferrite de chaux de composition variable. Pratiquement il admet le facteur 3 ou 4 pour la chaux de son silicate multiple.

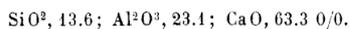
Sans aucun doute l'idée de Le Chatelier, Meyer et Ludwig, que dans le ciment portland du commerce le magma est une substance non cristalline renfermant pratiquement toute l'alumine et tout l'oxyde de fer et présentant une composition variable, est correcte. Cette supposition simplifie notre conception de la composition des roches de ciment et explique les différences de composition de ciment d'égale qualité. Si pourtant nous prenons un ciment contenant seulement de la silice, de l'alumine et de la chaux, comme ceux qui ont été préparés par l'auteur, dans des proportions correspondant à la formule :



elle serait exprimée suivant Meyer et Ludwig par la suivante :



qui exprime simplement qu'une partie du silicate reste en combinaison avec l'aluminate bibasique après que les cristaux du silicate tricalcique se sont séparés et ont cristallisé. Un composé aussi basique doit certainement être appelé un silico-aluminate de chaux et non un silicate double comme l'a proposé Meyer; un semblable composé aurait la composition :



et serait certainement décomposé par l'eau et probablement ferait très rapidement prise.

Une erreur sérieuse dans les formules de Meyer telles qu'elles sont traduites par Ludwig, est que la chaux semble être le seul élément variable dans le second composé. En fait, tous les constituants de la masse doivent être variables entre des limites très étendues.

Une autre erreur, à mon avis, est de faire entrer la magnésie, les alcalis et l'oxyde de fer dans ces formules. La pratique montre que les proportions des éléments d'un ciment doivent être calculées en ne tenant compte que de la chaux, de la silice et de l'alumine; les autres substances ne sont que des impuretés, des accidents qui ne modifient en aucun cas les proportions des constituants essentiels.

Il faut rappeler ici que l'analyse des ciments du commerce ne donne que peu d'indications au sujet des proportions des éléments actifs, attendu que les cendres du combustible modifient considérablement la composition du produit, comme cela a été montré par Candlot, par Erdmenger et aussi par l'auteur. Ludwig, en s'appuyant sur des considérations purement théoriques, soutient que le fer existe dans le ciment à l'état ferreux. Cette vue est contraire aux résultats de la pratique et à ceux des expériences de tous les auteurs qui ont étudié cette question. Elle a été combattue par le docteur Læbell; Ludwig soutient aussi que l'oxyde de fer n'agit jamais comme un acide, différant complètement à ce point de vue de l'alumine. Cette opinion est contraire à celle de Le Chatelier qui a préparé des ferrites de chaux. L'auteur a trouvé que le ferrite bicalcique donnait un verre noir produisant une poudre brune qui durcit bien dans la vapeur et l'eau bouillante. De nombreux ferrites ont été préparés par d'autres chimistes, par exemple le ferrite de magnésie fait artificiellement par Deville, le ferrite de chaux préparé en grands cristaux par Persil avec un lustre métallique et une densité de 4,693. La magnétite et la franklinite peuvent aussi être considérées comme des ferrites. Schott a trouvé que l'oxyde de fer et l'alumine se comportent de la même façon dans le ciment, en ce qui concerne le gonflement avec le gypse.

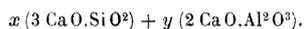
A ce sujet on peut mentionner le fait que les roches de ciment portland sortant au rouge blanc du four rotatif et tombant dans l'eau prennent une couleur jaune d'ocre; après pulvérisation elles donnent une poudre jaune présentant les qualités usuelles de durcissement des ciments. Si au contraire on laisse refroidir jusqu'au rouge la roche avant de la projeter dans l'eau, celle-ci est noire comme d'habitude. La différence doit tenir à un changement dans l'état de combinaison du fer non encore expliqué, et se produisant pendant le refroidissement depuis le blanc jusqu'au rouge.

Les questions relatives à l'état de l'alumine et de l'oxyde de fer dans le ciment demandent de nouvelles recherches expérimentales. Pratiquement, tous les ciments portland de première qualité renferment plus de chaux que cela

n'est nécessaire pour transformer toute leur silice en trisilicate. On peut préparer des ciments parfaitement sains, pourvu qu'ils soient exempts de cendres de combustibles, avec une proportion de chaux suffisante pour obtenir le silicate tricalcique, les aluminates et les ferrites bicalciques. L'auteur n'est donc pas d'accord avec Meyer qui pense que la masse est formée par silicate d'alumine de fer et de chaux, car il faudrait qu'il fût plus basique qu'aucun silicate connu.

L'opinion de Le Chatelier, que le magma est un silicate alumino-ferrite de composition indéterminée, semble plus simple et plus raisonnable.

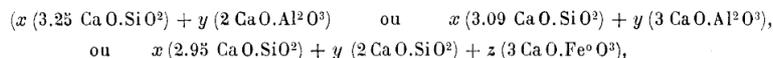
Limite supérieure de la proportion de chaux. — En cuisant à la température de scorification au-dessous du point de fusion du platine, l'auteur n'a pas réussi à obtenir des ciments sains avec une proportion de chaux supérieure à celle qui correspond à la formule



Michaëlis, en fondant à la flamme oxydrique du ciment, a obtenu un verre brun donnant une poudre brune et bien invariable de volume. Sa composition était la suivante :

SiO₂, 20.78; Al₂O₃, 5.83; Fe₂O₃, 2.71; CaO, 69.42.

Ceci correspond à



correspondant exactement avec la formule maximum de Le Chatelier.

Un ciment fondu de composition

SiO₂, 49.55; Al₂O₃, 5.52; Fe₂O₃, 2.69; CaO., 70.00

présenta un léger gonflement. La proportion maxima de chaux qui peut être introduite même après fusion paraît donc être bien exactement celle qui est représentée par la formule la plus élevée de Le Chatelier.

Il serait certainement bien difficile de concevoir que des ciments aussi basiques renferment leur fer et leur alumine sous la forme d'un silicate multiple. On peut cependant suggérer que la solution du problème relatif à la nature du magma et à son rôle dans la formation et le durcissement du ciment pourrait être obtenue par l'étude chimique et micrographique de ciments faits avec des matériaux purs et contenant la plus forte proportion de chaux plutôt que par les expériences sur des produits commerciaux renfermant un excès d'argile et souillés par les cendres du combustible.

Action de l'eau sur les silicates de chaux. — Le Chatelier a indiqué que la réaction fondamentale du durcissement du ciment Portland est la décom-

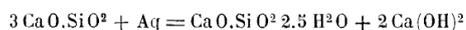
position du trisilicate en deux molécules d'hydrate cristallisé et une molécule de silicate hydraté.

Rebuffat, comme conclusion d'une longue série d'expériences très soignées sur l'action de l'eau et des solutions de sucre sur les ciments, conclut à la formation d'un silicate bibasique hydraté. Féret n'a pas réussi à confirmer les résultats de Rebuffat; cependant il obtint par l'action d'un litre de solution de sucre sur un gramme de ciment un résidu renfermant 1,8 équivalent de chaux pour 1 de silice.

Michaëlis trouva que la solution de sucre ne donne aucune séparation précise de l'hydrate de chaux et des silicates hydratés; que des solutions de concentrations variées et en quantités variées dissolvent des quantités de chaux différentes.

Le Chatelier a établi qu'en continuant à laver du ciment avec de l'eau pure on dissout toute la chaux en laissant un résidu principalement composé de silice hydratée. Il est donc évident que le problème de la séparation des constituants du ciment par la voie humide est très difficile, Rohland doute même qu'il puisse être résolu par des méthodes chimiques.

Eau combinée dans les ciments durcis. — Bien des essais ont été faits pour déduire de la quantité d'eau fixée dans le ciment durci des conclusions relatives aux réactions qui se développent pendant le durcissement, et la formule de Le Chatelier



exige, pour une hydratation complète, l'emploi d'une proportion d'eau de 35,4 p. 100; le produit devrait alors renfermer 26,2 p. 100 d'eau combinée. Des briquettes de ciment durci, même après plusieurs années de séjour dans l'eau, donnent rarement plus de 12 p. 100 de perte à la calcination.

Il est donc évident que, dans les conditions habituelles du durcissement, la réaction ne continue en aucun cas aussi loin que cela a été indiqué par Le Chatelier.

Pensant que la proportion d'eau absorbée pourrait bien dépendre des conditions physiques, de la densité, un certain nombre de galettes et de briquettes furent faites avec le même ciment portland en employant différentes proportions d'eau; elles ont été conservées dans l'eau distillée en vase clos; après 30 jours et un an, des fragments de ces éprouvettes furent brisés, séchés, pulvérisés, soigneusement séchés à 110°; la perte à la calcination fut alors déterminée.

TABLEAU II. — Perte au feu du ciment durci.

				30 JOURS.	UN AN.
				p. 100.	p. 100.
Briquelette,	pur,	fait avec	15 p. 100 eau.	8,11	9,10
—	—	—	20 — —	9,54	11,09
—	—	—	25 — —	12,33	13,44
—	ciment 1, sable 3	—	7 ¹ / ₂ — —	13,40 *	17,24 *
—	— 1, — 3	—	10 — —	14,49 *	20,44 *
Pâte,	pur,	—	23 — —	12,26	15,14
—	—	—	30 — —	13,89	16,87
—	—	—	40 — —	13,45	17,65
50 grammes de ciment suspendu dans 300 cc. d'eau.				18,94	28,16

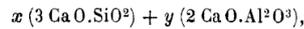
Ces résultats montrent que la proportion d'eau qu'un ciment peut fixer dans un temps donné n'est en aucune façon une quantité définie, mais varie considérablement avec la porosité de la masse; l'achèvement de la réaction varie en sens inverse de la résistance du produit, puisque la résistance des éprouvettes est considérablement diminuée par l'emploi d'un excès d'eau dans le mélange, bien que la proportion d'eau combinée soit par là augmentée.

Enfin, on remarquera que, dans le cas extrême dans lequel le ciment avait été suspendu dans un grand excès d'eau et avait été secoué assez longtemps pour détruire toute cohésion, la proportion d'eau fixée est même supérieure à celle que réclame la réaction de Le Chatelier.

Nous pouvons mentionner une observation semblable de Michaëlis qui remarque que du ciment d'une extrême finesse enfermé dans un tube scellé avec 150 p. 100 d'eau pendant 4 semaines, puis séché sur l'acide sulfurique, a donné à la calcination 27,5 p. 100 d'eau pour cent parties de ciment. Il résulte que la détermination de l'eau combinée sur les ciments du commerce ne peut jeter que peu de lumière sur les réactions qui prennent place pendant le durcissement.

Action complète de l'eau sur les silicates de chaux. — L'emploi de la méthode si bien mise en œuvre par Rebuffat semble, en l'appliquant au silicate de chaux, devoir donner des résultats intéressants. Nos expériences ont été limitées cependant à l'action d'une quantité d'eau plus que suffisante pour dissoudre la totalité de la chaux contenue dans ces substances. On prit de l'eau distillée fraîchement bouillie et les substances furent passées au tamis numéro 200 et ensuite soigneusement porphyrisées dans un mortier d'agate. Un gramme de chaque substance était mis en suspension avec 750 centimètres cubes d'eau dans une bouteille soigneusement fermée et fréquemment agitée. Après que l'action eut

continué pendant un temps suffisant, la chaux dissoute dans le liquide limpide fut déterminée par titrage tandis que le résidu fut filtré en présence d'air exempt d'acide carbonique, séché dans le vide sur l'acide sulfurique, puis à 110°, et enfin analysé. Les substances ainsi séchées étaient bien réellement exemptes de carbonate de chaux. Les expériences ont porté sur des ciments correspondants avec formules



renfermant 3 et 5 p. 100 d'alumine chacun. Les résultats de ces expériences sont donnés dans le tableau suivant :

TABLEAU III. — Action finale de l'eau.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Silicate tri-calcique.	Silicate tri-calcique.	Silicate tri-calcique.	Silicate tri-calcique fondu.	Silicate tri-calcique fondu.	Silicate tri-calcique. Alumin. bibasique 3% Al ₂ O ₃	Silicate bi-calcique trempé.	Silicate bi-calcique pulvéulent.
Jours dans l'eau	29	93	32	35	228	39	32	30
Eau pour 1 gramme, c. c.	750	750	1700	750	750	750	750	750
Chaux dissoute, p. 100.	33,60	33,35	31,41	22,68	25,20	29,40	6,72	8,30
Silice dissoute, p. 100.	0,26	non dét.	non dét.	non dét.	non dét.	non dét.	non dét.	1,42
Résidu : Ca O	49,13	47,88	53,48	60,54	57,77	52,60	63,61	62,79
Si O ²	34,86	35,52	36,44	32,58	33,20	30,60	33,32	34,16
H ² O	15,86	15,98	10,22	6,72	10,00	12,56	2,52	1,08
R ² O ³	non dét.	0,62	non dét.	0,74	non dét.	3,60	0,92	1,74
TOTAL	99,85	100,00	100,14	100,58	100,97	99,36	100,37	99,97
Équiv. Ca O pour 1 Si O ²	1,520	1,454	1,583	2,004	1,875	1,855	2,059	1,993
— H ² O pour 1 Si O ²	1,539	1,510	0,943	0,691	1,000	1,381	0,254	0,109

Parmi les faits mis en évidence par ce tableau l'attention doit être appelée sur les suivants.

En exposant des silicates de chaux finement divisés à l'action d'un grand excès d'eau, plus que suffisant pour dissoudre la totalité de la chaux, pendant une période de 30 jours et plus, une portion seulement de la chaux est dissoute et il reste un résidu de silicate hydraté contenant de 1,5 à 2 équivalents de chaux pour un équivalent de silice. Quoiqu'il soit évident que les résidus ne présentent pas une composition invariable, ces expériences cependant confirment la théorie de Rebuffat qu'il se forme un silicate bibasique hydraté pendant le durcissement du ciment et condamne la théorie de Meyer que le produit de l'action de l'eau est un silicate monobasique anhydre.

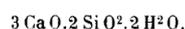
Les expériences 1, 2 et 3 ont été faites avec un silicate tricalcique cuit au four Fletcher, mais non fondu.

Les expériences 1 et 2 montrent qu'en prolongeant la durée de l'action de l'eau de 29 à 93 jours, il n'y a pas eu de différence dans la proportion de chaux dissoute, ni dans la composition du résidu. Ce dernier est approximativement



Le numéro 3 montre qu'en augmentant la proportion d'eau de 750 à 1 700 centimètres cubes, on n'augmente pas la proportion de chaux dissoute, ni l'hydratation du résidu.

En fait, dans ce cas, il y eut moins de chaux dissoute et le résidu présentait approximativement la composition

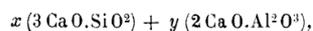


Ce résultat inattendu sera étudié plus loin, mais il est vraisemblablement dû à la grande dilution de la chaux quand on emploie 1 700 centimètres cubes d'eau.

Dans les expériences 4 et 5 on s'est servi du silicate fondu au chalumeau oxyhydrique.

Après 35 jours le résidu fut 2 CaO , SiO_2 avec 0,7 molécules d'eau. A 228 jours, cependant, une plus grande quantité de chaux fut dissoute et la proportion d'eau combinée avait augmenté.

Dans l'expérience 6 la substance employée était du ciment cuit préparé suivant la formule



contenant 3 p. 100 d'alumine; celle-ci a donné un résidu de composition indéterminée semblable à celui qui avait été obtenu avec le silicate fondu à 228 jours.

Les expériences 7 et 8 faites avec du silicate bibasique trempé dans l'eau et séché avant pulvérisation; celles-ci se comportent exactement de la même façon avec l'eau, elles sont seulement légèrement attaquées et laissent un résidu de même composition que la substance originale très légèrement hydratée.

Eau combinée. — Pour déterminer l'eau absorbée par les silicates bi et tricalciques, 5 grammes de chacune de ces substances furent mis en suspension dans 100 centimètres cubes d'eau fraîchement bouillie et enfermés dans une bouteille hermétiquement close et fréquemment secouée pour empêcher le durcissement. L'action fut prolongée pendant 30 jours ou plus longtemps; dans le cas du silicate tricalcique, après 4 ou 5 jours, des cristaux d'hydrate de chaux commencèrent à se former sur les parois de la bouteille et augmentèrent rapidement jusqu'au quatorzième jour à partir duquel on ne put plus remarquer

d'accroissement des cristaux. On ne vit aucun cristal dans les bouteilles renfermant le bisilicate. Cette formation de cristaux hydratés, souvent remarquée sur les galettes et briquettes de ciment, est évidemment due à quelque cause qui augmente la proportion de chaux dans la solution puisqu'ils ne se présentent jamais dans l'eau tenant en suspension de l'hydrate de chaux.

Après environ 30 jours ou plus longtemps une partie de la solution claire fut enlevée et titrée pour doser la chaux; le résidu fut filtré en présence d'air exempt d'acide carbonique séché dans le vide sur l'acide sulfurique, puis dans un bain d'eau à 140° et analysé. Le tableau suivant donne le résultat ainsi obtenu. Par suite d'un malentendu la chaux contenue dans les cristaux fut déterminée seulement dans la première expérience; dans ce cas, on trouva 1,72 p. 100 de chaux qui, sous forme d'hydrate, correspondent à 0,55 d'eau. La proportion des cristaux semble avoir été à peu près la même dans tous les cas excepté avec le silicate bibasique, et ce chiffre de 0,55 fut employé pour calculer dans les expériences 2 et 5 la proportion d'eau combinée p. 100 de la substance donnée. Dans les dernières lignes représentant la proportion d'eau rapportée à 100 de matières sèches, on comprend celle qui est contenue dans l'hydrate dissous, dans les cristaux et dans les résidus. La chaux dissoute portée dans la seconde ligne est donnée par rapport à 100 de la matière sèche.

TABLEAU IV. — Absorption d'eau (5 grammes de substance dans 100 c. c. d'eau).

	1	2	3	4	5	6	7
	Silicate tri-calciq.	Silicate tri-calciq.	Silicate tri-calciq fondu.	Silicate tri-calciq fondu.	Silicate tricalciq et aluminat bibasique 3% Al ₂ O ₃	Silicate bicalciq trempé.	Silicate bibasique pulvéruent.
Jours dans l'eau	31	94	30	258	40	33	34
Chaux dissoute, p. 100	2,51	2,55	2,69	2,63	2,73	1,70	1,37
Chaux en cristaux, p. 100	1,72	non dét.	non dét.	non dét.	non dét.	pas de crist.	pas de crist.
Résidu : Ca O	59,60	56,14	60,72	60,70	57,20	58,82	62,50
SiO ₂	23,62	22,22	24,30	23,40	21,00	32,60	33,98
H ² O	16,20	21,46	13,29	14,92	18,30	7,78	2,30
R ² O ³	non dét.	non dét.	0,56	non dét.	3,02	non dét.	0,82
TOTAL	99,42	99,82	98,87	99,02	99,52	99,20	99,60
Eau combinée p. 100 de substance	19,98	27,58	16,35	18,36	23,80	8,92	2,79

Dans les expériences 1 et 5, la solution était saturée de chaux (0,125 à 0,136 grammes dans 100 centimètres cubes). Dans les expériences 6 et 7 avec le silicate bicalciq la solution n'était pas saturée de chaux. Les expériences

1 et 2 montrent qu'il y a une augmentation notable dans le degré d'hydratation du trisilicate non fondu, en prolongeant l'action de l'eau au delà de 31 jours.

L'absorption la plus grande d'eau fut obtenue dans l'expérience 4 avec le silicate tricalcique non fondu après 94 jours. Elle fut de 27,58 p. 100. Cela est bien loin des 35,4 p. 100 réclamés par la réaction Le Chatelier, mais cela est bien d'accord avec les observations de Michaëlis précédemment rapportées qui trouve que du ciment mis en suspension dans un grand excès d'eau peut prendre 27,26 p. 100 en 4 semaines.

Le silicate fondu (expériences 3 et 4) prend beaucoup moins d'eau que la matière non fondue et l'hydratation n'augmente que très peu entre 30 et 258 jours.

Le silicate bicalcique trempé ou pulvérulent (expériences 6 et 7) abandonne si peu de chaux que 100 centimètres cubes d'eau n'étaient pas encore saturés après 33 et 34 jours. Le silicate refroidi par trempe dans l'eau absorbe cependant beaucoup plus d'eau que le même corps pulvérisé spontanément par refroidissement lent.

La proportion d'eau prise étant de 8,92 dans un cas et de 2,79 dans l'autre, il semble, par conséquent, que ces expériences donnent la confirmation de l'hypothèse concernant l'existence d'une forme active et inactive du silicate et s'accordent bien avec les observations de Rebuffat.

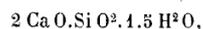
Action des solutions de sucre sur le silicate tricalcique hydraté. — Il a paru intéressant d'enlever, au moyen de la solution de sucre, l'hydrate renfermé dans le résidu de 100 centimètres cubes d'eau sur 5 grammes de silicate dans le but de déterminer si le silicate hydraté formé avait la même composition que celui qui est obtenu par l'action de 750 centimètres cubes d'eau sur 1 gramme de substances. Des échantillons d'un gramme chacun du résidu des expériences 3 dans le tableau 4 (5 grammes de silicate fondu dans 100 centimètres cubes d'eau après 30 jours) furent mis en suspension dans 200 centimètres cubes d'une solution de sucre à 10 p. 100; la solution fut titrée après 29 et 186 jours; le résidu filtré fut séché et analysé comme précédemment.

Les résultats ont été les suivants :

	29 jours.	186 jours.
Chaux dissoute p. 100.	24,64	24,10
Résidu	»	»
Ca O	49,40	42,80
Si O ²	35,20	31,30
H ² O	15,12	26,50
	<u>99,72</u>	<u>100,60</u>
Équivalents Ca O pour 1 Si O ²	1,513	1,475
— H ² O	1,608	2,841

Si nous comparons ces résultats avec ceux de l'expérience 4, tableau 3, nous voyons que le traitement d'un gramme de silicate fondu avec 750 centimètres

cubes d'eau pendant 35 jours et le traitement de 5 grammes avec 100 centimètres cubes d'eau pendant 30 jours, en épuisant le résultat pendant 29 jours avec une solution de sucre, donne une composition différant de celle qui avait été obtenue dans le cas de l'eau prise



et, dans le cas d'une moindre quantité d'eau suivie de l'action d'une solution de sucre,



Une action plus prolongée de la solution de sucre pendant 186 jours ne dissout pas pratiquement une plus grande quantité de chaux, mais augmente l'hydratation du résidu jusqu'à près de



D'autres expériences sont en cours sur l'action d'un courant continu d'eau sur le silicate. Elles seront résumées dans une communication ultérieure.

Résumé. — 1° Le trisilicate 3 CaOSiO_2 a été obtenu par la calcination au blanc d'un mélange intime de carbonate de chaux et de silice très finement divisée. Ainsi préparé il est invariable de volume, ne renferme ni silice ni chaux non combinée; son poids spécifique est de 3,055. Il présente des qualités de durcissement inférieures à celles des ciments portland probablement en raison de sa porosité et de la grande proportion d'eau exigée pour obtenir la pâte plastique

2° Le silicate tricalcique fondu au chalumeau oxydrique est une substance possédant la double réfraction avec des clivages rectangulaires, d'un poids spécifique de 3,022. Pulvérisé et gâché avec de l'eau, il fait prise lentement, est invariable de volume et durcit aussi bien que le meilleur ciment portland.

3° Quand des mélanges de carbonate de chaux et de silice sont chauffés pendant deux heures au rouge, il se forme des composés basiques et une partie de la silice reste non combinée tant qu'il n'y a pas en présence au moins deux molécules $1/2$ de chaux pour 1 de silice, par exemple.

$\text{CaO} + \text{SiO}_2$ donne silicate bibasique et silice libre.

$2 \text{ CaO} + \text{SiO}_2$ donne $2,7 \text{ CaO}$ pour 1 SiO_2 et silice libre,

$2 1/2 \text{ CaO} + \text{SiO}_2$ et $3 \text{ CaO} + \text{SiO}_2$ donnent chaux libre et pas de silice libre.

Au blanc, les mélanges correspondant aux silicates mono, bi et tribasique entrent complètement en combinaison. Ces expériences ont été répétées avec des mesures précises de la température.

4° La proportion d'eau qu'un ciment donné prendra en combinaisons dans

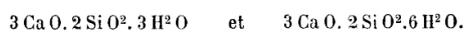
un temps donné dépend des conditions de l'expérience et varie avec la porosité de la masse, Dans une briquette dense il peut tomber à 10 p. 100 après un an de séjour dans l'eau, mais dans le cas de certains ciments mis en suspension dans un grand excès d'eau, il peut atteindre 27 p. 100. Par conséquent, la détermination de la quantité d'eau combinée ne peut jeter que peu de jour sur la nature des réactions qui ont lieu pendant le durcissement.

5° En suspendant des silicates de chaux finement divisés dans une quantité d'eau suffisante pour dissoudre toute la chaux présente, les résidus ont parfois une composition indéterminée et continuent à perdre de la chaux par une action plus prolongée; ils ont pourtant approximativement la composition suivante :

Silicate tribasique, non fondu, 29 et 93 jours, $3 \text{ Ca O} \cdot 2 \text{ Si O}^2 \cdot 3 \text{ H}^2 \text{ O}$.
Silicate tribasique fondu, 35 et 228 jours, $2 \text{ Ca O} \cdot \text{Si O}^2 \cdot \text{H}^2 \text{ O}$.

Le silicate bicalcique, trempé ou pulvérulent, conserve la même composition que la substance originelle et cède très peu de chaux à l'eau.

6° L'action d'une quantité d'eau suffisante pour dissoudre toute la chaux présente (100 centimètres cubes pour 5 grammes), sur le silicate tricalcique fondu pendant 30 jours, suivie de l'action d'une solution de sucre pendant 29 et 186 jours, donne des résidus se rapprochant des formules



H. L. C.

MÉTALLURGIE

LA MÉTALLOGRAPHIE DES ACIERS AU NICKEL PAR **M. Léon Guillet**
Docteur ès sciences, Ingénieur des arts et manufactures

AVANT-PROPOS

La microstructure des aciers au nickel a donné lieu à quelques travaux importants de la part de M. Osmond.

L'un des mémoires y ayant trait a été publié en janvier 1900 dans les *Annales des Mines*. M. Osmond, y étudiant la cristallographie du fer, rappelle que certains aciers au nickel, n'étant pas magnétiques, doivent contenir le fer à l'état α et le nickel à l'état β . — Il étudia en vue de trouver la structure du fer α la micrographie de ces aciers et nota la microstructure polyédrique.

C'était là le seul mémoire que je connaissais au moment où mon travail sur les aciers au nickel fut terminé. J'ai appris depuis par MM. Le Chatelier et Dumas qu'un second mémoire de M. Osmond avait été publié sur cette question dans le *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* de Londres, en 1899. Ici, M. Osmond est beaucoup plus explicite et divise les alliages de fer et de nickel en trois groupes : le premier semblable aux aciers au carbone ordinaire, le second à structure martensitique, le troisième à structure polyédrique.

Le hasard m'a amené à étudier cette question d'une façon très complète. Recevant un jour d'un atelier un acier doux recuit contenant 12 p. 100 de nickel, lequel était employé pour faire des arbres vilebrequins, je voulus l'examiner au microscope pour avoir une idée de la teneur en carbone. Je reconnus que je me trouvais en présence de martensite presque pure, et que cette martensite ne disparaissait pas dans un recuit. J'en conclus, ne connaissant pas les travaux de M. Osmond, que le nickel apportait cette transformation dans la structure des aciers au carbone.

Les aciéries Jacob-Holtzer me fournirent trois séries d'acier au nickel d'une pureté remarquable : l'une à 0,120 de carbone, l'autre à 0,250 environ, la troisième à 0,800 environ. Dans chaque série, la teneur en nickel allait en croissant de 0 à 30 p. 100.

Analyses des aciers au nickel employés pour la micrographie.

ACIERS (1).	CARBONE.	NICKEL.	MANGANÈSE.	SOUFRE.	SILICIUM.	PHOSPHORE.
SÉRIE I. — 0,120 CARBONE ENVIRON						
2	0,07	2,23	0,025	0,006	0,070	traces
5	0,125	5,23	0,015	0,004	0,046	»
7	0,125	7,13	0,020	0,005	0,050	»
10	0,132	10,10	traces	0,005	0,100	»
12	0,125	12,07	»	0,002	0,090	»
15	0,110	15,17	»	0,004	0,020	»
20	0,176	20,40	»	0,004	0,025	»
25	0,160	25,85	»	0,007	0,036	»
30	0,120	30,00	»	traces	0,031	»
SÉRIE II. — 0,250 CARBONE ENVIRON						
2	0,206	1,97	0,025	traces	0,030	traces
5	0,198	4,90	0,025	0,003	0,043	»
7	0,225	7,59	0,050	traces	0,081	»
10	0,215	9,79	0,025	»	0,015	»
12	0,223	12,27	0,025	0,002	0,014	»
15	0,225	15,04	traces	0,002	0,052	»
20	0,220	20,01	0,020	0,003	traces	»
25	0,230	25,06	0,020	0,003	0,082	»
30	0,194	27,87	0,025	0,002	0,026	»
SÉRIE III. — 0,800 CARBONE ENVIRON						
2	0,800	2,20	0,107	0,005	0,100	traces
5	0,776	4,90	0,092	0,004	0,085	»
7	0,815	7,09	0,125	0,003	0,100	»
10	1,05	9,79	0,097	0,004	traces	»
12	0,760	12,27	0,092	0,004	0,086	»
15	0,796	15,04	0,060	0,007	0,091	»
20	0,800	20,01	0,020	0,003	0,089	»
25	0,790	25,06	0,070	0,002	traces	»
30	0,810	29,96	0,030	0,004	0,139	»
SÉRIE IV						
92	0,520	92,300	3,730	0,060	0,262	0,030
86	0,385	86,120	1,276	0,018	0,828	0,016
49	0,173	49,04	0,973	0,025	0,105	traces
36	0,183	35,88	0,547	0,042	0,070	»

(1) Le chiffre donné dans cette colonne donne approximativement, la dose de nickel contenue dans l'acier. — Ce sont ces chiffres qui avec la dose de carbone placée en tête de chaque série nous permettront de désigner plus simplement les aciers.

Pour des teneurs plus élevées, j'ai eu recours à des aciers fabriqués à Imphy et mis gracieusement à ma disposition par la Direction générale de Commentry-Fourchambault. Je pus examiner ainsi des aciers — si l'on peut encore employer ce terme — des aciers renfermant jusqu'à 92 p. 100 de nickel.

Pour rendre plus clair et en même temps plus rapide l'exposé de ce travail, j'en indiquerai les résultats dans l'ordre suivant :

- 1° Microstructure des aciers bruts de forge.
- 2° — des aciers trempés.
- 3° — des aciers recuits.
- 4° — des aciers écrouis.
- 5° — des aciers refroidis.
- 6° Cémentation et décarburation des aciers au nickel.
- 7° Recherches sur la régénération des aciers trempés, refroidis, etc.
- 8° Conclusions.

Le tableau ci-contre donne les résultats des analyses des aciers utilisés.

1° MICROSTRUCTURE DES ACIERS BRUTS

Avant de parler microstructure, il n'est peut-être pas inutile de rappeler les résultats d'essais mécaniques cités par M. Dumas dans son importante étude sur les aciers au nickel. — En essayant à Imphy des éprouvettes prélevées sur des barres laminées non recuites, M. Dumas a obtenu des résultats qui l'ont conduit aux conclusions suivantes : les aciers au nickel proprement dits, c'est-à-dire ne contenant pas de carbone, doivent être divisés en quatre groupes :

1 ^{er} groupe :	aciers contenant de	0 à 15 0/0	de nickel	aciers durs.	} Aciers à haute limite élastique.
2 ^e	—	de 15 à 21	0/0	— aciers très durs.	
3 ^e	—	de 21 à 27	0/0	— aciers à dureté atténuée.	
4 ^e	—	plus de 27	0/0	— aciers à basse limite élastique.	

Voyons successivement les résultats obtenus avec les trois séries d'aciers au nickel que j'ai étudiés.

1^{re} SÉRIE. — ACIERS A 0,120 DE CARBONE ENVIRON

Les aciers à 2,5 et 7 p. 100 de nickel ont même structure que les aciers au carbone ordinaire. Mais, d'une part, la perlite est plus déliée que dans les aciers ordinaires à même teneur de carbone; elle semble même, sans que l'on puisse toutefois affirmer le fait d'une façon absolue, croître avec la teneur en nickel (fig. 1, 2 et 3).

Dans l'acier à 10 p. 100 nous notons un changement de structure; on voit apparaître la structure martensitique, caractérisée par trois directions. Mais, il y a toujours des plages blanches qui sont formées de fer α (fig. 4).

Dans l'acier à 12 p. 100, les plages blanches n'existent presque plus; la

martensite est sensiblement pure (fig. 5). — Il en est de même pour les aciers à 15 et 20 p. 100.

L'acier à 25 p. 100 contient quelques plages blanches qui ne sont plus orientées. C'est assurément le fer γ qui apparaît (fig. 6).

Puis à 27 p. 100, la structure devient polyédrique (fig. 7).

Toutes les images ont été obtenues en attaquant par l'acide picrique; tous les réactifs déjà employés pour l'étude micrographique des aciers ont donné des résultats semblables à ceux obtenus dans les aciers au carbone; mais l'acide picrique est celui qui semble donner les meilleures attaques.

Avec les aciers contenant plus de 27 p. 100 de nickel, on obtient toujours cette structure polyédrique. Mais au fur et à mesure que la dose de nickel augmente, on obtient des cristaux en quelque sorte plus déliés. Tandis qu'avec les aciers contenant 27 et 30 p. 100 de nickel les grains se colorent aisément, à partir de 35 p. 100 ils ne se colorent plus. Le temps d'attaque nécessaire augmente très rapidement avec la teneur en nickel. Pour les très hautes teneurs, il faut plusieurs heures.

De plus, à l'intérieur des polyèdres, on remarque de très nombreuses stries qui semblent indiquer les plans de clivage.

En résumé, pour cette première série on trouve les cinq groupes suivants :

- | | | |
|---------------------------|--------------------------|--|
| 1 ^{er} groupe de | 0 à 10 p. 100 de nickel. | aciers semblables aux aciers au carbone. |
| 2 ^e — | de 12 à 27 — — — | à structure martensitique. |
| 3 ^e — | plus de 27 — — — | polyédrique. |

De plus, le 2^e groupe doit subir les subdivisions suivantes :

- | | |
|------------------------------|---|
| De 10 à 12 p. 100 de nickel. | aciers formés de fer α et de martensite. |
| De 12 à 20 — — — | de martensite sensiblement pure. |
| De 20 à 27 — — — | et de fer γ . |

Ces résultats sont bien conformes aux essais mécaniques; c'est bien, en effet, entre 12 et 20 p. 100 que l'on obtient la plus grande dureté; l'on remarque, de plus, qu'entre ces limites les propriétés mécaniques sont sensiblement les mêmes.

Le changement de structure à 27 p. 100 coïncide nettement avec l'abaissement subit de la limite élastique. — Enfin, je ferai remarquer que le premier acier à structure polyédrique est non magnétique à la température ordinaire.

2^e SÉRIE. — ACIERS A 0,250 DE CARBONE ENVIRON

De 0 à 7 p. 100 de nickel la structure est la même que pour les aciers au carbone; les remarques que j'ai déjà faites au sujet de la perlite paraissent se confirmer ici (fig. 8).

A 7 p. 100, on semble apercevoir un peu de martensite (fig. 9).

A 10 p. 100, elle est en quantité notable (fig. 10).

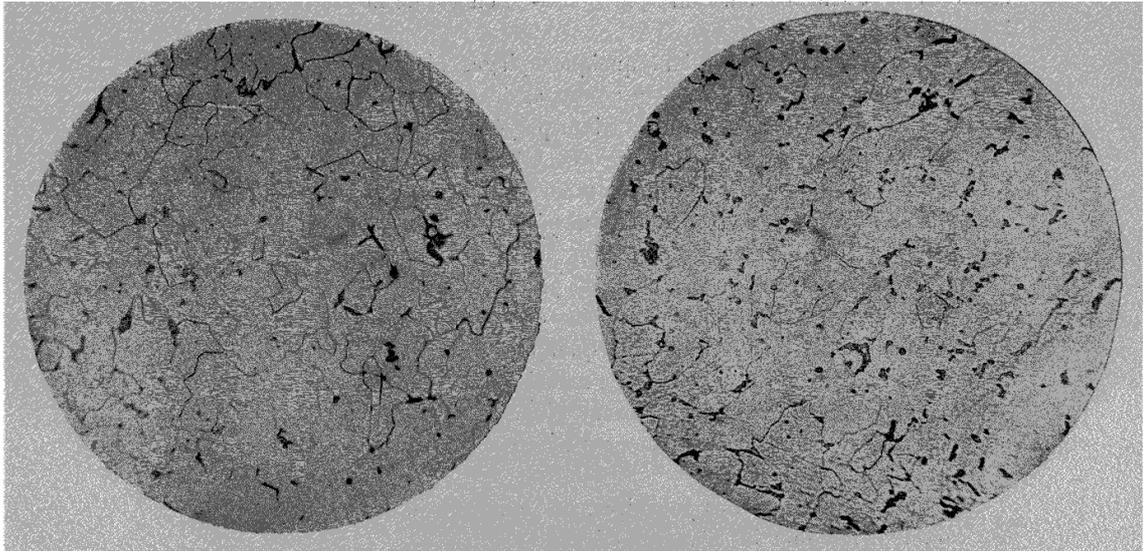


Fig. 1. — Acier brut de forge 0,120 C. 2 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

Fig. 2. — Acier brut de forge 0,120 C. 5 Ni. Gr. 300 d.

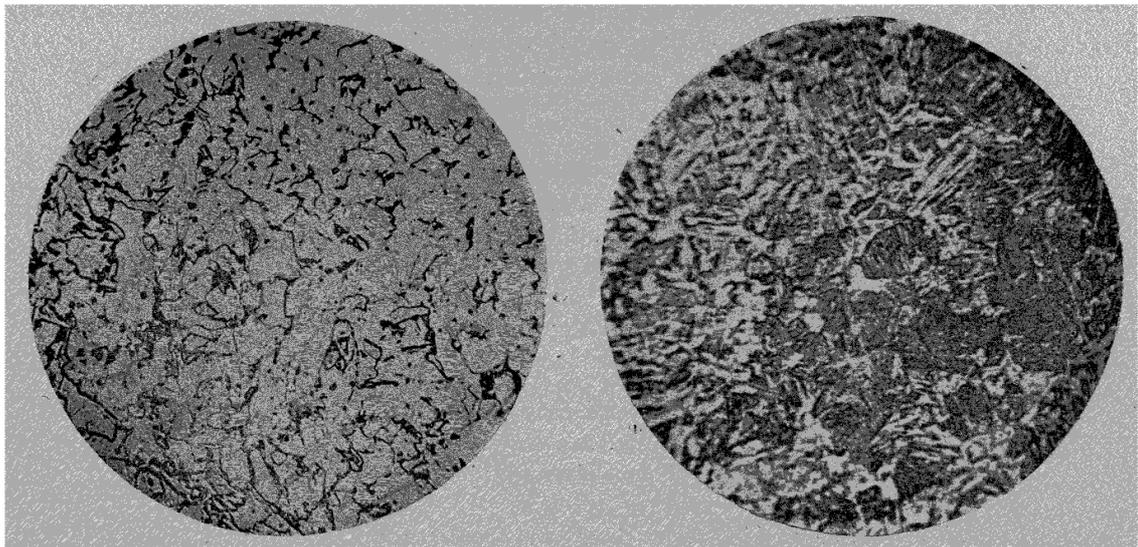


Fig. 3. — Acier brut de forge 0,120 C. 7 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

Fig. 4. — Acier brut de forge 0,120 C. 10 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

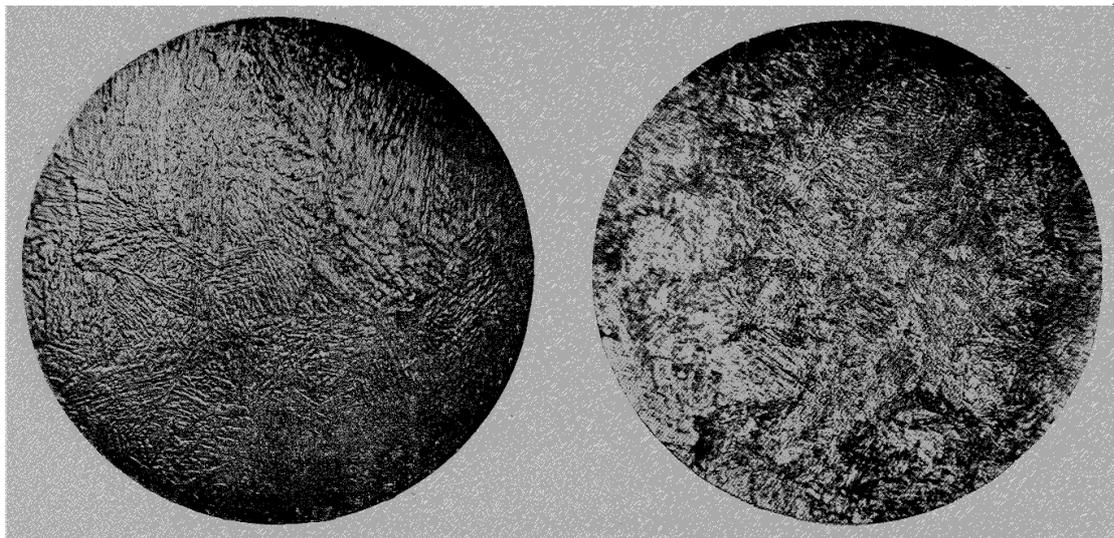


Fig. 5. — Acier brut de forge 0,120 C. 12 Ni. Gr. 500 d.

Fig. 6. — Acier brut de forge 0,120 C. 25 Ni. Gr. 300 d.

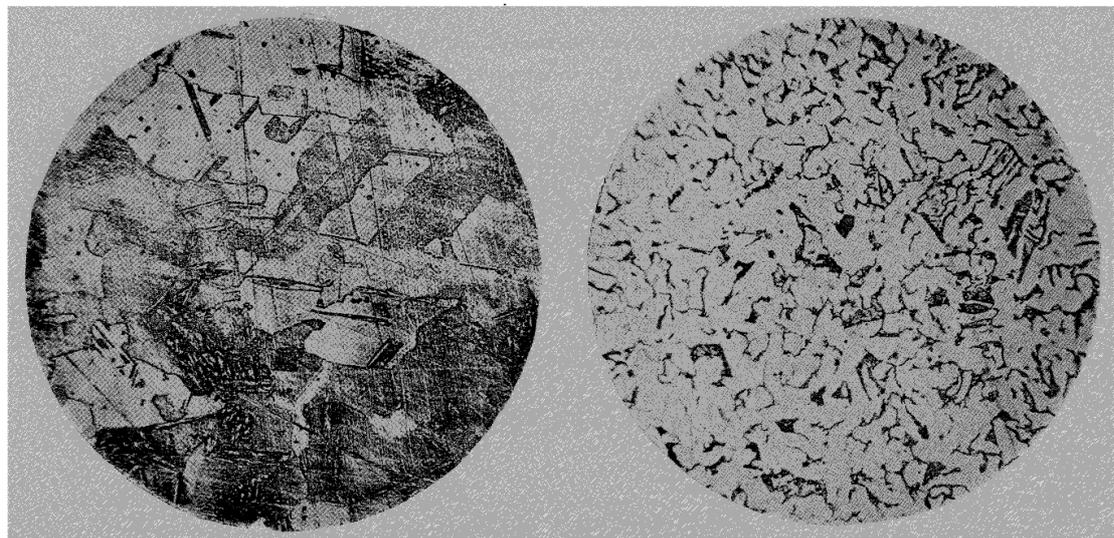


Fig. 7. — Acier brut de forge 0,120 C. 30 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

Fig. 8. — Acier brut de forge 0,250 C. 5 Ni. Gr. 300 d.

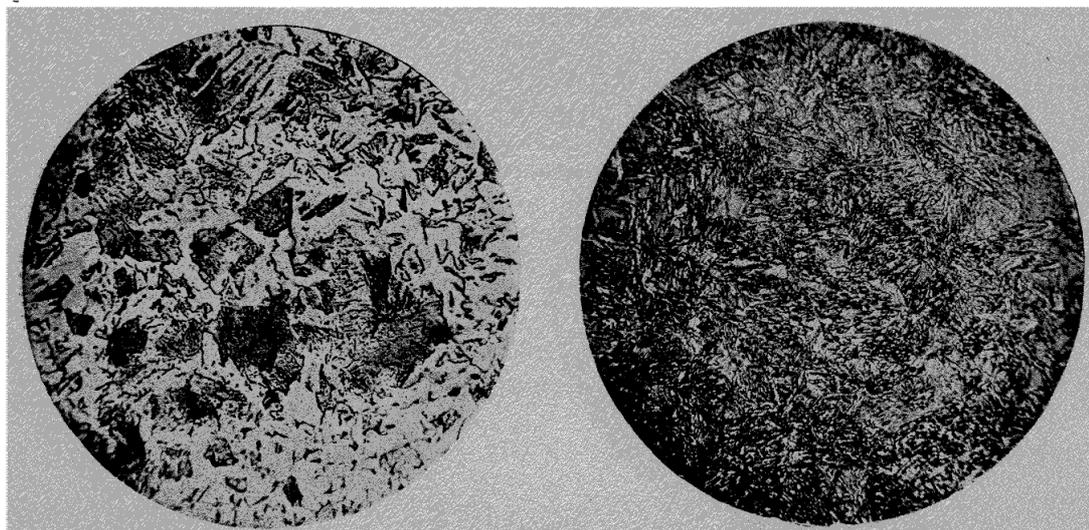


Fig. 9. — Acier brut de forge 0,250 C. 7 Ni. Gr. 300 d.

Fig. 10. — Acier brut de forge 0,250 C. 10 Ni. Gr. 300 d.

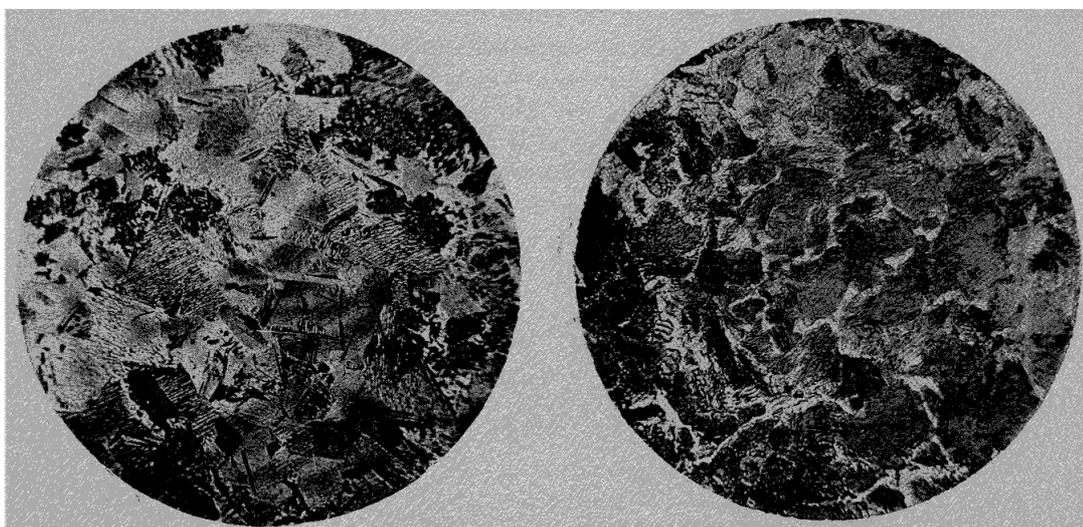


Fig. 11. — Acier brut de forge 0,250 C. 25 Ni. Gr. 300 d.

Fig. 12. — Acier brut de forge 0,800 C. 2 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

A 12 et 15 p. 100, elle est en telle quantité et tellement fine qu'il nous a été impossible d'en faire un cliché qui puisse donner idée de la microstructure.

A 20 p. 100, il y a de larges plages blanches de fer γ .

A 25 p. 100, on ne voit plus que des polyèdres, plus quelques cristaux en fer de lance dont nous expliquerons plus loin la provenance (fig. 11).

Au delà de la teneur de 25 p. 100, on a toujours la même constitution polyédrique.

Ici on a donc encore trois groupes :

1 ^{er} groupe de 0 à 7 p. 100 de nickel.	aciens semblables aux aciers à carbone.
2 ^e — de 7 à 25 — —	— à structure martensitique.
3 ^e — plus de 25 — —	— — polyédrique.

Comme dans la première série, le 2^e groupe se subdivise ainsi :

De 7 à 10 p. 100.	aciens formés de fer α et de martensite.
De 10 à 15 —	— de martensite pure.
De 15 à 25 —	— — et de fer γ .

Enfin, voyons ce qui a lieu pour la troisième série :

3^e SÉRIE : ACIERS A 0,800 DE CARBONE ENVIRON

De 0 à 5 p. 100 de nickel, on note la même structure que pour les aciers au carbone (fig. 12).

A 5 p. 100, il semble y avoir un commencement de transformation.

A 7 p. 100, on obtient de la martensite et du fer α (fig. 13).

La martensite pure doit se présenter entre 8 et 10 p. 100.

A 10 p. 100, il y a de la martensite et du fer γ (fig. 14).

A 12 p. 100, les plages blanches augmentent. On a la même image que celle obtenue en trempant dans un mélange réfrigérant à -10° de l'acier à 1,400 de carbone chauffé à $1\ 050^{\circ}$ (fig. 15).

A 15 p. 100, on ne voit plus que des polyèdres. Parfois, au milieu de ces polyèdres, on trouve des fers de lance dont nous expliquerons plus tard la provenance (fig. 16).

Au delà de 15 p. 100 de nickel, la structure est toujours polyédrique. Les polyèdres montrent parfois des plans de clivage extrêmement accentués (fig. 17).

Dans les aciers très riches en nickel on trouve toujours les polyèdres (fig. 18 et 19).

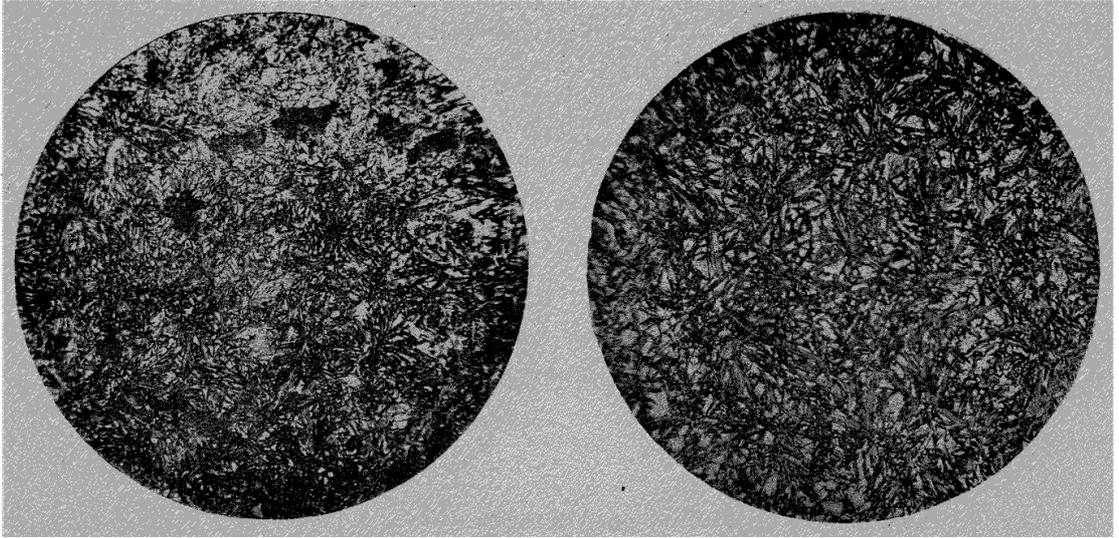


Fig. 13. — Acier brut de forge 0,800 C. 7 p. 100. Ni. Gr. 300 d.

Fig. 14. — Acier brut de forge 0,800 C. 10 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

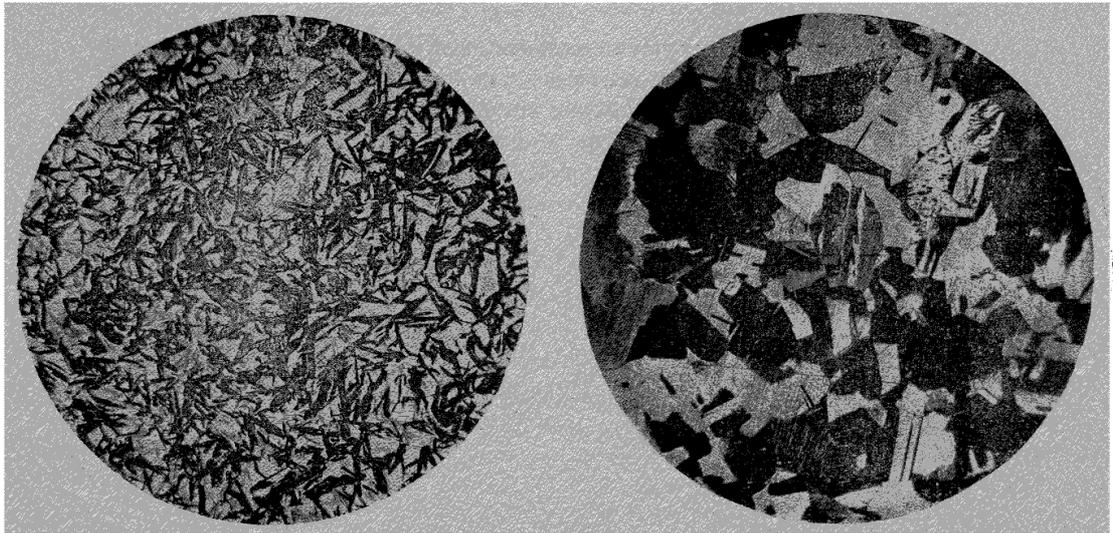


Fig. 15. — Acier brut de forge 0,800 C. 12 Ni. Gr. 300 d.

Fig. 16. — Acier brut de forge 0,800 C. 15 Ni. Gr. 300 d.



Fig. 17. — Acier brut de forge 0,800 C. 20 Ni. Gr. 300 d.



Fig. 18. — Acier brut de forge 0,175 C. 49 Ni. Gr. 300 d.

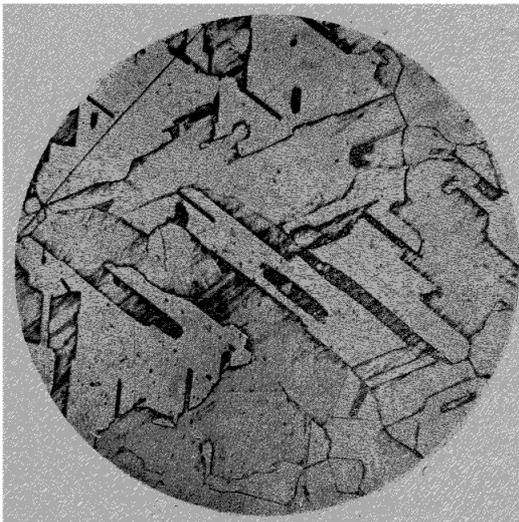


Fig. 19. — Acier brut de forge C. 0,520; Ni 92,3. Gr. 300 d.



Fig. 20. — Acier trempé 0,250 C. 15 Ni. Gr. 300 d.

CONCLUSIONS

Le tableau suivant résume les caractéristiques micrographiques des aciers au nickel suivant leur teneur en carbone; ils rentrent toujours dans les classes suivantes :

Classes.	Caractéristiques micrographiques.	Aciers à 0,120 C.	Aciers à 0,250 C.	Aciers à 0,800 C.
1 ^{re} classe.	Fer α + perlite.	de 0 à 10 p. 100 Ni	de 0 à 7 p. 100 Ni	de 0 à 5 p. 100
2 ^e —	Martensite pure.	de 10 à 27 — Ni	de 7 à 25 — Ni	de 5 à 15 —
3 ^e —	Fer γ .	teneur $>$ à 27 p. 100	teneur $>$ à 25 p. 100	teneur $>$ à 15 p. 100

La 2^e classe doit être subdivisée ainsi qu'il a été indiqué.

En résumé, les résultats obtenus en observant la microstructure des aciers au nickel bruts de forge sont les suivants :

1^o Tous ces aciers peuvent être divisés en trois classes, ainsi que le montre le tableau précédent.

2^o Plus la somme carbone nickel est grande, plus la teneur en nickel à laquelle la microstructure change est faible.

3^o Dans chaque série, le premier acier à structure polyédrique est non magnétique.

4^o De la microstructure on peut déduire approximativement les propriétés mécaniques de l'acier observé; déclarer notamment s'il est très dur ou dur, à basse ou à haute limite élastique.

5^o On peut même de cette façon déduire la manière dont l'acier se travaillera. — C'est ainsi que les aciers appartenant à la 3^e classe sont très difficiles à tourner, et cela d'autant plus que la teneur en carbone est plus élevée.

En somme, l'étude micrographique des aciers bruts de forge donne la vérification de l'importante loi établie par M. Osmond et donnant l'équivalence du carbone de trempe, du nickel, du manganèse, etc.

II. — MICROSTRUCTURE DES ACIERS AU NICKEL TREMPÉS

M. Dumas a montré que la trempe après chauffage au rouge cerise clair durcit peu les aciers du type à haute limite élastique et adoucit considérablement la plupart des aciers du type à basse limite élastique.

M. Dumas ajoute que la trempe durcit nettement, sans les rendre secs, les aciers au nickel dont le point de transformation est peu éloigné de la température ordinaire.

Reportons-nous au diagramme donnant les points de transformation à l'échauffement et au refroidissement dans les aciers au nickel proprement dits :

on sait que ce diagramme affecte la forme donnée dans la figure 20 *bis*; on y distingue nettement les aciers au nickel irréversibles des aciers au nickel réversibles.

M. Dumas, envisageant l'influence de la trempe sur la position des points de transformation des aciers au nickel proprement dits, arrive aux conclusions suivantes :

De 0 à 24 p. 100 de nickel, la trempe est à peu près sans effet.

De 24 à 27 p. 100, relèvement notable du point de transformation à l'échauffement et relèvement considérable du point de transformation au refroidissement.

De 27 à 29 p. 100, relèvement notable du point de transformation à l'échauffement et relèvement très considérable du point de transformation au refroidissement.

Enfin pour des teneurs en nickel supérieures à 31 p. 100, on ne peut plus produire la transformation irréversible.

Les points de transformation réversibles sont légèrement abaissés. — Le point le plus intéressant à retenir est que, du fait que la trempe relève les points de transformation, certains aciers non magnétiques à la température ordinaire peuvent devenir magnétiques.

Dans nos essais, nous avons fait trois séries d'expériences :

Dans la première, nous avons trempé les aciers à une température supérieure à celle du point de transformation magnétique à l'échauffement. C'est ainsi que l'acier contenant n de nickel, était, dans cette expérience, trempé à une température T' supérieure à T .

Dans la seconde, l'acier était porté à une température supérieure au point de transformation magnétique à l'échauffement et trempé au cours du refroidissement et à une température inférieure au point de transformation à l'échauffement. Dans ce cas, l'acier à teneur en nickel n était trempé à une température T'' comprise entre t et T après avoir été chauffé à T' .

Enfin, dans la troisième série d'expériences l'acier était simplement porté à la température T'' et trempé. Toutes ces opérations ont eu lieu en prenant toutes les précautions nécessaires; je me suis servi d'un four Charpy dont la température était donnée par un thermocouple; le bain de trempe était de l'eau dont la température était de 15 à 20°.

Voici les résultats auxquels je suis arrivé :

1° Lorsque l'on trempe les aciers au nickel sans les avoir portés à une température supérieure au point de transformation à l'échauffement, il n'y a aucun changement dans la microstructure.

2° Les aciers étant portés à une température supérieure au point de transformation à l'échauffement subissent les mêmes transformations, qu'ils soient trempés à cette température ou au cours du refroidissement avant d'avoir atteint

le point de transformation au refroidissement. — Ces faits étaient d'ailleurs faciles à prévoir.

Il nous reste donc seulement à examiner ce qui se passe lorsque l'on trempe les aciers au nickel à une température supérieure au point de transformation à l'échauffement.

Les résultats obtenus sont d'une netteté remarquable. Reportons-nous aux classes que nous avons indiquées tout à l'heure pour les aciers bruts de forge.

Les aciers de la première classe subissent les mêmes transformations que

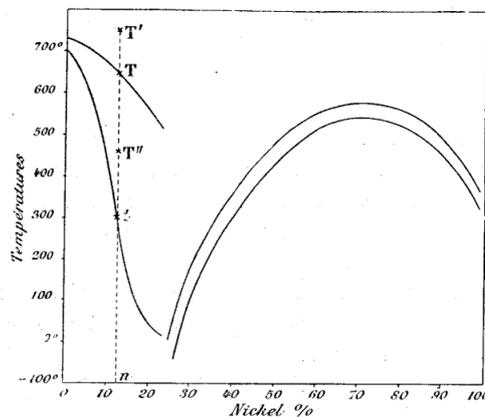


FIG. 20 bis. — Diagramme donnant les points de transformation magnétique des aciers au nickel.

les aciers au carbone. On voit se former de la martensite et des réseaux de ferrite.

Pour les aciers de la deuxième classe, il y a une tendance à la formation de la structure polyédrique; c'est ce qui arrive notamment avec l'acier à 0,250 de carbone et 15 p. 100 de nickel trempé à 700°. Il semble donc qu'une partie du fer passe à l'état γ .

Examinons maintenant les aciers de la troisième classe; deux cas sont à considérer: ou ces aciers subissent par la trempe un relèvement du point de transformation, ou bien la trempe n'a pas d'influence sur ce point.

Dans le premier cas, ainsi qu'il en résulte des travaux de M. Dumas, certains aciers non magnétiques ou très peu magnétiques à la température ordinaire deviennent magnétiques.

Nous pensons donc que la trempe amènerait une transformation de la microstructure.

Ceci est exact: si l'on trempe à une température supérieure au point de

transformation à l'échauffement les aciers qui dans chaque série présentent les premiers la structure polyédrique, on voit apparaître des cristaux en fer de lance qui rappellent ceux obtenus par une trempe vive dans les aciers au carbone et qui voisinent toujours avec l'austenite. Mais ces cristaux apparaissent en blanc. Deux microstructures (fig. 21 et 22) représentent l'acier à 0,250 C et 25 p. 100 Ni, et celui à 0,800 C et 15 p. 100 Ni trempés. Dans ce dernier acier, on voit encore quelques démarcations de polyèdres qui subsistent.

Pour les autres aciers plus riches en nickel, la trempe n'a plus aucune influence sensible sur le point de transformation. La structure reste toujours polyédrique, mais les cristaux semblent plus déliés.

Le tableau suivant résume les effets de la trempe sur les différents aciers au nickel.

		Effets de la trempe
		Température de trempe : un peu supérieure au point de transformation à l'échauffement.
		Bain de trempe : eau à + 20°.
Classes.	Microstructure avant trempe.	
1 ^{re} classe.	{ Fer α + perlite ou cémentite + perlite. }	} Mêmes effets que pour les aciers ordinaires. } Tendance à structure polyédrique, mais la martensite domine toujours. } 1 ^o Pour les premiers aciers de chaque série à structure polyédrique, changement de structure : fers de lance, cristaux plus déliés. } 2 ^o Aucun changement sensible pour les aciers plus riches.
2 ^e classe.	Martensite	
3 ^e classe.	Fer γ pur.	

On voit que ces résultats sont bien conformes à ceux trouvés par M. Dumas, à cela près qu'il faut tenir compte de la première classe pour laquelle la trempe a même action que sur les aciers ordinaires.

Enfin, pour terminer, nous ajouterons que nous avons trempé les aciers à structure martensitique en opérant dans les conditions suivant lesquelles on obtient avec les aciers au carbone l'austenite mélangée de hardenite.

Nous avons obtenu alors des polyèdres remplis de martensite.

Dans la photographie représentant l'acier à 0,120 C et 25 p. 100 Ni trempé, on voit nettement ces polyèdres (fig. 23). Dans celle donnant l'acier à 0,800 C et 10 p. 100 Ni (fig. 24), on sent bien que les cristaux de martensite tendent à s'orienter vers la structure polyédrique.

Nous verrons plus loin comment doit être interprétée la transformation amenée dans les aciers à structure polyédrique par la trempe.



Fig. 21. — Acier trempé 0,250 C. 25 Ni. Gr. 300 d.

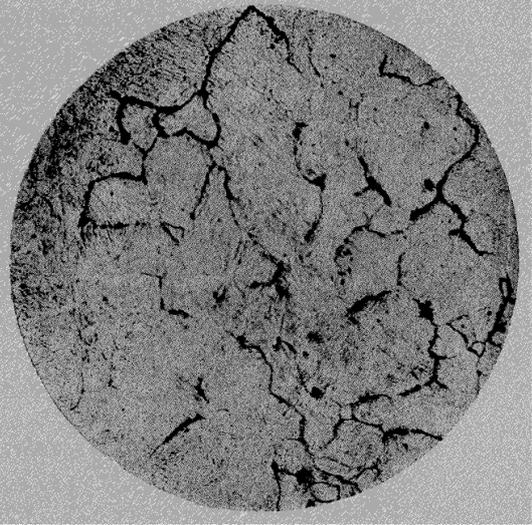


Fig. 22. — Acier trempé 0,800 C. 45 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

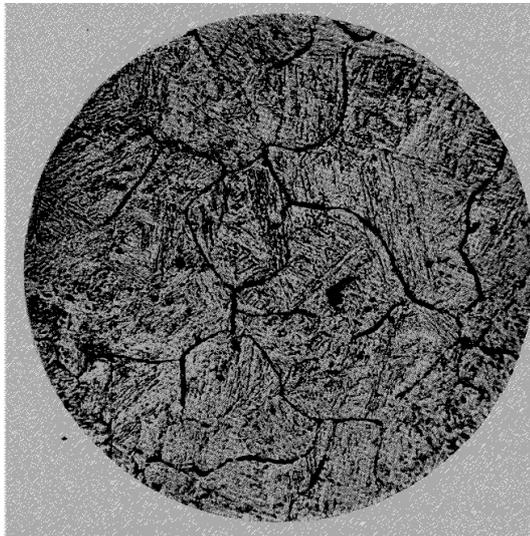


Fig. 23. — Acier trempé 0,120 C. 25 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

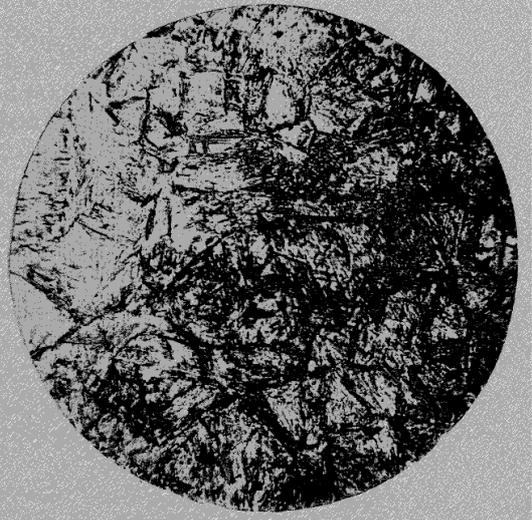


Fig. 24. — Acier trempé 0,800 C. 10 Ni. Gr. 300 d.

III. — MICROSTRUCTURE DES ACIERS RECUIES

Je rappellerai tout d'abord que M. Dumas a montré que le recuit a des effets analogues à la trempe; il tend à diminuer l'hystérèse, c'est-à-dire que, après recuit, la distance séparant les deux points de transformation (échauffement et refroidissement) tend à devenir moindre.

Ceci indique que par le recuit comme par la trempe les aciers ayant des points de transformation voisins de la température ordinaire peuvent de non magnétiques devenir magnétiques.

J'ai examiné l'influence que pourrait jouer le recuit sur la microstructure des aciers au nickel dans plusieurs séries d'expériences.

Dans la première, tous les échantillons ont été portés dans un four à chauffage électrique à la température de 900° pendant quatre heures; puis ils étaient retirés du four et laissés à l'air. — Cette première série d'expériences nous a permis de constater que l'effet du recuit sur la première classe d'aciers au nickel était le même que pour les aciers au carbone; avec les aciers des seconde et troisième classes, il y avait comme dans la trempe une tendance à la formation polyédrique. Ceci pourrait être attribué à une trempe à l'air.

Enfin, il y a à faire pour la cinquième classe la même distinction que celle déjà faite dans l'étude des effets de la trempe. Les premiers aciers présentant la structure polyédrique donnent des fers de lance; mais tandis que dans la trempe ces fers de lance sont généralement blancs, après attaque ils apparaissent ici en noir.

Aucune expérience ne m'a permis de préciser la raison de cette variation de couleur.

Nous verrons plus loin que dans d'autres cas ils apparaissent tantôt en noir, tantôt en blanc.

Les effets du recuit sont prouvés par les microstructures (fig. 25, 26 et 27) qui montrent :

- 1° L'acier à 0,250 C et 25 p. 100 Ni recuit à 900° pendant quatre heures;
- 2° L'acier à 0,800 C et 15 p. 100 Ni recuit à 700°, comme il est indiqué plus loin.

Pour les aciers plus riches en nickel que ceux dont je viens de parler, il y a une tendance à la structure martensitique que l'on ne remarque pas dans la trempe. C'est ainsi que l'acier à 0,800 de carbone et 20 p. 100 de nickel est transformé comme le montre la photographie fig. 28. Pour des teneurs plus élevées en nickel, il n'y a plus d'autres effets qu'un agrandissement sensible de polyèdres, agrandissement qui devient souvent énorme, comme je le montrerai tout à l'heure.

Dans une seconde série d'expériences, nous avons voulu voir l'influence du temps de chauffe sur la microstructure des aciers qui de polyédriques deviennent à fers de lance par le recuit.

Nous avons opéré sur l'acier à 0,250 de C et 25 p. 100 de Ni d'une part, et sur l'acier à 0,800 de C et 15 p. 100 de Ni d'autre part. Nous les avons chauffés pendant des temps variables depuis un quart d'heure jusqu'à quatre heures à 900° et nous les avons laissés refroidir à l'air.

Nous avons noté que dès le premier quart d'heure il y avait un changement très notable dans la structure; on voit apparaître des cristaux en fer de lance.

Nous avons alors fait une troisième série d'expériences pour nous rendre compte du temps nécessaire aux différentes températures pour qu'il y ait apparition de la structure à fer de lance après refroidissement.

Avec l'acier à 0,800 de C et 15 p. 100 de Ni nous avons obtenu un commencement de perturbations fort nettes après une demi-heure de chauffage à 700 et refroidissement. Il en a été de même avec l'acier avec 0,800 de C et 25 p. 100 de Ni, lorsqu'on le chauffe une demi-heure à 700° et qu'on le laisse refroidir: les deux photographies 26 et 27 montrent ces changements.

D'une façon générale il semble que le temps de chauffage nécessaire pour amener le commencement de perturbation n'est pas variable avec la teneur en carbone.

Enfin, comme dans ces expériences nous avons recuit les aciers et que nous les avons retirés du four, il nous a semblé intéressant de faire quelques essais dans lesquels l'acier refroidissait très lentement dans le four même, afin d'éviter toute trempe à l'air. — Nous avons vu que cette trempe à l'air n'avait aucune influence.

En résumé, on peut dire qu'au point de vue micrographique le recuit agit comme la trempe pour tous les aciers au nickel autres que ceux de la première classe sur lesquels il produit le même effet que sur les aciers au carbone; mais que, de plus, il semble amener la transformation de la structure polyédrique en structure martensitique pour certains aciers sur lesquels la trempe est sans effet.

Ceci semble nous permettre de penser que lorsque l'on trempe un acier à structure polyédrique et que l'on obtient ainsi de la martensite, la cause de ce phénomène doit se trouver dans le chauffage précédant la trempe plutôt que dans la trempe elle-même.

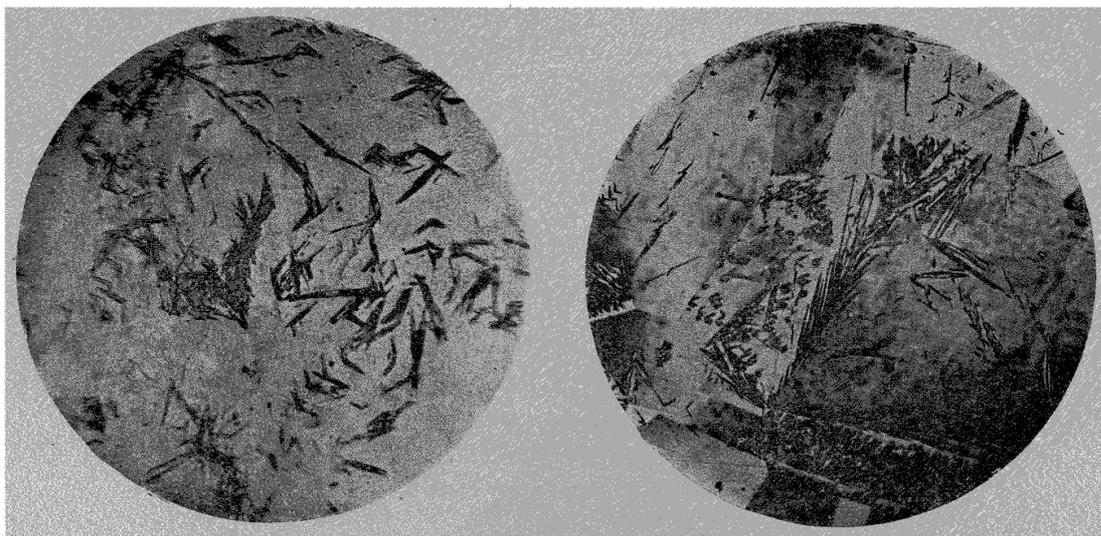


Fig. 25. — Acier recuit à 900° 0,250 C. 25 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

Fig. 26. — Acier recuit à 700°. 0,800 C. 15 Ni Gr. 100 d. Photographie montrant le développement des polyèdres et la formation de fers de lance.

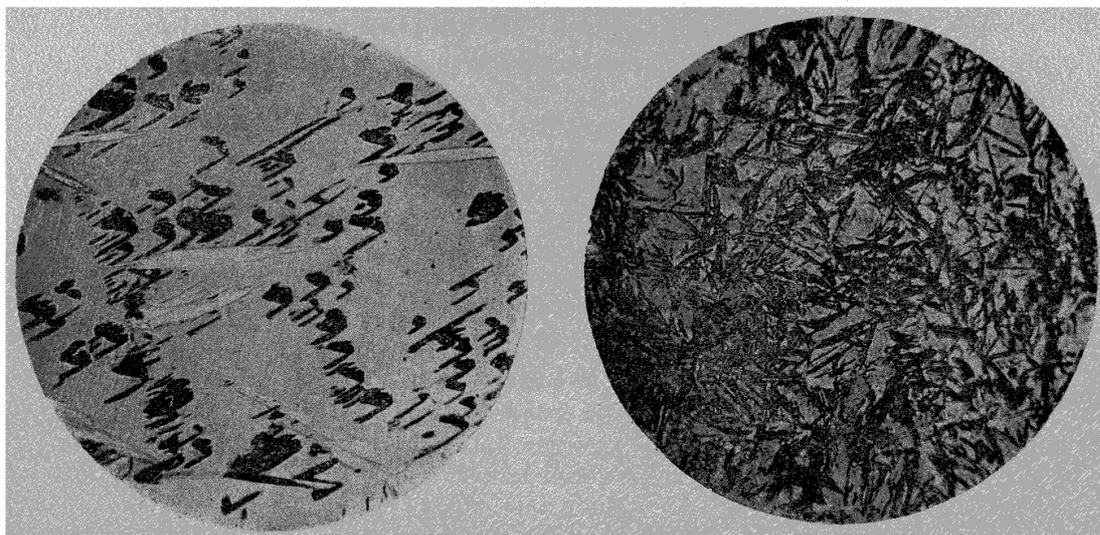


Fig. 27. — Acier recuit à 700° pendant 1 heure. Photographie ne montrant que les fers de lance. 0,800 c. 15 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

Fig. 28. — Acier recuit 0,800 C. 20 Ni. Gr. 300 d.

IV. — MICROSTRUCTURE DES ACIERS ÉCROUIS

Dès les premiers jours où l'on a utilisé des aciers au nickel non magnétiques, on s'est aperçu que l'on obtenait des copeaux magnétiques, et le travail ne pouvait se continuer qu'après trempe ou recuit de la pièce.

Depuis, M. Dumas a démontré que l'écroissage a même effet que la trempe. — Partant de ce principe, nous devons donc trouver que les aciers, ayant leur point de transformation au refroidissement voisin de la température ordinaire, subissent du fait de l'écroissage d'importants changements dans leur microstructure.

Les résultats que nous avons obtenus sont certainement remarquables, et les photographies, malgré le soin que l'on y a apporté, ne rendent que faiblement les images observées.

Ces expériences ont été faites sur l'acier à 0,250 de C et 25 p. 100 de Ni, et 0,800 de C et 15 p. 100 de Ni.

D'après les observations de M. Dumas, ces deux aciers de non magnétiques deviennent magnétiques par écroissage.

Nous avons noté, tout d'abord, qu'après écroissage la structure est nettement à fer de lance, bien que quelques polyèdres subsistent.

Mais les points les plus intéressants sont les suivants :

1° Plus l'écroissage est prononcé, plus il y a de fers de lance et plus aussi l'acier est facile à attirer à l'aimant.

Des mesures précises devront être faites à ce sujet.

2° Le premier effet de l'écroissage est d'accentuer en quelque sorte les plans de clivage qui sont indiqués dans chaque polyèdre et il semble s'effectuer une séparation suivant ces différents plans.

Un fait analogue a été déjà signalé par M. Charpy pour les laitons; il semble bien que c'est là le premier temps de la transformation de l'austenite en fers de lance.

Ce qui le prouve assez nettement, c'est que le développement des fers de lance se limite aux faces de polyèdres; ces faits sont mis en vue par les photographies 29, 30 et 31: l'une d'elles (fig. 29) montre justement les différents fers de lance limités à l'une des lignes d'un polyèdre, à un tel point que l'on croirait que la moitié de la figure a été cachée pour être photographiée.

Ces photographies semblent jeter une lumière toute particulière sur les perturbations qui surviennent dans certains aciers au nickel, lesquelles se traduisent par le passage de la structure polyédrique à la structure en fers de lance.

De plus, ces plans de clivage semblent parfois se briser et donnent de ce fait

des fers de lance. Ces fers de lance sont-ils identiques à ceux plus abondants et plus développés que l'on voit ailleurs? Il est évidemment très difficile de se prononcer sur ce point.

D'autre part, il arrive très souvent que les plans de clivage de deux polyèdres soient inclinés les uns par rapport aux autres. Peut-être faut-il rapprocher ce fait de la formation des fers de lance.

Quoi qu'il en soit, nous avons voulu tirer plus au clair le phénomène de l'écroutissage et, pour ce faire, nous avons effectué les trois séries d'essais suivants qui nous ont été suggérés par M. Le Chatelier et M. Mesnager :

1° Nous avons soumis un morceau d'acier à 0,800 de C et 15 p. 100 de Ni à l'écroutissage, soit à la presse, soit au marteau, sans dépasser la limite élastique. Dans ces conditions, nous n'avons jamais observé dans la masse la production de martensite; de plus les cristaux n'augmentent pas sensiblement; seuls les plans de clivage s'accroissent; mais au martelage, sur la surface même qui recevait l'ébranlement, surface qui avait été préalablement polie, l'on ne voyait plus que des fers de lance.

2° Dans une seconde série d'essais, nous avons dépassé la limite élastique; nous avons alors observé le phénomène décrit plus haut : l'apparition de fers de lance dans la masse.

Enfin, dans une autre série d'expériences nous n'avons dépassé la limite élastique que dans une portion de la masse, ce qui est très facile à voir sur une surface polie. Dans cette partie seule, nous avons vu les fers de lance et je dois même ajouter que, cette déformation ayant été obtenue par martelage, les cristaux en fer de lance que l'on rencontrait étaient d'autant plus nombreux que l'on se rapprochait plus de la face frappée. Enfin, ces cristaux semblent s'orienter suivant la direction de la fibre neutre.

Un fait paraît anormal, *a priori*, c'est le développement des polyèdres. Il doit être certainement intéressant de compléter par de nouvelles expériences ces faits montrés par écroutissage; elles jetteraient sans nul doute un jour nouveau sur certains effets mécaniques.

En tous les cas, pour les aciers dont le point de transformation est voisin de la température ordinaire, l'écroutissage a pour effet d'augmenter singulièrement les dimensions des polyèdres et d'amener la structure martensitique.

V. — MICROSTRUCTURE DES ACIERS REFROIDIS

Après les travaux de MM. Dewar, Fleming, Osmond et Dumas, on sait que certains aciers au nickel sont transformés par refroidissement et que pour les aciers qui se sont ainsi transformés il y a un relèvement considérable de la

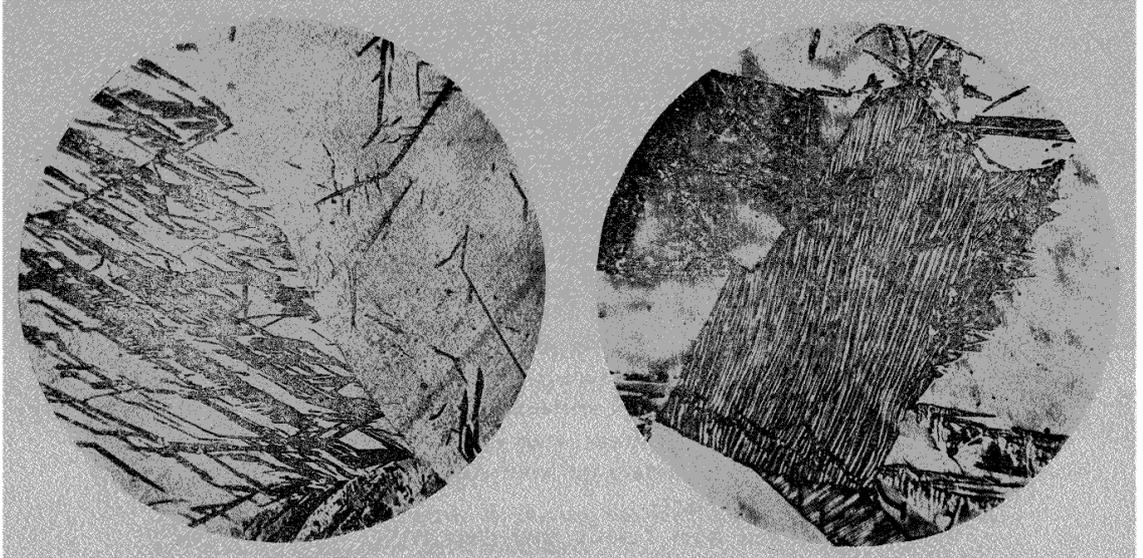


Fig. 29. — Acier écroui 0,800 C. 15 Ni. Gr. 300 d. Photographie montrant la formation de hardenite limitée au bord d'un polyèdre.

Fig. 30. — Acier écroui 0,800 C. 15 Ni. Gr. 300 d. Photographie montrant le développement des polyèdres et la formation de fers de lance.

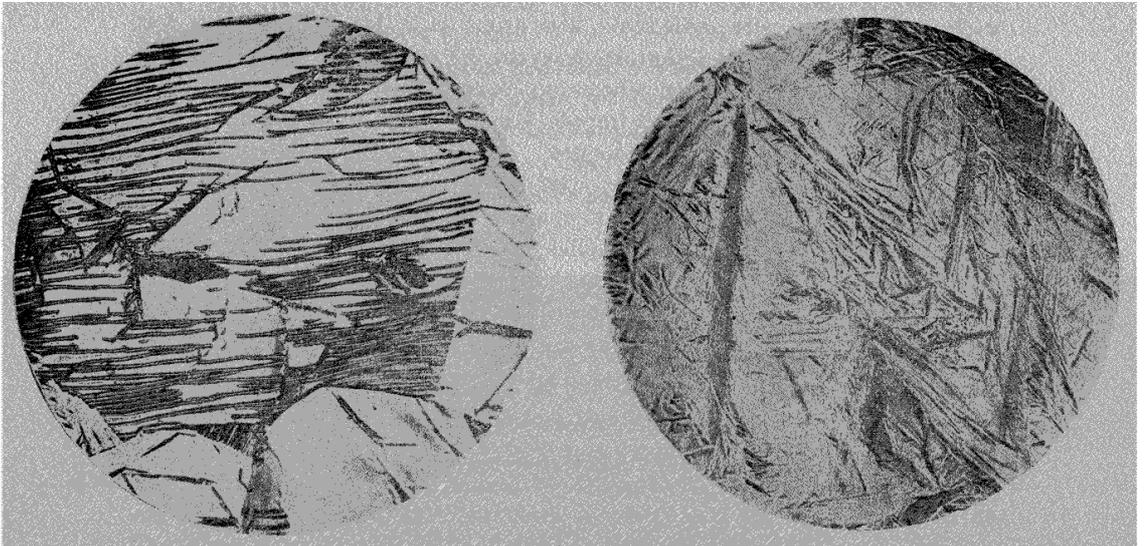


Fig. 31. — Acier écroui 0,800 C. 15 Ni. Gr. 300 d. Photographie montrant le développement des polyèdres et des plans de clivage.

Fig. 32. — Acier refroidi à -78° 0,800 C. 15 p. 100 Ni. Gr. 300 d. Photographie faite sans attaque.

limite élastique, une augmentation très grande de la résistance à la rupture et une grande diminution de l'allongement à la rupture.

Tous les échantillons transformés, dit M. Dumas, accusent les propriétés mécaniques caractéristiques des aciers dont le point de transformation irréversible au refroidissement est situé au-dessus de la température ordinaire.

Nos premières expériences ont porté sur le refroidissement des différents aciers au nickel à une température de -78° obtenue au moyen de la neige carbonique et de l'alcool. Cette première série d'expériences nous a montré nettement qu'un tel refroidissement est sans action sur les aciers des quatre premières classes.

Il agit plus ou moins, ou même pas du tout, sur les aciers de la cinquième classe. Son action, lorsqu'elle existe, est de transformer les polyèdres en fers de lance.

Les aciers à 0,250 de C et 25 p. 100 de Ni et 0,900 de C et 15 p. 100 de Ni, qui, d'après M. Dumas, deviennent magnétiques permanents à -78° , montrent de nombreux fers de lance. Il y a mieux : sous l'influence du refroidissement les fers de lance gonflent d'une façon extraordinaire, de telle sorte que si l'on trempe dans le bain une surface préalablement polie, on obtient une vue superbe au microscope sans avoir besoin d'opérer aucune attaque (fig. 32). Ce phénomène a été déjà observé sur des aciers trempés par M. Osmond qui l'a décrit dans le *Métallographist* (octobre 1899).

Deux autres photographies montrent les aciers dont je viens de parler une fois refroidis, puis polis et attaqués (fig. 33 et 34).

Si l'on prend des aciers un peu plus riches en nickel que ceux que je viens de citer, on observe à -78° quelques fers de lance.

Il en est ainsi avec les aciers suivants :

1° : 0,120 p. 100 C	30 p. 100 Ni
2° : 0,250 — C	30 — Ni
3° : 0,800 — C	20 — Ni

qui montrent ce changement partiel, lequel est indiqué pour les deux derniers aciers dans les photographies ci-jointes (fig. 35 et 36).

Si l'on passe à des aciers plus riches, on n'obtient aucun changement si ce n'est que les polyèdres ont une tendance à se développer.

Ce fait a été observé dans les quatre séries d'aciers dont nous disposons.

Les cristaux en fer de lance apparaissent tantôt en blanc, tantôt en noir, après attaque. Quelquefois même on obtient des cristaux ayant ces deux colorations dans la même opération.

Une seule fois, nous avons eu un cristal coloré en noir sur une certaine longueur et en blanc sur le restant, comme le montrent deux de nos photographies (fig. 34 et 37).

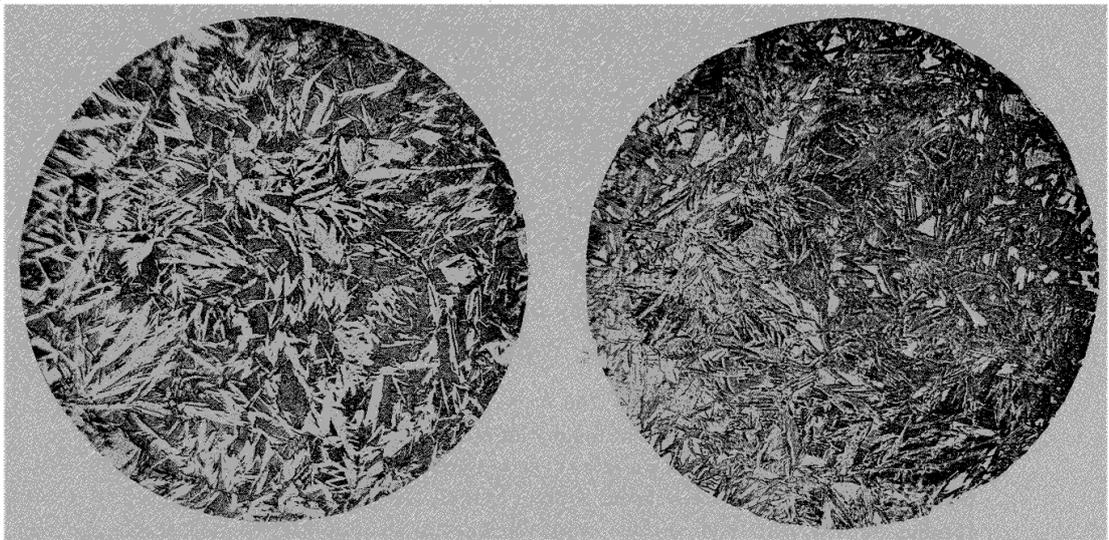


Fig. 33. — Acier refroidi à -78° 0,250 C. 25 Ni. Gr. 300 d.

Fig. 34. — Acier refroidi à -78° 0,800 C. 15 Ni. Gr. 300 d.

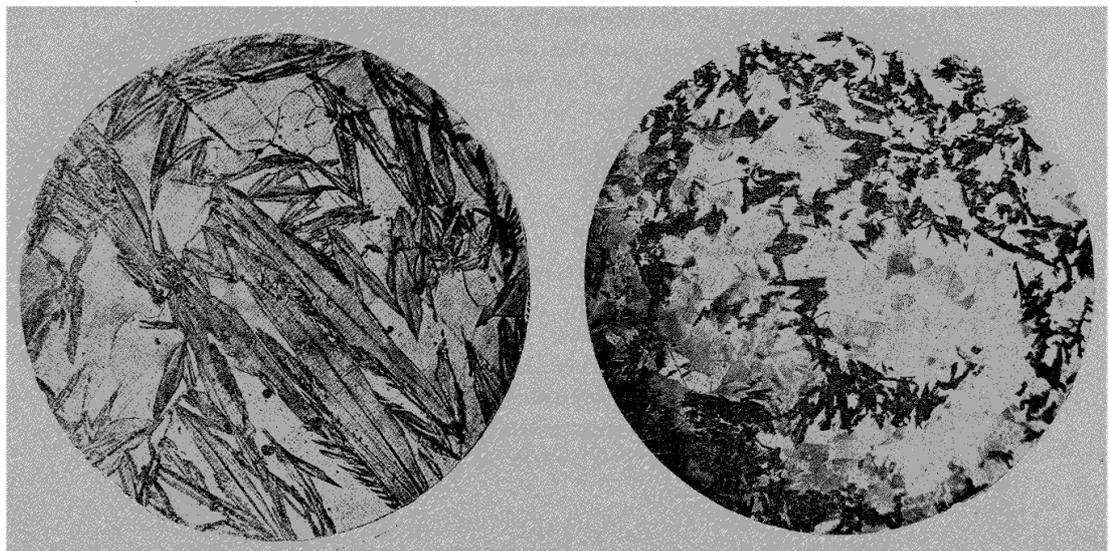


Fig. 35. — Acier refroidi à -78° 0,250 C. 30 Ni. Gr. 300 d.

Fig. 36. — Acier refroidi à -78° 0,800 C. 20 Ni. Gr. 300 d.

Dans une seconde série d'essais, nous avons fait subir aux aciers qui présentent de très nombreux fers de lance à -78° des refroidissements de plus en plus grands à partir de la température ordinaire. Dans ces aciers, dès 0° et après un temps extrêmement court, une simple immersion même, il y a commencement de décomposition (fig. 38). Plus la température est basse, plus les fers de lance sont nombreux. A -40° , pour les deux aciers observés, ils semblent aussi nombreux qu'à -78° (fig. 39 et 40).

Les conclusions de ces expériences sont les suivantes :

Les aciers non magnétiques qui se transforment aisément aux températures auxquelles ils sont portés changent de structure. On voit des fers de lance qui apparaissent généralement en blanc. Cette transformation commence à des températures assez voisines de la température ordinaire.

Il semble y avoir tout d'abord une certaine orientation des polyèdres et une scission dans leur intérieur suivant les plans de clivage.

Pour certains aciers voisins de ceux qui subissent une transformation entière à -78° , il y a un changement de structure à cette température.

Nous avons toujours remarqué qu'au moment où apparaissent les cristaux en fer de lance, il y a apparition du magnétisme.

Les aciers à structure martensitique et à perlite n'éprouvent aucune transformation par le refroidissement à -78° . Toutefois dans les aciers à structure martensitique on entrevoit cette structure après le refroidissement sans qu'il y ait besoin de faire une attaque quelconque.

VI. — CÉMENTATION ET DÉCARBURATION DES ACIERS AU NICKEL

Il nous a semblé particulièrement intéressant de confirmer les faits obtenus dans les expériences que nous venons de décrire; de les résumer en quelque sorte, en faisant des essais de cémentation et de décarburation.

De ces expériences très nombreuses, je ne retiendrai que les plus intéressantes au point de vue qui nous occupe, c'est-à-dire pour la microstructure.

Toutes les expériences de cémentation que je décrirai ont été faites dans les conditions suivantes :

Température du four.	1050°
Cément employé.	Noir animal.
Durée de l'opération.	4 heures.
Diamètre des barres employées.	20 millimètres.
Pénétration du carbone.	2 mm. 1/2 environ.
Refroidissement lent dans le four même.	

On peut évaluer à 1 p. 100 la valeur en carbone de la couche extérieure. Pour obtenir ces échantillons, il faut apporter des soins tout particuliers;

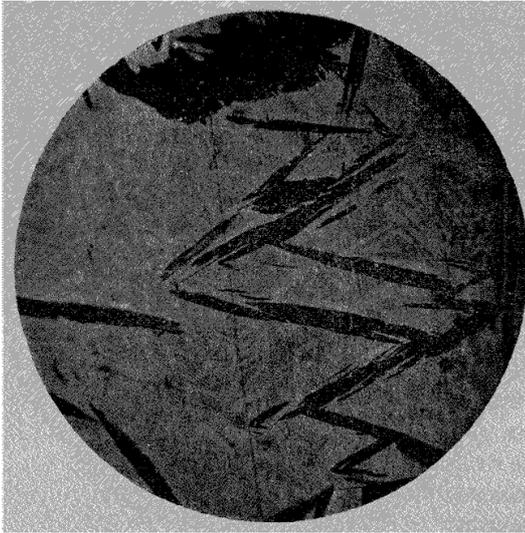


Fig. 37. — Acier refroidi à -40° 0,800 C. 15 Ni. Gr. 300 d. Photographie montrant des fers de lance noirs.

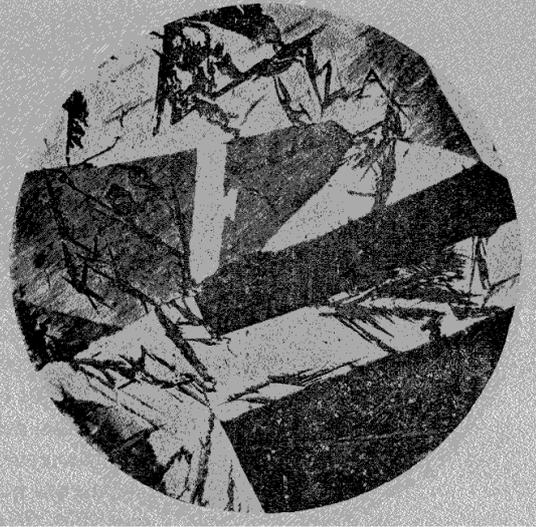


Fig. 38. — Acier refroidi à 0° 0,800 C. 53 Ni. Gr. 300 d. Photographie montrant le développement des polyèdres et la formation des fers de lance.

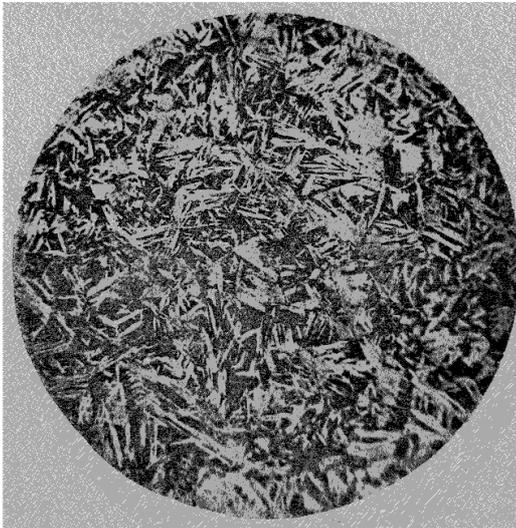


Fig. 39. — Acier refroidi à -20° 0,800 C. 15 p. 100 Ni. Gr. 300 d.

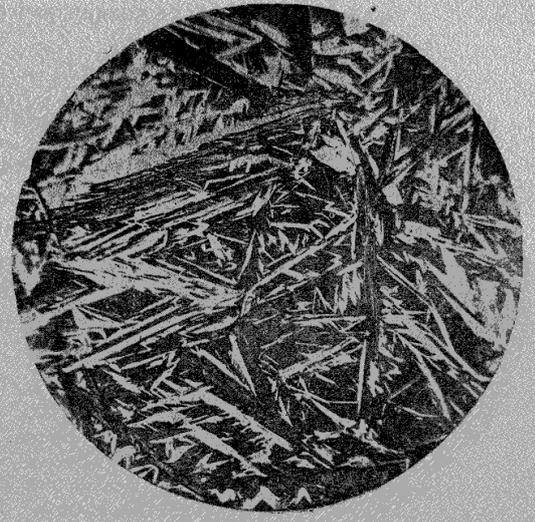


Fig. 40. — Acier refroidi à -40° 0,800 C. 15 p. 100 Ni. Gr. 300 d. Photographie montrant des fers de lance colorés en blanc et en noir.

quelques précautions que l'on prenne, il est impossible de ne pas arrondir un peu le bord de l'échantillon. Il est absolument nécessaire d'éviter cela, puisque le bord est justement la partie intéressante.

A cet effet, suivant les conseils qu'a bien voulu me donner M. H. Le Chatelier, on soude deux morceaux à observer ensemble. On ne crée ainsi qu'une seule surface qui est facile à polir et l'on peut ainsi observer aisément les bords du côté de la soudure.

1° — CÉMENTATION D'UN ACIER A 0,120 DE C ET 2 p. 100 DE Ni.

La structure obtenue est identique à celle des aciers au carbone ordinaire. Ceci est bien conforme aux résultats connus, puisque les aciers à 2 p. 100 de nickel, même à 0,800 de C, sont constitués comme les aciers ordinaires.

2° — CÉMENTATION D'UN ACIER A 0,120 DE C ET 7 p. 100 DE Ni.

Au centre l'acier est toujours formé de perlite et de fer. Puis la perlite augmente. La structure devient ensuite martensitique; puis petit à petit, on aperçoit des fers de lance qui deviennent de plus en plus nombreux.

L'observation de cet acier cémenté semble prouver à nouveau que les cristaux de martensite semblent affecter la forme des fers de lance dans les aciers les plus carburés.

C'est bien, il me semble, le résultat auquel était arrivé M. Osmond dans la trempe des aciers au carbone.

3° — CÉMENTATION D'UN ACIER A 0,120 DE C ET 15 p. 100 DE Ni.

On trouve au centre la zone de la martensite; puis on remonte une partie qui n'est formée que de fers de lance qui deviennent de plus en plus nombreux et vont en s'éclaircissant et on note, après, une très faible partie claire dans laquelle l'attaque ne fait apparaître que de très vagues polyèdres. C'est assurément la zone du fer γ .

La couche superficielle avait une valeur approximative en carbone de 1 p. 100. Or, à partir de 0,800 de C l'acier à 15 p. 100 est à structure polyédrique. Mais pourquoi cette couche était-elle si mince quoique cependant la teneur en carbone atteigne 0,800 sur une assez forte épaisseur?

Ayant examiné l'action de la cémentation avant le recuit, je fus tout d'abord déconcerté par cette observation.

Maintenant, nous pouvons en donner une explication certaine; nous savons, en effet, qu'en recuisant un acier à 0,800 de C et 15 p. 100 de Ni, cet acier

devient à structure martensitique; dans toute la région contenant 0,800 de C nous aurons de la martensite à cause du recuit qui a lieu à la température de la cémentation, et la seule partie qui pourra présenter la structure polyédrique sera celle dont la richesse en carbone sera plus grande et qui pour cette teneur en carbone et celle de 15 p. 100 de Ni ne peut être atteinte par le recuit.

La meilleure preuve du fait que j'avance et qui d'ailleurs découle des observations précédentes est que si l'on prend un tel acier cémenté et qu'on le refroidisse à -78° on n'observe jamais un changement dans sa structure.

Or, s'il restait de l'acier à 0,800 de C et 15 p. 100 de Ni non transformé par le recuit, l'épaisseur de la couche de fers de lance devrait augmenter et celle laissée blanche sur les bords devrait diminuer.

Il est facile de faire cette observation en refroidissant à -20° . S'il y avait quelques perturbations, on verrait des cristaux de fers de lance dans la partie blanche.

4° — CÉMENTATION D'UN ACIER A 0,120 DE C ET 20 p. 100 DE Ni.

Les phénomènes observés sont les mêmes que précédemment; mais la couche polyédrique augmente un peu, ce qui était à prévoir, l'acier à 1 p. 100 de C et 20 p. 100 de Ni n'étant pas atteint par le recuit de quatre heures à 900° .

5° — CÉMENTATION D'UN ACIER A 0,120 DE C ET 30 p. 100 DE Ni.

Là, la structure devient polyédrique suivant toute l'étendue. Nous avons vu que l'effet du recuit était nul sur le 0,800 de C, 30 p. 100 de Ni. Il y a même un fait extrêmement curieux : on sait que l'attaque d'acier à même teneur en nickel est d'autant plus difficile que l'acier contient plus de carbone. Avec une attaque ménagée, on obtient dans l'acier cémenté à 30 p. 100 de Ni des polyèdres au centre tandis que les bords sont indemnes.

En résumé, les résultats obtenus par la cémentation sont bien conformes à ceux que nous avons déjà donnés, à condition que l'on tienne compte de l'influence de l'opération qui a lieu en même temps que la cémentation et que l'on ne saurait éviter : je veux parler du recuit.

De plus, et ceci a son importance, il peut arriver que l'on cimente un acier non magnétique et que cet acier devienne magnétique. Cela est dû, non pas à l'action de la cémentation, mais bien au recuit qui transforme la structure polyédrique en structure martensitique pour certains aciers.

Ce fait est important à signaler, et coïncide parfaitement avec les recherches de M. Dumas.

C'est ainsi que si l'on cémentait des aciers à 27 p. 100 de Ni et 0,120 de C ou 25 p. 100 de Ni et 0,300 de C, on obtiendrait des aciers magnétiques.

En un mot, par cémentation, on fait subir aux aciers au nickel la même transformation que par recuit en dehors de toutes autres considérations.

Ces expériences de cémentation ne forment qu'une très minime partie des recherches importantes que nous avons faites sur ce sujet. Voyons maintenant l'effet de la décarburation : les expériences de décarburation ont été faites à 800° pendant huit heures.

Elles ont porté sur la série d'aciers à 0,900 de C ; le ciment était de l'oxyde de fer pur.

1° Décarburation d'acier à 5 p. 100 de nickel : le phénomène est le même que dans les aciers au carbone ordinaire ;

2° Décarburation d'acier à 10 p. 100 de nickel : au centre, la structure est restée presque intacte ; elle est à fers de lance ; plus près, elle est à martensite presque pure ;

3° Décarburation d'acier à 15 p. 100 de nickel : la structure du centre n'est pas polyédrique ; ceci est dû au recuit. Puis les fers de lance deviennent de plus en plus nombreux, puis s'éclaircissent, et sur les bords on a de la martensite pure ;

4° Décarburation d'acier à 30 p. 100 de nickel : cet acier n'est pas sensiblement altéré par un recuit et tout l'acier garde la structure primitive. Au bord on aperçoit quelques feux de lance très rares.

En résumé, les expériences faites par cémentation et recuits confirment en tous points les résultats obtenus. Ils sont particulièrement intéressants non seulement à ce point de vue, mais parce qu'ils montrent en plus que la structure fers de lance et la structure martensite semblent bien être une structure analogue, la première se produisant dans les aciers les plus carburés.

VII. — ESSAIS DE RÉGÉNÉRATION DES ACIERS AU NICKEL TRANSFORMÉS

Nous avons vu que certains aciers à structure polyédrique se transforment par la trempe, le recuit, l'écroissage et le refroidissement et deviennent à structure polyédrique.

Nous nous sommes demandé s'il ne nous serait pas possible, par des moyens quelconques, de régénérer ces aciers. Jusqu'ici les moyens que nous avons employés, recuits, revenus, etc., ne nous ont donné que des résultats négatifs dans tous les cas.

Nous tenons toutefois à le signaler.

CONCLUSIONS

L'étude micrographique des aciers au nickel que nous venons d'exposer montre nettement que les constituants de ces produits sidérurgiques sont :

- 1° La ferrite, la perlite et, bien entendu, la troostite et la sorbite;
- 2° La martensite;
- 3° Les fers de lance, lesquels apparaissent après attaque tantôt blancs, tantôt noirs, sans que l'on puisse savoir pourquoi;
- 4° Des polyèdres qui constituent certainement le fer de M. Osmond.

La seule question qui se pose est celle-ci : le constituant qui nous apparaît en fers de lance est-il le même que la martensite?

Nous croyons pouvoir répondre par l'affirmative, car même dans les aciers bruts de forge ces fers de lance forment l'un des constituants lorsqu'il y a assez de carbone. Ce semble être pour ces aciers carburés la forme de leur martensite, c'est-à-dire de la hardenite. Mais il est, d'autre part, à peu près certain que ces fers de lance représentent, quelle que soit la teneur en carbone de l'acier, la forme que prend le fer détruit par un traitement quelconque.

En trempant, recuisant, écrouissant un métal susceptible de se transformer nous n'avons jamais obtenu de martensite, mais bien des fers de lance, excepté dans un seul cas.

Enfin, nous ferons remarquer que la présence de ce composé donne aux aciers les mêmes propriétés mécaniques que celles apportées par la martensite.

Il y a là un point assez délicat qui ne peut être encore résolu. Ces fers de lance sont-ils de la martensite? Est-ce un constituant spécial?

Je crois à la première hypothèse, me basant sur les faits que je viens d'exposer.

Mais la conclusion la plus intéressante de cette étude est certainement la coïncidence parfaite qui existe entre les propriétés mécaniques et la microstructure.

Ceci découle nettement du travail que je viens de vous exposer et l'on peut dire que l'étude micrographique des aciers spéciaux permettra à l'industrie, non seulement de voir plus clairement dans la constitution des aciers, mais encore de connaître plus rapidement et plus simplement les propriétés mécaniques de ces produits.

Peut-être contribuera-t-elle à faire sortir la métallographie du domaine théorique où elle a acquis une place si importante pour entrer définitivement dans la pratique et servir de guide aux ateliers.

En terminant, je dois signaler que les aciers au manganèse m'ont donné des résultats analogues; j'espère pouvoir les exposer ici bientôt, ainsi que la métallographie des aciers au chrome.

Enfin, je tiens à dire ici que si j'ai pu mener à bien et si rapidement ces études, je le dois aux moyens d'action si puissants qui sont mis à ma disposition dans les laboratoires des Usines de Dion-Bouton (1); à la bienveillance avec laquelle M. H. Le Chatelier m'a guidé dans ces travaux et, enfin, à l'accueil que m'ont réservé les spécialistes les plus autorisés et les plus grandes aciéries de France, tout particulièrement M. Pourcel, M. Dumas, les aciéries d'Imphy, d'Unieux et de Montluçon.

Je ne saurais trop les remercier.

(1) Je veux aussi adresser mes plus sincères remerciements à l'un de mes collaborateurs, M. Le Grix, au talent duquel je dois les photographies si nettes, qui donneront certainement de la clarté à ce mémoire.

ARTS MÉCANIQUES

NOTE SUR LES LOCOMOTIVES, par **M. Ed. Sauvage**,
ingénieur en chef des Mines (Suite) (1).

LOCOMOTIVES A QUATRE ESSIEUX COUPLÉS

Les locomotives à quatre essieux couplés sont en usage en Europe depuis longtemps, surtout avec adhérence totale. Mais il semble que, depuis un certain nombre d'années, il y ait tendance, dans bien des cas, à leur substituer des machines à trois essieux couplés et à bogie, même pour remorquer de grands trains de marchandises. Cette substitution de machines correspond, en général, à une augmentation de vitesse de ces trains.

En Amérique, au contraire, on a récemment construit beaucoup de locomotives à quatre essieux couplés avec truck d'un essieu ou bogie à l'avant : plusieurs de ces locomotives, remarquables par leurs dimensions colossales, sont destinées à la remorque de trains énormes, pesant plusieurs milliers de tonnes.

Comme type ancien de machine à adhérence totale, faisant depuis longtemps un bon service, on peut citer la locomotive du Nord français (fig. 99).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	2 ^m 2,08
— de chauffe	125 ^m 2,98
Timbre	10 kg.
Cylindres : diamètre	500 mm.
— course	650 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,300
Poids en service	44 ^t ,7

Ces machines ont été construites pendant une longue période, avec de légères variantes : les dimensions données ci-dessus s'appliquent aux séries n^{os} 4001-4045, 4636-4745, construites en 1881 et 1882 (2).

Le système compound à quatre cylindres a été appliqué à des locomotives de ce genre par la Cie P.-L.-M. (fig. 100 et 101). Ces locomotives peuvent remorquer 450 tonnes, en rampe de 10 mm. par m., à la vitesse de 25 km. à l'heure.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	2 ^m 2,10
— de chauffe	202 ^m 2,88
Timbre	15 kg.
Cylindres : diamètres	348 et 520 mm.
— course	650 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,300
Poids total en service	51 ^t ,66

(1) Voir *Bulletins* de mars 1902, p. 351, et février 1903.

(2) Ces machines ont été décrites dans la *Revue générale des Chemins de fer*, nov. 1883, p. 292.

En Allemagne, la locomotive compound à deux cylindres de l'État prussien (fig. 102) est d'un type analogue.

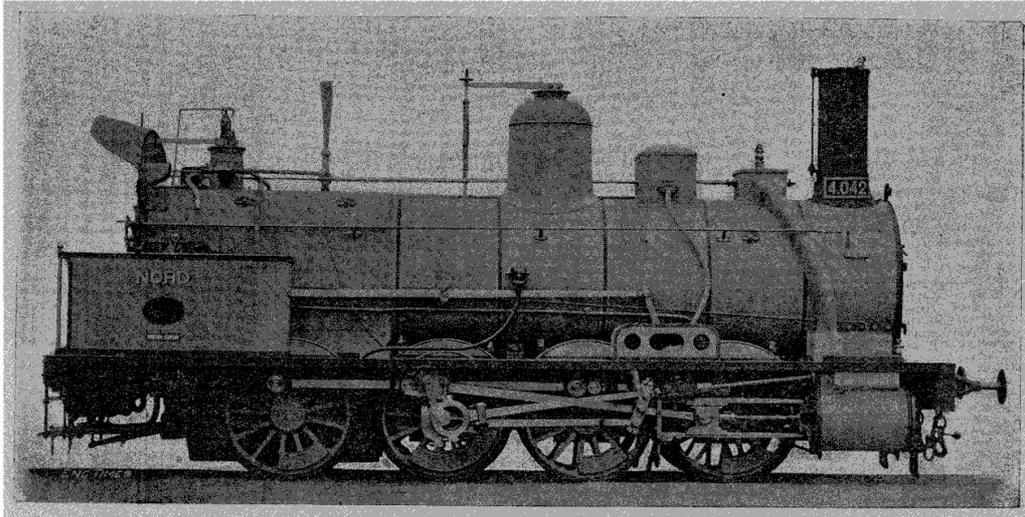


Fig. 99. — Locomotive à quatre essieux couplés du Nord français.

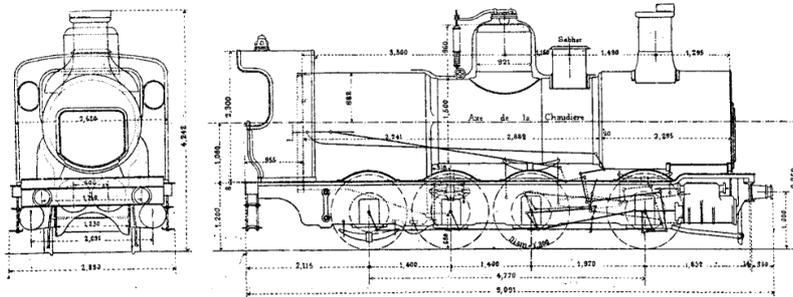


Fig. 100. — Locomotive à quatre essieux couplés du P. L. M., compound à quatre cylindres (d'après la *Revue de mécanique*, sept. 1898, p. 321).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	2m ² ,25
— de chauffe	140 m ² .
Timbre	12 kg.
Cylindres : diamètres	530 et 750 mm.
— course	630 mm.
Diamètre des roues motrices	1m,25
Poids en service	51 ^t ,9

Tome 104. — 1^{er} semestre. — Mai 1903.

Les locomotives qui viennent d'être citées ont le foyer au-dessus de l'essieu d'arrière. Dans certaines constructions anciennes, il était en porte-à-faux derrière cet essieu. Vu le petit diamètre des roues, l'installation au-dessus de l'essieu ne présentait aucune difficulté sérieuse.

En Angleterre, la locomotive du *Lancashire and Yorkshire Ry* est un

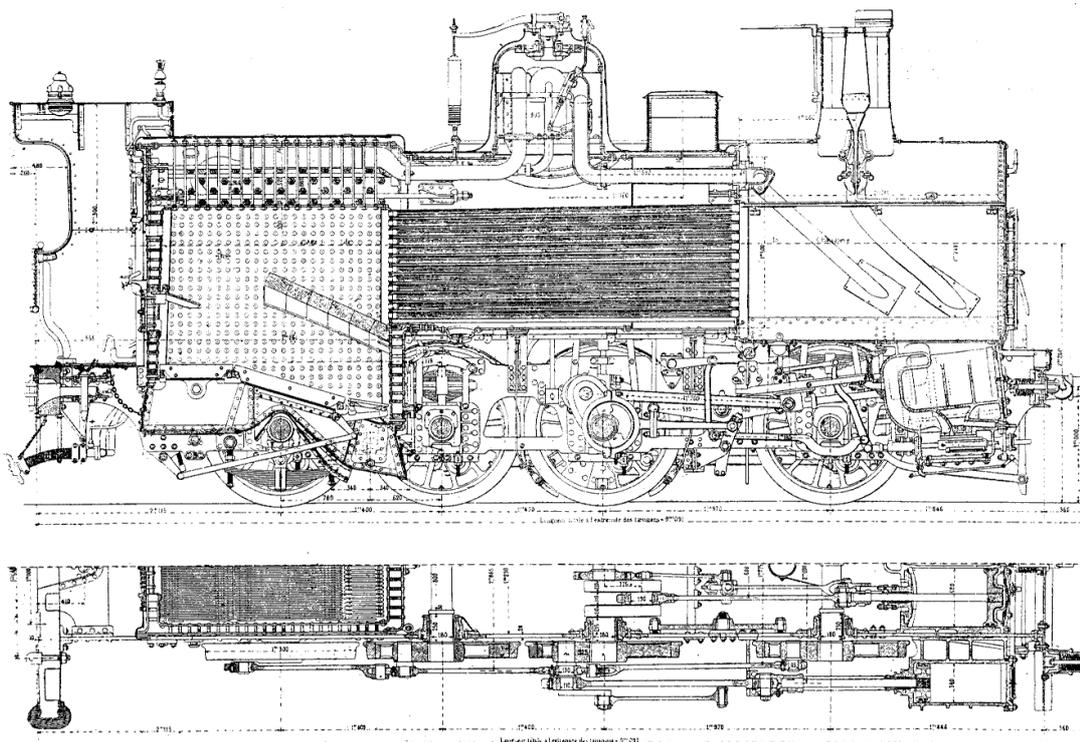


Fig. 101. — Locomotive à quatre essieux couplés du P. L. M.

exemple, assez rare dans ce pays, de locomotive à quatre essieux couplés (1). La chaudière est la même que celle de la locomotive *Atlantic* (fig. 33).

Le *Great Northern Ry* (fig. 102 bis) a de même récemment construit une locomotive de ce genre, pour remorquer des trains de charbon de 750 t., à la vitesse de 35 km. à l'heure, sur lignes présentant des rampes de 5 mm. par m.

(1) Il existe, depuis 1893, sur le *London and North Western Ry*, des locomotives compound à 3 cylindres, du système Webb, avec 4 essieux couplés. (Voir *Revue de Mécanique*, mars 1897, p. 234.)

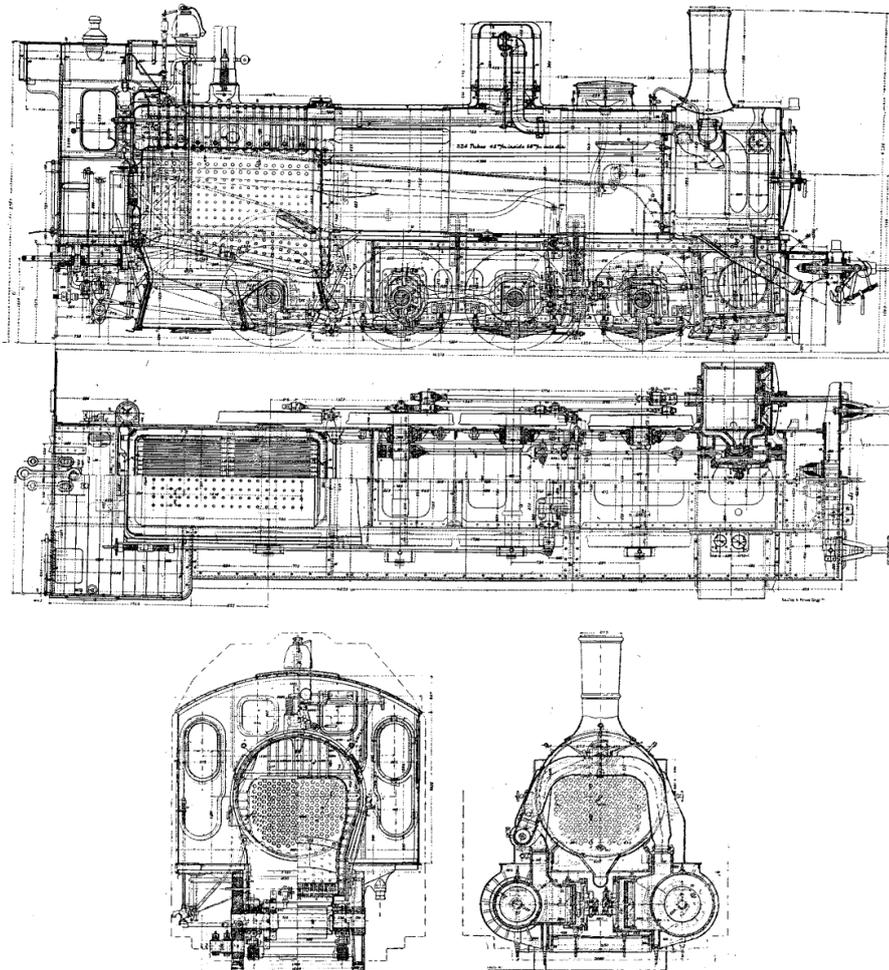


Fig. 102. — Locomotive compound à marchandises de l'État prussien (d'après la *Revue de mécanique*, déc. 1898, p. 687).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	2 ^m 2,25
— de chauffe.	433 ^m 2,7
Timbre.	12 ^{kg} 5,15
Cylindres : diamètre.	510 mm.
— course.	666 mm.
Diamètre des roues motrices.	4 ^m ,420
Poids total en service (adhérent)	54 ^t ,6

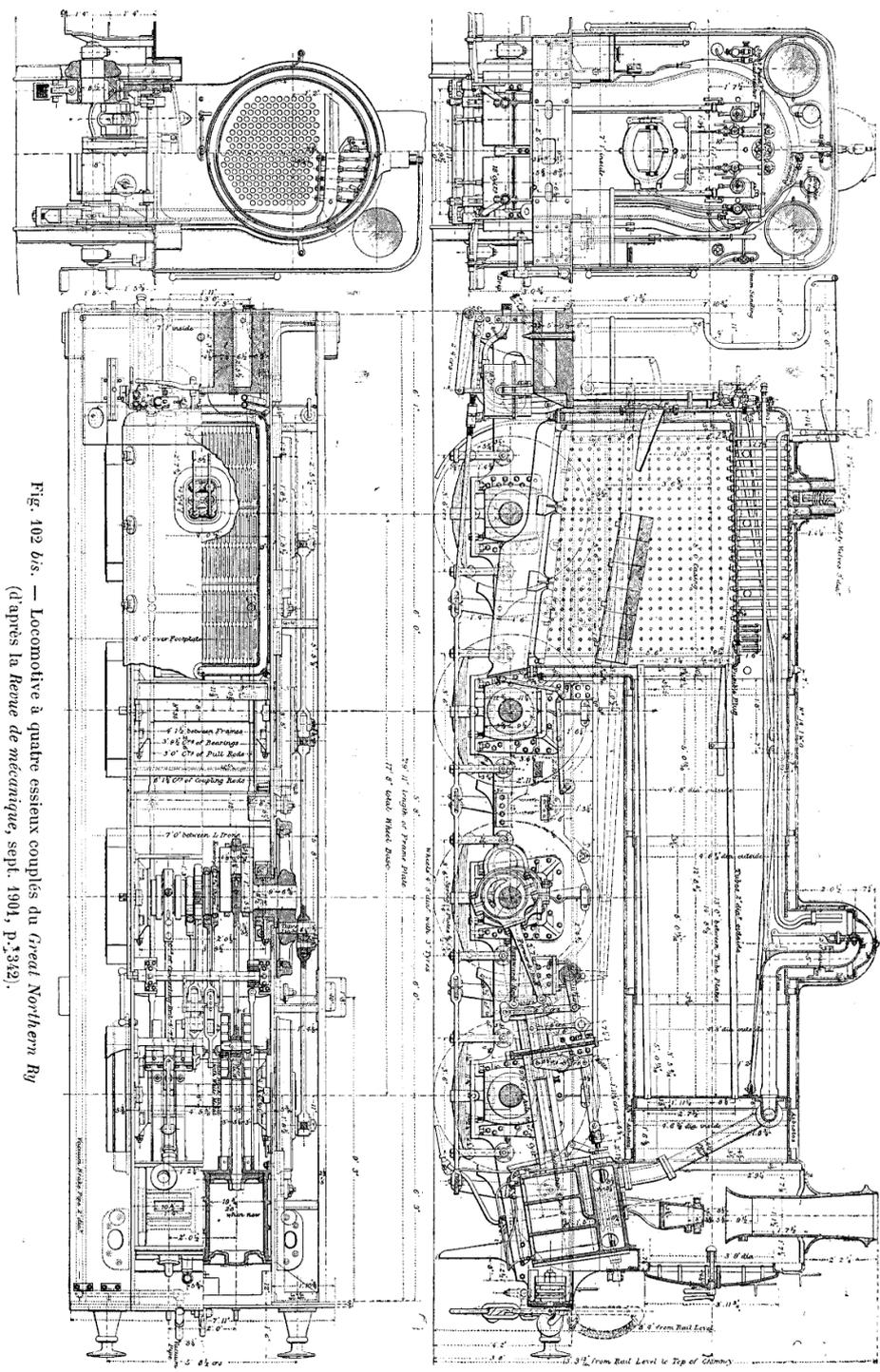


Fig. 102 bis. — Locomotive à quatre essieux couplés du Great Northern Ry
 (d'après la Revue de mécanique, sept. 1901, p. 332).

Le *North-Eastern Ry* a aussi une machine de ce genre (fig. 102 *ter*), munie de tiroirs cylindriques. La hauteur de l'axe de la chaudière est 2^m,50.

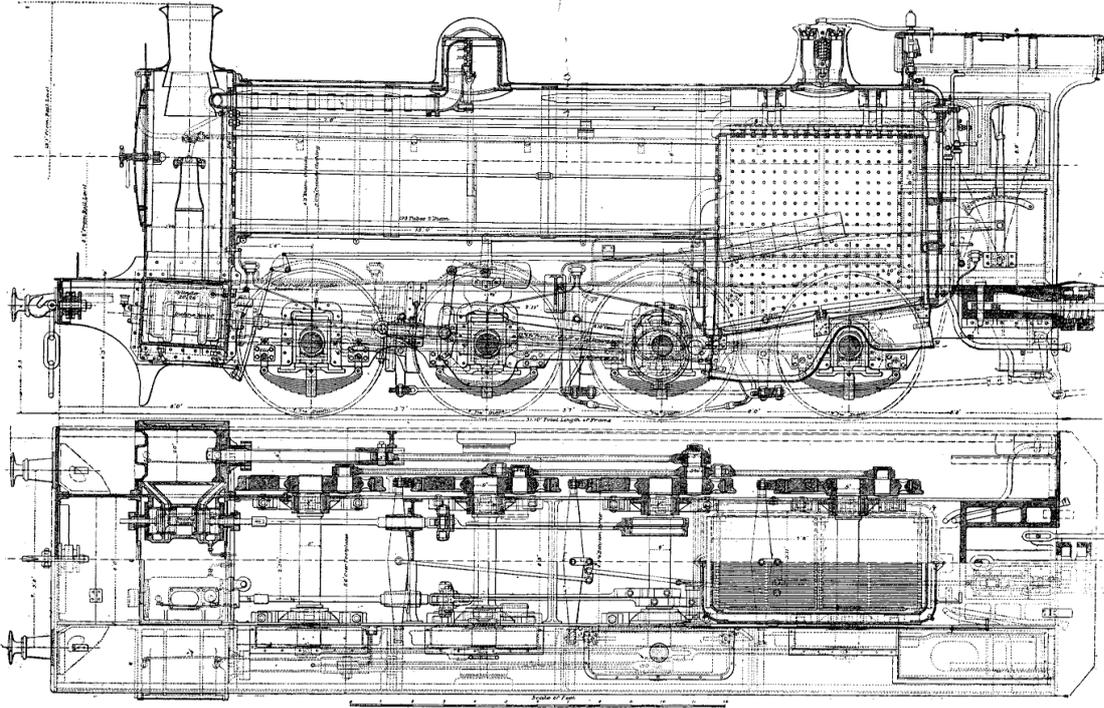


Fig. 102 *ter*. — Locomotive à quatre essieux couplés du *North-Eastern Ry* (d'après la *Revue de mécanique*, déc. 1901, p. 704).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	2m ² .
— de chauffe	135m ² ,6
Cylindres : diamètre	510 mm.
— course	660 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,45
Poids total en service (adhérent)	58 ^t ,3

La compound Gœlsdorf de l'État autrichien (fig. 103) a un essieu porteur à l'avant, et se rapproche ainsi du type *Consolidation* des Américains.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	2 ^m 2,9
— de chauffe.	226 ^m 2,8
Timbre.	14 kg.
Cylindres : diamètres	540 et 800 mm.
— course.	632 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,30
Poids en service.	68 ^t ,5
— adhérent	58 t.

Cette machine porte des injecteurs à pétrole Holden, pour le chauffage dans le tunnel de l'Arlberg.

En France les chemins de fer du Midi ont mis récemment en service une puissante locomotive du même genre, compound à quatre cylindres (fig. 104).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	2 ^m 2,808
— de chauffe (en contact avec les gaz)	2 6 ^m 2,21
Timbre.	15 kg.
Cylindres : diamètres.	390 et 600 mm.
— course.	650 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,400
Poids total en service.	71 ^t ,6
— adhérent.	64 t.

L'axe de la chaudière est à 2^m,600 au-dessus du rail.

Aux États-Unis, on distingue le type *Consolidation*, qui a quatre essieux couplés avec un truck d'un seul essieu à l'avant, et le type à bogie.

La figure 105 représente le type *Consolidation*, de la maison Baldwin, et le tableau qui suit donne, d'après un catalogue de cette maison, les diverses séries de ce type. La pression est de 12,6 kg. par cm².

CYLINDRES : DIAMÈTRE et course. mm.	DIAMÈTRE des ROUES MOTRICES. m.	POIDS EN SERVICE		POIDS REMORQUÉ EN TONNES MÉTRIQUES.	
		TOTAL kg.	ADHÉRENT. kg.	Sur palier.	Sur rampe de 2 p. 100.
483 × 610	1,270	55.000	48.000	2 895	375
508 × 610	1,270	59.000	52.000	3 150	405
508 × 661	1,270 à 1,420	64.000	57.000	3 425	440
533 × 610	1,270	66.000	59.000	3 555	460
533 × 661	1,270 à 1,420	70.000	63.900	3 785	495
559 × 712	1,270	79.000	71.000	4 290	560
559 × 762	1,270 à 1,420	86.000	78.000	4 670	610
584 × 762	id.	93.000	84.000	5 080	660
620 × 762	id.	100.000	91.000	5 485	710

Le même constructeur a aussi une série de locomotives *Consolidation*, à quatre cylindres, du système Vauclain (fig. 106), avec les dimensions suivantes, la pression étant de 14 kg. par cm².

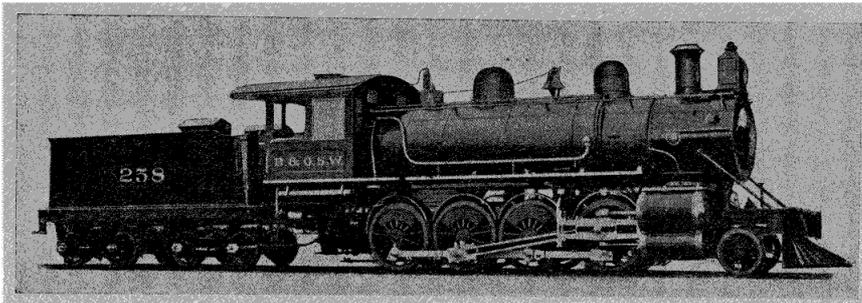


Fig. 105. — Locomotive type *Consolidation* de Baldwin.

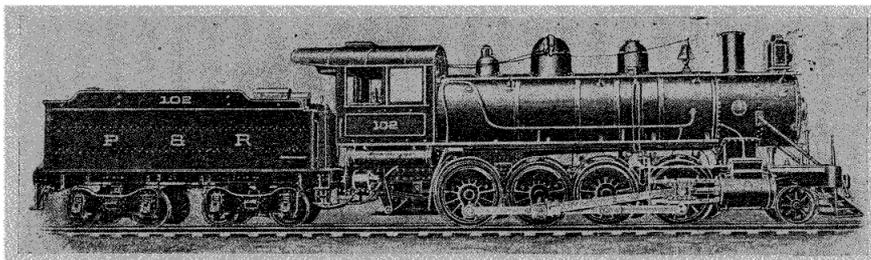


Fig. 106. — Locomotive *Consolidation*, système Vauclain, de Baldwin.

CYLINDRES : DIAMÈTRE et course. mm.	DIAMÈTRE des ROUES MOTRICES. m.	POIDS EN SERVICE		POIDS REMORQUÉ EN TONNES MÉTRIQUES.	
		TOTAL kg.	ADHÉRENT. kg.	Sur palier.	Sur rampe de 2 p. 100.
340 et 585 × 610	1,270	56.000	49.000	2 945	380
340 et 585 × 661	1,270 à 1,420	58.000	51.000	3 045	395
353 et 610 × 610	1,270	61.000	54.000	3 225	415
333 et 610 × 661	1,270 à 1,420	64.000	57.000	3 375	435
379 et 635 × 610	1,270	67.000	59.000	3 555	455
379 et 635 × 661	1,270 à 1,420	72.000	64.000	3 835	495
393 et 661 × 712	1,270	76.000	68.000	4 115	530
408 et 686 × 712	1,270	82.000	73.000	4 365	570
408 et 686 × 762	1,270	86.000	77.000	4 670	600
432 et 712 × 762	1,426 à 1,560	92.000	82.000	4 925	635
445 et 737 × 762	id.	96.000	86.000	5 205	670
436 et 762 × 762	id.	102.000	91.000	5 485	705

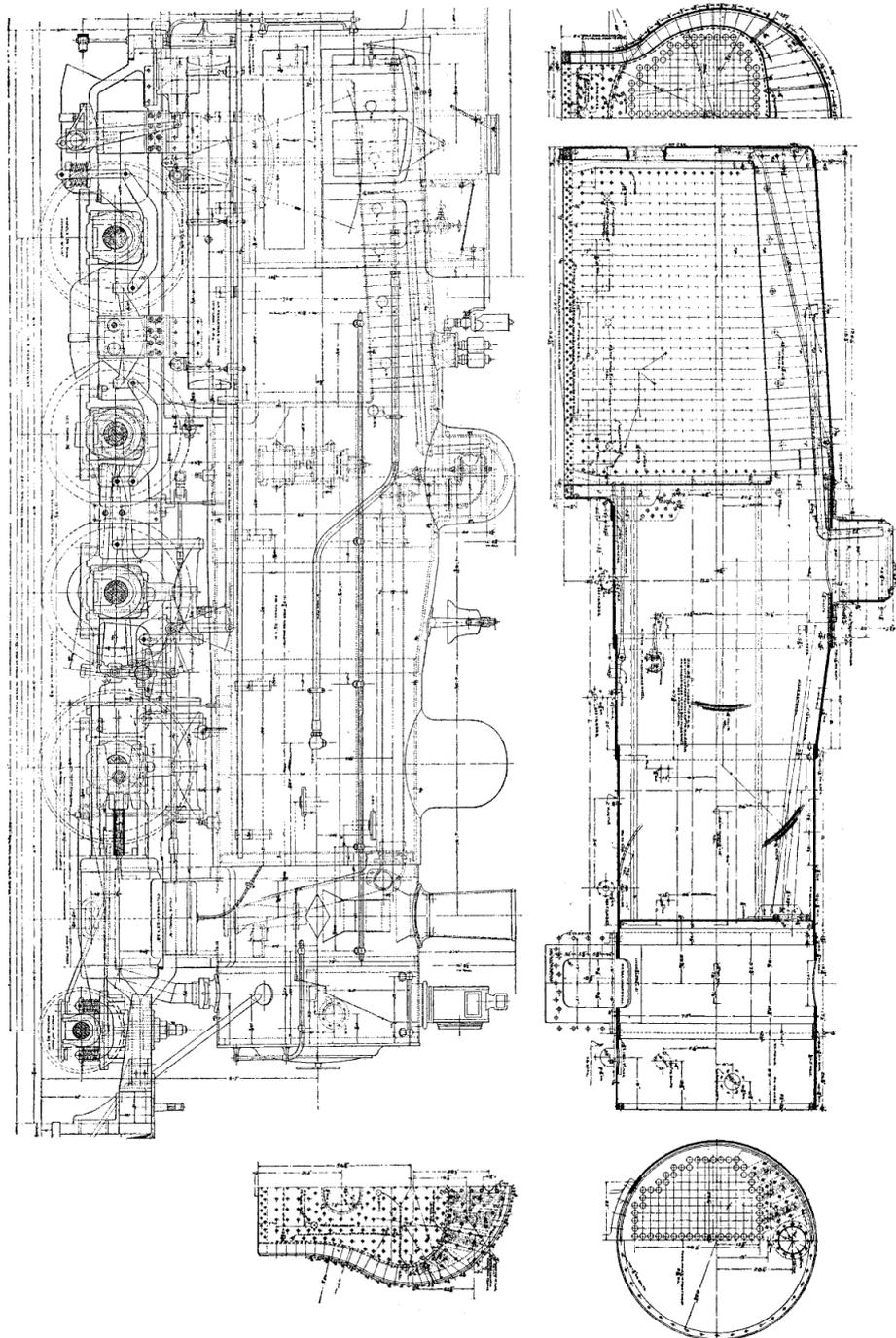


Fig. 107. — Locomotive du Rio Grande Western R. R. (d'après la Revue de mécanique, oct. 1900, p. 502.)

La locomotive du *Rio Grande Western R. R.* (fig. 107) pèse en service

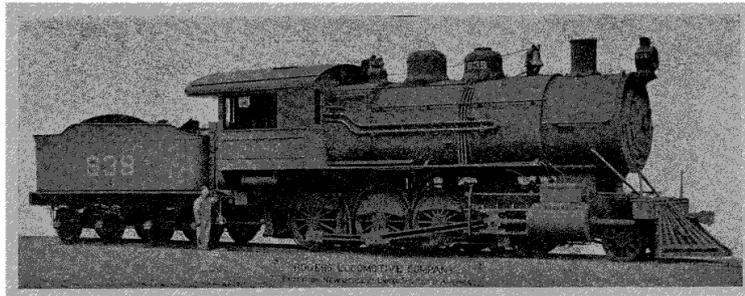


Fig. 108. — Locomotive de l'*Illinois Central R. R.*

84 tonnes, dont 76 servent pour l'adhérence. Le corps cylindrique de la chaudière a 1^m,90 de diamètre.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	3 ^{m²} ,24
— de chauffe.	249 m ²
Timbre.	14 kg.
Cylindres : diamètre.	560 mm.
— course.	710 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,42
Poids en service	84 t.
Poids adhérent.	76 t.

La locomotive construite par la C^{ie} Rogers pour l'*Illinois Central R. R.* (fig. 108) pèse 99 tonnes, dont 90 pour l'adhérence, ce qui donne, en moyenne, 22 500 kilogrammes par essieu moteur.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	3 ^{m²} ,60
— de chauffe.	297 m ² .
Timbre.	14 ^{kg} ,4
Cylindres : diamètre.	584 mm.
— course.	762 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,43
Poids en service.	99 t.
— adhérent.	90 t.

La locomotive, système Vaclain, du *Lehigh Valley R. R.* (fig. 109) pèse 105 tonnes, dont 94 pour l'adhérence. Elle a un foyer Wootten.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	8m ² ,36
— de chauffe.	269 m ² .
Timbre de la chaudière.	14 kgr.
Cylindres : diamètres	460 et 760 mm.
— course.	760 mm.
Diamètre des roues motrices.	1m,40
Poids en service.	103 t.
Poids adhérent.	91 t.

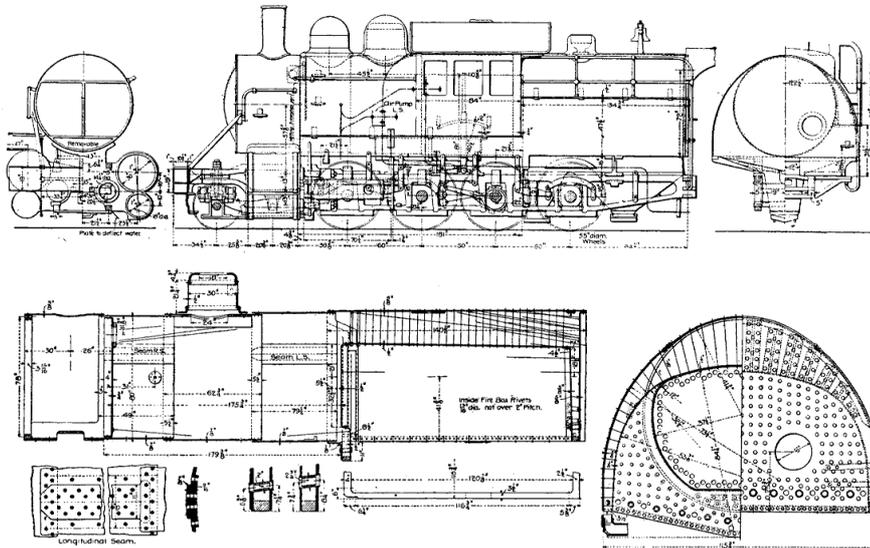


Fig. 109. — Locomotive système Vaclain, à foyer Wootten, du *Lehigh Valley R. R.*
(d'après la *Revue de mécanique*, fév. 1899, p. 198).

La locomotive du *Northern Pacific R. R.* (fig. 109 bis) est une compound tandem.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	4m ² ,83.
— de chauffe.	176m ² ,3
Timbre.	16 kg.
Cylindres : diamètres	380 et 710 mm.
— course.	860 mm.
Diamètre des roues motrices.	1m,700
Poids en service.	90 t.
— adhérent.	78 t.

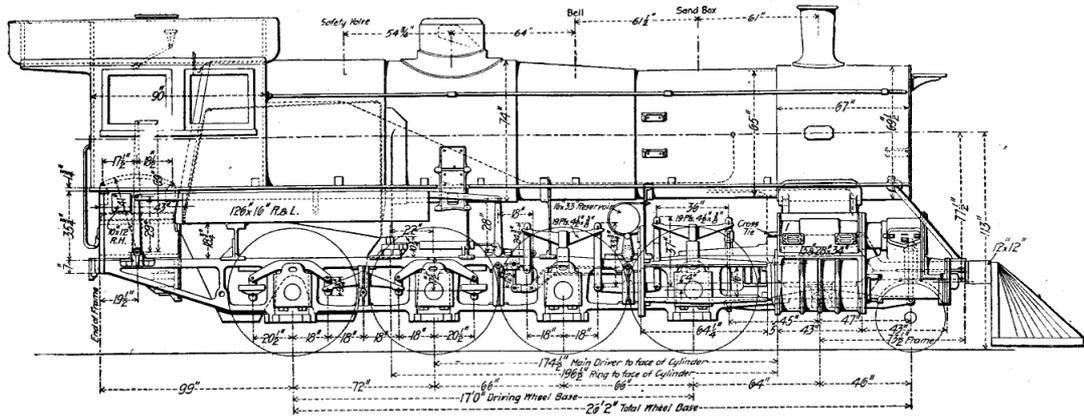


Fig. 109 bis. — Locomotive compound tandem du Northern Pacific R. R.
(d'après la Revue de mécanique, sept. 1901, p. 343).

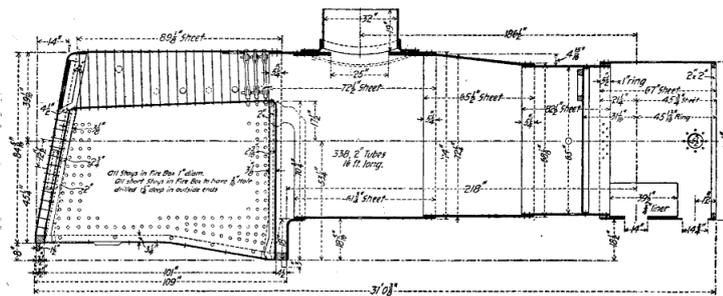
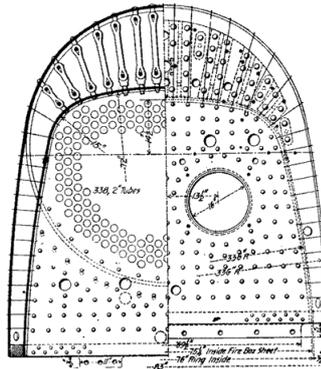


Fig. 109 ter. — Locomotive du Northern Pacific R. R.; chaudière.

Les figures 109^{ter} à 109^v, représentent la chaudière, dont la boîte à feu déborde au-dessus des roues, les cylindres avec leurs tiroirs cylindriques, et la valve de démarrage, qui fait communiquer les deux extrémités du cylindre à haute pression et admet la vapeur directement au cylindre à basse pression.

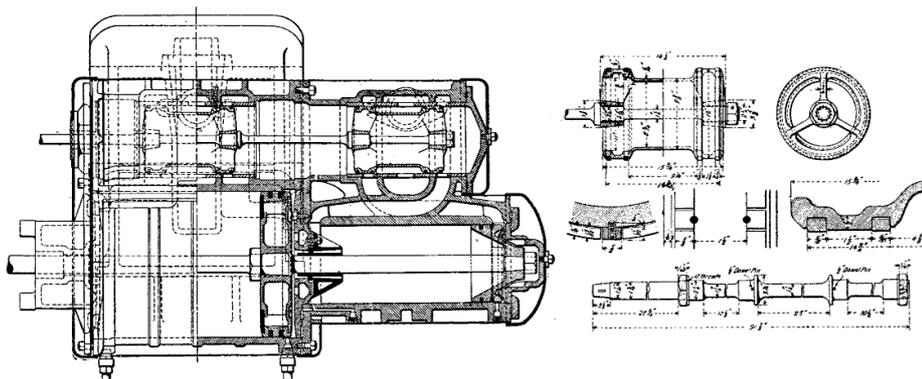


Fig. 109 IV. — Locomotive du *Northern Pacific R. R.* ; cylindres.

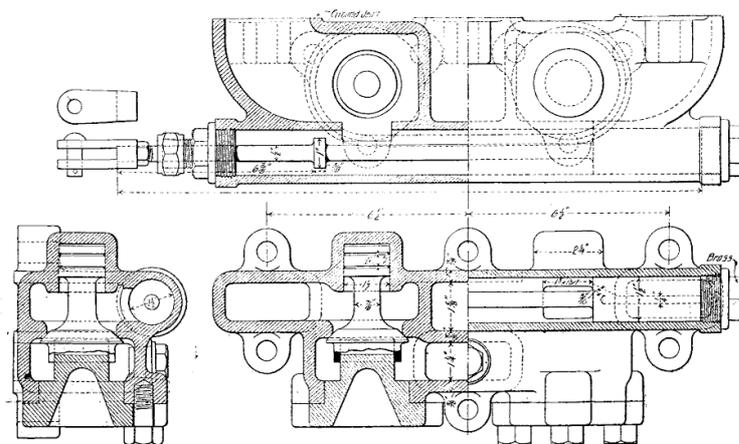


Fig. 109 V. — Locomotive du *Northern Pacific R. R.* ; soupapes de démarrage et de communication des extrémités de cylindre.

De plus, des soupapes, qui s'ouvrent quand on ferme le régulateur, font alors communiquer les deux extrémités du petit cylindre.

Dans la locomotive du *Central Mexican R. R.*, un second essieu porteur a été ajouté derrière les quatre essieux couplés (fig. 110) : c'est, sans doute, pour ne pas gêner la circulation en courbe qu'on n'a pas accouplé ce dernier essieu

avec les autres. Cette locomotive est, d'ailleurs, remarquable par les dimensions de la chaudière, dont le corps cylindrique, de 2 mètres de diamètre, renferme 412 tubes de 51 mm., longs de 3^m,65.

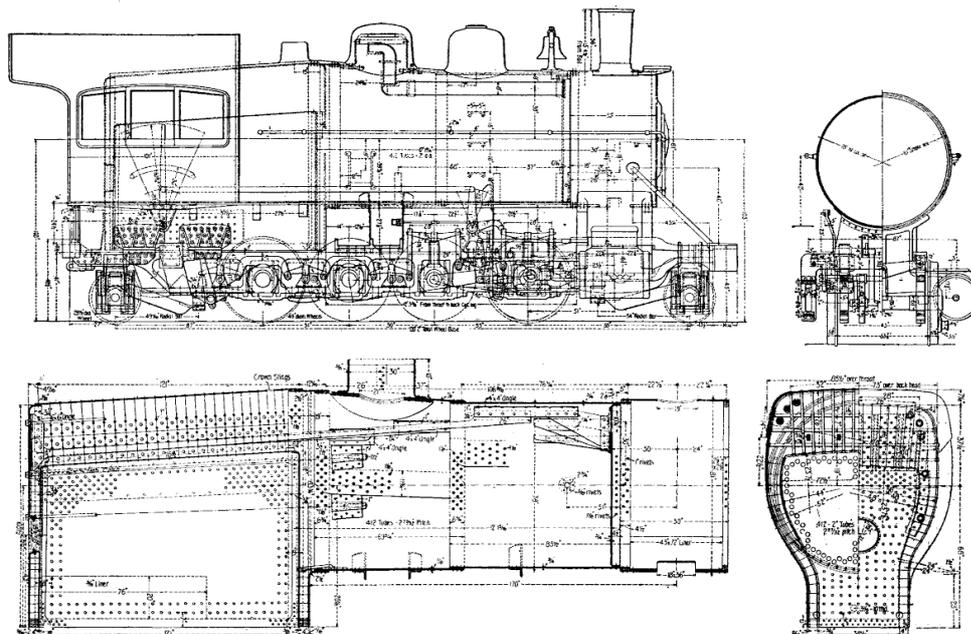


Fig. 110. — Locomotive du *Central Mexican R. R.* (d'après la *Revue de mécanique*, nov. 1897, p. 1110).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	2 ^m 2,93
— de chauffe	260 m ² .
Timbre	12 ^{kg} ,6
Cylindres : diamètre	530 mm.
— course	660 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,24
Poids en service	87 t.
— adhérent	65 ^t ,3

Les figures qui suivent donnent des exemples de locomotives américaines à quatre essieux couplés et à bogie.

La locomotive de l'*Illinois Central R. R.*, construite par Brooks (fig. 111), a des dimensions véritablement colossales, car elle pèse en service 116 tonnes dont 87 pour l'adhérence, soit en moyenne près de 22 tonnes par essieu. Cette machine est munie de tiroirs cylindriques. Le corps cylindrique a 2 mètres de diamètre, et l'axe est à 2^m,93 au-dessus du rail. L'épaisseur des tôles est de

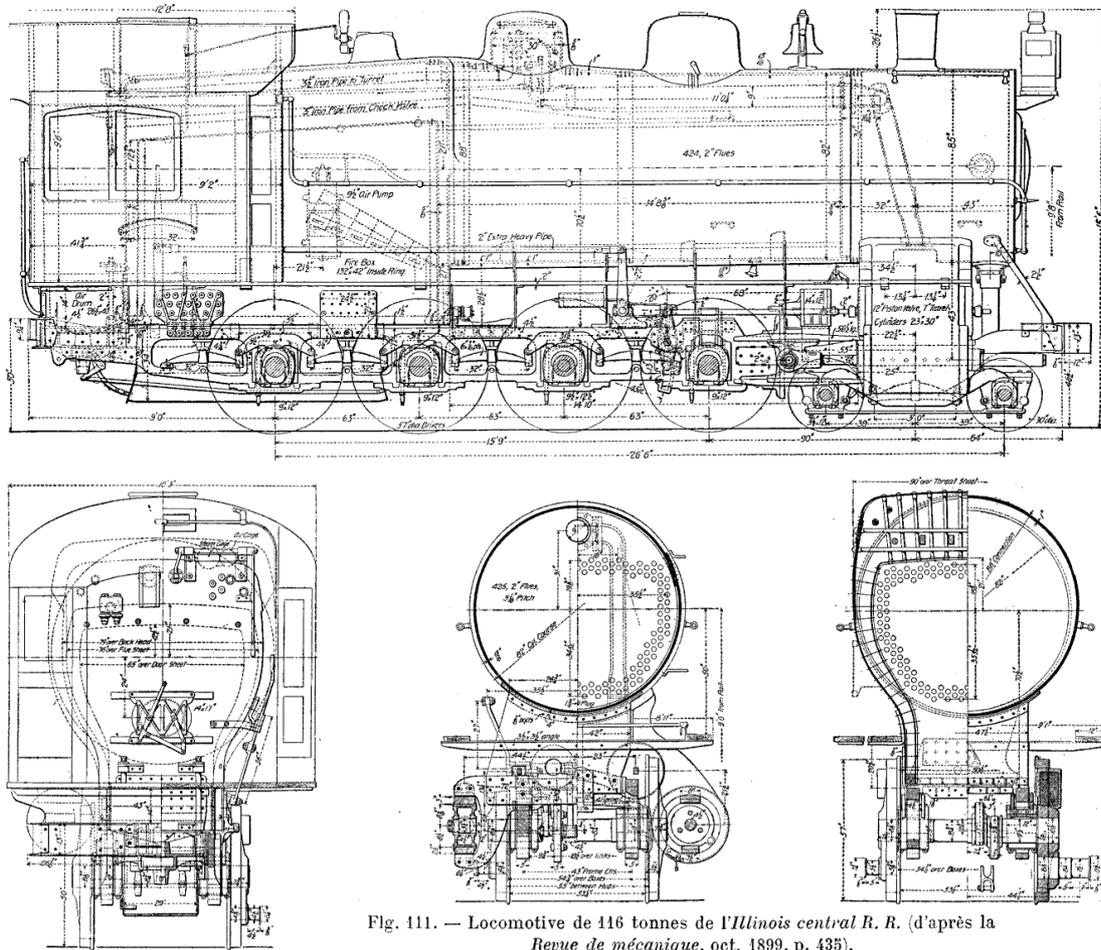


Fig. 111. — Locomotive de 116 tonnes de l'Illinois central R. R. (d'après la Revue de mécanique, oct. 1899, p. 435).

25 millimètres, ce qui, avec la pression de 15 kilogrammes, donne une fatigue de 6 kg. seulement par mm².

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	3 ^m 2,5
— de chauffe	300 m ²
Timbre	15 kg.
Cylindres : diamètre	585 mm.
— course	760 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,45
Poids en service	116 t.
— adhérent	87 t.

La locomotive du *Delaware, Lackawanna and Western Ry*, sortie également des ateliers Brooks, a un foyer Wootten (fig. 112) et des tiroirs cylindriques.

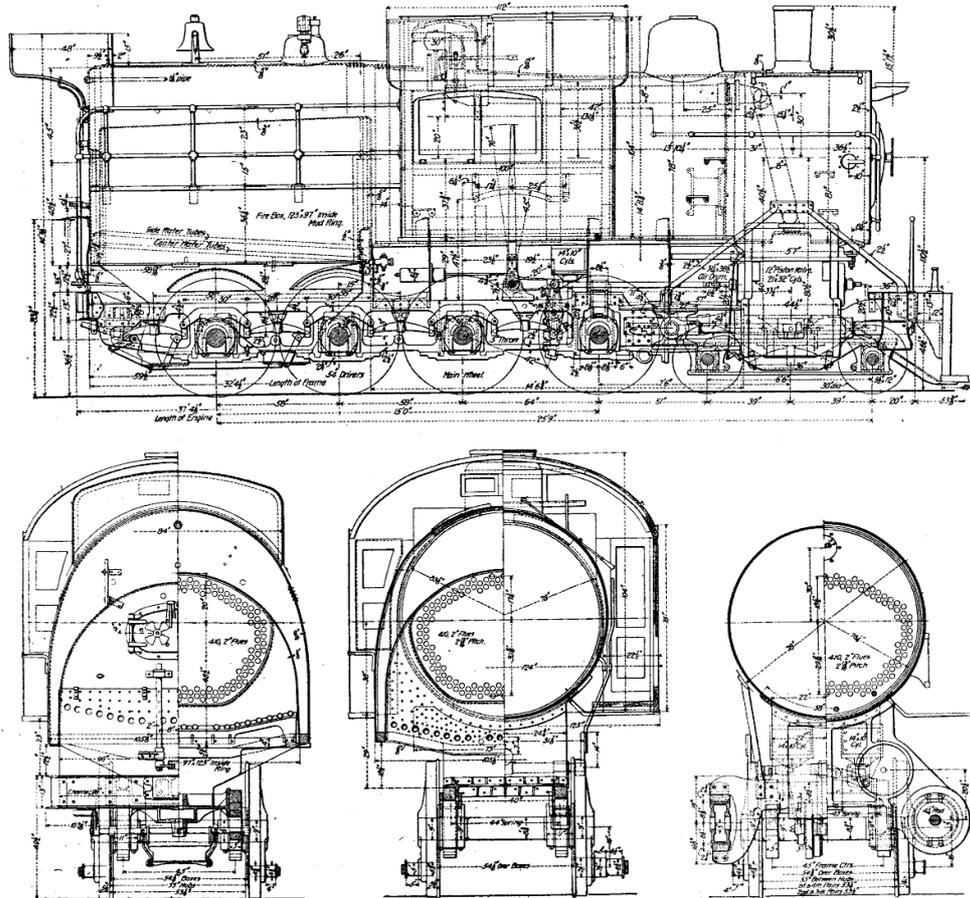


Fig. 112. — Locomotive du *Delaware, Lackawanna and Western Ry*, à foyer Wootten (d'après la *Revue de mécanique*, nov. 1899, p. 553).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	7 ^m 2,65
— de chauffe	275 m ² .
Timbre	14 kg.
Cylindres : diamètre	530 mm.
— course	810 mm.
Diamètre des roues motrices	4 ^m ,37
Poids en service	93 t.
— adhérent	75 ^t ,3

Les locomotives à *cinq essieux couplés* sont rarement employées. On en trouve quelques-unes aux États-Unis. Par exemple, les machines du *New York, Lake Erie, and Western R. R.*, avec truck d'un essieu à l'avant, détente Vaucrain et foyer Wootten, ont les dimensions suivantes (voir M. Demoulin, *Traité pratique de la machine locomotive*, t. I, p. 411) :

Surface de grille.	8 ^{m²} ,31
— de chauffe.	224 ^{m²} ,97
Timbre.	12 ^{kg} ,67
Cylindres : diamètres.	408 et 586 mm.
— course.	711 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,270
Poids total en service.	88 ^t ,45
— adhérent.	78 tonnes.

LOCOMOTIVES-TENDERS

Les locomotives-tenders servent surtout aux manœuvres dans les gares, à la remorque des trains de faibles parcours dans la banlieue des villes et sur des embranchements secondaires ; elles se prêtent, mieux que les machines à tender séparé, à la marche dans les deux sens, commode pour ces courts trajets. On

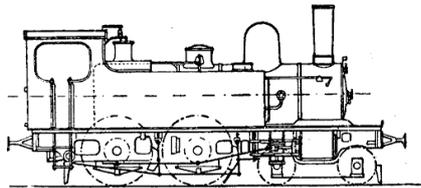


Fig. 113. — Locomotive fourgon de l'État français (d'après la *Revue de mécanique*, juillet 1900, p. 95).

s'en sert souvent sur les lignes à voie étroite, qui forment [des réseaux] secondaires dans les pays où la voie normale sert pour les lignes principales. Enfin les locomotives articulées, disposées pour la circulation sur les lignes sinueuses, sont fréquemment des machines-tenders.

Certaines petites machines de gares portent une caisse en forme de selle sur la chaudière pour contenir l'approvisionnement d'eau. Le plus souvent, on fait usage pour l'eau et le combustible de soutes latérales, auxquelles on peut ajouter, surtout pour le combustible, une caisse placée à l'arrière de la machine. Les soutes latérales, pour peu qu'on les allonge jusque vers l'avant de la machine, rendent difficile l'accès aux mécanismes intérieurs, et, pour ce motif, les cylindres extérieurs, avec mécanisme de distribution extérieur, sont préférables.

Les dispositions d'essieux sont assez variées. Le nombre d'essieux couplés varie de 2 à 4 et même 5, dans certaines machines de rampes. Parfois l'adhérence est totale ; souvent il y a des essieux porteurs, à l'avant ou à l'arrière, ou aux deux extrémités. On fait assez fréquemment usage du bogie, à l'avant ou à l'arrière, avec ou sans essieu porteur à l'autre extrémité. Les figures qui suivent donnent des exemples de ces diverses dispositions.

La machine à deux essieux seulement, accouplés, est encore employée quel-

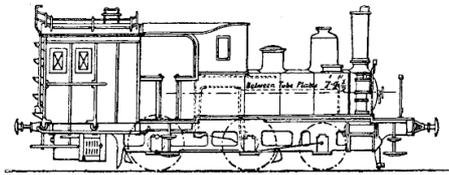


Fig. 113 bis. — Locomotive tender à deux essieux couplés et à bogie du Nord.

quefois, notamment en Allemagne pour des trains locaux. La petite locomotive-fourgon de l'État français (fig. 113) a, en outre, un essieu porteur à l'avant ; la machine légère du Nord français (fig. 113 bis), un bogie à l'avant ; le bogie à l'arrière est fréquent en Angleterre, pour les services de banlieue : telle est la locomotive du *South-Eastern and Chatham Ry* (fig. 114 et 115).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	4 ^m 2,54
— de chauffe.	99 ^m 2,3
Timbre.	41 ^{kg} ,2
Cylindres : diamètre.	445 mm.
— course.	640 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,676
Poids total en service.	51 ^t ,45
— adhérent.	31 ^t ,3

On trouve aussi, avec deux essieux couplés, un essieu porteur à chaque extrémité, et un bogie à une extrémité et un essieu porteur à l'autre.

Telle est une locomotive de l'État Belge exposée en 1900 (voir *Revue générale des chemins de fer et des tramways*, mars 1901, p. 236) ; le bogie est à l'avant. Du même genre est une forte locomotive des chemins Bavares (fig. 126) destinée aux trains entre Munich et les Alpes. (Voir *Revue générale des chemins de fer et des tramways*, mai 1901, p. 474.)

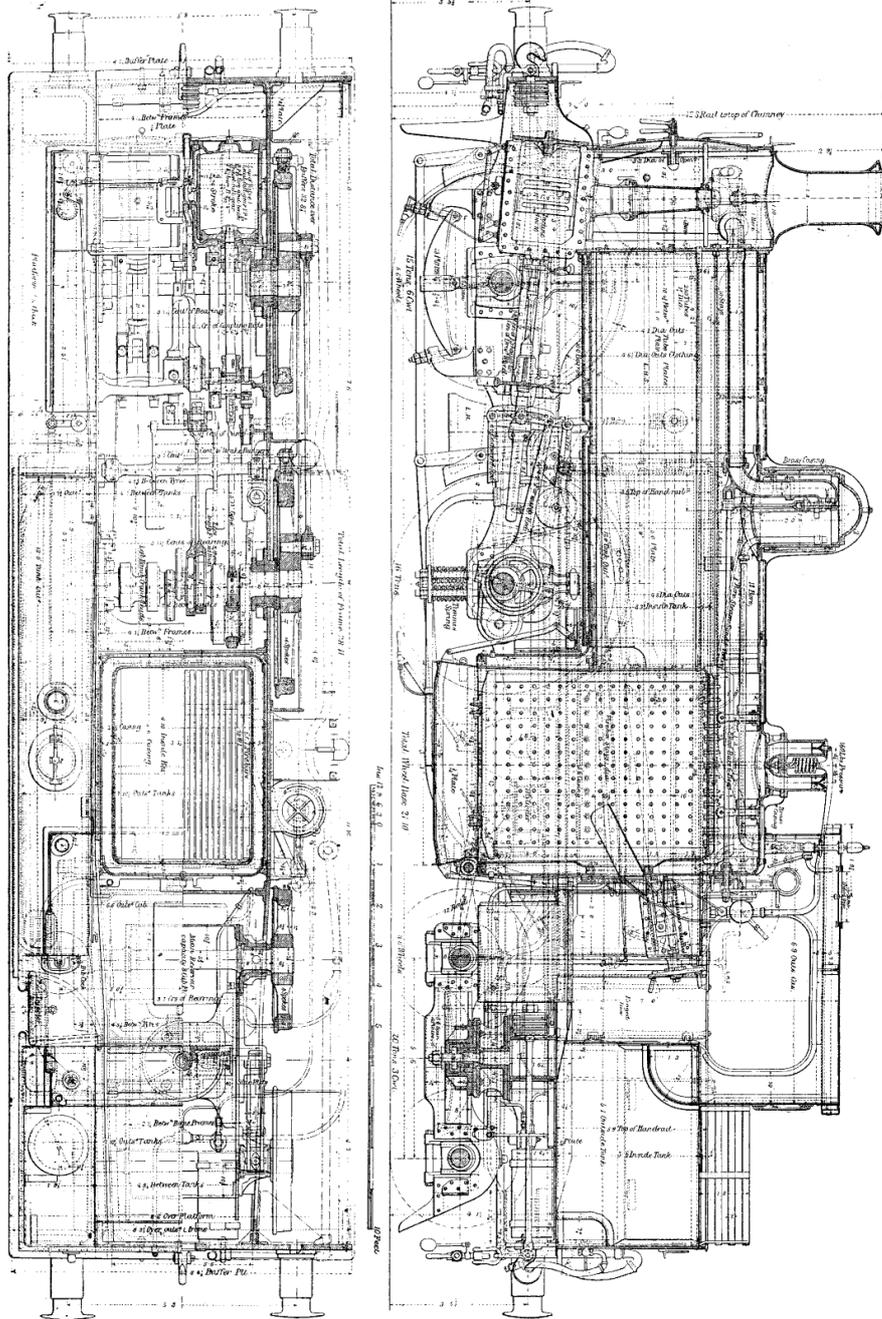


Fig. 11. — Locomotive-tender du South-Eastern und Chatham Ry.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	1 m ² ,96
— de chauffe	115 m ² ,40
Timbre	12 kg.
Cylindres : diamètre	450 mm.
— course	560 mm.
Diamètre des roues motrices	1 m,640
Poids total en service	68 t,8
— adhérent	30 t.
Capacité des soutes : eau	10 m ³ .
— charbon	3 m ³ ,7

L'essieu porteur d'avant est fixé sur un truck du système Krauss; ce truck, articulé autour d'une cheville, placée à peu près sur l'axe de la cheminée, peut

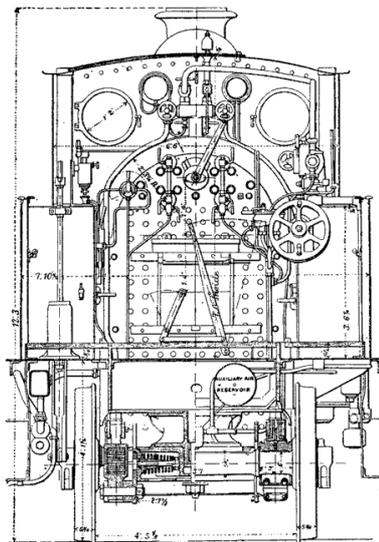


Fig. 115. — Locomotive-tender du *South-Eastern and Chatham Ry*; vue d'arrière.

prendre un déplacement radial; en même temps l'articulation arrière du truck, sur une traverse qui réunit les boîtes de l'essieu couplé avant, donne à cet essieu un déplacement transversal. Les bielles d'accouplement ont des articulations sphériques. Les longerons sont entretoisés par deux caisses en tôle qui forment des réservoirs d'eau supplémentaires.

Une récente locomotive des chemins de fer du Nord (fig. 117) a un bogie à chaque extrémité. Ces deux bogies tournent autour de chevilles sans déplacement transversal. Les boudins des quatre roues motrices sont amincis, pour

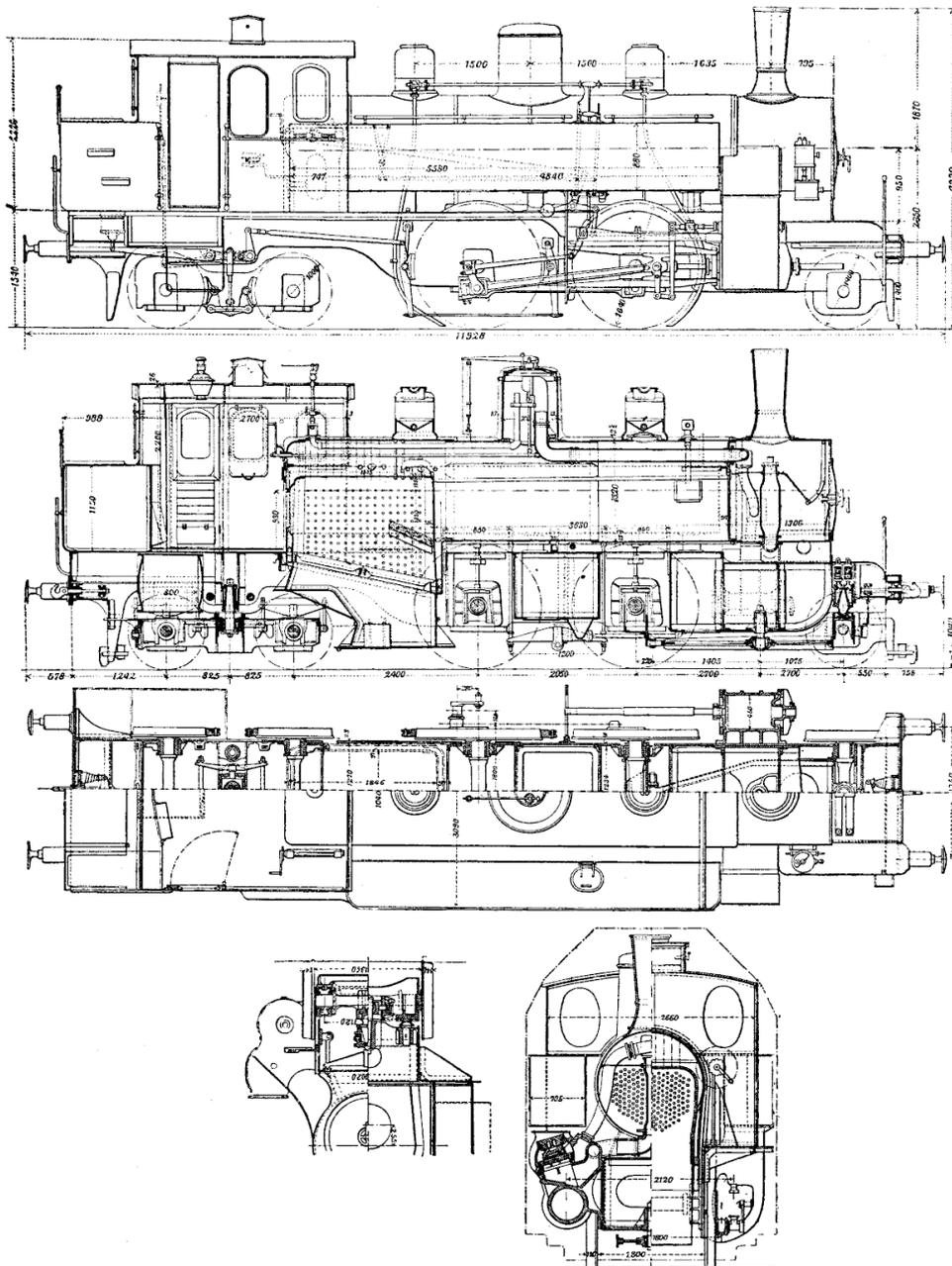


Fig. 416. — Locomotive-tender des chemins Bavaoais (d'après la *Revue de mécanique*, juin 1901, p. 687).

faciliter l'inscription en courbe. Cette machine présente des particularités intéressantes : les appareils de manœuvre sont doubles (fig. 117 bis), pour donner au mécanicien toute facilité de surveiller la voie dans les deux sens de marche ; contrairement à l'usage français, ces appareils sont placés à gauche de la

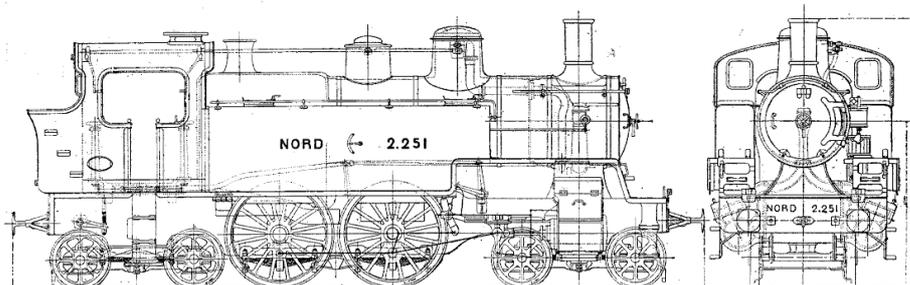


Fig. 117. — Locomotive-tender du chemin de fer du Nord à deux bogies d'après la *Revue de mécanique*, oct. 1901, p. 461).

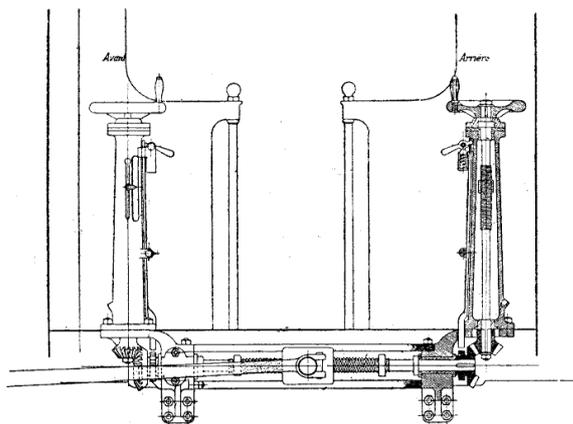


Fig. 117 bis. — Locomotive à deux bogies du chemin de fer du Nord : changement de marche à commande double.

machine. L'arrière de la chaudière porte sur une articulation à rouleur pour faciliter la dilatation, mais elle est maintenue par une tôle verticale, fixée perpendiculairement aux longerons, assez haute pour fléchir facilement quand la chaudière se dilate (fig. 117 ter).

La figure 117 quater montre comment les caisses à eau latérales sont articulées, afin de faciliter l'accès aux entretoises du foyer (1).

(1) Voir, sur cette locomotive, la *Revue de mécanique*, oct. 1901, p. 461, et la *Revue générale des chemins de fer et des tramways*, août 1901, p. 307.

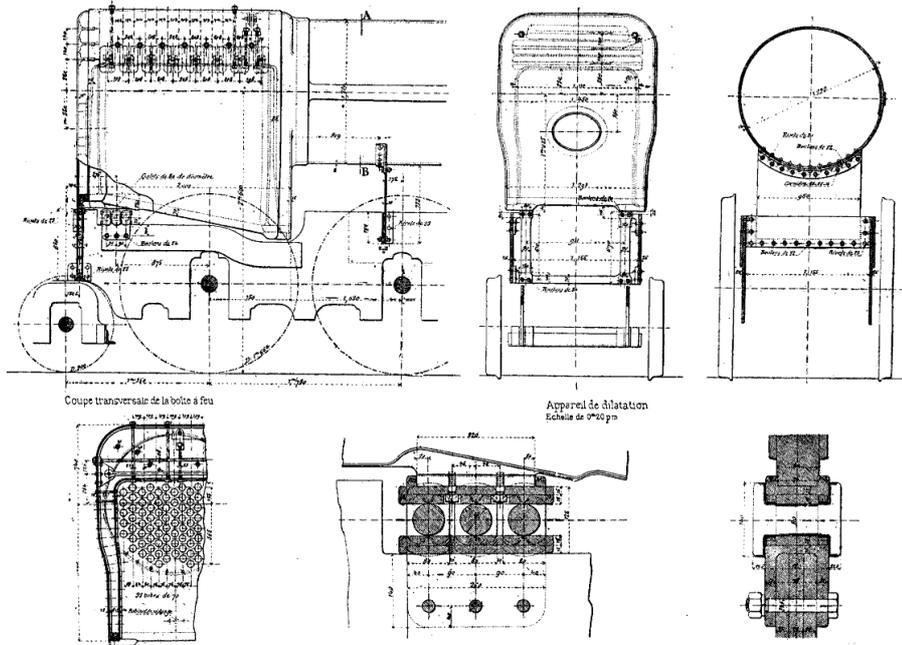


Fig. 117 ter. — Locomotive à deux bogies du chemin de fer du Nord : support à dilatation de l'arrière de la chaudière.

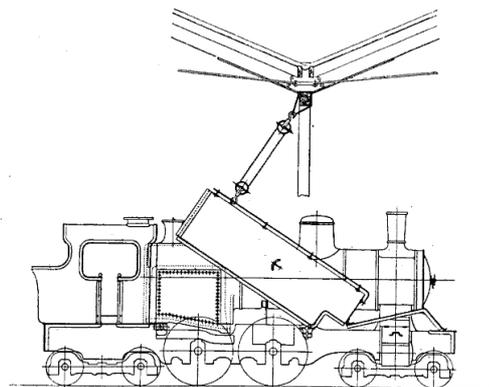


Fig. 117 quater. — Locomotive à deux bogies du chemin de fer du Nord : articulation des caisses à eau.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Cylindres : diamètre	430 mm.
— courbe	600 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,664
Poids total en service	»
— adhérent	32 t.
Eau dans les soutes	»
Combustible	3 ^t ,5

Avec trois essieux couplés, à adhérence totale, la petite machine compacte de l'Ouest est très usitée pour les trains de banlieue (fig. 118) ; le type de ces

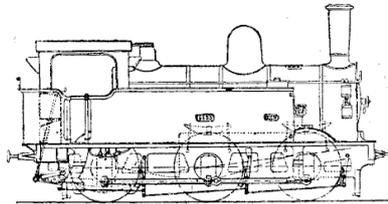


Fig. 118. — Locomotive-tender à 3 essieux couplés de l'Ouest.

machines remonte à l'année 1883 ; on en a commandé encore en 1898, les modifications apportées aux machines pendant cette période étant peu importantes.

Aux trois essieux porteurs on ajoute parfois un essieu porteur, comme dans

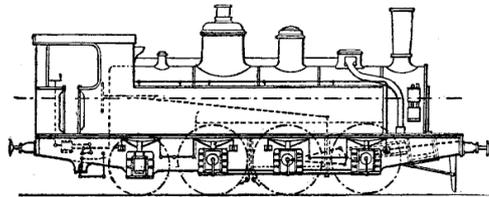


Fig. 119. — Locomotive-tender de l'Est, à 3-4 essieux.

la machine de banlieue de l'Est (fig. 119). Dans cette machine, les cylindres sont intérieurs avec longerons extérieurs, disposition peu fréquente.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	2 ^m 3,26
— de chauffe.	129 ^m 2,32
Timbre.	12 kg.
Cylindres : diamètre	460 mm.
— course	600 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,56
Poids total en service.	60 t.
— adhérent.	45 ^t ,2
Capacité des soutes à eau.	5 ^m 3,22
— à combustible	3 t.

On a récemment trouvé avantage à transformer ces locomotives en les munissant d'un bogie à l'avant (fig. 120), afin de permettre la marche à grande vitesse sans inconvénient.

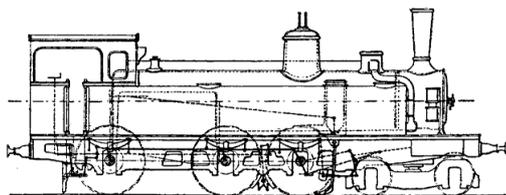


Fig. 120. — Locomotive-tender de l'Est transformée, à 3 essieux couplés et à bogie.

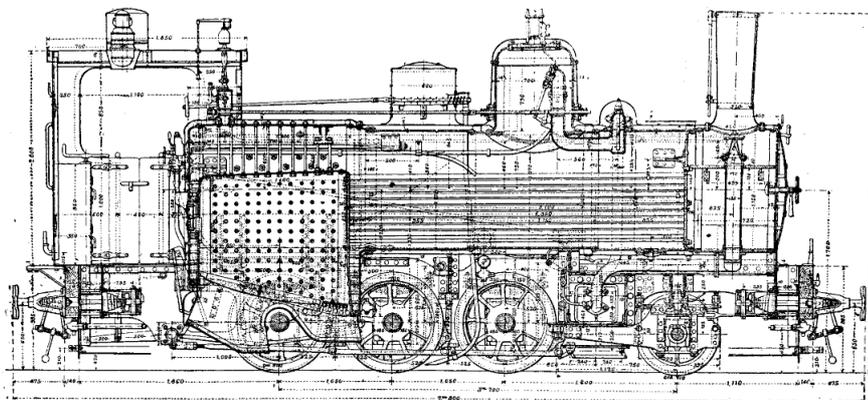


Fig. 121. — Locomotive-tender des chemins de fer du Sud de la France, à voie d'un mètre (d'après la *Revue de mécanique*, oct. 1900, p. 510).

L'essieu porteur peut être à l'avant comme sur la locomotive des chemins de fer du Sud de la France, pour voie d'un mètre (fig. 121).

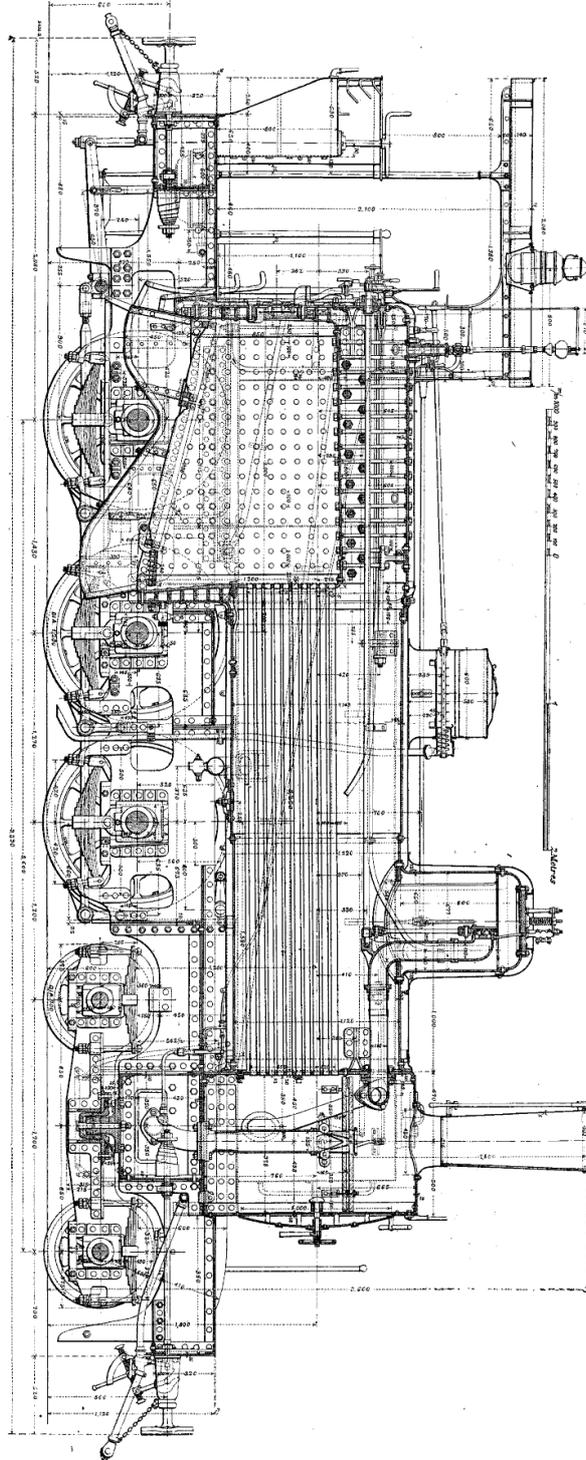


Fig. 122. — Locomotive des chemins de fer du Sud de la France (d'après la Revue de Mécanique, oct. 1900, p. 514).

Une locomotive construite en Amérique pour le *Barry Ry* d'Angleterre à trois essieux couplés avec un essieu porteur à l'arrière (fig. 123). Le châssis de cette machine est une combinaison des système américain et européen : formé de barres à l'avant, il comporte des longerons en tôle au droit du foyer. Les dimensions principales sont les suivantes :

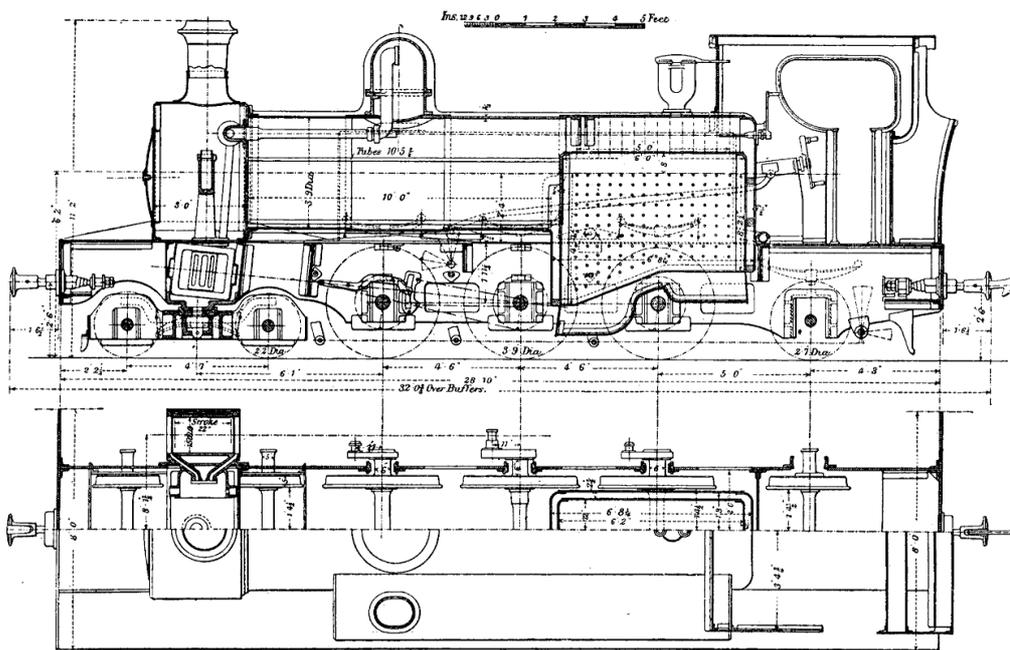


Fig. 123. — Locomotive à voie de 0^m,90 pour le *Londonderry and Lough Swilly Ry*, Irlande (d'après la *Revue de mécanique*, mars 1900, p. 347).

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	1 m ² ,95
— de chauffe	103 m ² .
Timbre	41 kg,2
Cylindres : diamètre	437 mm.
— course	610 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,32
Poids total en service	57 t.
Capacité des soutes à eau	5 m ³ ,9
— à charbon	1 ^t ,75

Le bogie à l'avant se trouve sur de récentes locomotives-tenders des chemins de fer de l'Ouest. Le mécanisme de distribution et les cylindres sont

extérieurs. Les soutes à eau et à combustible, souvent trop petites dans les machines-tenders, ont une capacité assez grande (7^m³,3 d'eau et 2,5 t. de houille); aussi ces machines peuvent-elles faire des parcours assez longs, ce qui permet de les employer pour beaucoup de trains de voyageurs et de marchandises. Dans des expériences, une de ces locomotives a atteint la vitesse de 118 kilomètres à l'heure, vitesse assez grande avec des roues de 1^m,51.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	1 ^m ² ,80
— de chauffe.	131 ^m ² ,60
Timbre.	12 kg.
Cylindres : diamètre.	460 mm.
— course.	600 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,51
Poids total en service	58 ^t ,9
— adhérent	43 ^t ,9

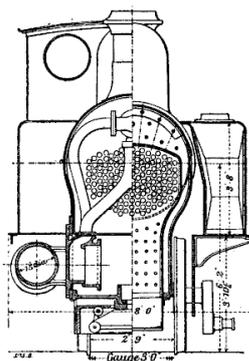


Fig. 124. — Locomotive pour le *Londonderry and Lough Swilly Ry*; coupes transversales.

D'autres machines-tenders à 3 essieux couplés ont un bogie à l'arrière. Lorsque ces machines sont employées à des services en navette sans être tournées aux extrémités du parcours, que le bogie soit à l'avant ou à l'arrière, il n'est bien disposé que pour un trajet sur deux.

En résumé, on voit que plusieurs chemins de fer se préoccupent d'augmenter la puissance des machines-tenders, de les munir d'approvisionnements assez forts d'eau et de combustible, et enfin, ce qui est logique, de les disposer pour que la circulation soit aussi bonne et aussi commode dans les deux sens. En ce qui concerne la puissance, limitée par les poids qu'on ne doit pas dépasser sous les essieux, l'addition des approvisionnements sur la machine impose en général une limite plus basse que pour les machines à tender séparé ; d'autre part,

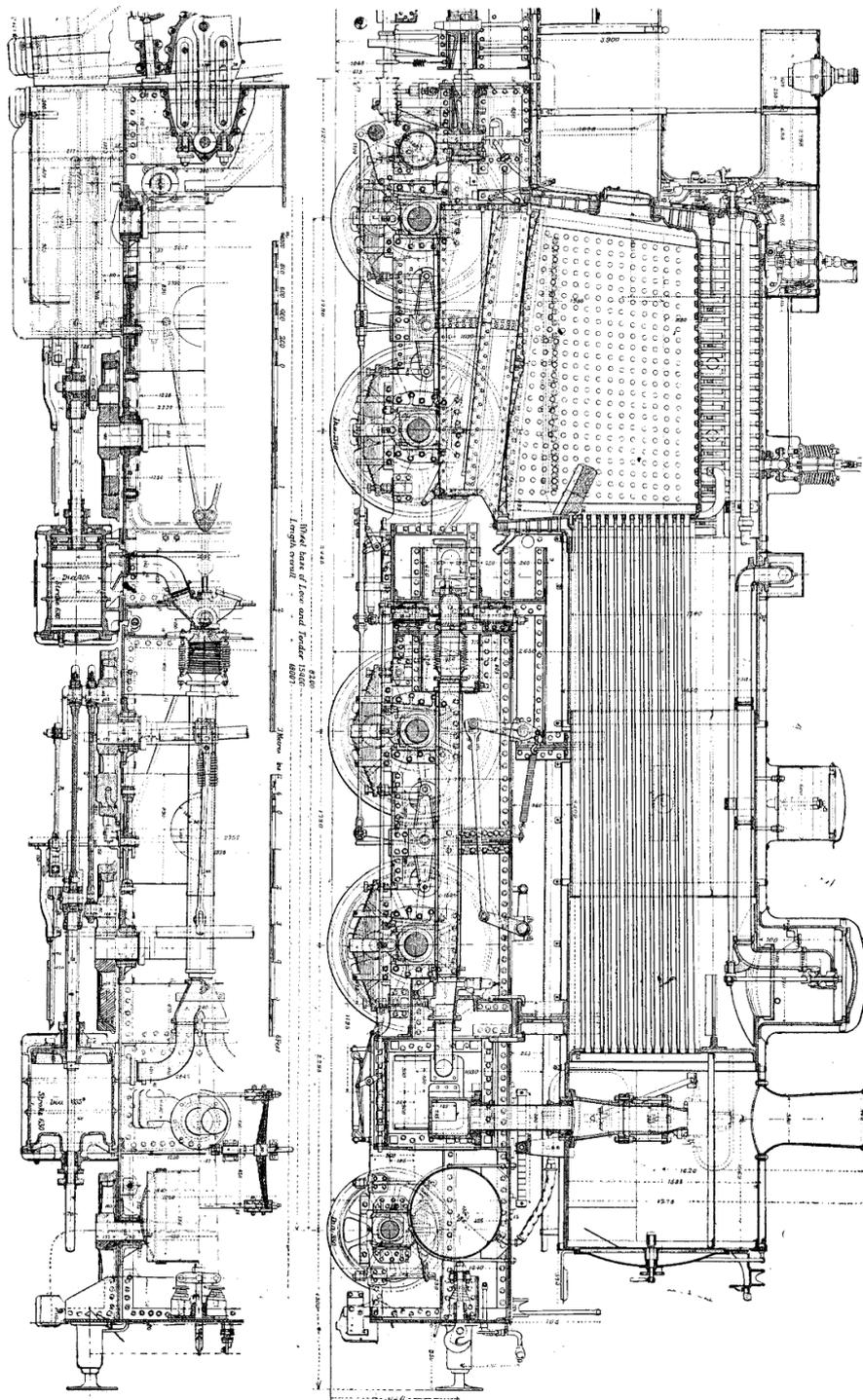


Fig. 125. — Locomotive Mallet des chemins Bavarois (d'après la Revue de mécanique, sept. 1900, p. 367).

le nombre des essieux de la machine-tender, allongée vers l'arrière, est souvent plus grand.

LOCOMOTIVES ARTICULÉES

Les dispositions étudiées pour concilier une adhérence totale ou presque totale avec une grande flexibilité de la locomotive sont nombreuses; l'accouplement de 4 ou 5 essieux parallèles, à l'aide de bielles ordinaires, conduit à une base rigide trop grande pour le passage facile dans les courbes raides, même quand on donne aux essieux extrêmes une certaine mobilité suivant leur axe.

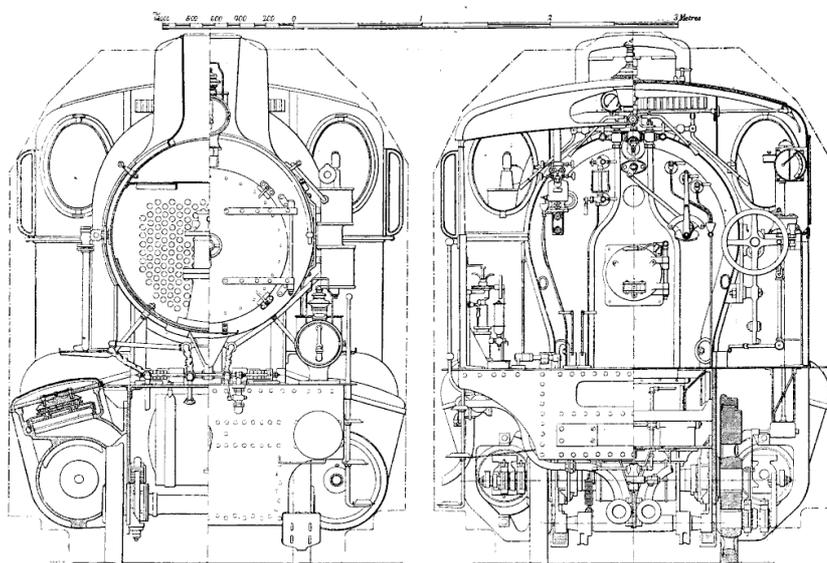


Fig. 126. — Locomotive *Mallet* des chemins Bavarois; coupes transversales.

Une description détaillée de ces systèmes divers n'entre pas dans le cadre de la présente étude, consacrée surtout à l'examen des dispositions les plus générales de la locomotive. Aussi ne trouvera-t-on ici que quelques indications sommaires sur les locomotives articulées.

Une disposition assez répandue est celle des locomotives *Mallet*, compound à 4 cylindres : deux groupes d'essieux séparés sont commandés l'un par les deux cylindres à haute pression, l'autre par les deux cylindres à basse pression. Le premier groupe est relié au châssis de la locomotive, suivant la disposition ordinaire; le second groupe est porté par un truck avec articulation *Bissel*;

le tuyau articulé d'admission de vapeur à ce groupe n'est soumis qu'à la pression du réservoir intermédiaire (1).

Les figures 125 à 127 représentent une forte machine Mallet, à tender séparé, des chemins royaux Bavaoïs, exposée à Vincennes en 1900.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille.	2 ^m 2,65
— de chauffe	157 ^m 2,5
Timbre.	15 kg.
Cylindres : diamètres	400 et 635 mm.
— course.	630 mm.
Diamètre des roues motrices.	1 ^m ,34
Poids total	67 t.
— adhérent	56 t.

Une locomotive-tender Mallet, de très grande puissance, a été construite pour l'État Belge (fig. 128). La chaudière est du type Belpaire proprement dit, avec

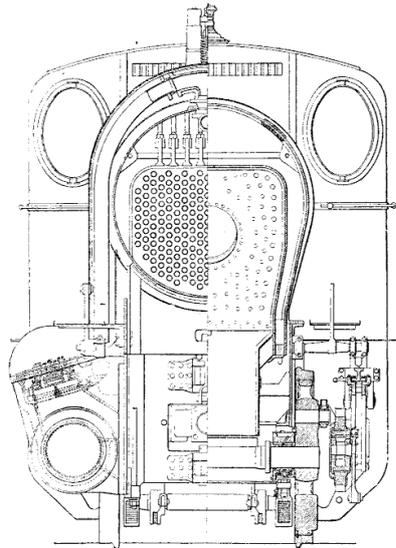


Fig. 127. — Locomotive *Mallet* des chemins Bavaoïs; coupes transversales.

foyer débordant au-dessus des roues et cheminée carrée. Elle renferme 164 tubes Serve de 70 mm. à l'extérieur. Les six essieux forment deux groupes de trois accouplés. La commande des changements de marche (fig. 129) se fait

(1) On trouvera dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* (année 1896, p. 628) un rapport sur les locomotives Mallet.

par levier ou par vis, avec cylindre auxiliaire à vapeur; on peut actionner séparément les relevages des deux groupes. Les tiroirs sont cylindriques.

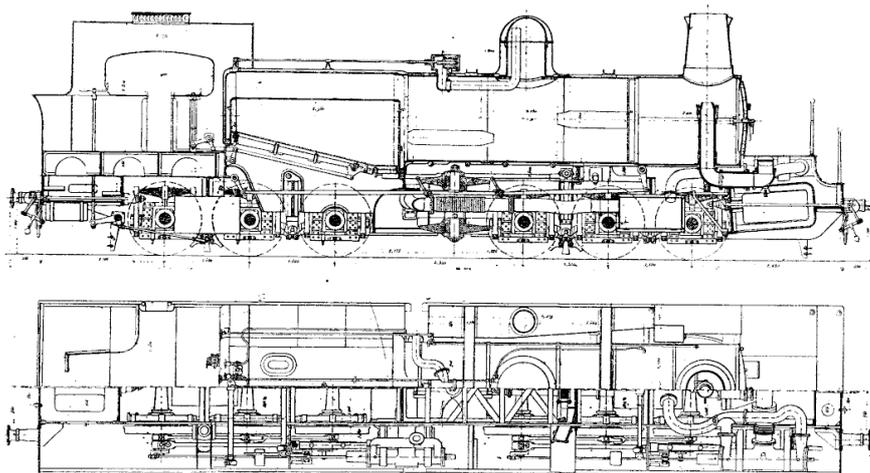


Fig. 128. — Locomotive compound *Mallet* de l'État Belge
(d'après la *Revue de mécanique*, oct. 1898, p. 427).

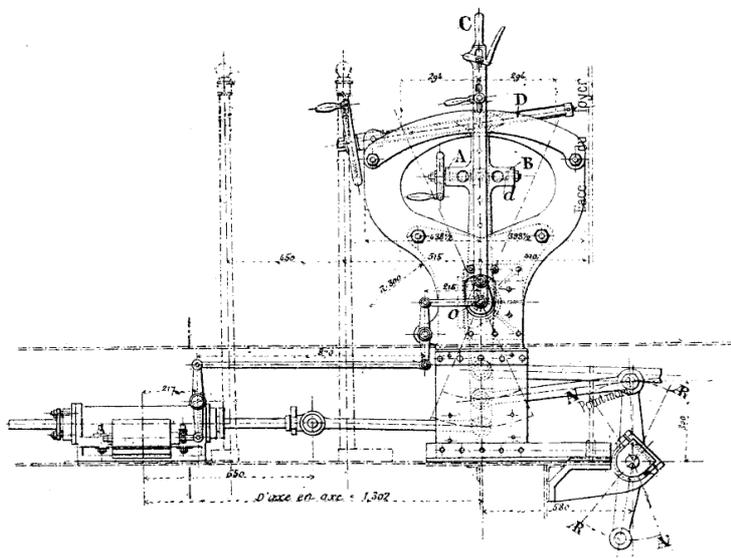


Fig. 129. — Changement de marche de la locomotive *Mallet* de l'État Belge.

DIMENSIONS PRINCIPALES

Surface de grille	7 ^m 2,98
— de chauffe	273 ^m 2,74
Timbre.	15 atm.
Cylindres : diamètres.	500 et 810 mm.
— course	650 mm.
Diamètre des roues motrices	1 ^m ,30
Poids total en service	99 t.
Eau dans les soutes.	9 m ³ .
Charbon dans les soutes.	3 ^m 3,5

Parfois on a voulu commander deux groupes d'essieux à l'aide de deux cylindres seulement. Il faut alors des transmissions assez compliquées pour le groupe articulé par rapport au châssis principal de la machine. Beaucoup de systèmes anciens ont été imaginés à cet effet. La disposition de Hagans est

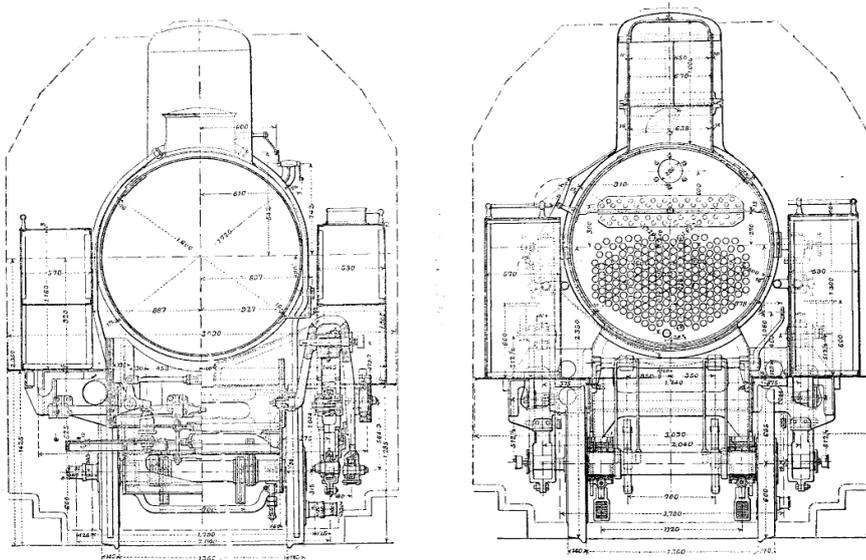
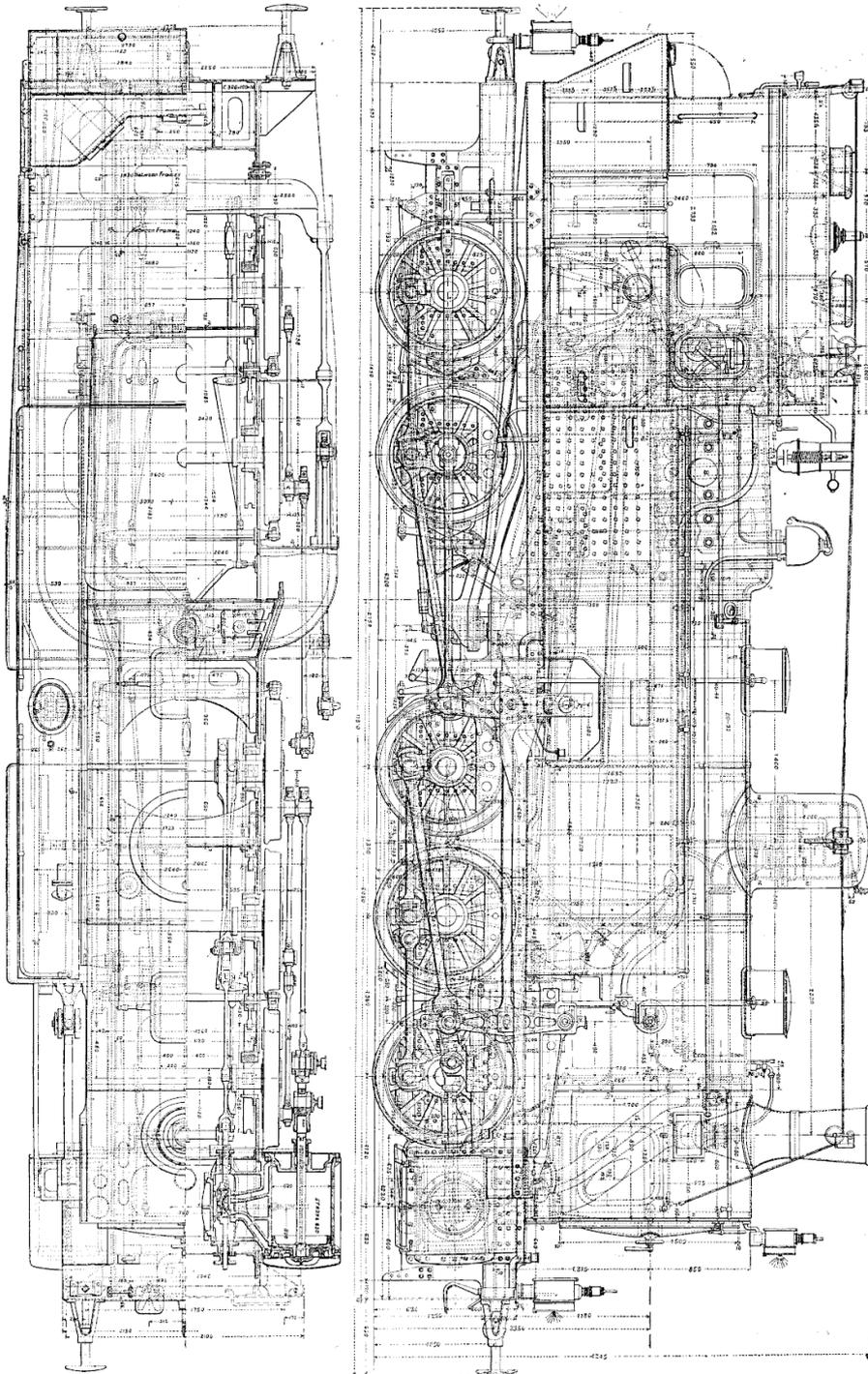


Fig. 130. — Locomotive articulée Hagans; coupes transversales.

un exemple récent de ces mécanismes (fig. 130). Le groupe d'avant, à trois essieux couplés, est commandé à la manière ordinaire; le groupe d'arrière, qui comprend deux essieux couplés, est commandé par l'intermédiaire de balanciers.

La figure 132 représente le schéma de cette transmission. Les trois essieux d'avant, accouplés, sont commandés à la façon ordinaire par la tige de piston P. Celle-ci actionne en outre le balancier BD, par la petite bielle AB. Le balan-

Fig. 131. — Locomotive articulée Hagans (d'après la Revue de mécanique, nov. 1900, p. 646).



cier BD, par la bielle *ab*, commande le second balancier, EF, dont l'extrémité F porte la bielle FG. L'extrémité E de ce second balancier n'est pas fixe, elle est portée par le troisième balancier, HE, oscillant autour du centre fixe M, de manière à compenser l'effet du déplacement du train moteur arrière.

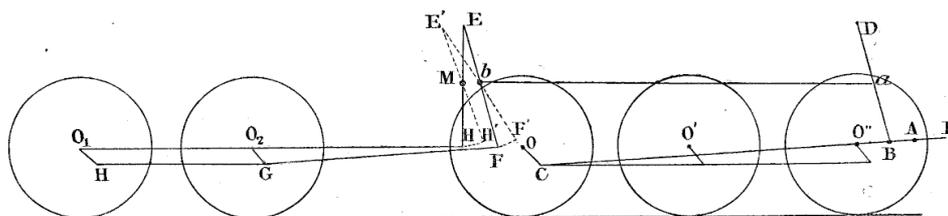


Fig. 132. — Schéma de la transmission Hagans.

Les organes de ces mécanismes de transmission, soumis à de grands efforts, doivent avoir de fortes sections : ils forment des ensembles assez lourds et coûteux, qui, *a priori*, ne paraissent guère préférables à la commande par groupes séparés de cylindres, qui n'exige que les pièces ordinaires de la locomotive.

CONCLUSION

La liste déjà longue, quoique bien incomplète, de locomotives diverses, qui viennent d'être passées en revue, peut donner une idée de la construction actuelle de ces engins. En comparant les machines les plus récentes à celles que l'on construisait encore peu d'années auparavant, et qu'on voit en service sur beaucoup de chemins de fer, on est surtout frappé de l'augmentation de leur puissance; cette augmentation de puissance est commandée soit par les nécessités de l'exploitation, c'est-à-dire par la charge et la vitesse des trains qu'il faut remorquer sur un profil déterminé, soit par le désir d'économie, qui peut résulter de l'augmentation volontaire du tonnage des trains. Le premier motif se présente surtout dans le service des trains de voyageurs; le second, dans le service des marchandises.

La puissance a des limites qui résultent du poids qu'on peut donner aux appareils : tandis qu'en Europe, ces limites ne dépassent guère 17 à 18 tonnes par essieu, on a vu, qu'en Amérique, on atteignait assez fréquemment des charges de 20 à 22 tonnes. Cette augmentation du poids par essieu doit-elle être prochainement admise par les ingénieurs européens, qui ont déjà emprunté aux Américains plusieurs dispositions caractéristiques de leurs locomotives, telles que le bogie, les chaudières très hautes, la boîte à fumée allongée? Jusqu'ici il ne semble pas que les ingénieurs de la voie soient bien disposés à accepter cet ac-

croissement des poids ; mais il est possible que la nécessité d'augmenter encore la puissance des machines justifie les sacrifices nécessaires pour cette augmentation.

Partout, on donne aux chaudières un plus grand volume, aux surfaces de grille et de chauffe une étendue plus grande. En ce qui concerne les grilles, avec les voies de largeur normale, il semble qu'on ne puisse pas dépasser beaucoup la surface de trois mètres carrés, quand le foyer descend entre les roues et surtout entre les longerons intérieurs, ce qui limite à un mètre environ la largeur de la grille. Mais d'autres dispositions de foyer sont employées depuis longtemps ; celles de Belpaire et de Wootten permettent des surfaces énormes ; souvent on se contente d'une augmentation plus limitée, en modifiant moins complètement la disposition usuelle du foyer, qui néanmoins déborde au-dessus des roues de petit ou de moyen diamètre. Les roues de très grand diamètre doivent alors rester complètement au-dessous du corps cylindrique ; les types dits *Atlantic* et *Prairie*, aux États-Unis permettent de réaliser cette disposition ; on a vu dans une construction italienne une transformation plus radicale de la machine, où la chaudière, retournée de bout en bout, a son foyer au-dessus du bogie. Dans la construction de nouvelles locomotives, qui doivent être établies non seulement de manière à satisfaire strictement aux besoins actuels, mais aussi, autant que possible, en vue des besoins probables de l'avenir, il est sage de tenir compte de ces faits : on est ainsi conduit à rechercher les dispositions de nature à augmenter encore la production des chaudières.

Par l'emploi des bogies, ou au moins des essieux porteurs mobiles, par le bon équilibre des pièces de mécanisme, par la conjugaison des ressorts au moyen de balanciers, on s'attache à rendre les locomotives très stables et à réduire les réactions qu'elles exercent sur les rails. Ces perfectionnements très importants sont de nature à compenser, dans une certaine mesure, l'effet, au point de vue de la fatigue des voies, de l'accroissement des charges statiques par essieu.

Comme faits importants en ce qui concerne le mécanisme, on peut signaler l'emploi croissant de la disposition compound et des tiroirs cylindriques. Au point de vue pratique, le perfectionnement des moindres détails de la locomotive a une grande importance : on doit constamment chercher à en rendre les pièces plus simples, plus robustes et plus facilement accessibles : sous ce rapport, les constructeurs américains ont donné plus d'un exemple utile aux ingénieurs d'Europe. Sur bien des locomotives, il y a place pour de nouvelles améliorations, spécialement en ce qui concerne les dispositions prévues pour le graissage des divers organes, dispositions souvent bien rudimentaires. Comptant sur les soins constants du personnel chargé de la conduite de la locomotive, on a souvent négligé l'étude des moyens de graissage. Il en est parfois résulté des ennuis, surtout lorsqu'on a confié la même locomotive successivement à

plusieurs équipes, moins disposées à prendre beaucoup de précautions qu'une équipe unique, toujours responsable de l'état de la machine, ignorant aussi les petits tours de main utiles dans chaque cas, faute d'appareils convenables. Comme l'emploi des équipes multiples, et même banales, est parfois nécessaire, et présente d'ailleurs certains avantages, il importe de faciliter cette méthode d'exploitation en faisant les machines assez simples et assez bien disposées pour n'exiger de leurs conducteurs aucune précaution spéciale.

Enfin, d'une manière générale, on voit que l'industrie des chemins de fer n'échappe pas à une loi qui s'impose à presque toutes les industries, par suite des progrès rapides de l'art de l'ingénieur, la transformation pour ainsi dire incessante du matériel. Lorsqu'on vient de créer de nouvelles locomotives très supérieures à celles qu'on employait précédemment, on est tenté de croire qu'on a fait une œuvre en quelque sorte définitive, ou du moins que pendant une période assez prolongée, on pourra se dispenser de créations nouvelles. La conservation pendant une longue période de types uniformes paraît bien tentante, en permettant une construction plus économique et un entretien plus facile; mais le progrès, qui ne s'arrête pas, ne permet pas de se fixer ainsi à des types déterminés. Si on prend l'exemple de la France, on sait que les chemins de fer français viennent de construire en grand nombre d'excellentes machines compound à deux et à trois essieux couplés; mais si l'on considère l'ensemble des locomotives construites dans les différentes contrées, on voit que déjà ces types, parfaits hier, sont aujourd'hui dépassés sur certains points, notamment en ce qui concerne la dimension des chaudières, et qu'il faut se préoccuper de leur apporter de nouvelles améliorations.

Certes, l'ancien matériel n'est pas, pour cela, entièrement à rebuter, et la diversité des services des chemins de fer permet de trouver une bonne utilisation pour des locomotives déjà vieilles; mais c'est à condition qu'à la vieillesse inévitable des machines, qui résulte du cours du temps, on n'ajoute pas une vieillesse factice, en leur donnant déjà plusieurs années d'âge au moment de leur construction.

NOTES DE MÉCANIQUE

LES LAMINOIRS A L'EXPOSITION DE DUSSELDORF DE 1902 (1)

Le laminoir le plus grand était celui exposé par la Duisburger Maschinenbau, anciennement Bechemet Keetman, à Duisburg. Actionné par un moteur tandem et compound, ce laminoir était destiné à l'établissement métallurgique de Burbach. La figure 1 en donne le plan général. Entre le moteur et la cage se trouve l'accouplement à l'aide duquel le cylindre inférieur du trio est actionné par deux rallonges à chaises élastiques. Les pignons à chevrons ont 660 millimètres de diamètre.

Le bâti principal porte trois cylindres horizontaux, dont le supérieur et l'inférieur ont 700 millimètres de diamètre et 1^m,200 de long, tandis que celui du milieu n'a que 560 de diamètre; l'écart maximum entre les cylindres est de 350 millimètres. Les cylindres verticaux ont 500 millimètres de diamètre; la largeur de laminage peut varier de 100 millimètres à 1 mètre.

Le réglage des cylindres horizontaux et verticaux est fait par deux machines à vapeur A et B. La machine A actionne les vis du cylindre horizontal supérieur par l'arbre incliné *a* et les pignons de *a*₁ en même temps que, par l'arbre *b*, ce même arbre *a*, commande l'aiguille des quadrants *c* indicateurs du serrage des cylindres. La machine B règle, par les arbres *c* et *d*, les cylindres verticaux en faisant tourner les écrous *f*¹, *f*² et *f*³ de leurs vis de pression. Pour chaque cylindre on a prévu trois paires de vis, dont deux l'attaquent en dessus et en dessous et la troisième au palier du manchon. Pour que les deux cylindres horizontaux puissent être mis en position simultanément, les vis *e* sont accouplées par un arbre *g*, commandé par des roues coniques et placé en avant des montants. Le serrage des cylindres verticaux est également indiqué sur un quadrant *c*. En débrayant le manchon d'accouplement, on peut faire tourner chaque vis isolément, de sorte que les axes des cylindres peuvent être mis exactement en position. Un manchon disposé en avant de l'arbre *g* permet de débrayer un côté, de sorte qu'un cylindre vertical peut être mis en position séparément. Les machines A et B sont jumelles et réversibles; leurs cylindres ont 160 millimètres × 240 de course; les renvois placés entre les machines et les arbres de commande donnent deux vitesses différentes pour la marche en avant et le retour des vis.

Le cylindre du milieu est soulevé par de l'eau sous pression et le poids du cylindre supérieur est compensé de même. Les cylindres verticaux peuvent, après usure d'un côté, être retournés.

De chaque côté des cages, on a disposé des tables mobiles avec galets et pouvant être soulevées au moyen de leviers par un piston à vapeur. L'extrémité arrière de la

(1) D'après M. FROELICH, *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 20 septembre 1902 et 21 février 1903.

table, du côté où l'on introduit la pièce, repose sur un piston hydraulique, afin que la table puisse être abaissée jusqu'au sol de l'usine.

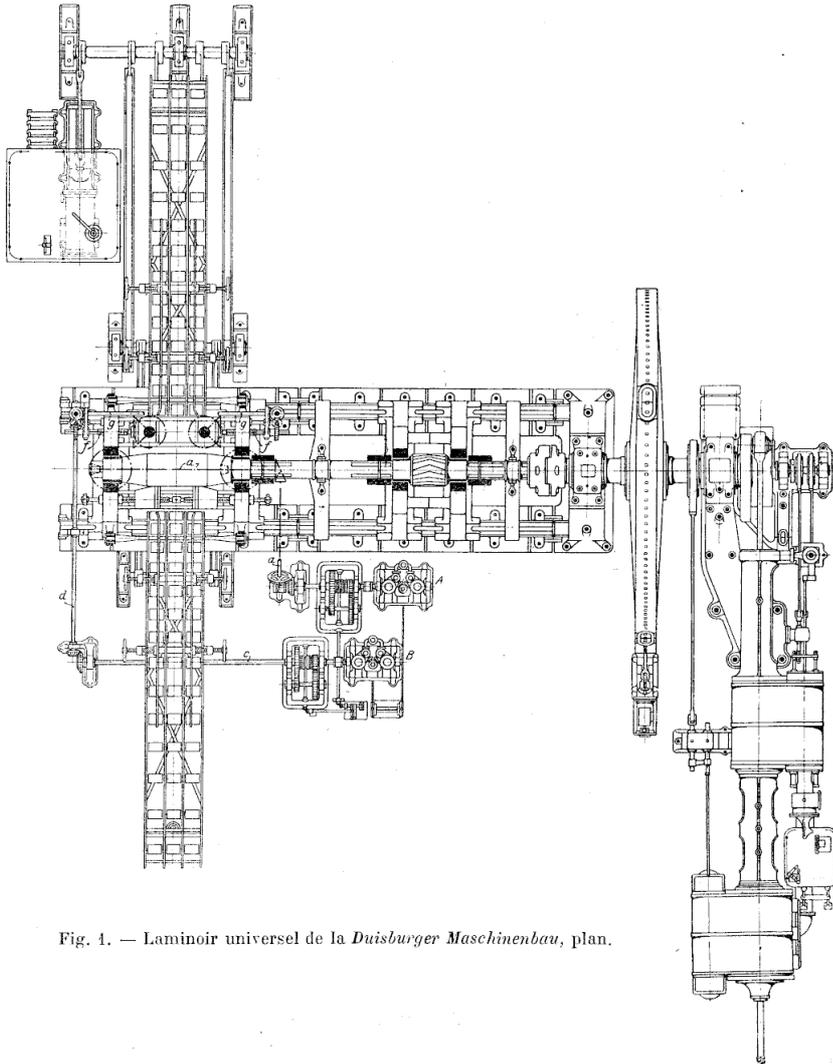


Fig. 1. — Laminoir universel de la *Duisburger Maschinenbau*, plan.

La capacité du laminoir est en moyenne de 100 tonnes par dix heures de travail.
La machine motrice a des cylindres de 750 et $1^m,60 \times 1^m,100$ de course et fait de 70 à 100 tours par minute.

Un autre laminoir universel a été exposé par les ateliers de construction Sack, de Düsseldorf-Rath (fig. 3 à 7). De chaque côté, les tables mobiles sont soulevées par

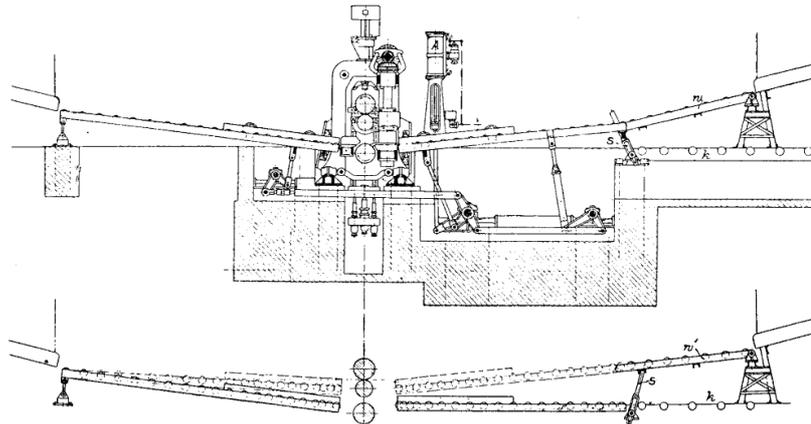


Fig. 2 et 3. — Laminoir universel de Sack.

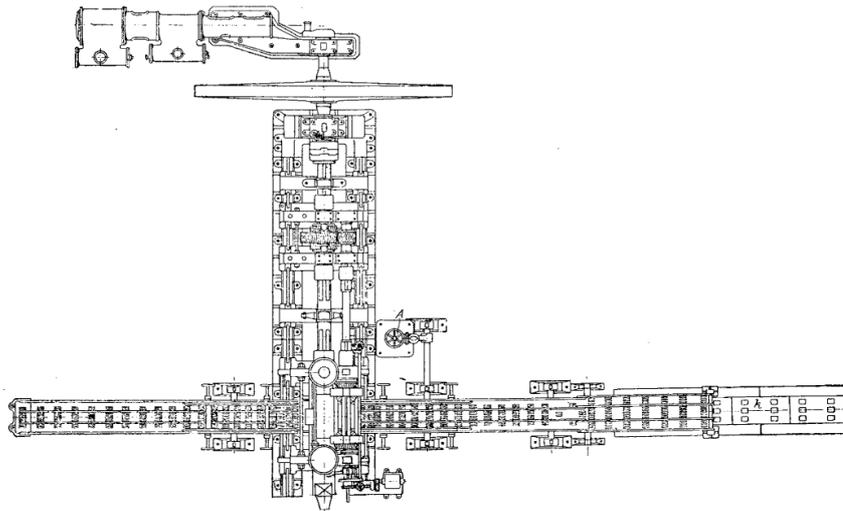


Fig. 4. — Laminoir universel de Sack.

le cylindre à vapeur A. Du côté où l'on introduit les pièces, on ne soulève que l'extrémité avant de la table, tandis que l'extrémité arrière repose sur un support oscillant; du côté opposé, les tiges de soulèvement agissent en deux points de la table. L'extrémité de cette table est, pendant le laminage, reliée à une bascule n

(fig. 2) et l'axe de jonction repose sur le support oscillant *s* et est muni d'un ressort pour amortir les chocs. Lors du dernier passage, la bascule est supportée, comme en la figure 2, par *s* et la table abaissée dans sa position horizontale, de manière à se

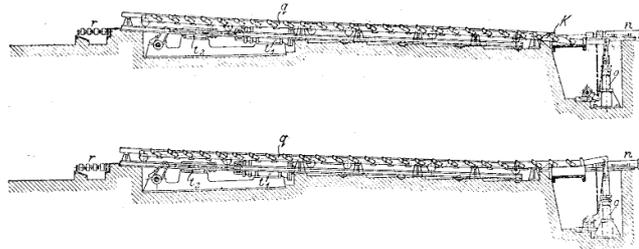


Fig. 5 et 6. — Laminier de Sack, coupe A et B (fig. 7).

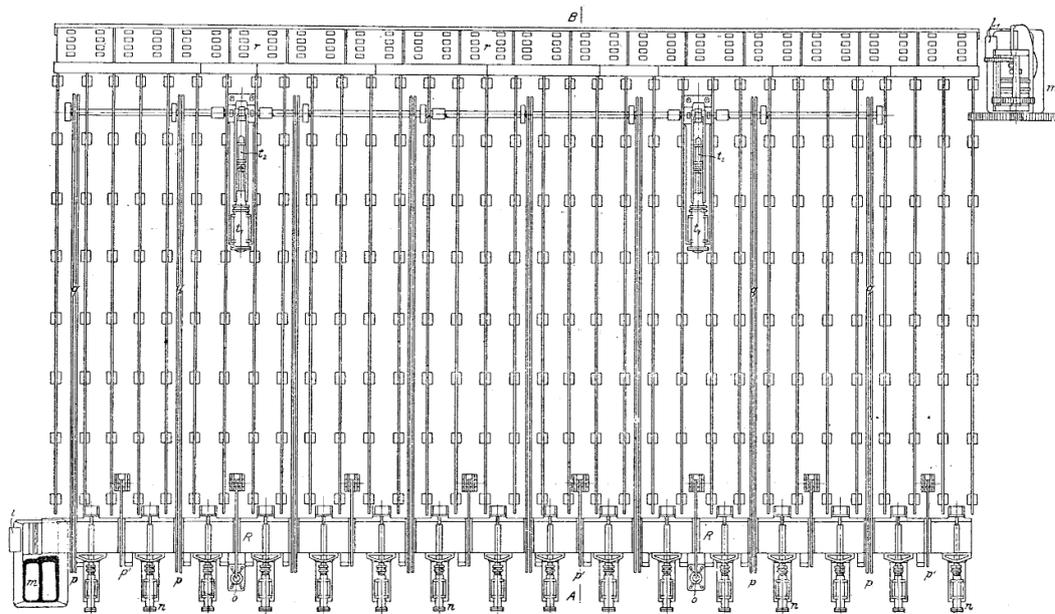


Fig. 7. — Laminier de Sack.

relier avec la table fixe à galets *k*. La barre est alors conduite par le convoyeur *l* jusqu'à la cisaille *m* (fig. 7), après quoi elle est saisie et placée sur le banc de dressage *R* (fig. 7), à cylindres hydrauliques *n*, que l'on peut manœuvrer d'une plateforme surélevée. Après le dressage, les barres sont amenées au-dessus de l'arête de dressage *K* (fig. 5) aux transbordeurs *q*, commandés, des cylindres hydrauliques *o*, par les talons *q* et *q'*. Sur la figure 5, on les voit dans leur position la plus basse; la

figure 6 les montre à l'instant où la barre est soulevée au-dessus de l'arête K. Dans cette dernière position, les convoyeurs sont mis en mouvement et la barre amenée sur la table de refroidissement. Les convoyeurs sont constitués par des basculeurs longs et étroits, munis d'un grand nombre de taquets d'entraînement, et simultanément mis en mouvement vers l'avant ou vers l'arrière par les cylindres hydrauliques $t^1 t^2$, de course limitée de façon qu'il subsiste, entre les barres consécutives, des événements par lesquels l'air chauffé peut s'échapper de la partie inférieure de la table; de cette façon, les barres se refroidissent plus rapidement. Ce dispositif présente, par rapport

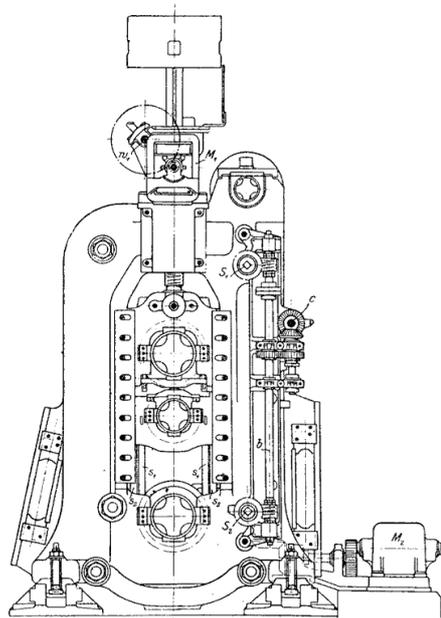


Fig. 8. — Laminoir Sack, vue par bout.

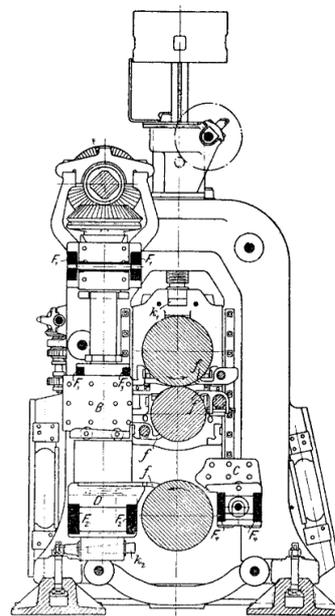


Fig. 11. — Coupe transversale.

aux convoyeurs ordinaires à chaînes, l'avantage que toutes les barres peuvent être déplacées en laissant entre elles des vides. Avec les convoyeurs à chaînes, l'avance des barres nombreuses exige beaucoup de temps et de travail. A l'extrémité de la table les barres sont placées sur la plate-forme à galets r et tracées pour le découpage; on peut y retourner les barres pour constater s'il y existe des défauts de laminage.

Le bâti universel, du type trio, système Lauth, est représenté par les figures 10 à 14. Les cages du trio Lauth (fig. 8 à 18), pesant chacune 24,52 tonnes, sont en acier moulé de Witten. Le métal présente une résistance de 42 kg. par centimètre carré et un allongement de 24,6 p. 100 sur 200 millimètres. Les cylindres horizontaux supérieur et inférieur ont 750 millimètres de diamètre et celui du milieu, 575 millimètres; le plus grand écartement entre cylindres est de 400 millimètres; les cylindres verti-

caux ont 615 millimètres de diamètre et leur écartement maximum est de 1 mètre. Les cylindres moyen et supérieur sont équilibrés par des pistons hydrauliques. Les

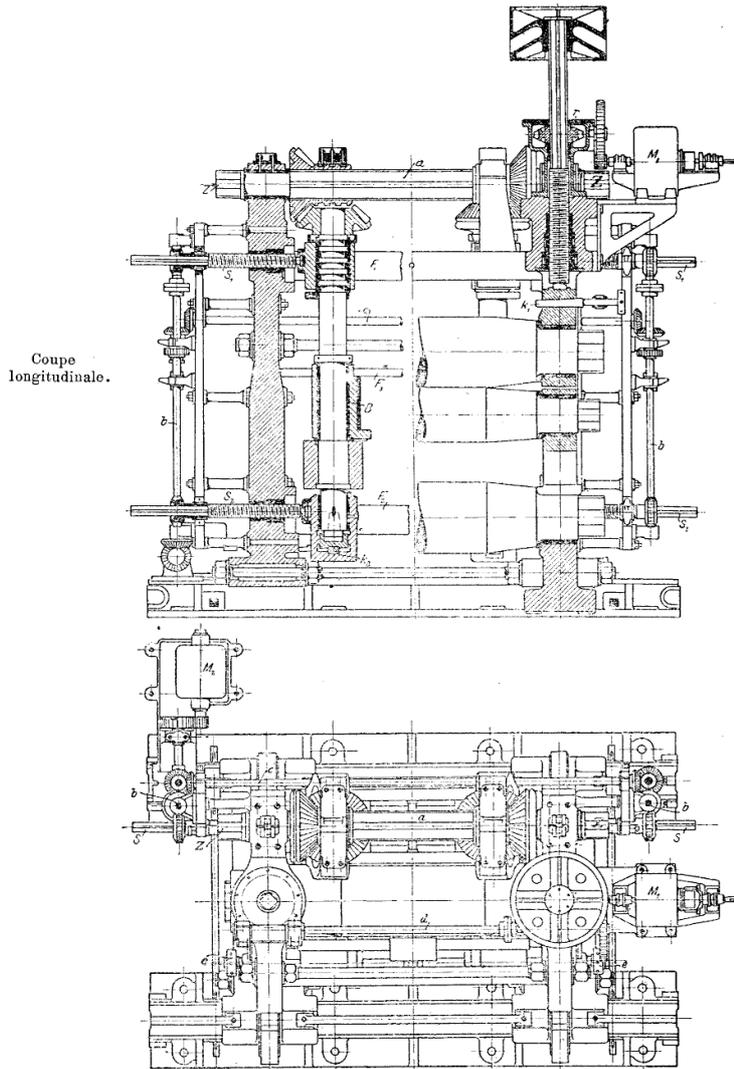


Fig. 9 et 10. — Laminoir trio Sack, plan.

vis de pression sont ajustées par les clavettes K, et commandées par le moteur M_1 et sa transmission avec engrenages hélicoïdaux enfermés dans un bain d'huile. Les

vis de pression sont munies de tambours sur lesquels une aiguille indique, à chaque instant, la position du rouleau supérieur. Ces tambours sont très solides et percés

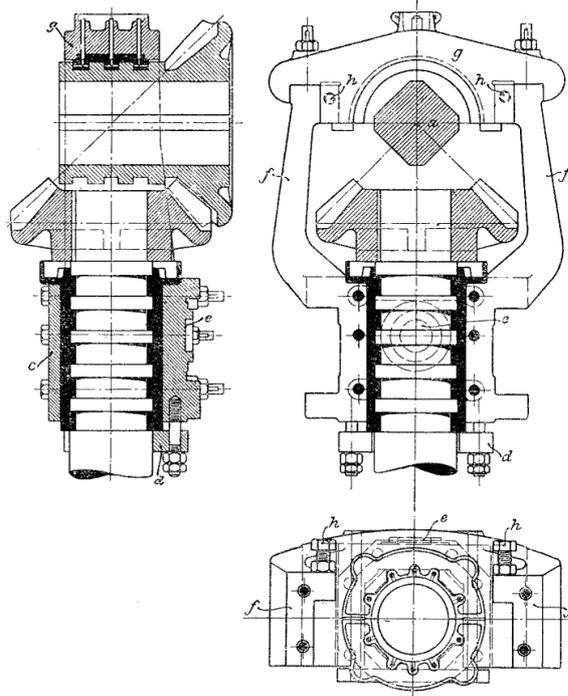


Fig. 12 à 14. — Laminoir Sack, palier de suspension des cylindres verticaux.

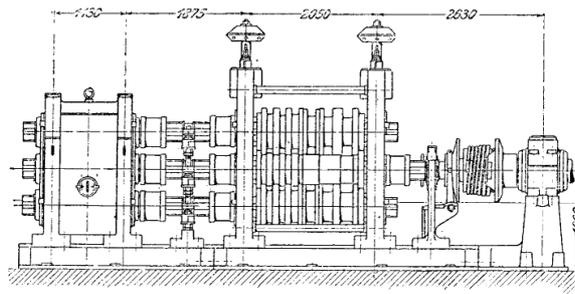


Fig. 15. — Train ébaucheur Klein.

de trous obliques, de sorte que, si les cylindres se coincent, ils pourraient être desserrés par des barres introduites dans les trous des tambours. Les deux cylindres verticaux sont commandés par les pignons coniques de l'arbre carré *a*, dont les

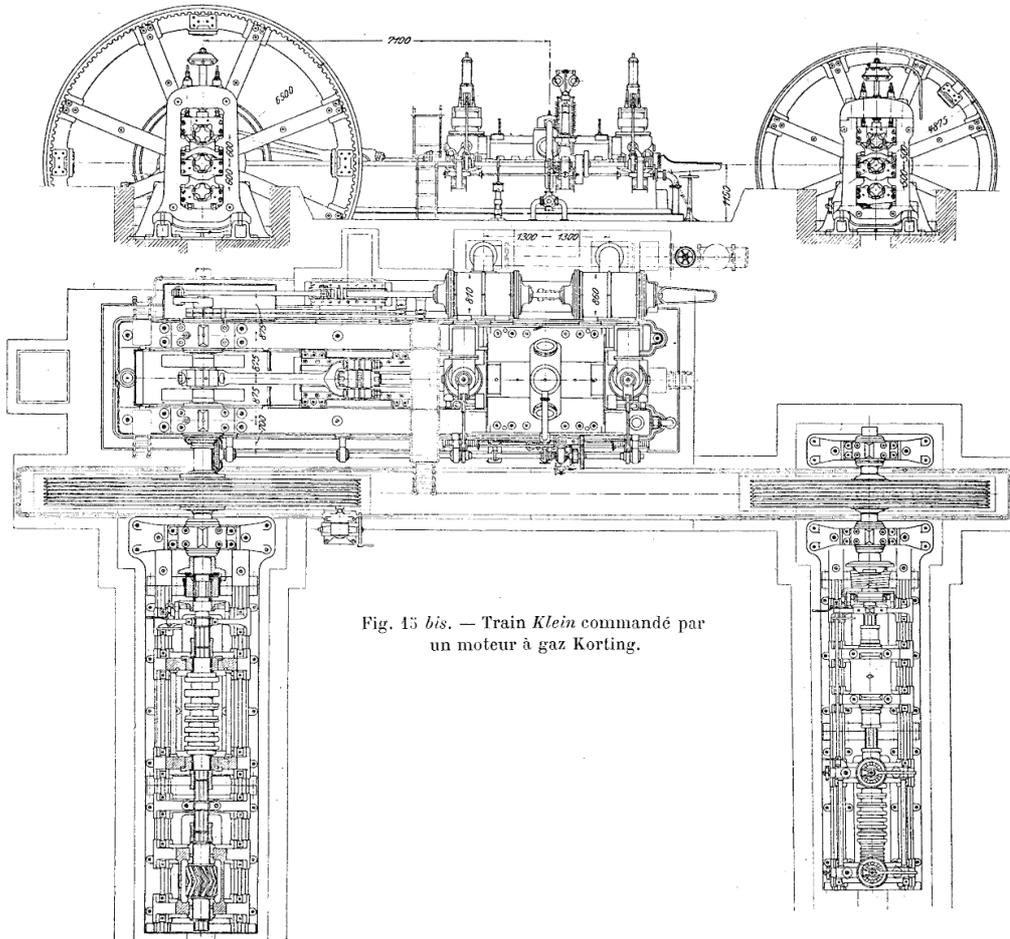


Fig. 13 bis. — Train Klein commandé par un moteur à gaz Korting.

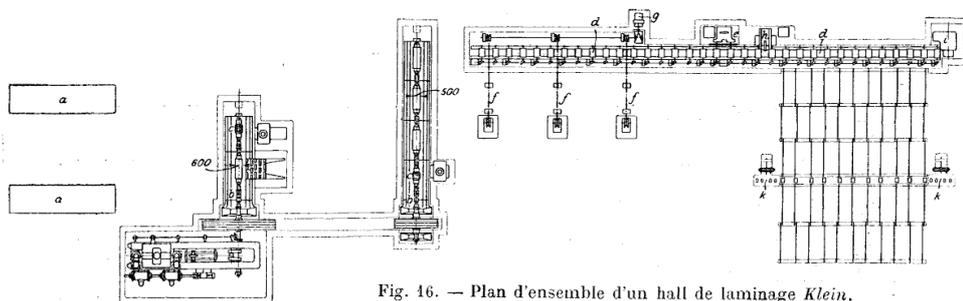


Fig. 16. — Plan d'ensemble d'un hall de laminage Klein.

trèfles Z sont reliés à l'arbre de commande. Le réglage des cylindres verticaux se fait par les vis S_1 et S_2 , commandées par les pignons des arbres b , solidarisés à volonté par l'arbre c . Les arbres b sont commandés par un moteur en série M_2 . Les moteurs M_1 et M_2 sont en série et munies de commutateurs de réglage avec un petit

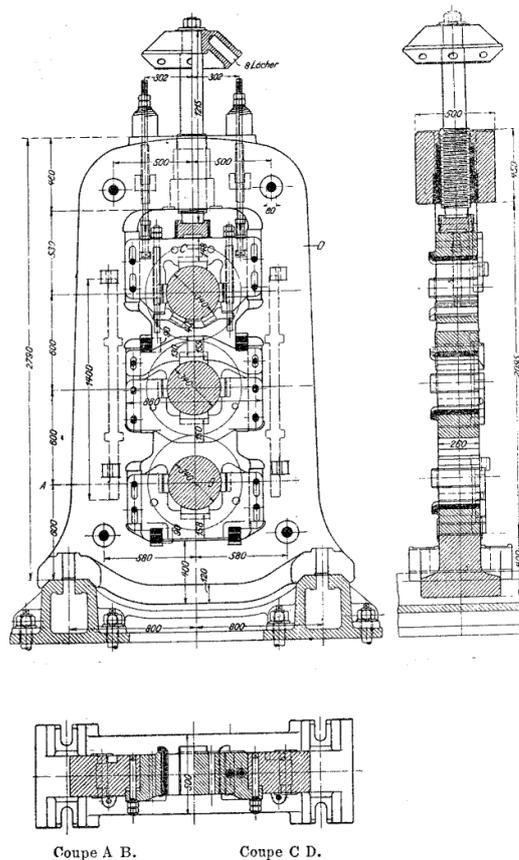


Fig. 17. — Laminoin Klein, cage de l'ébaucheur.

nombre de touches. Grâce à cette disposition on peut régler les cylindres à 0^m,1 près.

Les arbres verticaux sont maintenus par les entretoises F_2 , et les gardes latérales B par F_3 ; les gardes C sont fixées aux traverses F_4 et ajustées par les vis e .

Le palier supérieur des arbres verticaux a la forme d'un palier de butée (fig. 15 à 17) sur lequel s'exerce toute la pression dans le sens de l'axe. Les coussinets de ce palier sont maintenus par la plaque c , et portés par la traverse en fer d , suspendue par six boulons à l'entretoise F_1 , ce qui permet de rattraper l'usure verticale des coussinets. Du

corps du palier, se détachent deux bras *f*, sur lesquels se pose le chapeau *g* des coussinets de butée du pignon moteur de l'arbre *a*. L'usure peut se rattraper par les boulons *h*.

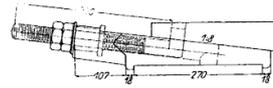
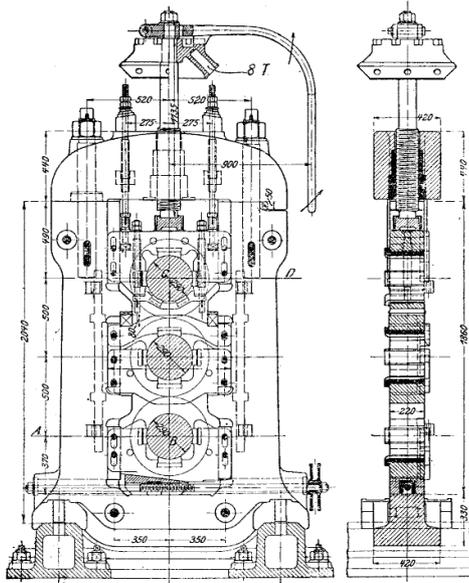
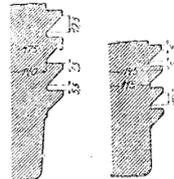
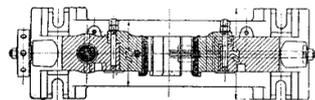


Fig. 18. — Réglage des empoises.



Ebaucheur. Finisseur.

Fig. 20. — Laminoin Klein, vis de pression.



Coupe A B.

Coupe C D.

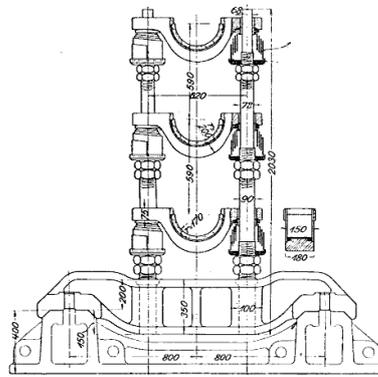
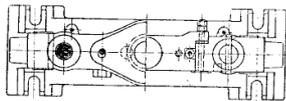


Fig. 21. — Laminoin Klein, cage des allonges.

Fig. 19. — Laminoin Klein, cage du finisseur.

Les laminoirs exposés par l'usine Klein de Dalbruch étaient actionnés par un moteur à gaz Körting à cylindre de 750 millimètres × 1^m,30 de course; la vitesse normale varie de 80 à 90 tours par minute, mais peut être abaissée à 52. Le laminoin dégrossisseur, à cylindres de 460 × 1^m,700 de longueur, est directement accouplé avec

l'arbre du moteur. Le volant pèse 32,5 tonnes et il est constitué par une poulie à gorges à 7 câbles de 50 millimètres, qui commandent le laminoir finisseur, à cylindres de $500 \times 1^m,800$, et qui fait 106 tours par minute. Le montage *o* est indiqué par la figure 16. Des fours *l*, *a*, les blocs arrivent au laminoir dégrossisseur entraîné, du moteur, par un manchon d'accouplement à ressort Schwarz *b*, avec la cage des engrenages rejetée en *c* de manière que les cylindres du dégrossisseur ne soient pas en face de ceux du finisseur. Le laminoir finisseur à trois cages, à cylindres de 500 millimètres, commandé par cordes, est également muni d'un manchon

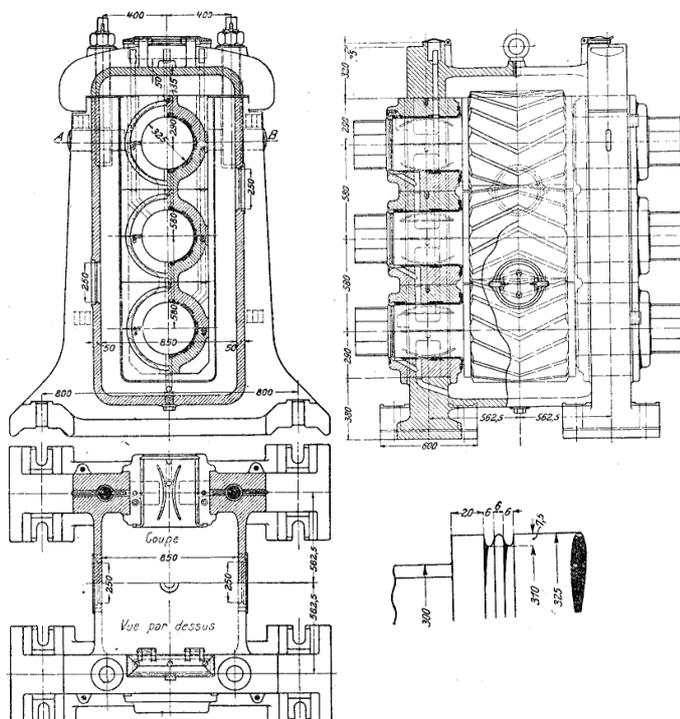


Fig. 21 bis. — Laminoir Klein, cage des pignons.

d'accouplement Schwarz *b*, et la cage *c* des pignons est logée entre ce manchon et le laminoir. A la suite du finisseur, se trouve le transbordeur *d*, de 30 mètres de longueur; avec galets actionnés par un électro-moteur *e*. L'axe de la table est dans le prolongement de l'axe de la dernière cage du finisseur; les produits de la deuxième cage lui sont amenés par un convoyeur transversal *f*, dont les chaînes sont commandées par une dynamo *g*. A l'autre extrémité de la table se trouve une plate-forme de refroidissement, en avant de laquelle on a placé une scie à chaud *h*. Au bout de la table on a disposé une cisaille *i*. La plate-forme est desservie en son milieu par un convoyeur à galets, aux bouts desquels se trouvent des machines à dresser *k*.

La disposition générale des cages est (fig. 17 à 20) identique dans les deux laminoirs dégrossisseur et finisseur. Le cylindre inférieur est réglable en hauteur au moyen de coins (fig. 18). Le cylindre du milieu, fixé à hauteur de l'arbre de commande, s'appuie contre des saillies de la cage, de sorte que la pression est

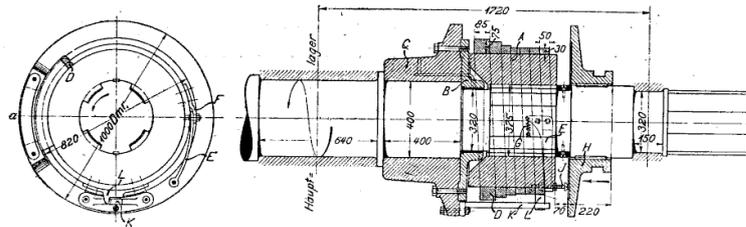


Fig. 22. — Accouplement Schwartz (Lindsay).

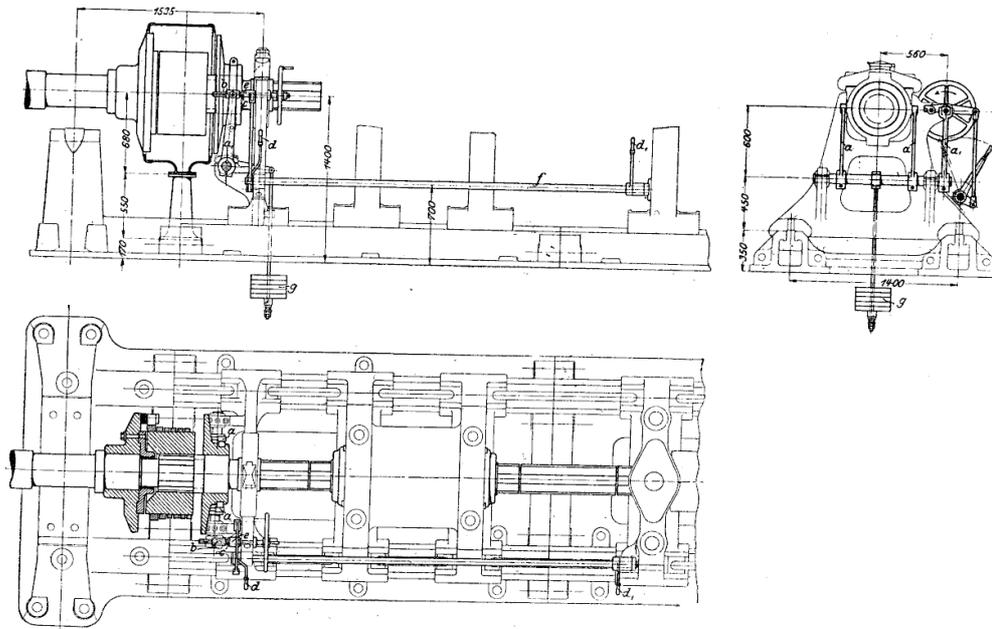


Fig. 23. — Ensemble de l'accouplement Schwartz.

transmise directement à celle-ci. Le palier du cylindre supérieur est suspendu à la cage de façon à pouvoir osciller dans le sens vertical; la chape inférieure de ce cylindre est suspendue par des boulons et peut, ainsi, être ajustée. Dans le sens vertical, les cylindres supérieurs sont ajustés par des vis de pression fig. 20, qui reposent sur des tasseaux en fonte. Dans le sens horizontal, les rouleaux sont ajustés au moyen de boulons qui maintiennent les pièces rapportées dans la cage. Les cages

sont en fonte et les pièces rapportées en acier moulé ; les coussinets sont en plomb dur.

La cage du dégrossisseur (fig. 17) est d'une seule pièce. La cage du finisseur est (fig. 19) en deux pièces.

Le poids des cages est :

	Laminoir dégrossi.	Laminoir finisseur.
Avec accessoires, après montage et avec dispositif par le rattrapage du jeu.	8 600 ^{kg}	6 150
Sans accessoires	6 200	4 150

Les cages de pignons à chevrons en acier moulé sont (fig. 19) en deux pièces avec coussinets avec métal blanc. Les deux cages sont reliées de sorte que les rou-

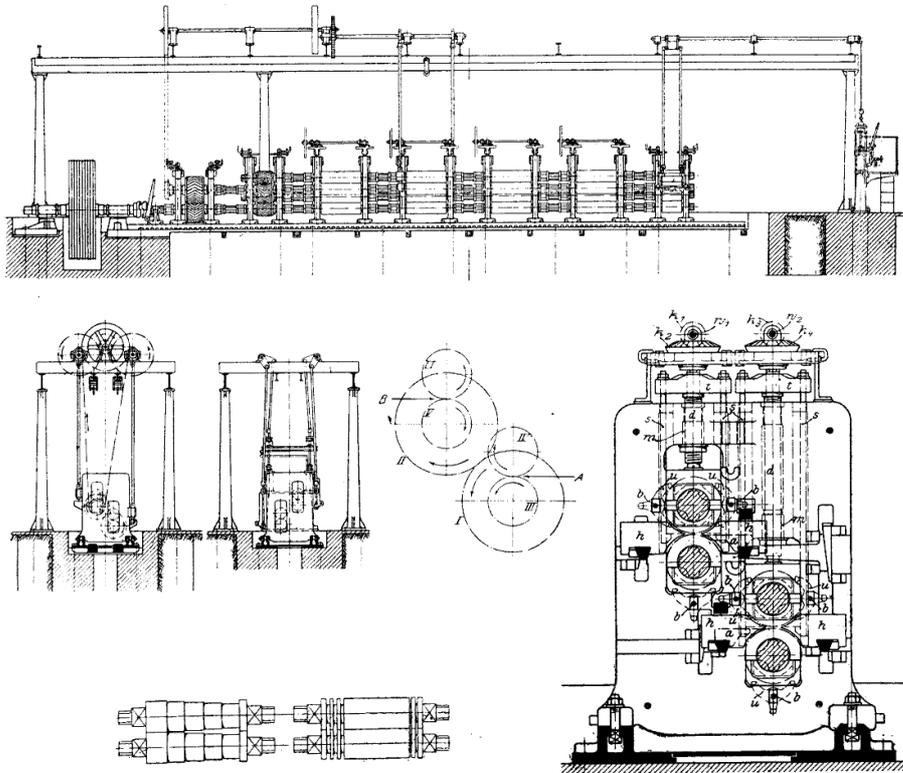


Fig. 24. — Laminoir *Banning*.

leaux sont emprisonnés entre elles. On voit comment l'huile est retenue et ramenée aux coussinets. Entre la cage des pignons à chevrons et celle des cylindres du dégrossisseur, les arbres d'accouplement sont logés dans une chaise à ressorts (fig. 21) avec coussinets en fonte et métal blanc reposant sur des ressorts en spirale, que l'on peut ajuster à la hauteur voulue au moyen d'écrous.

Le manchon d'accouplement des deux laminoirs est du type *Lindsay* (fig. 22 et 23), Schwarz et C^o de Dortmund. Ces manchons sont établis pour des puissances de 1 000 et 1 200 chevaux.

La Société Banning, de Namur (Westphalie), a exposé (fig. 23) deux cages d'un laminoir à fer en barres à duo double, avec 5 cages : la dernière à cylindres polisseurs. Les cylindres ont 600 millimètres de diamètre maximum. L'arbre moteur actionne, dans la première cage à pignons, le cylindre I, et celui-ci le cylindre II ; ces deux cylindres sont accouplés avec les cylindres IV et V de la deuxième cage à pignons, qui entraînent à leur tour les pignons III et VI. On réalise dans les deux paires de cylindres les sens de laminage opposés A et B. Chaque cage est munie de deux paires de cylindres dans des coussinets en bronze. Les deux paliers des cylindres inférieurs ne peuvent pas être ajustés dans le sens vertical. Le palier de chacun des cylindres supérieurs est suspendu par deux boulons à ressort *s* à la traverse *t*, supportée par la vis de pression *d*. Les paliers sont serrés au moyen des boulons *s*, tandis que la

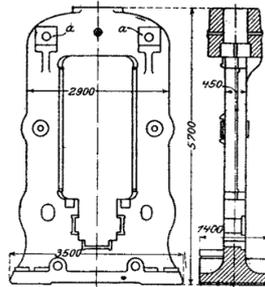


Fig. 25. — Cage du laminoir *Krupp*.

position verticale des cylindres supérieurs est réglée par les vis de pression *d*, qui tournent dans des écrous *m*. L'ajustage est opéré à la main par les pignons k_1 , k_2 , k_3 et k_4 . Latéralement, les rouleaux sont ajustés par les vis de pression *b*, dont l'étrier de serrages, à trois branches *u*, s'appuie par une branche contre la cage, et, par les deux autres, contre les paliers. Des vis de pression de ce genre sont disposées de chaque côté et permettent de déplacer dans le sens latéral les paliers et simultanément les cylindres. Les chariots *h*, qui amènent les pièces à laminier, sont supportés par des traverses fixées entre les cages ; il en est de même des nettoyeurs *a*.

Le cylindre supérieur de la première cage actionne par une courroie un arbre posé au-dessus du laminoir, et cet arbre met en action la cisaille placée au-dessus de la deuxième cage des profilés (fig. 23). En avant des rouleaux polisseurs on a placé des cadres destinés à enlever les scories (fig. 24) et actionnés par des appareils de levage à vapeur placés d'un côté du laminoir.

La maison *Krupp* a exposé une cage de laminoir pour plaques de blindage de dimensions énormes (fig. 25). On voyait aussi à l'Exposition les cylindres de ce laminoir en usage pendant plusieurs années ; leur diamètre est de 1^m,11 et leur longueur utile de 4 mètres. Le poids de la cage est de 34^t,73. En haut, entre les cages, on a posé une traverse qui s'appuie contre les deux bossages *a* de la cage, et qui reçoit le dispositif destiné à tourner les vis de réglage du cylindre supérieur. On peut

laminer des blocs de $1^{\text{m}},3$ d'épaisseur et pesant 150 tonnes; la machine motrice est un moteur réversible de 3 700 chevaux-vapeur.

Dans le pavillon de Krupp on pouvait également voir un laminoir à plomb (fig. 26) réversible, dont les cylindres ont 600 millimètres de diamètre et $3^{\text{m}},150$ de longueur utile; l'arbre A actionne le laminoir par l'intermédiaire d'un train à chevrons dont le rapport de transmission est de $1/4$. Le cylindre supérieur est équilibré par des contre-

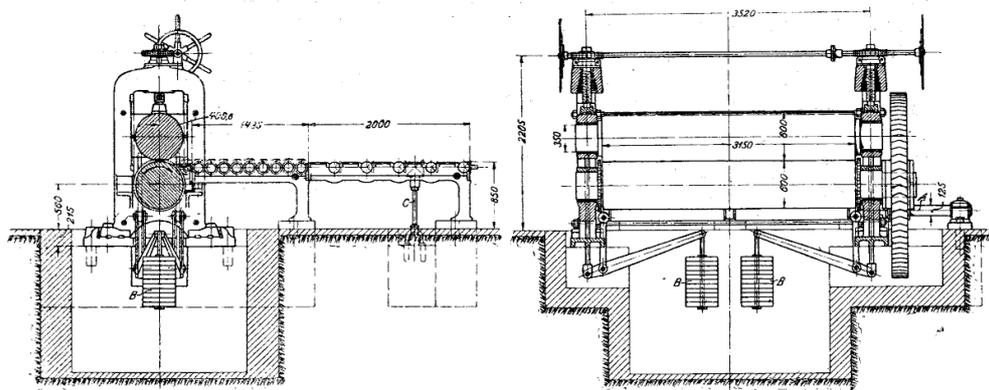


Fig. 26. — Laminoir à plomb Krupp.

pois B et commandé par vis sans fin et roues hélicoïdales. A côté de la cage, se trouve la table du laminoir, avec convoyeur à galets actionnés par un arbre vertical C au moyen de pignons coniques.

Les blocs de plomb, dont le poids maximum peut atteindre 10 tonnes, sont d'abord dégrossis en forme de plaques; celles-ci sont ensuite divisées et laminées en bandes de 10 millimètres d'épaisseur au maximum.

NOUVEAUX LAMINOIRS A BLINDAGES DU Creusot (1).

Ces laminoirs sont au nombre de deux : un dégrossisseur E (fig. 1) et un finisseur F, placés du même côté que de la machine motrice D, ce qui permet une grande levée de cylindres dégrossisseurs, avec des accouplements courts et peu inclinés; cette levée atteint $1^{\text{m}},20$ avec le cylindre finisseur supérieur à $0^{\text{m}},50$ de haut. Cette disposition réduit, en outre, la longueur de la manutention des lingots pendant le laminage.

Les deux trains ont les mêmes dimensions suivantes : longueur de cylindre $4^{\text{m}},25$, diamètre $1^{\text{m}},20$, portées de 750×850 de diamètre; longueur totale des cylindres $6^{\text{m}},55$, poids de chaque cylindre 43 300 kilogrammes.

Malgré ces grandes dimensions, on peut, grâce à une disposition spéciale des guides, laminer des tôles de $0^{\text{m}},80$ seulement de large. Les deux cages sont en fonte d'une section minima de $0^{\text{m}^2},486$; hauteur depuis la traverse qui supporte les cylindres hydrauliques jusqu'au haut des vis de réglage, $12^{\text{m}},215$, dont $5^{\text{m}},705$ sous le sol; poids

(1) *Engineering*, 1^{er} mai, p. 588.

34 tonnes sans accessoires. Les vis de pression ont 350 millimètres de diamètre extérieur et 310 au filet; pas 40 millimètres, vitesse d'avancement 8 millimètres par seconde. Ces vis sont commandées par une dynamo de 20 chevaux, qui en fait, en réa-

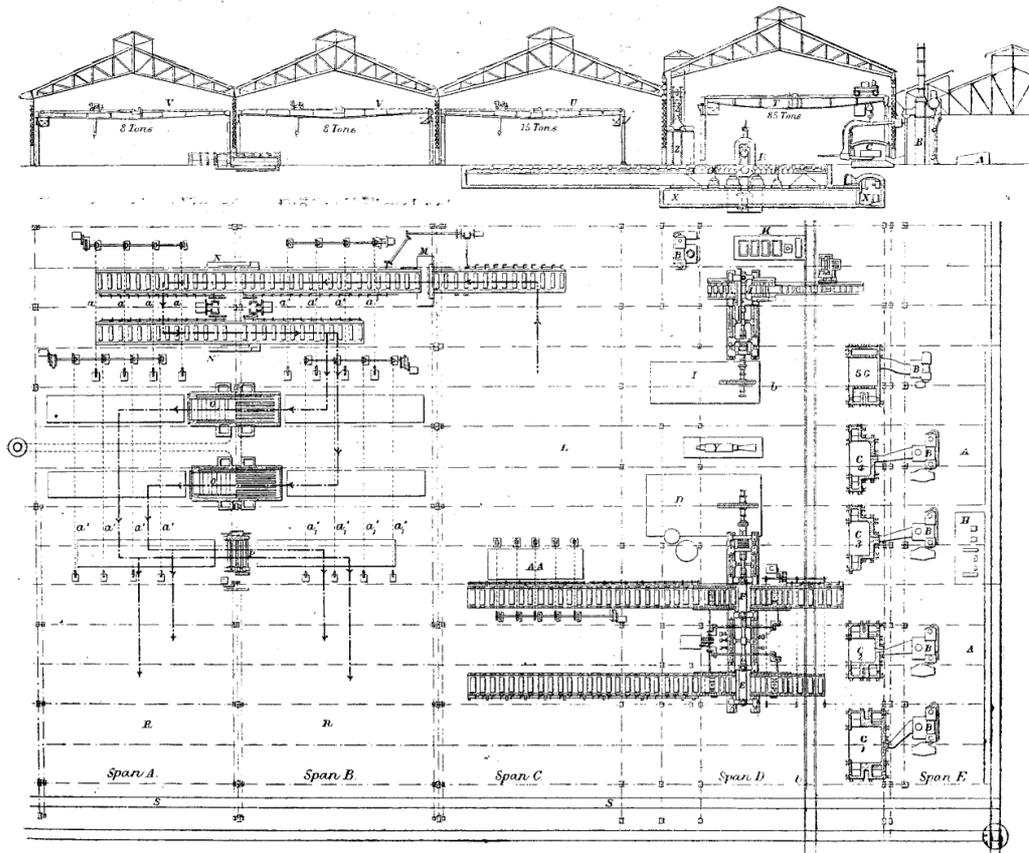


Fig. 1. — Nouveau laminoir du Creusot, ensemble de l'installation.

A, trémies pour charbon. B, chaudière tubulaire. C, fours à réchauffer. D, machine du laminoir. E, dégrossisseur. F, finisseur. G, four à lingots. H, ventilateur et pompes. I, moteur du laminoir des billettes. J, K, puits à lingots. L, sole de refroidissement des grandes plaques. M, cisaille transversale. N N' cisailles en bout. O, fours à recuire. P, dresseuse. aa' galets de ripage des tôles. R, plate-forme d'inspection. S, voie du départ. T, U, V, ponts roulants élastiques de 85, 15 et 8 tonnes. X, passage pour l'enlèvement des scories. Y, tour à cylindres. Z, machine pour retourner les tôles pendant le laminage. A, A, sole de refroidissement.

lité 10 à 12, réversible, à vitesse variable, avec deux démarreurs, un pour le finisseur et l'autre pour le dégrossisseur, à proximité de l'indicateur de pression, et pourvue d'un frein électrique.

Le dégrossisseur sert au laminage des plaques de blindages et au dégrossissage des tôles de chaudières et de navires, qui sont terminées au finisseur.

La machine motrice est, à deux cylindres de $1^m,70 \times 1^m,50$ de course, avec changement de marche commandé par une machine auxiliaire, qui commande aussi la détente de manière à marcher plus économiquement qu'avec des renversements sans varier la détente et en n'agissant que sur la prise de vapeur. Vitesse normale. 90 tours. La machine attaque (fig. 2) son train par deux pignons à doubles chevrons, de 900 de large, dans le rapport de 3/1, en acier au nickel; le petit pignon est d'une seule pièce et le grand en deux pièces: le centre pèse 23 tonnes et la jante 24 tonnes, avec dents brutes de fonte. Les pignons des cages sont à double denture hélicoïdale, de $1^m,03$ de largeur totale, diamètre $1^m,35$, calées sur des arbres en acier de 800 de diamètre, avec portées de 680×500 de longueur, sur coussinets en fonte avec antifriction; les pignons tournent dans de la graisse.

Les galets avanceurs, en avant et en arrière des laminoirs, ont leurs mécanismes sous terre, de manière à dégager le sol, et accessibles par des dallages mobiles en fonte, avec trous pour le graissage. Ces galets, en fonte et de 720 millimètres de diamètre, font 12 tours par minute; ceux près des laminoirs sont supportés sur des châssis en acier coulé sur ressorts, prolongés par des poutres en acier forgé plus légères; ils ont une saillie de 60 millimètres au-dessus du sol, et peuvent s'abaisser de 35 millimètres auprès des laminoirs, de manière à faciliter le laminage des très grosses pièces et à permettre une usure des cylindres de 50 millimètres, sans nécessiter leur levée par les coins de réglage. Leurs pignons sont en acier. Ils sont commandés par une machine à vapeur, jugée plus sûre et plus souple qu'une dynamo, à deux cylindres de 350×360 de course, vitesse 150 tours, puissance environ 35 chevaux. Ces galets sont (fig. 1) sur galeries X à plans inclinés évacuant les scories vers les fours à réchauffer; ils sont reliés par des transbordeurs passant les plaques d'un train à l'autre, et en rectifiant les positions, et sont complétés par des pivoteurs et basculeurs hydrauliques commandés par le mécanicien qui conduit leur machine.

Les fours à réchauffer sont (fig. 1) au nombre de 5; les nos 1 et 2 servent aux plaques de blindage et les nos 3 et 4 aux tôles; le n° 5 reçoit les lingots de l'aciérie et en empêche le refroidissement, ce qui en évite les fissures et améliore le fonctionnement des fours à réchauffer proprement dits. Les lingots sont amenés aux fours par la voie *bb*, levés de leurs trucks et placés dans les fours par un transbordeur en U, accroché au pont roulant T, de 86 tonnes, retirés ensuite des fours, et transportés au laminoir par ce même appareil.

Le charbon, amené par la voie de droite (fig. 1), est déversé dans les trémies A. Les 5 fours à réchauffer ne sont pas au gaz, mais ont des grilles à vent forcé sous une pression de 35 millimètres d'eau par deux ventilateurs. Les fours à plaques de blindage 1 et 3 ont quatre grilles de $950 \times 1^m,40$, surface totale $5^m^2,32$, avec sole de $4^m,25 \times 4^m,50$, surface $19^m^2,12$, disposées de manière que les lingots soient chauffés à la fois en dessus et en dessous. Les fours nos 3 et 4, pour tôles, n'ont que deux grilles de $850 \times 1^m,20$, surface totale $2^m^2,04$, avec soles de $2^m,80 \times 5^m,40$, surface $15^m^2,12$. Le four n° 5 reçoit ses lingots sur des supports mobiles; il a deux grilles de $850 \times 1^m,20$, surface totale $2^m^2,04$, avec une sole de $2^m,80 \times 5^m,40$, surface $15^m^2,12$. Les scories de ces 14 grilles tombent dans un caniveau en fonte fermé au fond par une valve en fonte à circulation d'eau à fermeture étanche pour le vent forcé, et d'où elles sont emportées par des wagonnets de galeries sous les fours.

Les gaz perdus des fours à réchauffer sont utilisés pour le chauffage des chaudières à économiseurs, qui abaissent leur température aux environs de 160° et vaporisent

environ 5^{kil},5 par kilogramme de combustible; la chaudière du four n° 5 ne sert qu'à réchauffer l'eau d'alimentation des autres, déjà portée à 30° environ par la vapeur d'échappement des marteaux de la halle de puddlage.

Les quatre travées A B C D (fig. 2) sont desservies par des ponts roulants électriques. La travée D a un pont de 85 tonnes et un de 15. Chacun de ces ponts est desservi par 3 dynamos à 220 volts et courants continus : une pour la levée, une pour la translation

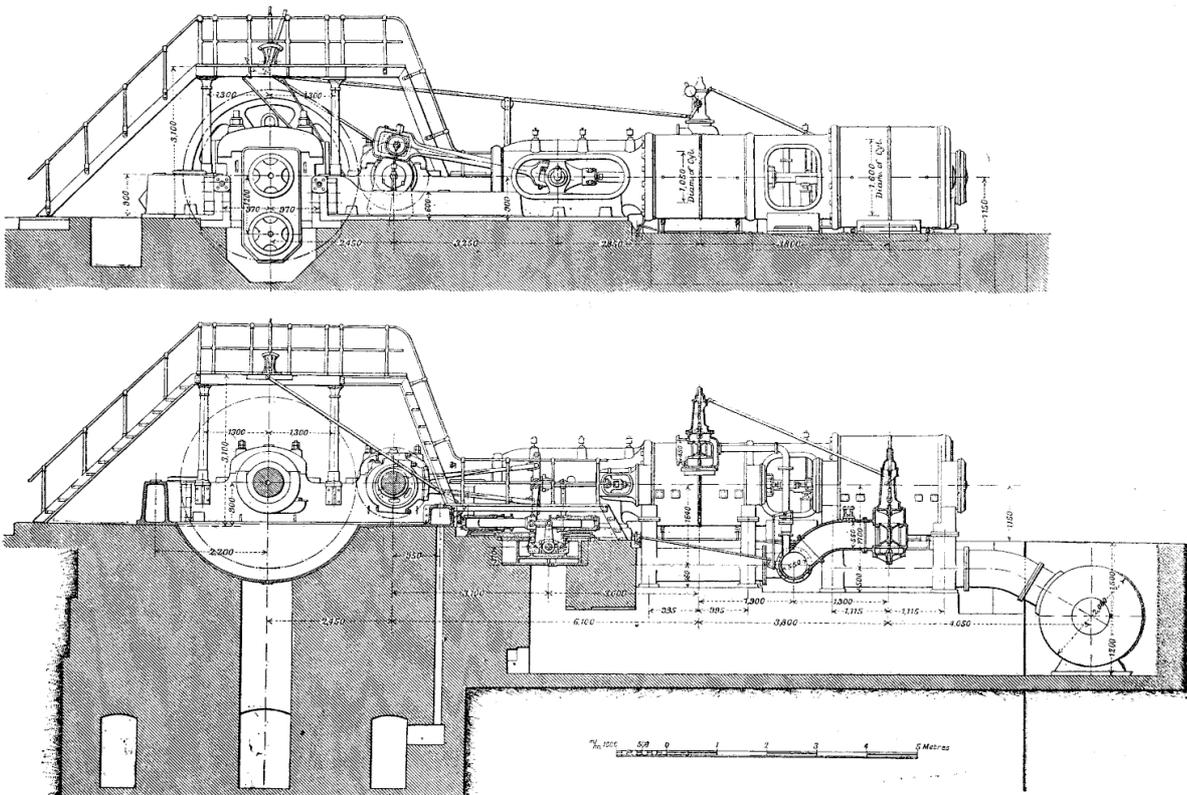


Fig. 2. — Machine du laminoir du Creusot.

du pont et la troisième pour le roulement du chariot. L'espace libre de la travée C sert au refroidissement des pièces et à leur inspection; après leur réception, les pièces sont portées et passées, suivant les flèches de la figure, aux cisailles M N et N', de même type, et commandées par une machine à vapeur réversible; elles peuvent couper des épaisseurs d'acier de 50 millimètres. La cisaille M coupe transversalement des tôles de 4^m,20; N et N' les coupent sur les bords; leurs lames ont 2 mètres de long et sont pourvues de lames de retour à angle droit de la principale et

de 1^m,80. Les galets d'alimentation des cisailles sont commandés par des dynamos.

Il y a, pour le recuit des tôles, deux fours à quatre grilles de 1^m,15 × 1^m,40, surface totale 6^m,44 et soles de 13 mètres × 4^m,40, surface 57^m,20; les grilles sont soufflées à la vapeur.

La machine à dresser P (fig. 1) se trouve près des fours à recuire; elle peut dresser à froid des tôles d'acier de 4^m,15 × 30 millimètres et comprend 7 cylindres de 350, dont 4 en haut et 3 en bas; elle est commandée par une dynamo de 75 chevaux, réversible, et la pression est donnée aux cylindres supérieurs par une dynamo de 8 chevaux.

La vapeur est fournie à ces laminoirs et au reste de la forge par deux séries de 12 chaudières multitubulaires de chacune 4^m,5 de grille, soit 99 mètres carrés pour les 22 chaudières, et 200 mètres carrés de chauffe, en tout 4 400 mètres carrés.

Un tour Y (fig. 1) sert au rafraichissage des cylindres de laminoirs et est desservi par les grues de la travée D; hauteur de pointes 950; il peut tourner des cylindres de 275 à 1^m,20 de diamètre, à 48 vitesses variant de 0,26 à 26 tours par minute.

Ce laminoir peut traiter des blindages de 65 tonnes et des tôles de 4^m,20 × 20 mètres, ou circulaires de 4^m,20 de diamètre.

LAMINOIR *Kennedy*

Ce laminoir est caractérisé (fig. 1 à 5) par la commande de ses vis de serrage 4 au moyen d'écrous 6, actionnés simultanément, de la dynamo 19, par le train 20, 21,

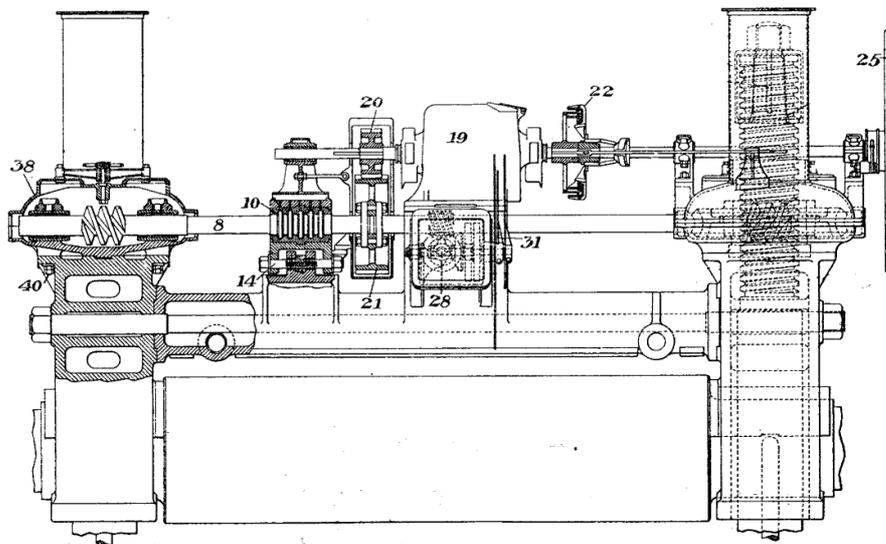


Fig. 1. — Laminoir *Kennedy*, commande des vis.

10, 8, avec butée 10 et vis sans fin 7, en prise avec 6-5. En cas de manque de la dynamo 19, on embraye 22 et l'on peut alors commander les vis à la main par 25.

Les vis 4 se terminent par des prolongements de leur filetage 32, manchonnés sur leurs axes 34 et dont il suffit, pour enlever tout le mécanisme de commande, de dévis-

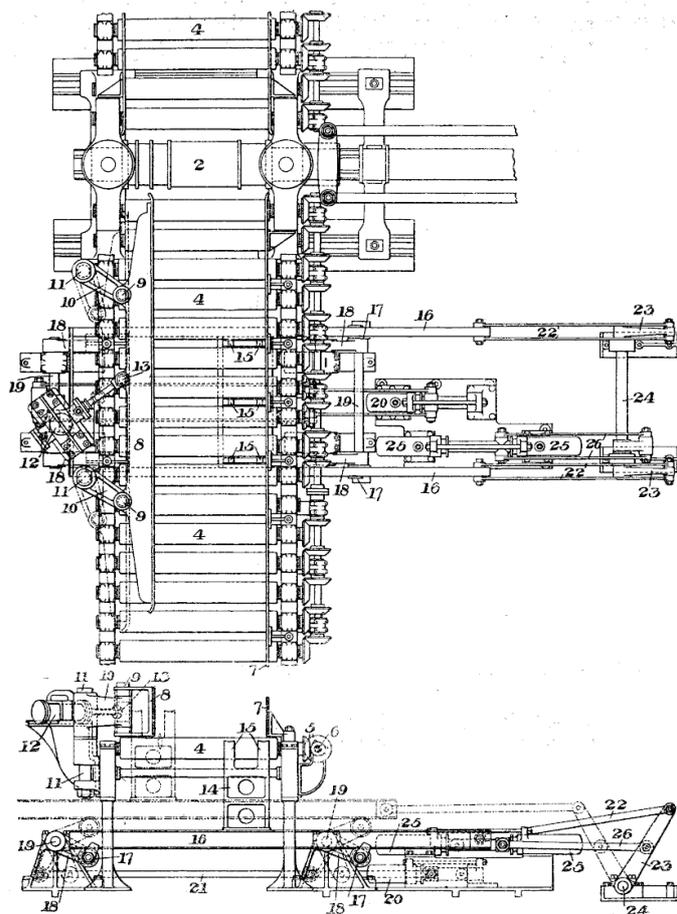


Fig. 2 et 3. — Laminoir *Kennedy*, ripeur et manipulateur.

ser les écrous 36, après avoir descendu 32 dans les écrous 6. Cet enlèvement se fait ainsi sans risque d'érafler les filets.

Une enveloppe 38 protège les écrous 6.

Le laminoir comporte en outre un système ingénieux de ripage et de bascule des lingots représenté par les figures 2 et 3.

Le ripeur est représenté, par ces figures, desservant la table des galets avancés 4 du laminoir 2. Cette table a deux guides : l'un fixe 7 et l'autre, le ripeur, 8, mobile, articulé sur les leviers parallèles 9, pivotés en 11, et commandés, en 13, par le cylindre

hydraulique oscillant 12, de sorte que le ripeur se meut sur la table 4 parallèlement à lui-même et au guide fixe 7.

Ce ripeur est complété par un manipulateur 14, à doigts 15, passant entre les galets 4, et fixés au châssis 16, sur galets 17, des leviers 18, que le cylindre hydraulique 20 commande par le renvoi 21. Un second cylindre 25 imprime, par 23, 24, 22,

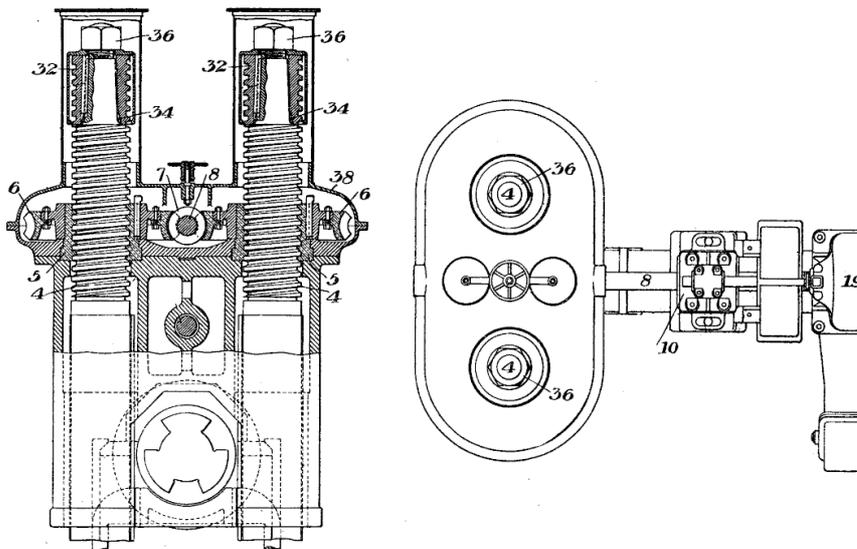


Fig. 4 et 5. — Laminoir *Kennedy*, commande des vis; coupe transversale et plan.

un mouvement de va-et-vient à 16 sur les galets 17, de sorte que le manipulateur peut passer de la position indiquée en traits pleins à celle en pointillés, en levant et ripant les lingots.

LAMINOIR DES FORGES DE *Rochling* (1).

Ce laminoir, destiné à traiter des lingots d'acier de 550 à 430 millimètres de côté et d'un poids maximum de 4 tonnes, est commandé par (fig. 1) une machine compound andem réversible à cylindres de 1^m,05 et 1^m,60 × 1^m,30 de course, marchant à 120 tours, et attaquant par un train d'engrenages réducteur dans le rapport de 1/2,5, reliée à un condenseur central. La distribution est faite par quatre tiroirs-piston avec coulisse Allan, à changement de marche hydraulique par piston différentiel; prise de vapeur Kiesselbach; cette machine est très souple; avec des pressions d'admission variant de 6^{kil},5 à 4 kilogrammes, elle obéit au demi-tour près.

Des grues électriques prennent les lingots aux puits à recuire et les placent sur les

(1) *Stahl und Eisen*, et *Engineering*, 10 avril, p. 483.

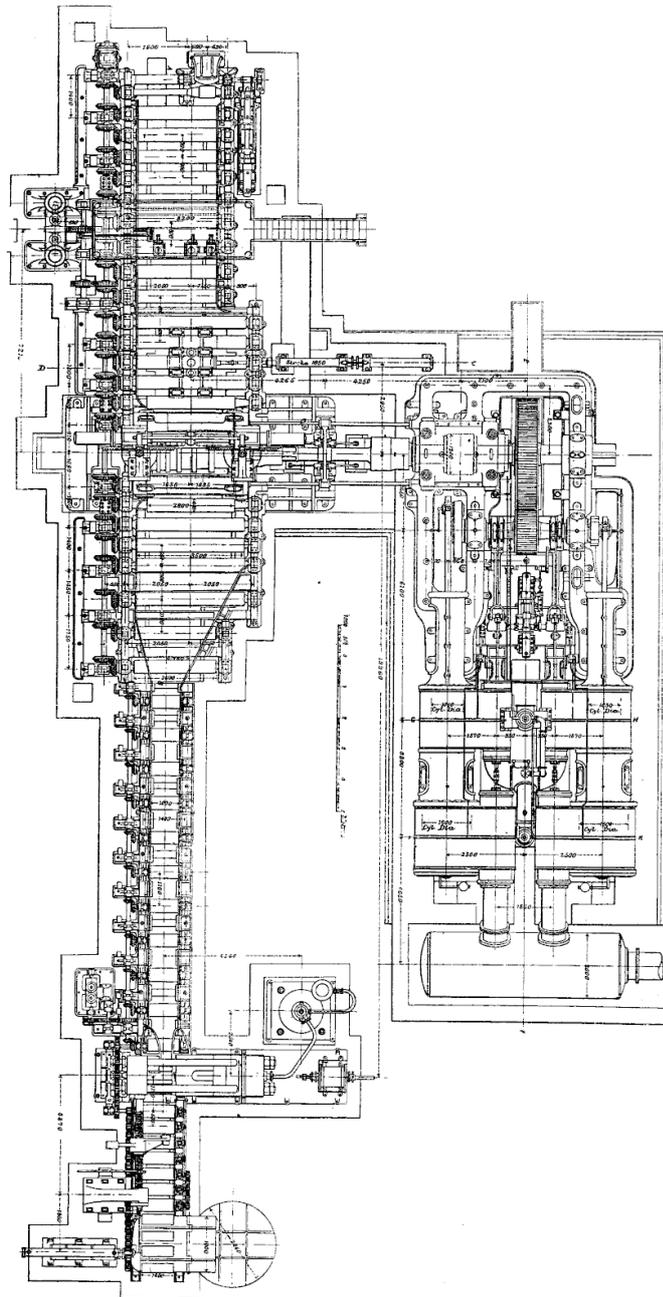


Fig. 1. — Laminoir de Rockling, plan.

tables avanceuses, d'où un piston hydraulique les déverse au train formé (fig. 2 à 4) de 16 cylindres de 440 millimètres de diamètre. Les cylindres du blooming ont $1^m,15 \times 2^m,75$ de long. Les lingots y sont basculés et ripés par un basculeur hydraulique à quatre fourches verticales, à mécanisme protégé contre les scories et facile à rem-

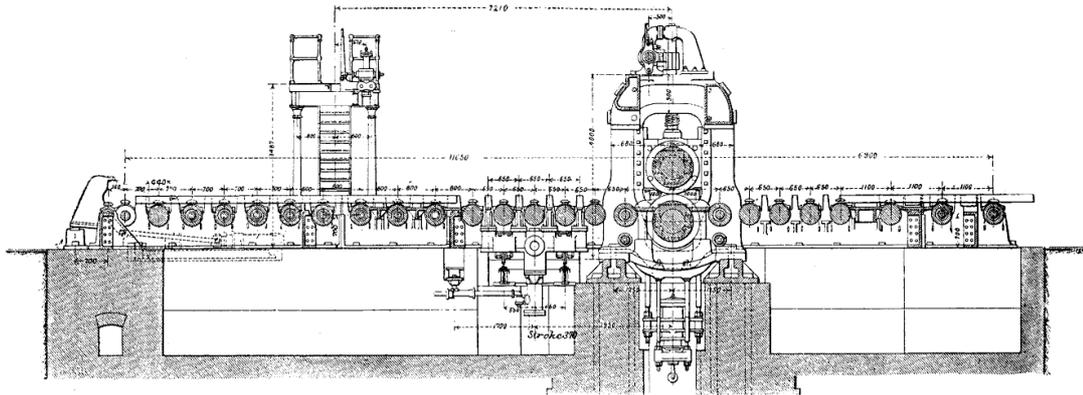


Fig. 2. — Laminoin de Rochling, coupe A B (fig. 2).

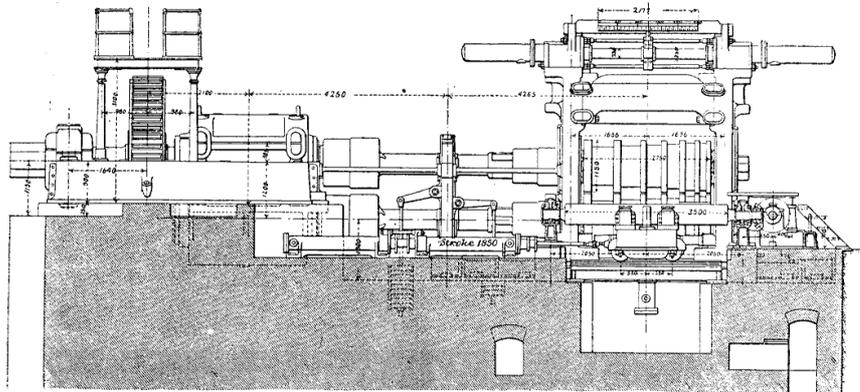


Fig. 3. — Laminoin de Rochling, coupe C D (fig. 2).

placer. Le cylindre supérieur est équilibré par deux pistons hydrauliques et son raccord par des contrepoids. Les vis de pression, d'une seule pièce avec leurs pignons, sont commandées par deux pistons horizontaux et crémaillères à dents rapportées en acier au nickel.

Tous les mouvements sont commandés d'une plate-forme au-dessus du train. Les galets alimenteurs sont au-dessus du sol pour en faciliter la visite; leurs génératrices supérieures sont à 920 millimètres au-dessus du sol; leur graissage se fait très efficacement par des anneaux; la réaction des pignons coniques sur l'arbre de commande

est reçue par un palier de butée noyé dans l'huile; ce palier peut être reculé de manière

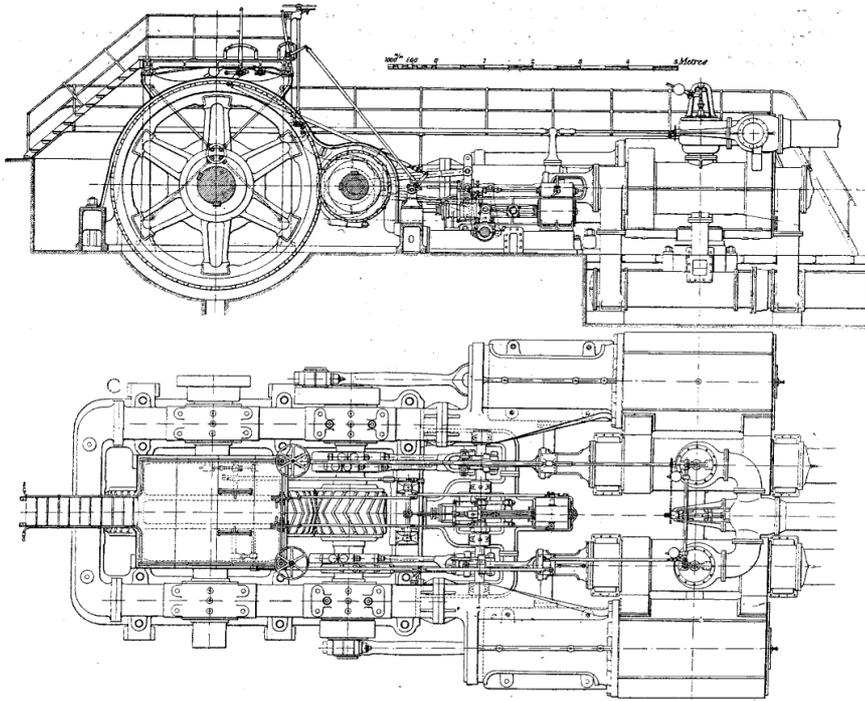


Fig. 4. — Machine du laminoir de Rochling.

à désengrener les pignons et à permettre l'enlèvement facile des cylindres et de leurs pignons.

MACHINES SOUFFLANTES DE LA *Lilleshall C^o* ET DE *Galloway* (1).

La machine soufflante construite par la Compagnie Lilleshall, à ses usines de Priors Lee, est la première machine à haute pression et à distribution desmodromique établie en Angleterre. Du type compound vertical, avec les cylindres à vent au sommet (fig. 1 à 3) et de 2^m,42 de diamètre, ses cylindres à vapeur ont 1^m,06 et 1^m,80 de diamètre sur 1^m,52 de course, la même que celle des cylindres à vent; vitesse maxima 60 tours; pression de la vapeur à l'admission 7^{kil},1. A la vitesse normale de 45 tours, le débit est de 1 170 mètres cubes d'air à la pression de 0^{kil},7.

Les cylindres à vapeur sont à distribution Corliss, avec détente de haute pression contrôlée de la plate-forme et celle de la basse pression ajustable en marche. L'échap-

(1) *The Engineer*, 13 février, 13 et 20 mars et 3 avril 1903.

pement du cylindre de basse pression se fait dans un réservoir sécheur intermédiaire. Le condenseur à injection est desservi par une pompe à air à simple effet de 940×915 de course commandée par la crosse de basse pression.

L'arbre de couche est en acier forgé, avec manivelles en acier coulé de fonte avec les boutons de manivelles de 305×305 millimètres; portée des manivelles 460×760

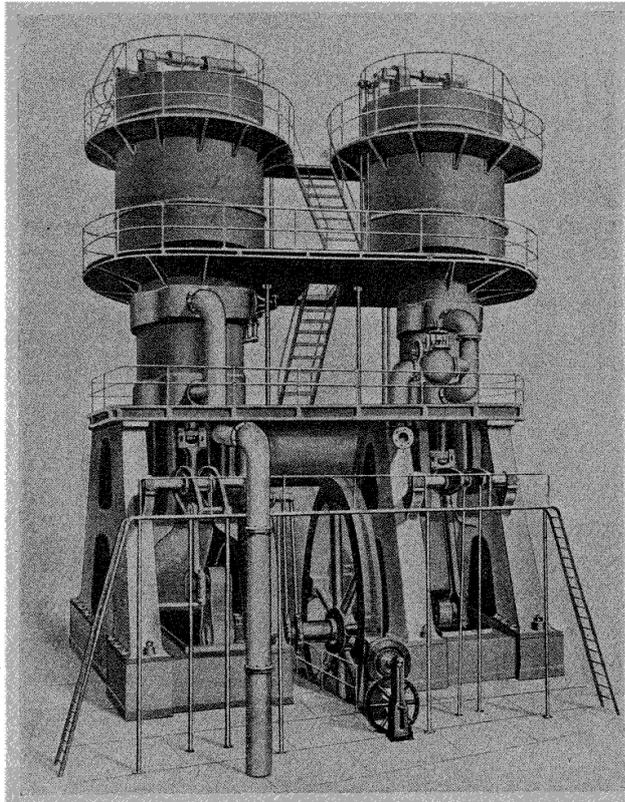


Fig. 1. — Machine soufflante de *Lilleshall*.

de long; diamètre de l'arbre au corps 430, et 545 au volant; bielles en fer de $3^m,35$ de long; volant de $6^m,10$, poids 20 tonnes, avec jante fixée aux bras par queue d'aronde. Le régulateur arrête la machine en cas d'emballement.

L'aspiration de l'air se fait, aux cylindres de vent, par un tiroir Kennedy cylindrique et central (fig. 3) de 570 millimètres de diamètre, commandé par renvoi à balancier d'un excentrique de l'arbre moteur et à garniture de segments, avec lumières à chaque bout pour l'entrée de l'air. Les soupapes d'échappement sont du type Reynolds (1) au

(1) *Bulletin d'août*, 1896, p. 1176.

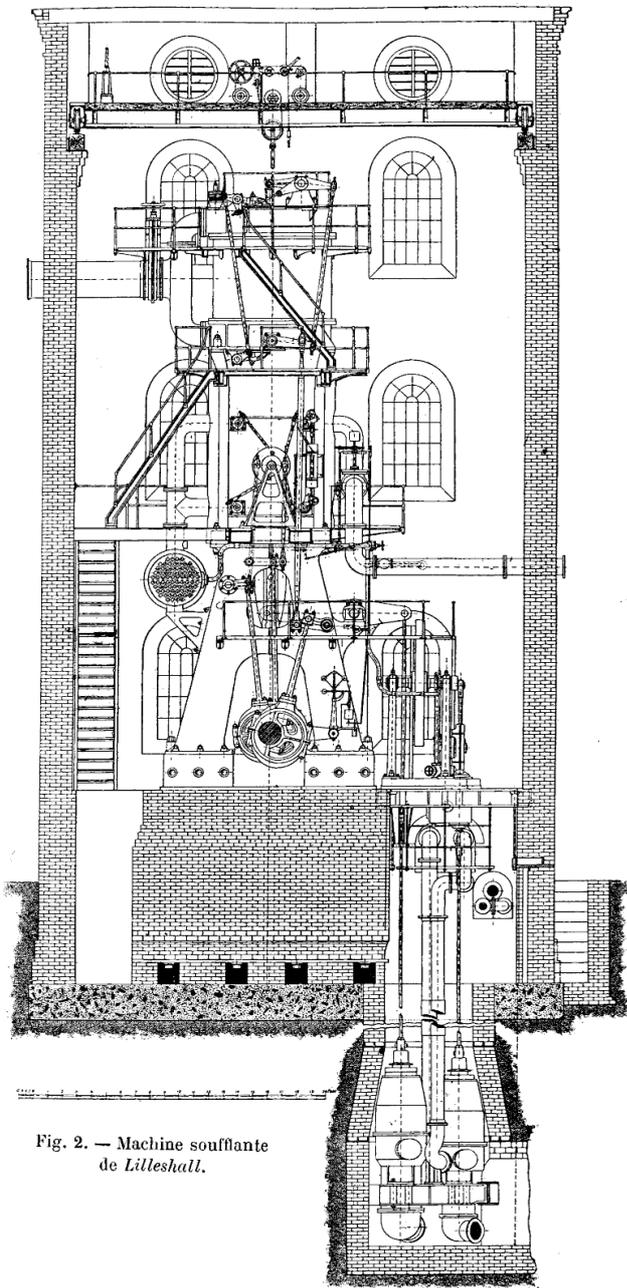


Fig. 2. — Machine soufflante de Lilleshall.

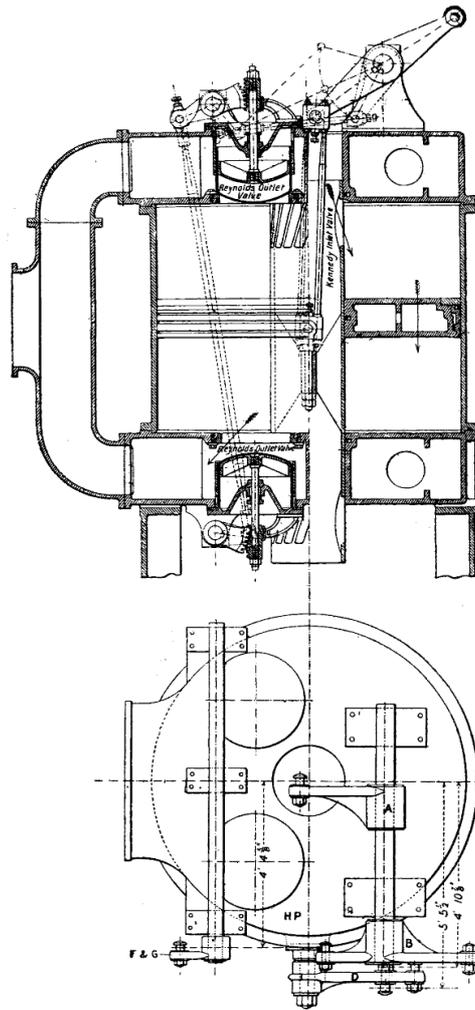


Fig. 3. — Machine soufflante de Lilleshall, détail d'un cylindre à vent.

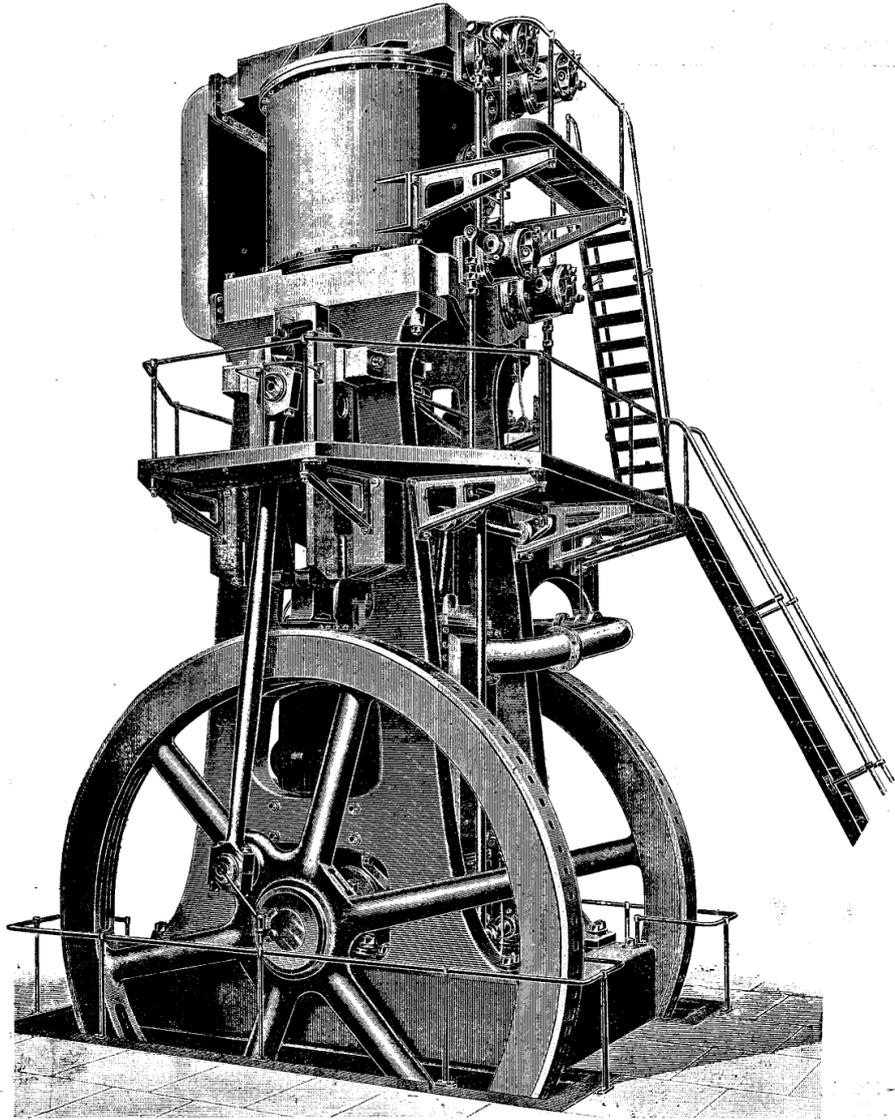


Fig. 4. — Machine soufflante de *Galloway*.

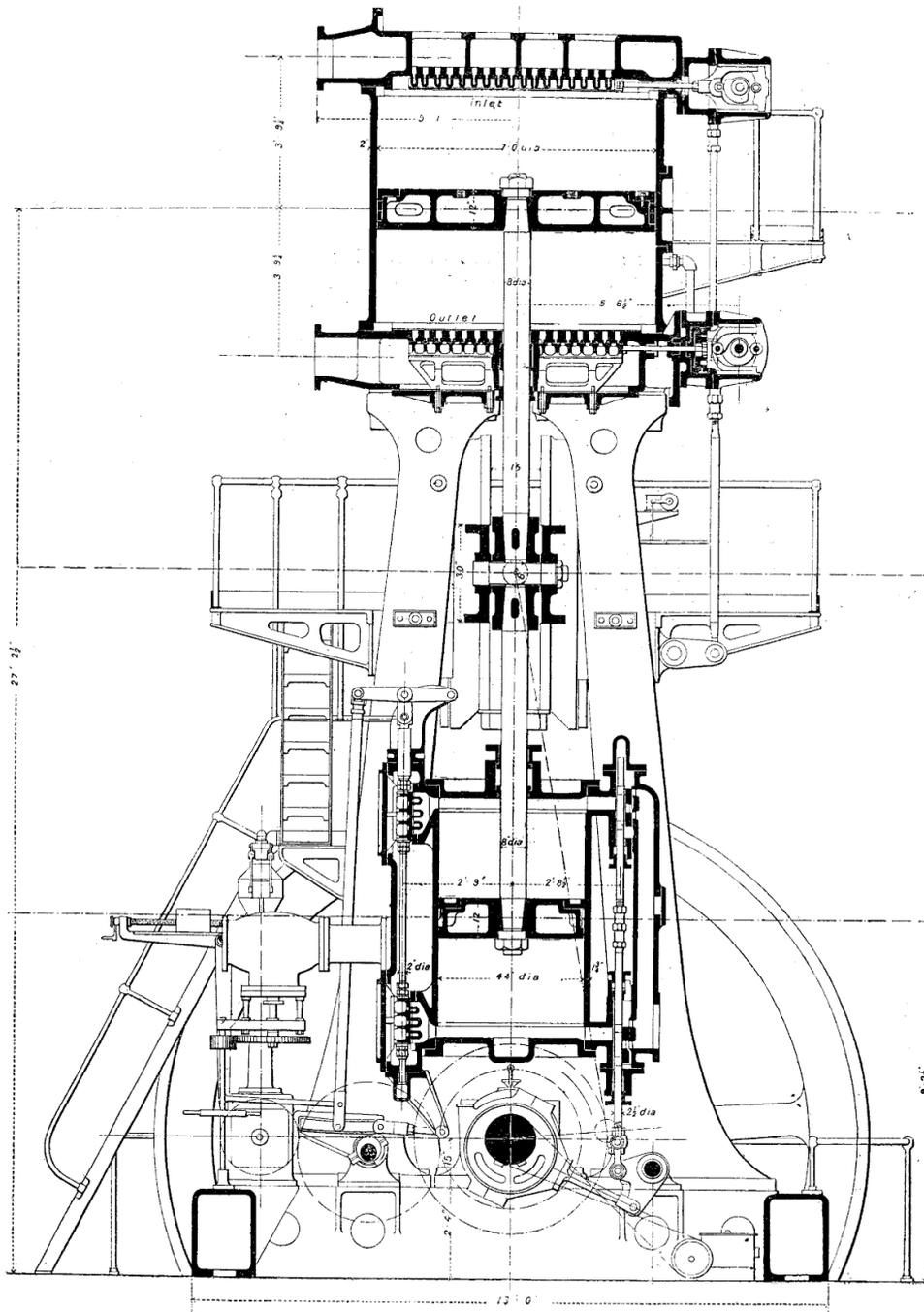


Fig. 5. — Machine soufflante de Galloway, coupe verticale.

Tome 104. — 1^{er} semestre. — Mai 1903.

nombre de deux par cylindre, de 590 millimètres de diamètre, en forme de piston flottant, fermé desmodromiquement à chaque fin de course du cylindre, mais libre de se lever dès que la pression y dépasse celle du conduit de refoulement; elles sont en acier pressé de 590×455 , sur 10 millimètres d'épaisseur au fond et 4 millimètres sur les parois tournées, de manière à glisser à frottement doux dans leur alésage et sur une calotte en fonte commandée par crémaillère et secteur, de sorte que les soupapes soient toujours fermées avant l'ouverture du tiroir Kennedy. La partie cylindrique de ces soupapes est percée d'un grand nombre de petits trous qui, lorsque la calotte presse la soupape sur son siège, laissent l'air s'en échapper, puis quand elle se retire, l'air comprimé dans la conduite de refoulement pénètre entre la calotte et la soupape et la maintient ainsi sur son siège.

La machine construite par *Galloway*, de Manchester, pour le Carnforth Hematite Co, peut débiter, par minute, à la vitesse de 53 tours, 570 mètres cubes pris à la pression atmosphérique. Elle est (fig. 4 et 5) verticale simple, avec le cylindre à vapeur au bas et traverse en acier reliée aux volants par deux bielles. Diamètre du cylindre à vapeur $1^m,12$, du cylindre à vent $2^m,13$, course commune $1^m,52$, diamètre des tiges de pistons 200 millimètres. Pression maxima du refoulement $1^{kil},4$.

La distribution du cylindre à vapeur est faite par quatre tiroirs à grille verticaux, deux pour l'échappement et deux pour l'admission, soumise au régulateur; celle du cylindre à vent est aussi faite par des tiroirs à grilles horizontaux: deux pour l'aspiration, deux pour le refoulement, commandés par un seul excentrique, avec un espace nuisible d'environ 2 p. 100, et les tiroirs de refoulement sont contrôlés par la pression même de l'air dans le cylindre (1).

(1) *Revue de mécanique*, mai 1901, p. 583; compresseur *Petsche*.

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Séance du 24 avril 1903

Présidence de *M. Linder*, président.

M. Collignon, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. Goupil de Préfelin, trésorier de la Société, annonce qu'il a reçu de *M. Massion*, notaire à Paris, un certificat nominatif de 64 obligations de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, représentant la somme de 30 000 francs, donnée à la Société par *M. Massion*.

M. Petitpont, manufacturier à Choisy-le-Roi, adresse ses remerciements à la Société pour le secours accordé sur la fondation Fauler à deux de ses ouvriers.

M. Raoul Pipault, 4, rue de Varenne, à Paris, demande une annuité de brevet pour un *moteur à pétrole*. (Arts mécaniques.)

M. Aubaile, ingénieur à Hyde, par Commentry (Allier), demande des documents pour une étude sur l'*unification des filetages*. (Arts mécaniques.)

M. Clément Gary, ingénieur civil des mines à Toulouse, envoie la *description d'un signal automatique pour chemin de fer*. (Art. mécaniques.)

M. Barchy, mécanicien, avenue de la Reine-Blanche, à Gisors (Eure), adresse à la Société la description d'une *serrure* de son invention. (Arts mécaniques.)

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la p. 599 du *Bulletin* d'avril.

NOMINATIONS DE MEMBRES DU CONSEIL. — Sont nommés :

Au Comité des Arts économiques : *M. Pérot*, directeur des laboratoires au Conservatoire des Arts et Métiers.

Au Comité des Constructions et Beaux-Arts : *M. Maës*, manufacturier.

A la Commission des Fonds : *M. Lafosse*, inspecteur des Eaux et Forêts.

RAPPORTS DES COMITÉS. — Sont lus et approuvés les rapports suivants :

Au nom du Comité des Arts mécaniques :

M. Imbs. Sur le *Raccord pour tuyauterie de M. Durand*.

M. Sauvage. Sur les *Calibres de M. Johansson*.

COMMUNICATIONS. — *M. Sauvage* fait une communication sur les résultats de l'enquête sur l'adoption du système international de filetage par l'industrie.

M. Samain, sur un *Bouchon de sûreté*, qui est renvoyée pour examen au Comité des Arts mécaniques.

M. le commandant Mahon, sur un *Dessinateur universel*, qui est renvoyée au Comité des Constructions et Beaux-Arts.

M. Izart, sur l'*Électrométallurgie de l'antimoine*, qui est renvoyée au Comité des Arts chimiques.

M. le Président remercie *MM. Sauvage, Samain, le commandant Mahon et Izart* de leurs intéressantes communications.

Séance du 8 mars 1903.

Présidence de *M. Linder*, président.

M. le Président fait part au Conseil de la perte qu'il vient d'éprouver par le décès de *M. Worms de Romilly*, membre du *Comité des Constructions et Beaux-Arts*; il se fait auprès de la famille de *M. de Romilly* l'interprète des vifs et unanimes regrets qu'il laisse parmi nous.

CORRESPONDANCE. — *M. Collignon*, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. G. Miquel, à Gardouch, par Villefranche-de-Lauraguais (Haute-Garonne), présente sa candidature au *prix Maynot* pour 1903. (Agriculture.)

M. Aureggio, 2, place Raspail, Lyon, présente des *tableaux nouveaux* et quelques brochures, relatifs à *la cavalerie* et à *l'art vétérinaire*. (Agriculture.)

M. Ballasé remercie la Société du brevet qui lui a été accordé pour un *raccord de tuyau*.

M. Coret, 53, boulevard Bineau, Neuilly, demande une annuité de brevet, pour un *régulateur de température*. (Arts économiques.)

M. R. Menochio, 26, via Cernaia, Turin, présente un *mémoire sur le décatissage*. (Arts mécaniques.)

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la page 758 du présent *Bulletin*.

NOMINATION D'UN MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ. — Est nommé membre de la Société: *M. Marcel Thomas*, ingénieur civil des mines, aux aciéries de Longwy, à Mont-Saint-Martin, présenté par *M. Mignot*.

RAPPORTS DES COMITÉS. — Est lu et approuvé le rapport présenté par *M. H. Fontaine*, au nom du Comité des Arts économiques, sur le *Stérilisateur Lepage*.

COMMUNICATION. — *M. A. Guy* fait une communication sur son *Carburateur doseur pour l'éclairage par l'air carburé fixe*.

M. le Président remercie *M. Guy* de son intéressante communication, qui est renvoyée au Comité des *Arts chimiques*.

LIVRES ET OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN MAI 1903

Donné par *M. Levasseur*. **Bibliographie de l'histoire des classes ouvrières en France jusqu'en 1789.**

Du Ministère du Commerce. **Rapports du Jury**. Groupe III. **Instruments et procédés généraux des lettres, sciences et arts**. Groupe IV. **Industries chimiques**. Groupe VI. **Génie civil. Moyens de transport et Concours internationaux d'exercices physiques et de sport**. VIII. **Horticulture**. XIII. **Fils, tissus, vêtements**. 8 vol. in-8°. Imprimerie nationale.

Notions de technologie, par MM. P. Jacquemart et J.-F. Bois. In-8°, 686 p. Paris, Delagrave.

Aide-Mémoire de photographie pour 1903, par M. C. Fabre. In-18, 300 p. Paris, Gauthier-Villars.

Bulletin de l'Association des industriels de France contre les accidents du travail (1903). In-8°, 349 p. Paris, au siège de l'Association, 3, rue de Lutèce.

Traction électrique urbaine et suburbaine. Congrès de Montauban de l'Association française pour l'Avancement des Sciences. In-8°, 80 p. Paris, Secrétariat de l'Association, 28, rue Serpente.

Le fonds commun de retraite et le livret individuel dans les Sociétés de secours mutuels et de retraites, par M. A. Gest. In-8°, 82 p. Paris, Imprimeries réunies.

De l'*Encyclopédie Léauté*. **Gisements miniers. Stratification et composition**, par M. F. Miron et **Essais des métaux. Machines et appareils**, par M. L. Grages. In-18, 192 p. Paris, Gauthier-Villars.

Études sur les combustibles solides, liquides et gazeux. Mesure de leur pouvoir calorifique, par M. P. Mahler. In-8°, 100 p. Paris, Béranger.

The National Laboratory. Rapport pour 1901. In-8°, 54 p. Londres, Harrison.

Modern Labor Saving appliances for assayers and Chemists. In-8°, 100 p. W. Braun. Los Angeles.

Concours de monte-courroies fixes. Rapport de M. Many à l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail. In-8°, 50 p., 55 fig.

Les écoles régionales professionnelles, par M. J. F. Pillet. Autographie, 43 p.

Congrès des applications de l'alcool dénaturé (1902). Rapports et comptes rendus. In-8°, 367 p. Paris. Automobile-Club de France.

Utilisation des chutes d'eau pour la production et l'énergie électrique. Application aux usages agricoles, par M. L. Salvador. In-8°, 120 p. Paris, Béranger.

Du ministère de l'Intérieur. **Situation financière des départements en 1900.** In-4°, 483 p. Melun, imprimerie administrative.

L'air liquide, par M. G. Claude. In-8°, 123 p., 48 fig. Paris, Dunod.

Determination of the points of allotropic changes of iron and its alloys by the measurement of the variation in the electric resistance, par M. O. Boudouard. In-8°, 80 p. Iron and Steel institute, London.

Association Alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur. Exercice 1902. In-8°, 63 p., 3 pl. Nancy, Berger-Levrault.

Du ministère du Commerce, Office du travail. **Les associations professionnelles ouvrières.** Vol. III. *Métaux. Céramique et verrerie.* In-8°, 680 p. Paris, Imprimerie nationale.

Modern machine Shop tools, par M. Vandervoort. In-8°, 552 p., 673 fig. New-York, N. W. Heuley.

La Sylviculture, par M. A. Fron. In-8°, 560 p. Paris, J.-B. Baillière.

Test of reinforced concrete beams, par M. W. K. Hatt. In-8°, 20 p.

Du ministère de l'Agriculture d'Italie. **Statistica industriale. Provincia di Roma.** In-8°, 295 p. Rome, Tipografia nazionale.

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Avril au 15 Mai 1903

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

<i>Ag.</i>	Journal de l'Agriculture.	<i>Ms.</i>	Moniteur scientifique.
<i>Ac.</i>	Annales de la Construction.	<i>MC.</i>	Revue générale des matières colorantes.
<i>ACP.</i>	Annales de Chimie et de Physique.	<i>N.</i>	Nature (anglais).
<i>AM.</i>	Annales des Mines.	<i>PC.</i>	Journal de Pharmacie et de Chimie.
<i>AMa.</i>	American Machinist.	<i>Pm.</i>	Portefeuille économ. des machines.
<i>Ap.</i>	Journal d'Agriculture pratique.	<i>RCp.</i>	Revue générale de chimie pure et appliquée.
<i>APC.</i>	Annales des Ponts et Chaussées.	<i>Rgc.</i>	Revue générale des chemins de fer et tramways.
<i>Bam.</i>	Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.	<i>Rgds.</i>	Revue générale des sciences.
<i>BMA.</i>	Bull. du ministère de l'Agriculture.	<i>Ri.</i>	Revue industrielle.
<i>CN.</i>	Chemical News (London).	<i>RM.</i>	Revue de mécanique.
<i>Cs.</i>	Journal of the Society of Chemical Industry (London).	<i>Rmc.</i>	Revue maritime et coloniale.
<i>CR.</i>	Comptes rendus de l'Académie des Sciences.	<i>Rs.</i>	Revue scientifique.
<i>DoL.</i>	Bulletin of the Department of Labor, des États-Unis.	<i>Rso.</i>	Réforme sociale.
<i>Dp.</i>	Dingler's Polytechnisches Journal.	<i>RSL.</i>	Royal Society London (Proceedings).
<i>E.</i>	Engineering.	<i>Rt.</i>	Revue technique.
<i>E'</i>	The Engineer.	<i>Ru.</i>	Revue universelle des mines et de la métallurgie.
<i>Eam.</i>	Engineering and Mining Journal.	<i>SA.</i>	Society of Arts (Journal of the).
<i>EE.</i>	Eclairage électrique.	<i>SAF.</i>	Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
<i>Elé.</i>	L'Électricien.	<i>ScP.</i>	Société chimique de Paris (Bull.).
<i>Ef.</i>	Économiste français.	<i>Sie.</i>	Société internationale des Électriciens (Bulletin).
<i>EM.</i>	Engineering Magazine.	<i>SiM.</i>	Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse
<i>Es.</i>	Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).	<i>SiN.</i>	Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
<i>Fi.</i>	Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).	<i>SL.</i>	Bull. de statistique et de législation.
<i>Gc.</i>	Génie civil.	<i>SNA.</i>	Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
<i>Gm.</i>	Revue du Génie militaire.	<i>SuE.</i>	Stahl und Eisen.
<i>IC.</i>	Ingénieurs civils de France (Bull.).	<i>USR.</i>	Consular Reports to the United States Government.
<i>Ie.</i>	Industrie électrique.	<i>VDI.</i>	Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
<i>Im.</i>	Industrie minérale de St-Étienne.	<i>ZOI.</i>	Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten-Vereins.
<i>IME.</i>	Institution of Mechanical Engineers (Proceedings).		
<i>IoB.</i>	Institution of Brewing (Journal).		
<i>La.</i>	La Locomotion automobile.		
<i>Ln.</i>	La Nature.		
<i>Lo.</i>	Locomotion.		

AGRICULTURE

- Aviculture moderne* (Reed). *SA.* 24 *Avril*, 523.
— en Angleterre. *SNA.* *Mai*, 247.
- Bétail.** Rôle des aliments (Grandeau). *Ap.* 23 *Avril*, 528.
— Produits alimentaires mélassés nouveaux. *Ap.* 7 *Mai*, 592.
— Commerce du bétail à Paris. *Ap.* 23 *Avril*, 542.
— Composition générale des corps des animaux (Grandeau). *Ap.* 30 *Avril*, 561.
— Tuberculose bovine en Danemark. *Ap.* *Avril*, 574.
— Race bovine de Montbéliard. *Ap.* 7 *Mai*, 604.
- Blé et lin* production dans l'Argentine (Klett). *SNA.* *Mars*, 205.
— Greniers coopératifs et installations pour le séchage des grains. *Ap.* 7 *Mai*, 600.
- Châtaignier.* Sujets pour le greffage. *Ap.* 30 *Avril*, 564.
— En Algérie. *SNA.* *Mars*, 241.
- Cidre.* Champagnisation et gazéification. *Ag.* 25 *Avril*, 648, 2 *Mai*, 695.
- Chevaux de service et de guerre.* *Ag.* 16 *Mai*, 771.
- Cultures chinoises* (Serre). *SNA.* *Mars*, 258.
- Cuvage des pulpes* de fruits de pressoir. *SNA.* *Mars*, 213.
- Écoles d'agriculture* du Wurtemberg. *Ap.* 7 *Mai*, 609.
- Forêts* (administration) en Pennsylvanie. *Fc.* *Mai*, 341.
- Froid industriel* en horticulture. *Ln.* 16-30 *Mai*, 369.
- Irrigation.** (Projet d') (Crevat). *Ap.* 23 *Avril*, 535, 566, 14 *Mai*, 635.
— Cultures chauffées et irriguées dans le Vaucluse. *Ap.* 14 *Mai*, 638.
- Lait.** Approvisionnement de Londres. *Ap.* 23 *Avril*, 535.
— Industrie laitière en France. *Ap.* 7 *Mai*.
— Stérilisation (Lezé). *Ap.* 30 *Avril*, 376.
- Lupin et vesce.* (Emploi des bactéries de culture pure dans les ensemencements de). *Ag.* 2 *Mai*, 699.
- Machines agricoles** aux États-Unis (Villard). *SAF.* 495.
— Au concours général de Paris. *Ag.* 25 *Avril*, 639; 2 *Mai*, 700.
- Machines agricoles.** Installation hydro-électrique de la Rébutière. *Ap.* 30 *Avril*, 569, 7 *Mai*, 596.
- Menthe* (culture) dans l'arrondissement de Saint-Amand. *Ap.* 14 *Mai*, 641.
- Pomme de terre* en Allemagne. *USR.* *Mai*, 32.
- Sésame.* Culture dans la région de l'olivier. *Ap.* 30 *Avril*, 568.
- Sylviculture.* Méthode expérimentale en (Mer). *SAF.* 427.
- Trèfle violet et luzerne.* Semences livrées à l'agriculture (Schribaux). *SNA.* *Mars*, 213.
— (Cultures de la) (Boulangier). *CR.* 11 *Mai*, 1161.
- Truffe.* Germination des spores (Matruchot). *Ap.* 14 *Mai*, 628.
- Ustilaginées des orges*, du fromental, de l'avoine et des glycéries. *Ag.* 16 *Mai*, 768.
- Vigne.** Pressoir rotatif Ménard-Naudin. *Pm.* *Avril*, 54.
— Pasteurisation des vins (Loir). *Rgds.* 30 *Avril*, 428.

CHEMINS DE FER

- Attelages automatiques* sur les chemins anglais (Brockelbunck). *SA.* 1^{er} *Mai*, 334.
— Boirault. *Gc.* r.S. *Avril*, 422.
- Automobile postale* du Nord Français. *E.* 8 *Mai*, 476.
- Chemins de fer** Métropolitain de Whitechapel et Bow. *E.* 1-8 *Mai*, 582, 618.
— Économiques de l'Allemagne. *R.* en 1901. *Rgc.* *Mai*, 332.
— Belges en 1901. *Statistique.* *Rgc.* *Mai*, 323.
- Électriques* de la Mersay. *E.* 24 *avril*, 541.
— Tunnel de la Mersay. *Gc.* 16 *Mai*, 33.
— Métropolitain de Paris. *Elé.* 25 *Avril*, 257.
— Fayet Chamounix. *Elé.* 25 *Avril*, 261.
— Barnem Eberfeld. *Gc.* *Mai*, 66.
— La Valteline. *Ie.* 25 *Avril*, 173, 10 *Mai*, 197. *Fi.* *Mai*, 321.
— Milan-Gallarate. *Sie.* *Avril*, 180.
— Italiens par accumulateurs. *Gc.* 9 *Mai*, 27.
— à courants continus et polyphasés; comparaison. *EE.* 16 *Mai*, 271.
- Éclairage électrique* des trains. *EE.* 9 *Mai*, 239.
— de l'État prussien. *EE.* 18 *Avril*, 81.
— par l'incandescence au gaz (Giraud et Maucière). *Rgc.* *Mai*, 265.

- Essieux creux* Mercader. *E.* 15 Mai, 653.
Freins. Étude des (Billy et Noailhat). *Rt.* 25 Avril, 226.
 — Seile. *Ri.* 9 Mai, 181.
Indicateur de Stations Mairet. *Pm.* Mai, 73.
Locomotives modernes (Bruckmann). *VDI.* 25 Avril, 606.
 — A vapeur surchauffée. *IC.* Mars, 486.
 — Rendement des (Nadal). *Rgc.* Mai, 285.
 — Express Atlantic de l'État badois. *Rgc.* Mai, 337.
 — de l'Ouest français. *E'*. 15 Mai, 492.
 — à marchandises compound du London and North-Western. *E.* 1^{er} Mai, 597.
 — Tender du London Brighton. *E'*. 1^{er} Mai, 442.
 — Essais des types récents en Allemagne. *Gc.* 16 Mai, 43.
 — Tuyaux de vapeur multiples Drummond. *C.* 1^{er} Mai, 604.
 — à voie de 0^m,90 pour le Litterkenny. *Rg.* *E.* 24 Avril, 554.
 — de montagne pour exploitations en forêts Robb. *E.* 8 Mai, 617.
Wagon de 20 tonnes Nord Français. *E.* 8 Mai, 612.
Wagonnette à pétrole pour circulation sur les voies. *Gc.* 18 Avril, 104.

TRANSPORTS DIVERS

- Automobiles** pratiques (les). *E.* 8 Mai, 626.
 — à pétrole Bardon. *Lo.* 18 Avril, 241.
 — Gobron Bullée. *Lo.* 9 Mai, 293.
 — Motocycle Henriot. *Lo.* 18 Avril, 250.
 — Garraud. *La.* 30 Avril, 278.
 — à vapeur. Serpolet. *Lo.* 2-9 Mai, 280, 300.
 — Pneumatique Invintus. *Ln.* 2 Mai, 332.
 — et rayons X. *Lo.* 16 Mai, 309.
 — Châssis à entrée latérale. *Lo.* 16 Mai, 306.
 — Attache des ressorts. *Lo.* 16 Mai, 316.
Tramways Anglais progrès des. *E.* 8 Mai, 607.
 — Électriques à contact Lorain. *E'*. 24 Avril, 421; Paul. *Pn.* Mai, 66.
 — — de Birmingham. *E.* 1^{er} 15 Mai, 589, 661.
 — — de Marseille. *Rgc.* Mai, 333.
 — — de Londres. *E.* 15 Mai, 660.
 — — de Tooting. *E'*. 15 Mai, 493.
 — — Frein électro-magnétique Westinghouse. *Sic.* Avril, 228.

- Tramways électriques** prédétermination du rendement des moteurs (Barbillon). *EE.* 16 Mai, 253.

CHIMIE ET PHYSIQUE

- Acétate de plomb*. Régénération industrielle des boues résiduelles du sulfate de plomb (Beltrier). *RCp.* 19 Avril, 175.
Acides sulfurique. Fabrication. Procédé des chambres de plomb (Hart et Bailey). *Cs.* 30 Avril, 473. Tirage dans les chambres de plomb par eau atomisée au lieu de vapeur. *Cs.* 15 Avril, 398.
 — tartriques et tartrates. Dosage polarimétrique (Reckarapon et Gregorg). *Cs.* 15 Avril, 403.
 — Appareil pour calculer le poids de l'acide sulfurique dans les chambres. (Davidson). *CN.* 1^{er} Mai, 205. Tirage dans les chambres de plomb (Porter). *Cs.* 30 Avril, 476.
 — carbonique. Appareil à Doward. *Cs.* 30 Avril, 457.
Atmosphère du Central London. *Ry.* *Cs.* 15 Avril, 404.
Baryum. Chaleur de formation des composés du. (Guntz). *CR.* 4 Mai, 1071.
Borax et acide borique. Etat de l'industrie (Corpelli). *RCp.* 3 Mai, 188.
Brasserie. Pale ale. Notes pratiques sur le. (Collier). *IOB.* Mars, 147.
 — Emploi de l'électricité dans les brasseries modernes (Cansell). *Id.*, 159.
 — Changements dans les corps nitrogénés de l'orge pendant le maltage (Evaus). *Id.*, 175.
 — Levures diverses. *Cs.* 15 Avril, 431. Recherches de la saccharine dans les bières (Boucher et des Bounghi). *SeP.* 5 Mai, 411.
 — Divers. *Cs.* 30 Avril, 504. 15 Mai, 566.
Caoutchouc. Chimie du (Harries). *Ms.* Mai, 314. Méthodes d'essai (Markwald). *Id.*, 321. Divers. *Cs.* 15 Mai, 562. Vulcanisé module de traction et coefficient de dilatation (Bouasse et Carrière). *Cs.* 11 Mai, 1130.
Cellulose soluble (Vignon). *CR.* 20 Avril, 969.
Chaux et ciments. Divers. *Cs.* 15 Avril, 421. 30 Avril, 496. 15 Mai, 535.
 — Ciment d'Égypte (*Le Ciment*) Avril, 49.

- Chaux** Pierres de ciment de Cambodge. *CN.* 8 Mai, 217.
 — Ciment de laitiers (de Schwartz). *E.* 15 Mai, 671.
- Chaleur moléculaire** de solidification et température d'ébullition (de Forcrand). *ACP.* Mai, 5.
- Chlorure d'aluminium.** Composés à fonction de ferment (Gustavson). *CR.* Mai, 1065.
- Chimie pure.** Revue annuelle (Elard). *Rgds.* 30 Avril, 450.
- Déchets industriels.** Utilisation (Razous). *Rs.* 16 Mai, 618.
- Distillerie de mélasses à Mexico.** *Ge.* 16 Mai, 42.
- Eaux bourbeuses.** Décoloration par l'alun. (Max Gregor). *Cs.* 15 Mai, 542.
- Eclairage** par combustion. Procédés divers (de Tassilly). *Rs.* 2 Mai, 546.
- Essences diverses.** *Cs.* 15 Avril, 437. 30 Avril, 500. 15 Mai, 569.
 — de camomille romaine (Blaise). *DcP.* 20 Avril, 327.
- Farines et féculés exotiques** (Baland). *Pc.* 15 Mai, 476.
- Ferments inorganiques.** Action de certains poisons (Jones) *CN.* 17 Avril, 184.
- Gaz d'éclairage.** Réaction de Clauss (Carpenter et Linder). *Cs.* 30 Avril, 457.
- Glycérine.** Action des alcalis (Buisine). *CR.* 4 Mai, 1082.
- Graisses.** Divers. *Cs.* 15 Avril, 427. Action des métaux à hautes températures sur les acides gras (Hebert). *ScP.* 20 Avril, 316.
- Iode.** Extraction des nitrates (Newton). *Cs.* 30 Avril, 469.
- Industries chimiques au Canada** (Lang). *Cs.* 15 Mai, 525.
- Krypton et Xénon.** Détermination dans l'air atmosphérique (Ramsay). *RSL.* 30 Avril, 421.
- Laboratoire.** Divers. *Cs.* 15 Mai, 572.
 — de l'Université de Leipsick. *RCp.* 19 Avril, 161.
 — Analyse des composés du cobalt (Coppaux). *ScP.* 20 Avril, 301.
 — Calorimètre pour pétrole et charbon (Houston). *E.* 15 Mai, 667.
 — Dosage de Co et Co² dans les airs viciés (Ferdinand Jear). *Pc.* 1^{er} Mai, 418.
 — — de l'acide vanadique. Emploi du zinc comme réducteur (Gooch et Gilbert). *American Journal of Science,* Mai, 389.
- Optique.** Structure des Spectres (Fabry). *CN.* 1^{er}, 8, 15 Mai, 286, 248, 234.
 — Nouvelles raies du Spectre du magnésium (Fowler). *RSL.* 30 Avril, 419.
 — Indice de réfraction des gaz et température (Walker). *Id.*, 441.
 — Polarisation rotatoire produite mécaniquement (Ewell). *American Journal of Science,* Mai, 363.
- Oxyde de carbone.** Action des métaux divisés (Sabatier et Sanderens). *ScP.* 20 Avril, 294.
- Papiers.** Fabrication nouvelle. *Dp.* 18 Avril, 242.
 — Papeteries à la cuve d'Arrhes et d'Arrhettes. *Musée social,* Avril.
- Pétrole.** Industrie au Canada (Vanston). *Cs.* 15 Avril, 393.
- Photographie.** Objectif à liquide Grun. *Cosmos.* 2 Mai, 537.
- Poids atomiques.** Rapport du Comité pour 1902. *CN.* 17 Avril, 181, du Lanthane. *Id.*, 183.
- Polonium.** Rayonnement du (Becquerel) *CR.* 27 Avril, 977.
- Sucrierie.** Divers. *Cs.* 15 Avril, 429. 15 Mai, 563.
 — centrale de Cambrai. Nouvelles installations. *Ge.* 18, 25 Avril, 397, 417.
 — Raffinage direct (Lafeuille). *Cs.* 15 Avril, 430.
 — Synthèse électrolytique des sucres. *E.* 1^{er} Mai, 591.
- Radiations du bec Auer** (Blondlot). *CR.* 11 Mai, 1120.
- Radium** (J. Thomson). *N.* 3 Avril, 602 (Besson). *IC. Mars,* 455.
- Réaction de Clauss.** Études sur la (Carpenter et Linder). *Cs.* 30 Avril, 457.
- Résines.** Colophane (Henriques et Fahrion). *Ms. Mai,* 344-370.
 — Thérébin. Propriétés siccatives (Fawsitt). *Cs. Mai,* 538.
- Réduction des halogènes métalliques** par l'hydrogène. Influence de la pression (Jonniaux). *CR.* 27 Avril, 1003.
- Sulfate de calcium hydraté.** Solubilité dans le sel marin (Anselme). *ScP.* 5 Mai, 372.

- Tannage*. Extraits tanniques : industrie des (Grognot). *Rep.* 19 *Avril*, 160.
- Absorption des substances non tan-nantes par les peaux et son influence sur l'estimation du tannin. *Cs.* 30 *Avril*, 482.
- Teinture**. Divers. *Cs.* 15 *Avril*, 412, 415, 417, 30 *Avril*, 488, 491. 15 *Mai*, 549.
- Revue des matières colorantes (Reverdin). *Ms.* *Mai*, 408.
- Consommation de vapeur dans les chau-dières de blanchiment. (Regamoti et Tagliani). *MC.* 1^{er} *Mai*, 129.
- Acides ferro et ferricyanhydrique. Do-sage du prussiate jaune (Prudhomme). *MC.* 1^{er} *Mai*, 130.
- Couleurs nouvelles. *Id.*, 133.
- Tellure*. Action de l'hydrogène sulfuré sur les dissolutions telluriques. *CN.* 1^{er} *Mai*, 209.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

- Accidents du travail* en Italie. *Ef.* 16 *Mai*, 679.
- Afrique du Sud* au point de vue de l'ingénieur. *Ef.* 24 *Avril*, 409. 8, 5 *Mai*, 461, 487.
- Algérie**. (Situation de l') *Ef.* 25 *Avril*, 2 *Mai*, 617.
- Banques allemandes*. *Ef.* 9 *Mai*, 639.
- d'émissions en la fin du 1^{er} semestre 1903. *SL.* *Avril*, 570.
- Belgique*. (Industries et métiers en) *Ef.* 18 *Avril*, 540.
- Bornéo du Nord*. *SA.* 17 *Avril*, 507.
- Éducation des ingénieurs*. *Ef.* 8 *Mai*, 461.
- En Amérique, en Allemagne et en Suisse (Dalby) *E.* 1^{er} *Mai*, 600.
- États-Unis**. Question des noirs *Ef.* 18 *Avril*, 542.
- Agriculture. Constitution de la pro-priété. *Ef.* 16 *Mai*, 701.
- Développement et composition de la population *Ef.* 2, 1^{er} *Mai*, 623, 663.
- Famille et expansion coloniale*. *Rso.* 16 *Avril*, 597.
- France**. Rachat des chemins de fer. Ouest et Midi. *Ef.* 18 *Avril*, 537.
- Commerce extérieur en *Janvier, Février, Mars* 1903, (*id.*), 539.
- Production des minerais de fer et autres. *Ef.* 18 *Avril*, 544.

- France**. Opérations des caisses d'épargne, en 1901, (*id.*), 547, 584.
- Octrois en 1901. *SL.* *Avril*, 556.
- Fonds publics français et étrangers. *Ef.* 16 *Mai*, 797.
- Grèves*. Droit et contrat social. *Rso.* 1^{er} *Mai*, 711.
- De l'antracite. Rapport de la commis-sion. *DoL.* *Mai*, 440.
- Loyers et revenus* à Paris. *EF.* 9 *Mai*, 657.
- Habitations à bon marché* en France et à l'étran-ger (Cacheux) *IC.* *Mars*, 437.
- Impôt sur le revenu* en Prusse en 1902 *SS.* *Avril*, 575.
- Maroc*. (Le) (Doutlé). *Rgds.* 5 *Avril*, 372.
- (Weisgerber) (*id.*), 30 *Avril*, 439.
- Municipalisation des services*. *Rso.* 16 *Mai*, 790.
- Paris**. Théâtres et Spectacles. Recettes de 1850 à 1902. *Ef.* 25 *Avril*, 590.
- Participation aux bénéfices*. (Carnegie) *E.* 8 *Mai*, 629.
- Patronages chrétiens*. (Réforme des) (Monteri) *Rso.* 1^{er} *Mai*, 682.
- Pétrole*. Commerce en Russie. *USR.* *Mai*, 1.
- Prix de vente* de 1890 à 1902. *DoL.* *Mars*, 204.
- Retraites** obligatoires : projet des mutua-listes. *Rso.* 16 *Mars*, 640.
- Mutualistes et subventions par l'État. (Dedé). *Rso.* *Mai*, 694.
- Salaires**. (Saisie-arrêt sur les) *Rso.* 16 *Mars*, 631.
- Rémunération du travail. (Différents modes de) *Pm.* *Mai*, 74.
- Sibérie*. Colonisation *Ef.* 25 *Avril*, 584.
- Sucre*. Production et consommation de 1892 à 1902. *SL.* *Avril*, 626.
- Socialisme*. Divergence des parties. *Ef.* 25 *Avril*, 584.
- Trust de l'acier américain* en 1902. *E.* 18 *Avril*, 599.

CONSTRUCTIONS ET TRAVAUX PUBLICS

- Barrage d'Assouan*. *Ac.* *Mai*, 608.
- Ciment*. Machine Kulberg à fabriquer les tuyaux. *Pm.* *Mai*, 78.
- Fléxomètre* pour planchers. Griot. *As.* *Mai*, 79.
- Ponts**. Doublement d'un pont sur le London and S. W. *Ry.* *Ef.* 15 *Mai*, 489.
- Construction aux États-Unis. *Ef.* 24 *Avril*, 408. 8 *Mai*, 466.

- Ponts de Padermo.** *E'* 15 *Mai*, 382, 463.
 Édouard VII à Kew. *E.* 15 *Mai*, 650.
 — du Viaur. *Gc.* 2, 9 *Mai*, 1, 17.
 — Courbes de moment fléchissant maximum. (Bell). *E'*, 8 *Mai*, 469.
Tunnel de Grævehalsen. *Ln.* 2 *Mai*, 343.

ÉLECTRICITÉ

- Accumulateurs** Hanair. *Lo.* 2 *Mai*, 284.
 — Jungner Edison. *EE.* 16 *Mai*, 266.
Caoutchouc. Divers. *Cs.* 15 *Mai*, 562.
Conducteurs. Instructions techniques pour leur installation circulaire (ministérielle). *Ri.* 25 *Avril*, 169.
Commutatrices. (Théorie des) (Verhæckxx). *EE.* 16 *Mai*, 241.
Distribution. Importance des tarifications (Berger). *Ru. Mars*, 235.
 — Lignes sur poteaux. *Élé.* 16 *Mai*, 314.
 — Sous-stations transformatrices pour traction ou éclairage. *EE.* 18 *Avril*, 95.
 — Prix de revient de la force motrice chez les particuliers (Saint-Martin). *Bam. Avril*, 355.
 — Dans les petites villes et villages (Mountain). *EE.* 9 *Mai*, 235.
 — Capacité des câbles. *EE.* 16 *Mai*, 269.
Dynamos. Réaction d'enduit des alternateurs (Guilbert). *EE.* 1-16 *Mai*, 183, 253.
 — Moteurs polyphasés à collecteur. Théorie (Blondel). *EE.* 25 *Avril*, 121; 2 *Mai*, 167.
 — Étude graphique du groupement en cascade des moteurs à champs tournants (Breslauer). *EE.* 1^{er} *Mai*, 190.
 — Dynamomètre Barbagelata pour l'essai des. *E.* 1^{er} *Mai*, 573.
Éclairage. Force-électromotrice des arcs (Mitkiewitz). *EE.* 18 *Avril*, 108.
 — Incandescence. Fabrication des lampes. *E.* 8 *Mai*, 610.
Électricité et matière (Lodge). *Rs.* 2 *Mai*, 554.
Électro-métallurgie. Divers. *Cs.* 15 *Avril*, 425; 30 *Avril*, 499; 15 *Mai*, 559.
 — Galvanostégie et galvanoplastie (Stockmeier). *Pm. Avril*, 58.
 — Caractères physiques des dépôts métalliques. *EE.* 18 *Avril*, 109.
- Électro-métallurgie.** Affinage électrolytique du nickel (historique) (Ulke). *EE.* 18 *Avril*, 110.
 — Emploi des diaphragmes métalliques dans l'électrolyse (Brochet). *EE.* 25 *Avril*, 139.
 — Influence de la nature de la cathode sur la séparation quantitative des métaux par électrolyse (Hollard). *EE.* 25 *Avril*, 153.
 — Séparations électriques des poudres métalliques de la matière inerte, et de la partie métallique d'un minerai de sagangue (Neguano). *CR.* 20 *Avril*, 964.
 — Électrolyse de la soude et de la potasse en fusion (Leblanc et Brode). *Ms. Mai*, 324.
 — — des sulfures alcalins (Brochet et Ramson). *CR.* 11 *Mai*, 1134.
 — Graphite artificiel et platine iridié comme anodes (Førster). *Id.*, 341.
 — Chlorate de potasse, réduction électrolytique (Tommasi). *CR.* 27 *Avril*, 1005.
 — Séparation cathodique du plomb (Elbs et Dixon). *EE.* 16 *Mai*, 280.
Incendies par l'électricité. *Élé.* 18 *Avril*, 248.
Mesures. Galvanomètre à circuit électrolytique Heilbrun. *EE.* 18 *Avril*, 111.
 — Galvanomètre enregistreur et contact tournant. Emploi pour le tracé des courbes de courants alternatifs (Carpentier). *CR.* 20 *Avril*, 965.
 — Capacité des électromètres (Harms). *EE.* 25 *Avril*, 150.
 — Desiderata des compteurs. *EE.* 25 *Avril*, 451.
 — Fonctionnement des compteurs dans les distributions. *Id.* 25 *Avril*, 181.
 — Indicateur du courant maximum Fucker. *E'*. 8 *Mai*, 479.
 — Potentiomètre Crompton. *EE.* 9 *Mai*, 230.
Piles. Élément double de pile galvanique Bley. *EE.* 25 *Avril*, 145.
 — Forces électromotrices de neutralisation (Dannel). *Ms. Mai*, 305.
 — — développées par les actions réciproques des dissolutions salines (Berthelot). *CR.* 11 *Mai*, 1109.
Stations centrales de Willesden. *E'*. 24 *Avril*, 409.
 — Athènes et le Pirée. *Élé.* 18 *Avril*, 241.

- Télégraphie.** Armement des poteaux. *Elé.* 18 Avril, 243.
 — aux Philippines (Private). *EM. Mai*, 209.
 — sans fil (Braun, Siemens), dans l'armée allemande. *EE. 1^{er} Mai*, 194; *Dp.* 2-9-16 *Mai*, 273, 289, 313.
 — — Nouveau cohéreur Lodge. *RSL.* 30 *Avril*, 402.
 — — Théorie de Bose sur les cohérences. *EE. 9 Mai*, 222.
 — télévision électrique (Filippore). *EE. 9 Mai*, 215.
Téléphonie. Symétrie des lignes. *Elé.* 16 *Mai*, 307.

HYDRAULIQUE

- Canal de Dortmund-Ems.** *ZOI. 1^{er} Mai*, 263.
Laboratoire d'hydraulique fluviale de Carlsruhe. *Ac. Avril*, 30.
Pompes. Mouvement des clapets (Enquehard). *RM. Avril*, 357.
 — Green. Expériences de M. Godman (*id.*), 360.
Tuyaux en fonte. Frettage par fils Jacquemart. *Bam. Avril*, 441.

MARINE, NAVIGATION

- Canal de Panama** (Kæmmerer). *VDI. 9 Mai*, 664.
Chronographe. sonde. *ZOI. 24 Avril*, 253.
Distillateur de 10 tonnes pour le Yacht. North Star. *E. 8 Mars*, 613.
Écluse oscillante Cardot. *Rt. 10 Mai*, 237.
Électricité. Locomotive de halage sur canaux (Garcin). *Bam. Avril*, 464.
Machines marines. Vibrations des (Melville). *E. 1-5 Mai*, 571, 643.
 — Moteurs à pétrole pour bateaux de pêche (Bérard). *IC. Mars*, 468.
Marines de guerre. Poids des cuirassés. *E'. 24 Avril*, 419.
 — allemande. *Rmc. Mars*, 585, 625.
 — américaine. *Rmc. Mars*, 575, 594, 598, 637; *Avril*, 890.
 — anglaise. *Rmc. Mars*, 627; *Avril*, 890.
 — sous-marins anglo-saxons. *Rmc. Mars*, 613.
 — américains. *Rmc. Avril*, 803.
Navipendule. Application aux navires de guerre. *Rmc. Avril*, 872.

- Pêche à vapeur.** Progrès et opposition. *Ef.* 16 *Mai*, 703.
Ports de Glasgow. *Es. Avril*, 28.
Transports frigorifiques (Balfour). *E'. 24 Avril*, 424.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

- Aérostation.** Ballon Lebaudy. *Ln. 2 Mai*, 337.
Arithmographe Troncet. *Ri. 25 Avril*, 166.
Chaudières. Éjecteur de cendres Sée. *Pm. Mai*, 73.
 — Entretoises, résistance des (Stubeck). *VDI. 18 Avril*, 559.
 — Foyer Wils Kemp. *E'. 8 Mai*, 480.
 — Niveau d'eau Hubbard. *E'. 24 Avril*, 422.
 — Prise de vapeur Bailey. *E'. 24 Avril*, 422.
 — Surchauffe par laminage. *E'. 24 Avril*, 420.
Dynamomètre de transmission Gaiff. et Gunther. *CR. 4 Mai*, 1058.
Embrayages à enroulement (Euverte). *RM. Avril*, 342.
Engrenages. Profilographe Haas. *VDI. 16 Mai*, 713.
Froid, Essai de machines frigorifiques Linde. *VDI. 9 Mai*, 678.
Graisserie Rochester. *E. 15 Mai*, 667.
Joint universel Williams. *AMA. 9 Mai*, 580.
Levage. A l'Exposition de Dusseldorf. *VDI. 25 Avril*, 593.
 — Appareils de manutention. *Dp. 25 Avril*, 267; 2-9-16 *Mai*, 280, 292, 307.
 — Embarqueur de charbons des mines de Dourges. *Ri. 25 Avril*, 161.
 — Palan électrique Lorain. *Ri. 18 Avril*, 155.
 — Transporteurs aériens Bleichert. *Ac. Mai*, 73.
Machines-outils allemandes (Progrès des) (Ruppert). *VDI. 16 Mai*, 698.
 — Atelier Kearney et Truker pour la construction des fraiseuses. *AMA. 18 Avril*, 465. König et Bauer pour presses d'imprimerie *VDI. 18 Avril*, 547. Commandées par l'électricité (Kem-boll). *EM. Mai*, 168. Réduction des prix par le premium system (*Id.*). 227.
 — Mouvement relatif de la pièce et de l'outil (Königs). *CR. 4 Mai*, 1056.

- Machines-outils.** Aléseuses. (Évolution des) *E.* 8 Mai, 608.
- Cisaille poinçonneuse Schiess. *E.* 8 Mai, 621.
 - Étau Taylor. *Pm.* Mai, 790.
 - Fraiseuses. Le diviseur. *AMA.* 28 Avril, 477.
 - — Gigs de *id.* 25 Avril, 527.
 - Chanfreineuse. *AMA.* 25 Avril, 514.
 - — double Beaman-Smith. *AMA.* 9 Mai, 577.
 - — à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 18 Avril, 567; 5 Mai, 673
 - — tour à rhabiller les fraises. *AMA.* 9 Mai, 586.
 - Meulage (le) (Horner). *E.* 1^{er}-15 Mai, 570, 644. Meule Gorton. *Rm.* Avril, 371.
 - Perceuse multiple Butler. *Ri.* 25 Avril, 163.
 - — quadruple horizontale Roos. *AMA.* 9 Mai, 581.
 - — pour brides circulaires Selig, Sonenthal. *Ri.* 9 Mai, 186.
 - — pour obus. *AMA.* 18 Avril, 470.
 - — électrique portative Ischerwood. *R.* 24 Avril, 565.
 - — gig. à 6 forets. *AMA.* 18 Avril, 495.
 - Presse à étirer Schuler. *AMA.* 16 Mai, 610.
 - Tours. Draper. *AMA.* 25 Avril, 513.
 - Tubes. Raboteuse et coupeuse Ferguson. *Pm.* Avril 51.
 - *Machines à bois.* Scies à mouvement continu (Razous). *RM.* Avril 329.
- Mécanique appliquée.* Revue annuelle (Lecornu). *Rgds.* 15 Avril, 390.
- Moteurs à vapeur** à l'Exposition de Dusseldorf. *Gc.* 25 Avril, 416.
- Sulzer compound verticale 5 000 chev. *E'.* 24 Avril, 409.
 - Triple expansion verticale Tosi. *E'.* 1^{er} Mai, 449.
 - Condenseurs Brown, Rosenthal, Wheeler, Richmond, Cosmopolitan C^o Balke, Alberfer, Parsons, Alley et Robertson. *RM.* Avril, 377.
 - distributions Corliss. *AMA.* 25 Avril, 518; 2 Mai, 548.
 - — Joy. *RM.* Avril, 390.
 - Dash-pot à air (Briggs). *AMA.* 16 Mai, 616.
 - Mise en train Bewis. *RM.* Avril, 392.
- Moteurs à vapeur.** Pompe à air Richardson *Id.* 385.
- Purgeur Spencer. *RM.* Avril, 394.
 - Récupérateur de vapeur Rateau. *RM.* Avril, 385.
 - Régulateurs indirects (Lecornu). *Gc.* 18 Avril, 311.
 - — Robinson, Browett et Lindley, Radovanovic. *RM.* Avril, 393.
 - Séparateur d'huile de Crimmentschau, Schultz. *RM.* Avril, 395.
 - Turbine Brady. *Gc.* 18 Avril, 408.
 - — Zoelly, Stumpf, Clark et Warbuston Rateau. *RM.* Avril, 395.
 - Volant Robinson. *RM.* Avril, 420.
 - — pour moteurs à dynamos (Levin). *AMA.* 9 Mai, 588.
 - **à gaz** Garnier. *IC.* Mars, 415.
 - — Butler Westinghouse, Stricklund Crossley et Webb, Straub, Tangye et Robson Hardb. *RM.* Avril, 403.
 - — Culasse Bellamy (*id.*), 411.
 - — Changement de marche Cooper (*id.*), 412.
 - — Gazogènes par aspiration. *Ri.* 18-25 Avril, 153, 165. Pierson. *Ri.* 2 Mai.
 - — Gaz de hauts fourneaux (Tessier). *Bm.* Avril, 421.
 - — Allumage électrique. *Lo.* 18 Avril, 249; 25 Avril, 261, 264; 9 Mai, 292, 297. Guenet. *RM.* Avril, 411. (avance à). *Lo.* 18 Avril, 247.
 - **à pétrole** (les) (Mayer). *VDI.* 25 Avril, 601; 9 Mai, 669.
 - — Diesel. *Ri.* 16 Mai, 198.
 - — Réglage. *Ri.* 18-25 Avril, 158, 163; 2 Mai, 184, 182, 195.
 - — à alcool. *Dp.* 25 Avril, 257; *E'.* 8 Mai, 474.
- Moulins à vent** à l'Exposition de la Société royale d'agriculture. *E.* 24 Avril, 553, *E'.* 1^{er} Mai, 431.
- Résistance des matériaux.** Aciers doux et durs comme matériaux de construction Eichhoff. *SuE.* 15 Avril, 489.
- Corrosion des métaux dans l'eau de mer (Diegel). *Bulletin de la Société d'Encouragement* de Berlin. 6 Avril, 120.
 - Les câbles témoins (Arnaudin). *IC.* Mars, 405.

Résistance des matériaux. Caoutchouc vulcanisé, essai mécanique (Breuil). *Ri.* 9 Mai, 189.

MÉTALLURGIE

Alliages Cuivre, étain (Constitution) (Heycock et Neville). *RsL.* 30 Avril, 409.

Cuivre. Bessemer au Rio Tinto. *Eam.* 18 Avril, 596.

— Traitement des mattes à Leadville. *Eam.* 11 Avril, 558.

— Fusion des minerais sulfurés à Ducktown. *Eam.* 2 Mai, 664.

Fer et acier. Divers. *Cs.* 15 Mai, 558.

— Fabrication électrique. *Elé.* 9 Mai, 294.

— Procédés perfectionnés pour la fabrication de l'acier sur sole (Gérard). *Ru. Mars,* 272.

— Laminage et structure des rails d'acier (Dudley). *Metallographist.* Avril, 111.

— Influence de la vitesse du refroidissement sur la structure de l'acier (Sauer et Boynton). *id.* 148.

— Cémentation du fer (Charpy). *CR.* 25 Avril, 1000.

— Aciers au nickel. (Recherches sur les) (Guillet). *Ge.* 2-9, 16 Mai; 8, 23, 40.

— Influence de l'oxyde de carbone et du carbone sur le fer et ses oxydes (Bourch). *Sue. Mai,* 562.

— Fonderie moderne (Buchman). *E.* 15 Mai, 215. Presse à mouler au London. Emery. Works. *E.* 24 Avril, 548.

— Gazogènes (Progrès des) (Lurmann). 13 Avril, 515.

— Hauts fourneaux. Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 9 Mai 659.

— Laminoirs. Application de l'électricité (Richard). *CE.* 9 Mai, 201. Machine Schneider verticale. *Pm.* Avril, 50.

Nickel. Progrès de la métallurgie en 1901 (Ulke). *Eam.* 25 Avril, 630.

— Carbonyle (Deward et Owen). *CN.* 15 Mai, 229.

MINES

Angleterre. Production minérale et métallurgique en 1901. *AM. Fév.,* 267.

Boukarie et Turkestan russe. Recherches minérales (Livat). *AM. Fév.,* 181.

Boussole de Mines Grubb. *Ru. Mars,* 328.

Cuivre. Dépôt de Clifton (Arizona). *Eam.* 9 Mai, 605.

Carrières. Exploitation aux États-Unis (de Geiper). *IC. Mars,* 427.

Estimation des minerais sur place (Richard). *Eam.* 11, 18, 25 Avril, 555, 590, 627, 2 Mai 662.

Électricité et air comprimé. *Eam.* 2 Mai, 668, 669.

— Traction électrique dans les mines. *Élé,* 16 Mai, 305.

États-Unis. District de Bute (Montana). *Eam.* 18 Avril, 592.

— de la Nevada. (*id.*) 2 Mai, 666.

Extraction. Machines électriques. *Ru. Mars,* 324.

— à grandes profondeurs (Behr). *Eam,* 663. (Habetz). 2 Mai 963.

Filons. (Les). *Em.* 18 Avril 594.

Haveuses à chaînes et à pic (Johnson). *Eam.* 25 Avril, 635.

Houille. Bassins du nord de la Belgique (Habets), *Ru. Mars,* 268.

— Gisements.

— Laverie de charbon Campbell. *Eam.* 9 Mai, 708.

Locomotive à benzine pour mines grisouteuses. *Ge.* 2 Mai, 11.

Nickel. Développement au Sault-Sainte-Marie. *Eam* 25 Avril, 632.

Norvège. Production minérale et métallurgique en 1899. *Am. Fév.,* 270.

Or. Méthodes minières à Johannesburg. *Eam.* 18 Avril, 597.

— au Klondike. *EaM,* 11 Avril, 559.

— Deep. Level au Wietwatersrand. *E'* 24 Avril 415; *Eam.* 11 Avril, 562.

— Drague Stewart. *Eam.* 2 Mai, 670.

— Séparation du gravier, procédé Edison. *Eam.* 9. Mai, 713.

Zinc (Mines de) Ellenville. *Eam,* 25 Avril, 630.

Le Gérant : GUSTAVE RICHARD.

BULLETIN
DE
LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

ARTS ÉCONOMIQUES

LA RADIOSCOPIE STÉRÉOSCOPIQUE, PAR **M. P. Villard** (1).

Pour répondre au désir exprimé par la Société d'Encouragement, je me suis proposé d'étudier au point de vue pratique la production et l'utilisation des rayons X. Cette production comportant l'emploi d'appareils électriques à très haut voltage, je comptais atteindre en même temps les applications auxquelles se prêtent ces appareils, soit par exemple la télégraphie sans fil et l'électrothérapie par les courants de haute fréquence. En ce qui concerne les rayons X proprement dits, le but que j'ai poursuivi était d'obtenir la radioscopie stéréoscopique au moyen d'une seule source d'électricité.

Production des courants à haut voltage.

Les courants à haut voltage utilisés en physique et en médecine sont généralement obtenus au moyen, soit de la machine statique, soit de la bobine de Ruhmkorff.

Ces appareils, sur l'emploi desquels je reviendrai à la fin de cet exposé, ont le défaut grave de ne pouvoir fournir qu'une puissance très médiocre, quelques dizaines de watts au plus. Le rendement de la bobine de Ruhmkorff employée avec le classique interrupteur à mercure ou le Wehnelt est très mauvais, et on dépense en pure perte, sous forme de chaleur nuisible, une puissance relative-

(1) Communication faite le 8 janvier 1903 devant la Société d'Encouragement.

ment grande dans le circuit primaire (de 500 à 2 000 watts). Pour élever le rendement j'ai supprimé complètement l'interrupteur et j'ai réalisé l'appareil suivant que M. Carpentier a bien voulu construire et mettre obligeamment à ma disposition pour ces expériences. Je suis heureux de l'en remercier ici.

Transformateur condensateur. — La partie fondamentale de l'appareil est un transformateur à circuit magnétique fermé, consommant 7 à 8 ampères sous 110 volts (soit environ 800 watts apparents et 300 watts réels) et donnant entre les bornes secondaires 50 000 volts efficaces. L'étincelle, entre boules de 20 millimètres jaillit à 9 centimètres environ (1). Cette étincelle est une véritable flamme de la grosseur du doigt ; entraînée par l'air qu'elle échauffe, elle forme au-dessus de l'excitateur un arc sinueux de 30 à 40 centimètres de développe-

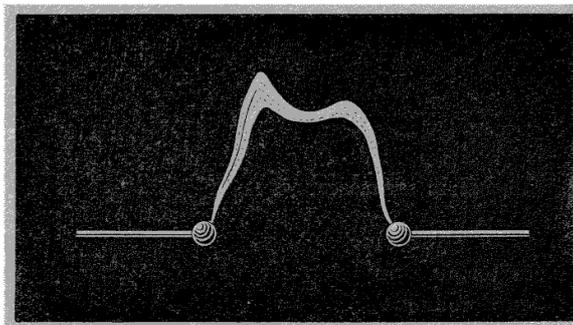


Fig. 1. — Étincelle du transformateur.

ment (fig. 1). L'intensité du courant atteint facilement 5 centièmes d'ampère, elle est énorme comparée à celle d'une décharge de bobine ordinaire.

Cet appareil pourrait à la rigueur être utilisé tel quel, en s'aidant d'un rhéostat placé sur le circuit primaire, mais il serait à la fois dangereux et d'un manière peu commode. Dans un laboratoire il est en effet essentiel de pouvoir adapter à la source d'énergie électrique un récepteur absolument quelconque : le plus souvent on n'est pas maître de la résistance, vraie ou apparente, de ce récepteur ; c'est le cas pour les ampoules à gaz raréfié. Aussi, la condition s'impose de pouvoir impunément faire du court circuit ; ce ne serait pas le cas avec un transformateur à rendement élevé ; le courant primaire atteindrait aussitôt une valeur inacceptable. D'autre part, il est à peu près nécessaire d'obtenir des décharges de sens constant. On arrive à ces deux résultats de la manière suivante :

(1) Accidentellement elle peut atteindre 20 centimètres au moment de l'établissement du courant primaire.

Les bornes secondaires SS' (fig. 2) sont reliées aux armatures AA' de deux condensateurs en micanite fixés dans une boîte qui s'adapte à la caisse renfermant le transformateur, de manière à rendre inaccessibles les bornes SS' . Les armatures BB' sont munies de deux bornes bb' , les seules que l'opérateur conserve à sa disposition pour les expériences ; dans la figure 2 elles sont supposées reliées à un exciposeur EE' .

Le circuit secondaire était ainsi coupé par les lames isolantes des condensateurs, le débit électrique est automatiquement limité ; on peut sans inconvénient mettre en court circuit les boules EE' , l'intensité du courant ne dépasse

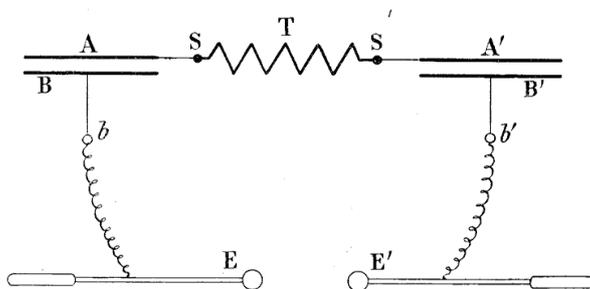


Fig. 2. — Disposition des condensateurs.

T, secondaire du transformateur. A B, A' B', condensateurs dont les plateaux AA' sont reliés aux bornes SS' du secondaire. bb', borne de prise de courant. EE', exciposeur.

pas la valeur qu'on s'est fixée à l'avance en choisissant la capacité des condensateurs.

Dans ces conditions, on obtient entre les boules EE' non plus un flamme, mais une série d'étincelles brillantes semblables à celles que donne une machine statique munie de ses condensateurs, mais beaucoup plus nombreuses (80 à 100 par seconde, suivant la fréquence de courant primaire).

On peut d'ailleurs réduire à volonté le débit en intercalant à la suite des bornes bb' un ou deux condensateurs auxiliaires en série avec les premiers, ce qui équivaut à réduire leur capacité.

L'expérience montre que la dépense nécessaire à la production d'étincelles beaucoup plus brillantes que celles d'une bobine de Ruhmkorff est insignifiante, car l'intensité de courant primaire ne varie pas sensiblement quand l'exciposeur EE' fonctionne. On peut donc aisément demander à l'appareil une puissance huit ou dix fois plus grande que celle d'une forte bobine.

Les décharges ainsi obtenues sont alternatives. Pour les redresser j'ai créé un dispositif basé sur les propriétés des gaz raréfiés ; une ampoule en verre (fig. 3) porte deux électrodes très dissimilaires, disposées comme le montre la

figure. Pour des raisons qu'il serait trop long de développer ici cet appareil ne présente qu'une résistance insignifiante quand la grande électrode est cathode : la résistance est énorme dans le cas inverse ; en un mot c'est une soupape électrique.

En mettant cette soupape entre l'une des bornes B ou B' et la branche cor-

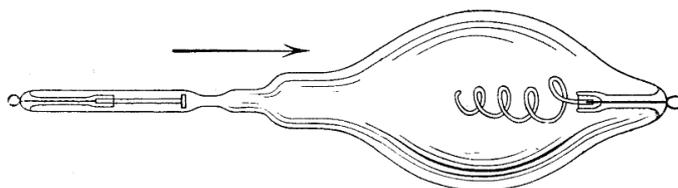


Fig. 3. — Soupape électrique.

Le courant électrique ne peut passer que dans le sens de la flèche.

respondante de l'excitateur, on supprime une des alternances et toutes les décharges sont de même sens. Mais il est préférable de disposer la soupape comme le montre la figure 4. L'une des alternances passe par la soupape, l'autre par l'excitateur. Dans la pratique il convient d'employer non pas une, mais deux soupapes en série.

Ce dispositif offre l'avantage considérable de doubler le voltage disponible

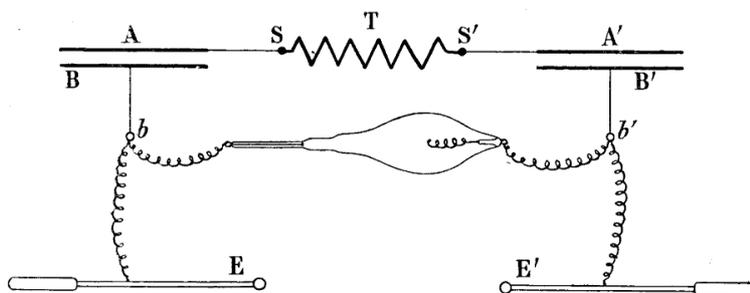


Fig. 4. — (Les lettres ont les mêmes significations que dans la fig. 2). Emploi de la soupape électrique pour absorber l'une des alternances et obtenir des décharges de sens constant. Ce dispositif double la longueur de l'étincelle.

aux boules de l'excitateur, entre les boules E E' en obtient aisément une étincelle de 20 centimètres.

Ce survoltage compense amplement le petit inconvénient résultant de ce que l'alternance absorbée laisse subsister entre E E' une différence de potentiel de quelques milliers de volts, comparable à la force électromotrice inverse des bobines de Ruhmkorff.

Si l'on voulait obtenir la même étincelle de 20 centimètres sans les soupapes, il faudrait doubler au moins le poids du cuivre du transformateur dont les dimensions seraient alors inacceptables.

La figure 5 représente l'ensemble de l'appareil : la boîte plate supérieure contient les condensateurs et porte les soupapes survoltrices qui absorbent en même temps une des alternances.

L'emploi des condensateurs présente un autre avantage : il est possible d'en mettre plusieurs en dérivation sur le même transformateur. C'est d'ailleurs ce qui a été réalisé ici : les plateaux métalliques reliés aux extrémités du fil secondaire sont placés entre deux armatures externes distinctes munies de bornes disposées par paires sur les deux faces de l'instrument. On a ainsi deux sources électriques distinctes synchrones ; on peut adapter à chacune d'elles des soupapes et obtenir des décharges de sens constant simultanées si les soupapes sont placées de même, ou alternantes avec la disposition inverse. La figure 6 montre comment il convient de placer les soupapes pour obtenir les décharges alternantes (une seule soupape a été figurée pour chaque circuit). On voit en même temps comment sont montés les condensateurs.

Cette disposition a été adoptée pour le transformateur représenté figure 5 ; chaque face de la boîte supérieure porte pas conséquent deux bornes semblables à bb' et deux soupapes.

Au besoin, si une seule source est nécessaire, on relie en parallèle les armatures externes des condensateurs, ce qui double le débit, une paire de soupapes est alors supprimée.

Applications. — Le transformateur condensateur constitue un instrument à la fois plus simple que la bobine d'induction puisqu'il ne comporte pas d'interrupteur, et capable de fournir une puissance beaucoup plus grande, réglable à volonté.

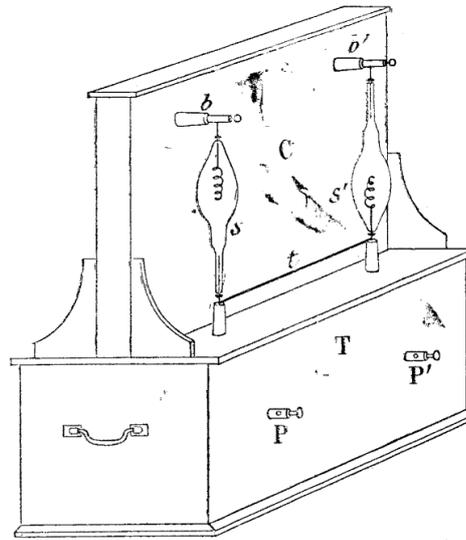


Fig. 5. — Le transformateur muni de ses condensateurs et des soupapes survoltrices.

T, boîte renfermant le transformateur noyé dans le paraffine. PP', bornes primaires. C, boîte contenant les condensateurs. bb' , bornes de prise de courant. SS', soupapes survoltrices (2 en série) reliées par la tige métallique t.

A ce titre il peut rendre de grands services en radioscopie : la régularité parfaite des décharges successives assure une grande fixité aux images fluoroscopiques ; de plus l'expérience montre que même avec une puissance très réduite, inférieure à celle que peuvent supporter les ampoules actuelles, on obtient une très belle illumination de l'écran fluorescent.

Je mentionne simplement l'emploi de l'appareil pour la production des courants de haute fréquence ; il est une autre application beaucoup plus importante

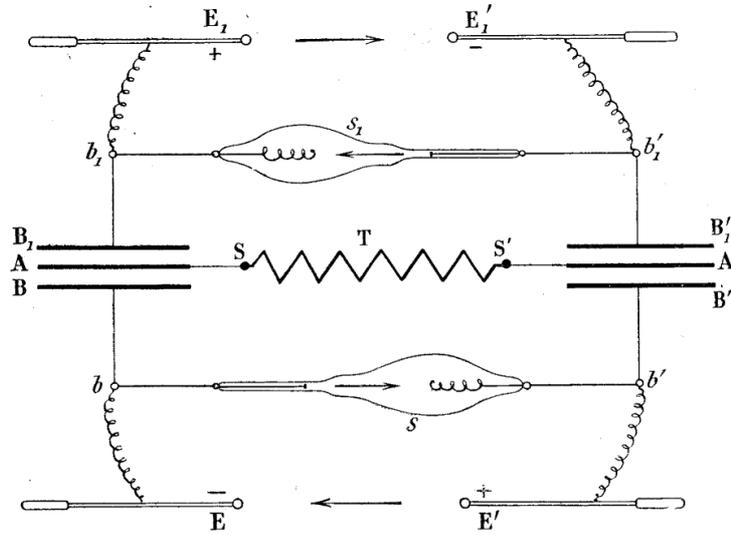


Fig. 6. — Subdivision du courant secondaire.

Les soupapes sont disposées de manière à donner entre les boules des deux excitateurs EE', EE', des décharges alternantes de sens constant (les flèches indiquent le sens du courant). AA', armatures internes des condensateurs, reliées au secondaire SS'.

AA' armatures internes des condensateurs, communes aux deux circuits :

1 ^{er} Circuit	2 ^e Circuit
BB' . . . armatures externes	B ₁ B ₁ '
bb' . . . bornes de prise de courant	b ₁ b ₁ '
EE' . . . excitateur ou ampoule	E ₁ E ₁ '
S soupape survoltrice	S ₁

que je crois devoir signaler : il s'agit de la télégraphie sans fil. En pareil cas, on se sert d'ordinaire d'une bobine de Ruhmkorff de 30 à 40 centimètres d'étincelle ; par suite de la capacité de l'antenne et du faible débit de la bobine, cette longueur se réduit à 3 ou 4 centimètres. Le transformateur, bien que donnant une longueur d'étincelle maximale moindre, présentera cependant le grand avantage de pouvoir donner à chaque décharge dix ou vingt fois plus d'électricité que la bobine. Le potentiel explosif sera donc moins réduit par la capacité de l'antenne et

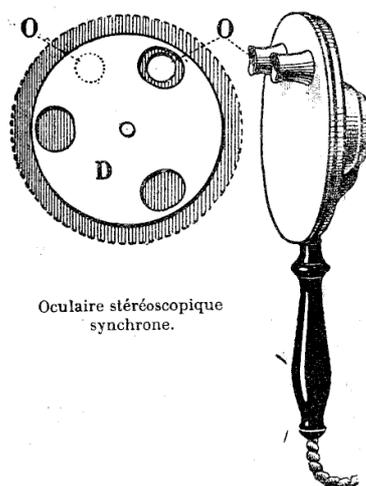
pourra demeurer peu inférieur à sa valeur maxima. La longueur d'étincelle s'abaissera à 14 ou 15 centimètres si on se sert des soupapes survoltrices, à 7 ou 8 si pour plus de simplicité on les supprime; ce sera encore beaucoup plus que ne peut fournir la bobine de Ruhmkorff. Il suffira de donner aux condensateurs une capacité convenable, facile à déterminer pour une antenne donnée. Je compte faire des expériences sur ce sujet aussitôt que les circonstances le permettront.

Radioscopie stéréoscopique par les courants alternatifs.

Pour faire de la radioscopie stéréoscopique il faut produire deux foyers de rayons X alternants, et regarder sur un écran fluorescent les ombres projetées, en ayant soin de masquer alternativement chacun des deux yeux, de telle sorte que l'œil droit, par exemple, ne voie que les images produites par le foyer de droite, et l'œil gauche celles produites par le foyer situé à gauche, ou inversement. Dans l'un des cas (le second) on verra l'objet traversé par les rayons comme si on plaçait les yeux à la place de l'ampoule : dans l'autre cas on le verra comme s'il était retourné. Ces résultats s'obtiennent aisément avec l'appareil décrit plus haut. On dispose les deux paires de soupapes de manière à avoir des décharges alternantes et on relie les deux groupes de bornes de l'appareil aux électrodes d'une ampoule double (1), constituée par deux ampoules identiques, de faible diamètre, communiquant entre elles par un tube étroit afin que le vide soit le même dans les deux. Le modèle d'ampoule imaginé par M. Colardeau, et construit avec des dimensions assez grandes, convient parfaitement pour ces expériences, sa forme allongée et étroite permettant un rapprochement suffisant des deux foyers. Une double ampoule de ce genre a été construite pour moi, par M. Chabaud, avec toute la précision nécessaire.

Le stroboscope destiné à masquer et démasquer alternativement les yeux de l'observateur est réalisé de la manière suivante :

Un minuscule moteur synchrone hexapolaire, à fer tournant, entraîne, à la



Oculaire stéréoscopique synchrone.

Fig. 7.

(1) Ces communications doivent être faites au moyen de conducteurs isolés par une très forte couche de caoutchouc, ce qui permet de laisser les fils passer près les uns des autres sans inconvénient.

vitesse d'un tiers de tour par période, un léger disque en carton portant trois ouvertures équidistantes. Ce disque D (fig. 7) est placé avec le moteur dans une boîte légère munie de deux œilletons O O' distants d'un sixième de tour, soit une demi-période, et placés naturellement à la distance des deux yeux, ce qui fixe les dimensions de l'appareil; le tout est muni d'un manche permettant de tenir l'objet à la main; un câble souple amène le courant au moteur.

Pour éviter toute complication la mise en route n'a pas été rendue automatique: elle s'effectue à la main, au moyen d'un bouton moleté porté par l'axe du moteur; on donne à ce bouton, avec le pouce et l'index, une impulsion modérée juste suffisante pour atteindre le synchronisme. Le moteur étant hexapolaire, la vitesse à réaliser est assez faible et on la dépasse sans peine; malgré cela on ne réussit pas toujours à mettre l'appareil en route: il ne suffit pas en effet d'arriver au synchronisme, il faut encore en rester voisin pendant un temps appréciable, afin de laisser au fer tournant le temps de s'aimanter. Aussi faut-il éviter de donner un lancer brusque, il vaut mieux donner une impulsion progressive et prolongée. Expérience faite, cet inconvénient m'a paru insignifiant, il est d'ailleurs facile à supprimer.

Ce dispositif est complété par une pièce permettant de décaler d'un sixième de tour l'inducteur afin de régler exactement *la phase*, condition essentielle pour la vision stéréoscopique. Il est, en effet, très important que les œilletons soient pleinement démasqués aux instants précis où ont lieu les décharges du transformateur.

On voit facilement que les œilletons seront démasqués successivement, à une demi-période d'intervalle, par la rotation du disque fenêtré. Chaque œil ne verra ainsi que ce qui se produit pendant les alternances de même parité. Il en résulte que si on regarde au travers de cet oculaire le transformateur en activité, monté comme l'indique la figure 6, on verra avec l'œil droit, par exemple, les étincelles E E' et celles-là seulement; les étincelles E₁ E'₁ seront au contraire vues par l'œil gauche. Avec une ampoule de Crookes l'effet est, en apparence, différent: quel que soit le réglage l'ampoule paraît fluorescente pour l'un ou l'autre œil: ceci tient à la longue durée de la fluorescence du verre. Il en est tout autrement quand on interpose un écran au platinocyanure de baryum, dont la durée de fluorescence est négligeable. Cet écran ne paraît illuminé que pour l'œil qui est démasqué à l'instant où a lieu la décharge productrice de rayons X.

Dans ces conditions la stéréoscopie radioscopique s'obtient sans difficulté: la double ampoule de Crookes reliée aux bornes du transformateur donne deux sources alternantes de rayons X, lesquelles produisent sur l'écran fluorescent deux silhouettes instantanées successives des objets interposés, et, au travers de l'oculaire tournant, chaque œil ne voit que les silhouettes produites par

l'une des sources. Ces impressions, par suite de leur persistance, se composent comme si elles étaient simultanées et le relief apparaît. L'observateur, installé avec son écran derrière un rideau noir qui arrête la lumière de l'ampoule, peut examiner à son aise l'ensemble ou les détails de l'image stéréoscopique au travers de l'oculaire qui, tenu à la main, laisse toute liberté aux mouvements. Le châssis porte-ampoule imaginé par le Dr Beclère est particulièrement commode pour ces observations et semble avoir été fait tout exprès pour la stéréoscopie. Il permet, en effet, de manœuvrer en tous sens l'ampoule, l'écran et le sujet soumis à l'examen; un diaphragme variable arrête une partie notable des rayons diffusés, ce qui accroît la netteté si nécessaire à l'obtention du relief.

Un commutateur intercalé sur le primaire du transformateur doit être à portée de l'opérateur pour lui permettre d'inverser à volonté le sens du courant; cette manœuvre, qui au premier abord semble dérisoire puisqu'il s'agit de courants alternatifs, a pour effet de décaler le courant d'une demi-période ou, si l'on veut, d'invertir les alternances et par suite d'échanger entre eux les foyers de rayons X.

Ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte il en résulte une inversion du relief exactement comme si l'objet examiné était retourné instantanément. On conçoit sans peine quel avantage il y a à pouvoir en quelque sorte retourner à son insu le sujet soumis à l'examen; en même temps on facilite notablement la production de l'effet stéréoscopique toujours imparfait quand les objets sont épais (thorax par exemple) à cause du flou inévitable des images, de la diffusion des rayons X et de l'éclairage toujours trop faible même avec les meilleures ampoules. L'inversion du courant permet aussi de corriger les erreurs résultant de la présence d'un obstacle très opaque placé au milieu d'objets ne portant que des ombres légères: l'obstacle en question a une tendance marquée à paraître en avant. Dès qu'on inverse le courant on le voit reculer ou avancer et l'erreur de jugement disparaît.

L'écartement qu'il convient de donner aux deux sources de rayons X doit être en général inférieur à celui des yeux, soit moindre que 65 millimètres; en effet ce que l'on voit est géométriquement identique à ce que l'on verrait en plaçant les yeux à la place des deux foyers de rayons (l'objet examiné étant supposé transparent). Pour avoir le relief exact il faudrait donc que les deux sources fussent écartées de 65 millimètres et placées à une distance du sujet égale à celle à laquelle un observateur se placerait pour le regarder commodément. Pour un thorax, par exemple, on se placerait à 1 mètre environ, 0^m,80 au moins. Mais on met l'ampoule beaucoup plus près, afin d'avoir des rayons plus intenses, soit 40 centimètres au plus. Pour avoir un relief convenable, il faut donc réduire de moitié l'écartement des sources. J'indiquerai dans un instant comment on peut réaliser un écartement aussi faible qu'on le veut.

Radioscopie stéréoscopique par les courants continus ou avec la machine statique.

La solution précédente du problème de la radioscopie stéréoscopique est évidemment incomplète en ce sens qu'elle exige l'emploi de courants alternatifs et d'un appareil spécial : je vais montrer qu'on peut obtenir d'aussi bons résultats avec le matériel ordinaire des installations radioscopiques, moyennant quelques additions peu importantes : Je supposerai d'abord qu'on veuille employer comme source électrique soit une puissante machine statique, soit une bobine de Ruhmkorff actionnée par un interrupteur Wehnelt. Dans les deux cas on obtient un nombre considérable de décharges par seconde (500 à 1500 avec le Wehnelt, 2000 au moins avec la machine statique). Chacune de ces décharges est de puissance médiocre, mais leur nombre vient compenser ce défaut. Pratiquement tout se passe comme si l'ampoule était alimentée par une source continue. Voici alors le dispositif employé (fig. 8) :

L'ampoule stéréoscopique porte deux cathodes opposées C C' et une anode unique double A, en forme de toit à deux pentes ; on obtiendra ainsi deux sources de rayons X aussi rapprochées ou aussi écartées que l'on voudra. Le pôle positif de la bobine communique constamment avec cette anode.

Le pôle négatif N est relié par un fil à un axe métallique *a* porteur d'une aiguille *b* de 12 centimètres de longueur environ. Un raccord isolant R, constitué par une tige de verre munie de deux courts tubes de caoutchouc, rattache cet axe à celui d'un petit moteur électrique M. L'aiguille *b* peut ainsi être animée d'un rapide mouvement de rotation qui amène successivement sa pointe devant deux secteurs fixes B B' reliés aux cathodes C C' (1).

Par suite de ce mouvement, le pôle négatif de la bobine est alternativement mis en relation avec les deux cathodes, les foyers de rayons X sont par suite rendus alternants. Il ne reste plus qu'à rendre la rotation de l'oculaire synchrone de celle du moteur M. Si on dispose de courant alternatif, — c'était le cas dans mes essais, — le moteur M sera un moteur synchrone, bipolaire pour avoir une rotation rapide, et on l'alimentera comme l'oculaire rotatif, au moyen d'une dérivation prise sur la source alternative : le synchronisme sera ainsi assuré. Mais on peut arriver au même résultat avec un moteur à courant continu : on le munira de deux bagues reliées à deux points de l'induit distants de 180° et ces bagues fourniront à l'oculaire le courant alternatif nécessaire qui sera ainsi toujours synchrone avec la rotation du moteur M.

Dans le cas où on n'aurait aucune source électrique, la bobine serait naturellement remplacée par une machine statique, l'axe *a* serait mû mécaniquement

(1) Pour toutes ces communications, il convient d'employer comme précédemment des fils isolés par une épaisse garniture de caoutchouc.

au moyen d'un petit tour, et un engrenage réduisant la vitesse dans le rapport de 3 à 1, transmettrait à l'oculaire rotatif hexapolaire, par l'intermédiaire d'un flexible, le mouvement de rotation qui serait ainsi synchrone quelle que soit la vitesse.

Avec le dispositif indiqué (fig. 8) et une bobine de 25 centimètres d'étincelle seulement, alimentée par 30 accumulateurs, nous avons pu, le D^r Bécèle et moi, observer aisément le relief d'un thorax. Je suis heureux de remercier ici cet émi-

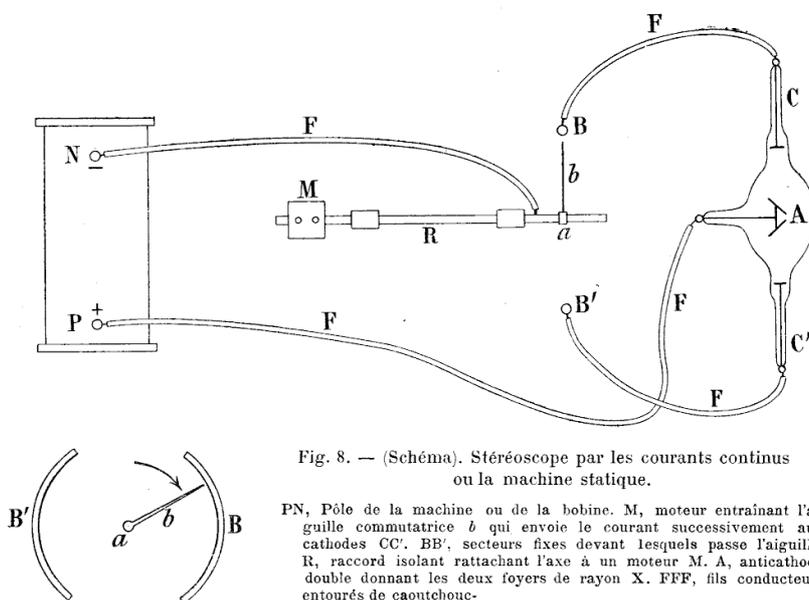


Fig. 8. — (Schéma). Stéréoscope par les courants continus ou la machine statique.

PN, Pôle de la machine ou de la bobine. M, moteur entraînant l'aiguille commutatrice *b* qui envoie le courant successivement aux cathodes CC'. BB', secteurs fixes devant lesquels passe l'aiguille. R, raccord isolant rattachant l'axe à un moteur M. A, anticathode double donnant les deux foyers de rayon X. FFF, fils conducteurs entourés de caoutchouc.

ment praticien du concours aimable et éclairé qu'il m'a apporté en cette circonstance, et de ses utiles conseils.

J'ajouterai que le dispositif précédent donnerait de meilleurs résultats avec un oculaire disposé un peu différemment de celui décrit plus haut : le disque tournant devrait être plus grand et les yeux placés non sur une corde mais sur un rayon de ce disque en *o* et *o'* (fig. 9). Chacun des yeux serait ainsi démasqué pendant un temps plus long, la période d'ouverture et de fermeture se trouvant réduite. Cette disposition aurait de grands avantages avec la machine statique ou la bobine à interrupteur électrolytique : il importe, en effet, dans les deux cas qu'il n'y ait pas de temps perdu, puisque la source fonctionne d'une manière continue : on est donc obligé de donner aux secteurs fixes BB' une étendue angulaire de 120° au moins et en pareil cas l'illumination de l'écran par l'un ou

L'autre des foyers commence avant que l'œil ne soit démasqué entièrement, ce qui produit, avec l'oculaire décrit antérieurement, un effet de pénombres nuisible au résultat. On éviterait cet inconvénient avec le disque fenêtré de la figure 9.

On voit facilement que l'emploi de l'aiguille tournante et de l'ampoule à deux cathodes se prête à toutes les installations. Je vais le montrer sur deux exemples : soit une bobine munie d'un interrupteur à mercure quelconque, donnant de 20 à 40 interruptions au moins par seconde. On adaptera à cet appareil

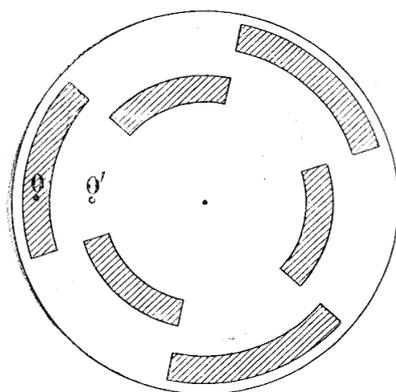


Fig. 9. — Dispositif du disque de l'oculaire.

un contact auxiliaire qui rompra synchroniquement une dérivation du courant principal : ce courant interrompu équivaldra à un courant alternatif et alimentera les moteurs synchrones de l'aiguille et de l'oculaire; il sera évidemment facile de régler les choses de telle sorte que l'aiguille passe en face des secteurs BB' aux instants précis où se produisent les décharges de la bobine. Quant à l'oculaire nous avons vu qu'il est muni d'un réglage de phase qui rendra ici les mêmes services qu'avec le courant alternatif.

Je supposerai maintenant que l'on possède une installation sur courant alternatif, avec interrupteur à mercure synchrone rompant toujours sur les alternances de même sens, soit une fois par période. Le moteur M et celui de l'oculaire seront alimentés par une dérivation de la même source alternative, ce qui assurera le synchronisme : il faudra toutefois que le moteur M ait quatre pôles afin de faire un demi-tour seulement par période, pour que les décharges successives arrivent alternativement à C et C'. De même le moteur de l'oculaire devra faire un tiers de tour non plus par alternance, mais par période complète; il suffira pour cela qu'il ait 12 pôles au lieu de 6. Ce sont là des modifications peu importantes ne portant que sur deux appareils accessoires de l'installation primitive.

CONCLUSIONS

A la suite des nombreux essais faits soit avec le transformateur, soit avec le dispositif à aiguille tournante, je suis arrivé à la conclusion suivante :

La radioscopie stéréoscopique donne des résultats excellents dans le cas d'objets simples, peu épais, ne diffusant pas trop les rayons X; c'est le cas pour

la main, le bras, le pied, la mâchoire ; l'écran est vivement illuminé, les ombres sont nettes, deux conditions essentielles en stéréoscopie.

Dans le cas du thorax, le relief apparaît moins facilement : on sait, en effet, que seuls les arcs de côtes placées contre l'écran donnent des ombres fluoroscopiques bien nettes et assez intenses. Les silhouettes du cœur et de la colonne vertébrale manquent de détails et de netteté, et la partie des côtes opposée à l'écran n'est jamais bien visible. On conçoit sans peine que la stéréoscopie soit difficile dans des conditions aussi défavorables. Il faudrait avoir des ampoules plus puissantes ou des écrans plus sensibles. Cependant, on arrive au résultat cherché, on obtient l'apparence du relief, moyennant qu'on apporte quelque soin au réglage de l'ampoule, et qu'on diaphragme pour accroître les oppositions. L'emploi de fréquences élevées (dans mes expériences chaque cathode fonctionnait 40 fois par seconde) aide notablement à obtenir l'effet stéréoscopique pour les deux raisons suivantes : la vision par les deux yeux étant alternante, l'impression enregistrée par chacun d'eux ne se compose qu'avec ce qui reste de l'impression reçue précédemment par l'autre. Ce résidu est évidemment d'autant plus grand que le temps écoulé est moindre. En second lieu, on aide beaucoup à l'illusion cherchée en faisant mouvoir le sujet pendant qu'on l'observe ; ainsi, dans une expérience faite avec le docteur Bécclère, le relief de l'objet compliqué qu'est une épaule était incertain : il a suffi de faire mouvoir le bras du sujet pour faire apparaître aussitôt l'effet stéréoscopique avec beaucoup de netteté. Si la fréquence avait été faible, ces mouvements, au lieu de sembler continus et par suite naturels, auraient produit un effet cinématographique des plus désagréables pour l'œil et nous n'aurions pu utiliser ce procédé si simple et si efficace.

Réalisée comme il vient d'être dit, et malgré ses imperfections, la stéréoradioscopie est donc susceptible de rendre dès maintenant quelques services ; la supériorité qu'elle présente sur l'examen radioscopique simple ne peut d'ailleurs que s'accroître à mesure que se perfectionneront les moyens de production des rayons X et qu'on pourra utiliser dans les ampoules des puissances électriques plus considérables.

ARTS CHIMIQUES

SUR LE RENDEMENT DES FOYERS LUMINEUX ET SUR UN DISPOSITIF TRÈS SIMPLE PERMETTANT D'AUGMENTER LE RENDEMENT LUMINEUX DES FOYERS A FLAMME, ET DES LAMPES A PÉTROLE EN PARTICULIER, par **M. Charles Henry** (1).

Tandis que les moteurs usuels transforment les énergies thermique, électrique, cinétique les unes dans les autres, les foyers lumineux transforment de l'énergie thermique en *intensité lumineuse*.

L'intensité lumineuse est une fonction complexe, variable avec la nature des corps incandescents, de cette énergie thermique, et une fonction inconnue de l'énergie emmagasinée par les réactions photochimiques de la rétine. Il serait très intéressant, pour l'énergétique, de préciser ces relations; en attendant, on a évalué l'intensité lumineuse en unités particulières: bougie, carcel, etc., unités non mécaniques, mais fondées, comme toutes les unités physiques, sur des coïncidences de traits (distances des sources, carrés d'ouvertures des diaphragmes, etc.).

*
* *

Il n'est pas inutile de faire, à ce propos, une remarque. On pourrait évaluer les intensités lumineuses *psychophysiquement*, par exemple interposer entre l'œil et la source un coin de verre enfumé d'épaisseur variable, ou bien des profondeurs variables d'atmosphère absorbante, et noter le nombre de numéros d'ordre de sensation qu'il serait possible d'intercaler entre l'intensité de la source et le minimum perceptible. Mais une telle évaluation psychophysique directe du degré d'intensité d'une lumière dépendrait de l'état antérieur de l'œil et d'une foule de conditions, et il y aurait, en l'absence de précautions multiples, pour une même intensité, autant de nombres que d'observateurs; au contraire, tous les yeux, dans des conditions faciles à remplir (immobilisation de la tête), concordent sur la lecture d'un banc ou d'un diaphragme photométrique. Tout l'effort de la science a concouru à substituer, dans les divers domaines de la sensibilité et de la physique, aux sensations brutes essentiellement discordantes dans la vie pratique, les sensations essentiellement concordantes que procure l'acuité visuelle, et ceci grâce à l'identité, chez tous les hommes, des surfaces

(1) Communication faite à la séance du 13 mars 1903.

des éléments rétinienens irréductibles. Rien ne distingue, au fond, l'intensité lumineuse d'avec les autres excitations; il y a, pour l'intensité lumineuse, des indicateurs physico-chimiques indépendants de notre organisation (courants thermo-électriques, réactions actiniques, etc.), de tous points analogues aux dilatations des corps thermométriques, pour la température, par exemple. Des quantités égales pour l'œil étant, comme pour tous les organes des sens, toujours différentes d'une fraction inférieure à la plus petite différence perceptible, toutes les mesures photométriques où la sensibilité lumineuse de l'œil intervient sont affectées d'une erreur systématique variable avec l'intensité; il importerait donc à la précision des mesures de réduire à zéro, ici comme ailleurs, la part de toute sensibilité autre que l'acuité visuelle, c'est-à-dire que l'appréciation de la coïncidence de deux traits.

*
* *

Il est d'un intérêt aussi bien pratique que théorique de considérer le rapport entre l'énergie nécessaire à la transformation et l'intensité lumineuse. C'est ce que l'on appelle le *rendement lumineux*.

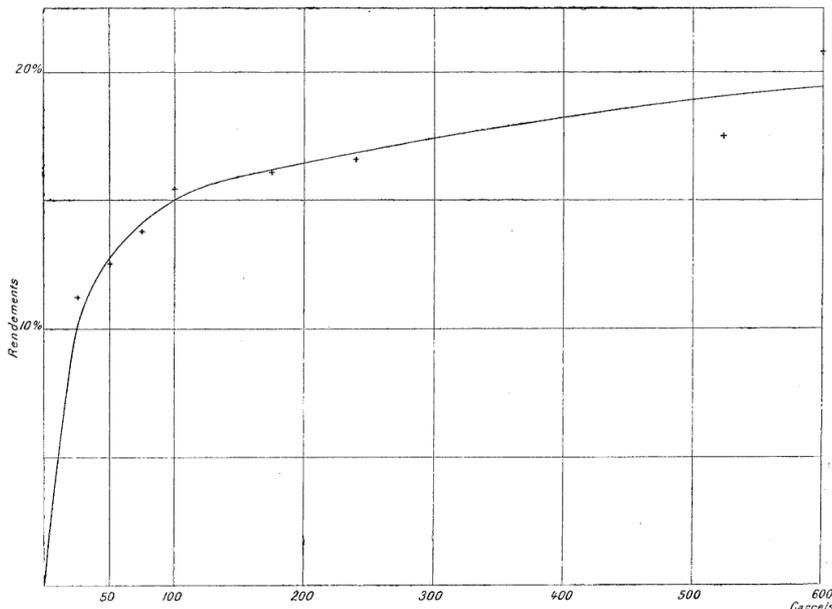


Fig. 1. — Variation du rendement avec les intensités lumineuses en carrels pour les lampes à arc.

On s'en est préoccupé pour l'arc électrique et pour la lampe à incandescence, mais sans chercher, à notre connaissance, à préciser la relation mathématique

qui relie ce rendement aux variations de l'intensité lumineuse. M. Palaz (1) indique, entre l'intensité moyenne sphérique S_m d'une lampe à arc, et l'intensité maximum en carrels I_m , la relation $S_m = 0,35 I_m$, et entre l'intensité lumineuse maximum I_m et l'intensité du courant en ampères i , la relation

$$I_m = 20 i + 0,4 i^2.$$

Si l'on porte en ordonnées les rendements R ou les inverses de watts consommés par carcel-seconde, et en abscisses les intensités correspondantes S_m , on a, d'après des expériences de M. Fontaine, la courbe n° 1 et le tableau ci-dessous :

R.	Sm.	R.	Sm.
0,112	26	0,161	175
0,123	50	0,166	240
0,138	75	0,175	325
0,154	100	0,208	600

On voit que le rendement grandit quand l'intensité augmente, d'abord très vite, puis très lentement.

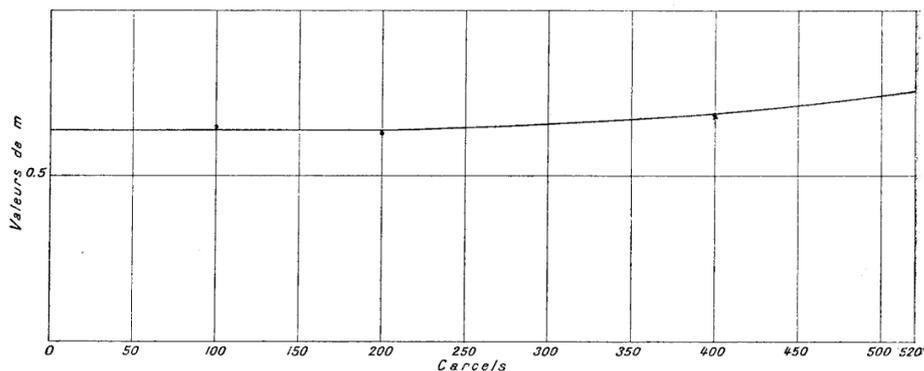


Fig. 2. — Variation de m avec i (arc électrique).

L'équation qui relie le rendement y à l'intensité i (fig. 1) est de la forme

$$y = a \times b \left(\frac{i}{i}\right)^m$$

dans laquelle

$$a = 0,200$$

$$b = 0,004$$

et m (courbe n° 2) est une fonction de i de la forme

$$m = A + Bi^n$$

où

$$A = 0,630$$

$$B = 88 \times 10^{-10}$$

$$n = 2,62.$$

(1) *Photométrie industrielle*, p. 223.

Je me suis posé le même problème pour les lampes à pétrole.

La lampe à pétrole transforme en lumière l'énergie calorifique d'un certain poids de carbures d'hydrogène. En appelant c la chaleur de combustion de l'unité de poids, E l'équivalent mécanique d'une calorie, p le poids de pétrole consommé pour l'intensité lumineuse i , et t le temps, on a, pour la puissance P nécessaire, à l'unité d'intensité, pendant l'unité de temps,

$$P = \frac{Ecp}{it}.$$

Les watts électriques nécessaires à la production de l'intensité lumineuse sont produits, d'ordinaire, par une machine à vapeur; ils ont une origine calorifique, comme l'intensité lumineuse de la lampe à pétrole. Pour comparer les deux sortes de foyers lumineux, il faut donc multiplier les rendements électriques précités par le nombre $0,08 \times 0,9 = 0,072$ (le nombre 0,08 marquant le rendement mécanique de la machine à vapeur, et le nombre 0,9 le rendement électrique des dynamos).

La courbe ci-jointe n° 3, qui résume les expériences, et dans laquelle les ordonnées représentent les inverses des poids de pétrole consommé par bougie-heure, et les abscisses les intensités, a une analogie remarquable avec la courbe n° 1; le rendement grandit très vite avec les intensités jusqu'à 1 carcel; très lentement de 1 à 3, et ensuite reste sensiblement constant. J'ai inscrit non seulement les résultats que j'ai obtenus avec des becs ronds ordinaires, mais encore ceux qui ont été obtenus antérieurement dans les intensités fortes par M. Heim (1) et par MM. Baille et Féry (2). Les résultats de ces expérimentateurs sont respectivement marqués par les lettres H', B et F. Les points un peu aberrants représentent des expériences faites par mes prédécesseurs avec des becs spéciaux plus ou moins différents du brûleur rond ordinaire; mais, en somme, tous les résultats se raccordent de très satisfaisante manière.

J'ai comparé une marque de luxe (S) au pétrole ordinaire (P O), et à un pétrole inodore raffiné par un procédé particulier (PI), filtré (f) ou non filtré (nf), parfois ozoné (O). On voit par la courbe que le rendement est indépendant du procédé de raffinage, et que, à ce point de vue, les marques de luxe et le pétrole ordinaire sont parfaitement équivalents. Il se peut que le pétrole ordinaire, au bout d'un long usage, encrasse les mèches plus que le pétrole de luxe, et diminue par là le rendement, mais je n'ai pas eu l'occasion de mesurer cette influence.

L'équation qui relie l'inverse de la consommation à l'intensité est, pour la lampe à pétrole, dans les limites de 0 à 3 carcels, comme pour l'arc électrique, de la forme

$$y = a \times b \left(\frac{i}{i'}\right)^m.$$

(1) Palaz, pp. 119 et 228.

(2) Palaz, pp. 229-230.

On a dans ce cas, les i étant comptés en bougies décimales,

$$A = 0,395; b = 0,203,$$

et m (courbe n° 4) est une fonction de l'intensité de la forme :

$$m = A + Bi,$$

où

$$A = 0,32; \quad B = 0,05.$$

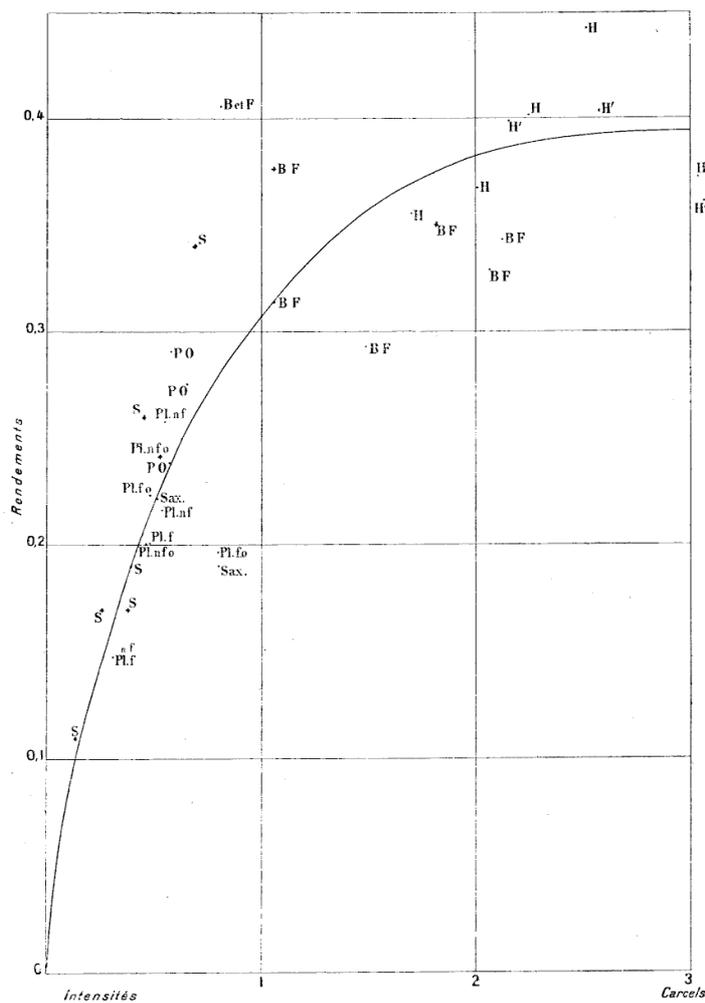


Fig. 3. — Variations du rendement avec l'intensité pour la lampe à pétrole.
Les rendements sont ici les inverses des poids de pétrole, en grammes par bougie-heure.

Comparons les rendements lumineux optima des deux sortes de foyers.

Le rendement optimum d'une carcel-seconde électrique est $0,200 \times 0,072 = 0,0144$; une carcel-seconde électrique coûte, dans cette manière de compter,

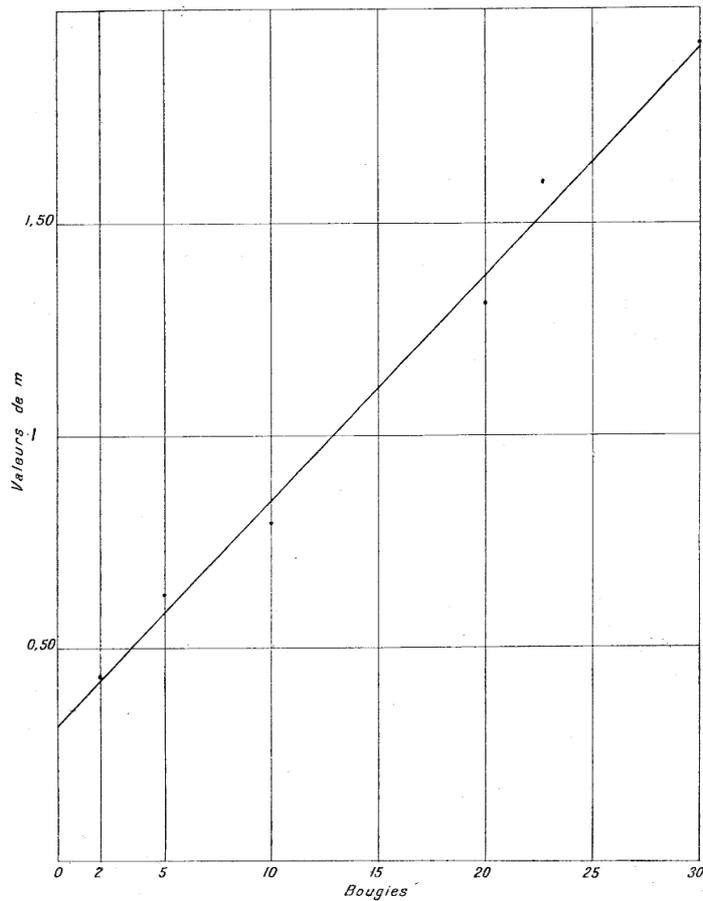


Fig. 4. — Variations de m avec i (Lampe à pétrole),

en gros 70 watts; d'après ce que nous venons de voir, le rendement optimum d'une bougie décimale-heure, avec la lampe de pétrole, est de 0,395; cela correspond à 2^{er},53 de consommation par heure, d'où 25^{er},3 par carcel-heure. Le pétrole dégageant 11 000 calories par kilogramme, en moyenne, cela nous fait, par carcel-heure, 278 calories, ou, en mégergs : $278 \times 41\,700 = 11\,592\,600$, par

carcel-seconde, 3 220 mégergs, ou 322 watts ; d'où un rendement de 0,0031, c'est-à-dire environ cinq fois plus faible pour la lampe à pétrole que pour l'arc électrique. Mais si l'on compare, comme il convient, puisque le rendement est une fonction de l'intensité lumineuse, des intensités de même ordre de grandeur, par exemple 3 carcels, le rendement de la carcel-seconde électrique est, d'après la courbe n°1 de $0,015 \times 0,072 = 0,00108$, c'est-à-dire trois fois moindre que celui de la lampe à pétrole ; rapport inverse et bien éloigné du rapport de 1 à 50, que l'on assigne d'ordinaire respectivement aux rendements lumineux de la lampe à pétrole et de l'arc électrique.

*
* *

Une différence absolue sépare les relations du rendement avec l'intensité, suivant qu'il s'agit de l'arc électrique ou de la lampe à pétrole. Le rendement,

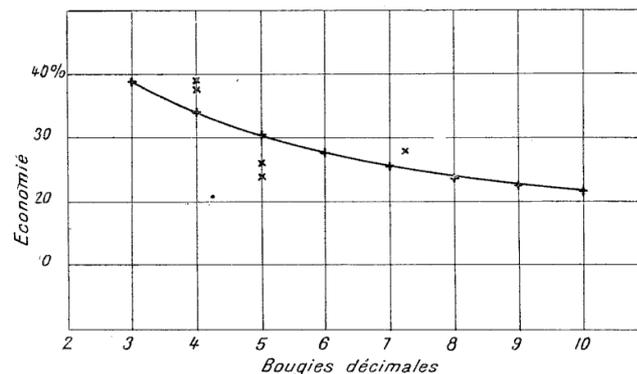


Fig. 5. — Variation de l'économie suivant l'intensité normale de la lampe.

dans le premier cas, grandit lentement avec l'intensité, tandis que, dans le second cas, il atteint très vite un maximum. Il y a donc une cause de déperdition lumineuse pour la lampe à pétrole, et, en général, pour les foyers lumineux à flamme. Cette cause est la perte de chaleur par convection.

J'ai cherché à remédier à cette perte de chaleur en coiffant l'extrémité du bec rond par un anneau de cuivre émergeant de 4 millimètres environ au-dessus du bec. La base de la flamme est ainsi protégée contre le refroidissement et, en léchant la surface chaude de l'anneau, l'air s'échauffe. Un résultat immédiatement visible de cette élévation de température du milieu est une incandescence plus grande de la flamme. Les vapeurs de pétrole sont ainsi mieux brûlées ; l'odeur carburée de l'air de la cheminée disparaît, et l'économie est sensible à la balance.

Il résulte du tableau ci-dessous que l'addition de la bague diminue la consommation de 40 à 25 p. 100, suivant l'intensité du bec :

INTENSITÉS		CONSOMMATIONS par carcel-heure		Économie.
sans accessoire.	avec accessoire.	sans accessoire.	avec accessoire.	
0,4	0,604	41,6	25,9	38 0/0
»	0,43	»	25,5	39
0,303	0,737	37,4	28,5	24
»	0,65	»	27,7	26
0,72	1,19	38,2	27,3	28
0,77	0,91	39,0	29,3	25

Si l'on fait passer une courbe de rendement [(fig. 5)] à travers les points d'observation, en appelant i l'intensité en bougies décimales, E l'économie en pourcentages ($E = \frac{P_o - P_a}{P_o}$; P_o , étant le poids du pétrole consommé dans la lampe ordinaire par unité d'intensité; P_a , le poids du pétrole consommé dans la lampe avec accessoire), on trouve, pour l'équation de la courbe (fig. 5) :

$$Ei^{\frac{1}{2}} = K = 67.$$

L'économie varie en raison inverse de la racine carrée de l'éclairage.

En pratique, cette relation varie toutefois avec le temps, sous l'influence de causes multiples : usure de la lampe, usure de la mèche, etc., et l'on ne doit retenir comme résultats constants de l'addition de l'anneau de cuivre qu'une incontestable supériorité de l'incandescence et une économie variable, liée au bon entretien de la mèche et au fonctionnement normal de la lampe.

Toutes les expériences rapportées dans ce travail ont été exécutées aux laboratoires de recherches des établissements Goy, et répétées au laboratoire de photométrie de l'Inspection du gaz de la ville de Paris, avec la collaboration de M. Croizat.

J'adresse à MM. Couderchon et Croizat mes plus vifs remerciements, pour leur bienveillant accueil.

ARTS MÉCANIQUES

EXPÉRIENCES SUR LE TRAVAIL DES MACHINES-OUTILS

Par **M. Codron**, *lauréat de la Société d'Encouragement* (Suite) (1).

Efforts et énergies de forage.

La coupe d'un foret présente des phénomènes complexes tant à cause de la forme plus ou moins simple de l'outil, des vitesses différentes des points des tranchants, que de la manière de diriger l'opération.

Il faut s'en tenir, pour établir les relations d'équilibre et d'énergie, aux cas les moins compliqués, en éliminant, s'il y a lieu, les causes perturbatrices, en ne tenant pas compte des actions auxiliaires, ce qui d'ailleurs suffit pour le degré relatif d'exactitude auquel on peut prétendre dans ce genre de recherches.

Foret droit. — Considérons d'abord un foret droit de très faible épaisseur, dont la pointe de milieu est supprimée (fig. 1158-1160) ou assez petite pour permettre de négliger son influence sur le travail général.

Chaque tranchant AB, A'B' est en prise de copeau d'épaisseur $\frac{a}{2}$ sur toute sa longueur. Admettons une pièce M de petites dimensions simplement posée sur le plateau d'une foreuse. L'outil est sollicité :

1° Par une pression extérieure P dirigée suivant l'axe de rotation; cette pression est équilibrée par les réactions de la surface d'appui de la pièce;

2° Par un moment tournant extérieur P_1L qu'il faut équilibrer par un autre moment extérieur $P_1''L''$ appliqué en sens inverse à la pièce et qui s'ajoute au moment des frottements Pf qui existent sur la face d'appui.

Sur les faces inférieures ou de talon du foret s'exercent des réactions dont les intensités décroissent en chaque point dans le sens de CD (fig. 1162). Mais puisque l'épaisseur du copeau est supposée constante, nous pouvons admettre que les résultantes p' de ces réactions par unité linéaire de tranchant sont égales et appliquées au voisinage des points tels que celui C.

Pendant le mouvement de pénétration, ces réactions donnent lieu à des

(1) 2^e fascicule, *Bulletins* de janvier, avril, 1903.

frottements sur le talon de l'outil; les résultantes de ces frottements par unité de longueur de tranchant sont : p'_1 ; ces forces sont dirigées en sens contraire du mouvement hélicoïdal que possèdent leurs points d'application, car nous supposons une avance continue.

Sur la face avant de chaque tranchant (fig. 1160) se développent des réac-

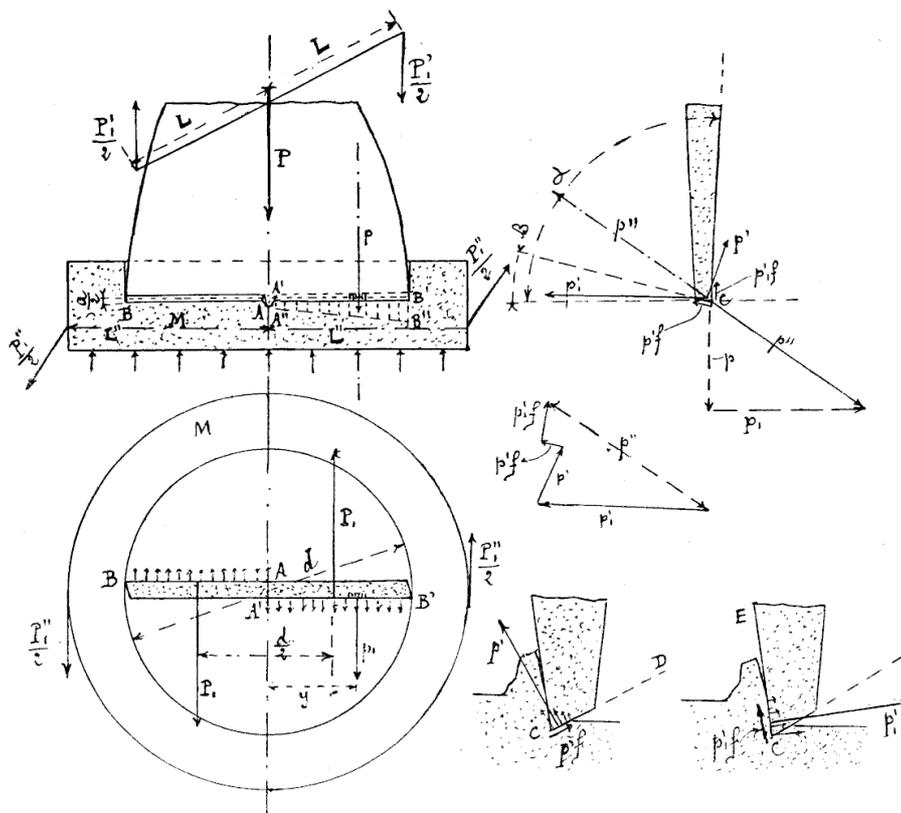


Fig. 1158 à 1163.

tions dont les intensités sont aussi des plus variables en chaque élément de surface, non seulement dans le sens de CE (fig. 1163), mais encore dans le sens de la longueur des tranchants.

On conçoit que pendant le refoulement, celui-ci étant plus accentué vers B que vers A, les résultantes p'_1 par unité de longueur de tranchant sont plus grandes en B qu'en A. On pourrait admettre que ces efforts p'_1 varient suivant l'importance du refoulement mesurée d'après l'épaisseur finale du copeau, soit

d'après les ordonnées du trapèze $A'A''B'B''$ (fig. 1158). Cette hypothèse pourrait ainsi tenir compte de l'effet des vitesses variables et croissantes de A vers B. Mais le refoulement étant suivi d'un glissement, puis d'un arrachement qui déterminent une décroissance des efforts vers B alors que la résistance croît encore en se rapprochant de A, on voit que les efforts p'_1 pendant cette phase de l'opération varient en sens contraire.

Il nous paraît impossible de définir exactement la variation de ces efforts inconstants en chaque point, et il nous semble suffisant de s'en tenir à une hypothèse plus simple, soit : admettre que les résultantes unitaires p'_1 sont égales sur toute la longueur des tranchants.

Si nous ajoutons que chaque tranchant ne travaille pas au même moment dans les mêmes conditions; que, de plus, la coupe est rarement régulière, on conviendra qu'une valeur moyenne de p'_1 est assez exacte, et cela d'autant plus que l'on ne peut tabler dans des essais de forage que sur des valeurs plus ou moins approximatives.

Les forces p'_1 appliquées aussi au voisinage des arêtes tranchantes forment un couple qui équilibre avec celui dû aux frottements $\Sigma p'f$ le mouvement de rotation extérieur P'_1L .

En outre, les forces p'_1 donnent lieu à des frottements p'_1f (fig. 1163) dirigés de bas en haut puisque le débit du copeau se fait dans cette direction; ils tendent donc à soulever le foret.

La résultante de toutes les forces $p', p'f, p'_1, p'_1f$ qui s'exercent sur un millimètre de longueur de tranchant, et qui se trouvent dans un même plan, serait une force p'' obtenue par le polygone (fig. 1161). Cette force p'' passerait par un point très voisin du point C (fig. 1159).

Le foret ne se prête pas à la mesure directe de p'' ou plutôt de la résultante générale $\Sigma p''$; mais on peut assez facilement estimer l'effort longitudinal p , projection de p'' sur la parallèle à l'axe du foret passant par son point d'application; de même il est possible d'estimer l'effort p_1 , projection de p'' , sur une tangente horizontale du cercle parcouru par son point d'application. La composante p peut être, en effet, déduite de la pression P que l'on développe avec le monte-et-baisse de la foreuse, soit :

$$p = \frac{P}{a}$$

La composante p_1 est aisément calculée par la connaissance du moment tournant qui détermine le travail de l'outil.

On obtient ainsi (fig. 1159) deux composantes de p'' dont on connaît l'angle égal à 90° , de sorte que :

$$p'' = \sqrt{p^2 + p_1^2}$$

D'autre part, on connaît les angles des faces du foret avec l'horizontale et avec la verticale. Si on projette les diverses forces sur la direction de p , puis sur celle de p_1 , on déduit les relations :

$$\begin{aligned} p &= p' \cos \beta + p'_1 \cos \alpha + p' f \sin \beta + p'_1 f \sin \alpha & (1) \\ p_1 &= -p' \sin \beta + p'_1 \sin \alpha + p' f \cos \beta - p'_1 f \cos \alpha \end{aligned}$$

ou

$$p_1 = p' (f \cos \beta - \sin \beta) + p'_1 (\sin \alpha - f \cos \alpha). \quad (2)$$

Notons que la face avant considérée est supposée faire un angle α plus grand que 90° ; si cet angle était plus petit que 90° , $p'_1 \sin \alpha$ serait affecté du signe $-$ dans l'expression de p , et $p'_1 f \cos \alpha$ du signe $+$ dans la formule de p_1 . Lorsque α est égal à 90° , le terme $p'_1 f \cos \alpha$ s'annule. Dans les forets, $p'_1 f \cos \alpha$ a peu d'importance; mais lorsque α est assez petit, il peut prendre une certaine valeur.

Le coefficient de frottement f sur des surfaces rugueuses avec des pressions unitaires élevées peut être pris égal à 0,2, de sorte qu'il ne reste plus à déduire que p' et p'_1 , lorsque d'après des essais on a estimé p et p_1 .

En résolvant les équations (1) et (2), il vient :

$$p' = \frac{p_1 (f \sin \alpha) + \cos \alpha - p (\sin \alpha - f \cos \alpha)}{(f \cos \beta - \sin \beta) (f \sin \alpha + \cos \alpha) - (\cos \beta + f \sin \beta) (\sin \alpha - f \cos \alpha)}, \quad (3)$$

$$p'_1 = \frac{p (f \cos \beta - \sin \beta) - p_1 (\cos \beta + f \sin \beta)}{(f \cos \beta - \sin \beta) (f \sin \alpha + \cos \alpha) - (\cos \beta + f \sin \beta) (\sin \alpha - f \cos \alpha)}, \quad (4)$$

faisant $\alpha = 90^\circ$, on aurait :

$$p' = \frac{p_1 f - p}{(f \cos \beta - f \sin \beta) - (\cos \beta + f \sin \beta)} = \frac{p_1 f - p}{f^2 \cos \beta - 2f \sin \beta - \cos \beta}, \quad (5)$$

$$p'_1 = \frac{p (f \cos \beta - \sin \beta) - p_1 (\cos \beta + f \sin \beta)}{f^2 \cos \beta - 2f \sin \beta - \cos \beta}. \quad (6)$$

On connaîtrait ainsi toutes les forces considérées en grandeur et en direction. On pourrait d'ailleurs ne pas attribuer à f une valeur à priori, mais la déduire en considérant une deuxième valeur de p ou de p_1 obtenue dans un essai.

Rapportant p'' à l'unité de section de copeau d'épaisseur $\frac{a}{2}$, on obtient le coefficient de résistance générale de forage :

$$R'' = \frac{2p''}{a}. \quad (7)$$

On est aussi conduit à calculer le coefficient R relatif à p , c'est-à-dire le

coefficient de résistance de pénétration de forage, puis celui R_1 relatif à p_1 , soit le coefficient de coupe de forage. Il vient :

$$R = \frac{2p}{a} \quad (8)$$

$$R_1 = \frac{2p_1}{a} \quad (9)$$

Le coefficient général de résistance de forage a donc encore pour expression :

$$R' = \sqrt{R^2 + R_1^2} = \frac{2}{a} \sqrt{p^2 + p_1^2} \quad (10)$$

Ce sont les coefficients principaux, sinon indispensables, auxquels il importe de rapporter les résultats des essais.

La plupart des expérimentateurs, à notre connaissance, ont négligé ces coefficients. Ils se sont contentés de rapporter l'énergie dépensée à l'unité de poids du métal enlevé. Cette donnée est moins logique que celle de la résistance rapportée au millimètre carré de section du copeau, section qui peut aisément être mesurée dans les cas ordinaires de la pratique, et qui permet de se rendre compte rapidement de l'énergie dépensée.

En effet, avec ces coefficients de résistance il est facile de déduire les autres par les diverses relations d'équilibre ou d'énergie.

Ainsi, la pression totale à développer pour assurer la prise de copeau est :

$$P = pd = \frac{aRd}{2} \quad (11)$$

L'énergie de cette force par tour sera :

$$Pa = \frac{a^2Rd}{2} \quad (12)$$

Si a reste constant, l'énergie dépensée après n tours du foret sera :

$$\tau = nPa = napd = \frac{na^2Rd}{2} \quad (13)$$

Cette énergie correspond à un volume :

$$\frac{\pi d^2}{4} na = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (h \text{ profondeur du trou}),$$

soit par millimètre cube :

$$\tau'_2 = \frac{2aR}{\pi d} \quad (14)$$

L'énergie de pénétration est toujours très petite et même négligeable par

rapport à celle de rotation qui correspond à la composante p_1 qu'il importe surtout d'estimer.

C'est à tort que l'on attribue parfois une importance majeure à la pression P ; celle-ci n'affecte que les organes du monte-et-baisse toujours construits assez solides pour résister aux efforts qu'ils supportent.

Énergie de coupe. — Considérons (fig. 1160) à la distance y de l'axe de rotation un élément de longueur dy du tranchant A'B'. L'effort sur cet élément est :

$$p_1 dy.$$

Le moment de rotation de cette force sera :

$$p_1 y dy.$$

La somme des moments sur chaque tranchant a pour expression :

$$\int_0^{\frac{d}{2}} p_1 y dy = \frac{p_1 d^2}{8}.$$

Pour les deux tranchants, le moment de rotation total est :

$$Mr = \frac{p_1 d^2}{4}. \quad (15)$$

On tire :

$$p_1 = \frac{4M}{d^2}. \quad (16)$$

Si l'on admet que les efforts de coupe sont plus grands vers le pourtour que vers le centre et que l'accroissement est proportionnel à la distance à l'axe de rotation, on peut poser :

$$p^2 = p_0 + my.$$

Le moment est, dans ce cas, de la forme :

$$Mr = \int_{-\frac{d}{2}}^{+\frac{d}{2}} p_0 y dy + \int_{-\frac{d}{2}}^{+\frac{d}{2}} my^2 dy = \frac{p_0 d^2}{4} + \frac{md^3}{12}. \quad (17)$$

En supposant une résultante P_1 appliquée au milieu de chaque tranchant, le moment :

$$Mr = 2 P_1 \frac{d}{4} = \frac{P_1 d}{2}. \quad (18)$$

D'autre part, la formule (9) donne :

$$p_1 = \frac{a R_1}{2},$$

soit en partant cette valeur dans (15) :

$$Mr = \frac{a R_1 d^3}{8}$$

d'où :

$$R_1 = \frac{8 Mr}{a d^3}. \quad (19)$$

L'énergie pour un tour de foret serait :

$$\tau = \frac{2\pi p_1 d^2}{4} = \frac{2\pi a R_1 d^2}{8} = \frac{\pi a R_1 d^2}{4}.$$

Le volume enlevé étant :

$$V = \frac{\pi d^2}{4} a$$

l'énergie de coupe par millimètre cube serait :

$$\tau_1' = \frac{\tau}{V} = R_1 = \frac{2 p_1}{a} = \frac{8 Mr}{a d^3}. \quad (20)$$

L'énergie par gramme de métal est :

$$\tau_1 = \frac{R_1}{\delta}. \quad (21)$$

En fonction de la vitesse angulaire ω ou du nombre de tours n par minute, l'énergie $d\tau T'$ sur un élément dy serait :

$$d\tau = p_1 v dy = \frac{2\pi n}{60} p_1 y dy = \omega p_1 y dy.$$

Sur le tranchant AB, l'énergie est :

$$\int_0^{\frac{d}{2}} \omega p_1 y dy = \frac{\omega p_1 d^2}{8}$$

et sur les deux tranchants :

$$\tau u = \frac{\omega p_1 d^2}{4} = \frac{\omega a R_1 d^2}{8}. \quad (22)$$

Le coefficient de rendement de la foreuse étant K, la puissance dépensée serait :

$$\tau m = \frac{\tau u}{K}.$$

Le coefficient K peut varier de 0 à 0,80, selon l'importance de la coupe et le modèle de foreuse. On conçoit que la marche à vide de la foreuse exige toujours une certaine valeur; l'énergie τm n'est jamais nulle et lorsque l'énergie τn tend vers zéro, K tend également vers zéro.

Dans les essais, il suffit de faire ressortir les valeurs de K pour le travail moyen et pour le travail maximum de la machine.

Le volume de métal enlevé par seconde est :

$$V = 2 \int_0^{\frac{d}{2}} \frac{ady}{2} \frac{2\pi y n}{60} = \frac{\pi a n d^2}{60 \times 4} = \frac{\omega a d^2}{8}.$$

L'énergie rapportée à l'unité de volume est donc :

$$\tau_1' = \frac{\tau u}{V} = \frac{2p_1}{a} = R_1 \quad (23)$$

valeur déjà trouvée précédemment pour ce coefficient.

Dans les essais, on peut ainsi déduire le coefficient R_1 ou celui τ_1' en considérant l'énergie dépensée et le volume de métal enlevé, en rapportant ce volume au nombre de tours du foret par minute ou par seconde. Cette formule est adoptée, de préférence, lorsque le volume s'estime facilement, ou lorsque les dimensions du copeau sont plus difficiles à mesurer, en particulier si l'avance est variable et si l'énergie dépensée est donnée par un diagramme. Dans ce cas, on est conduit à peser les copeaux et l'on fait ressortir un coefficient τ_1 , moyen par unité de poids, soit le gramme qui correspond à des valeurs plus appréciables qu'avec le kilogramme.

De même, lorsque les foreuses sont actionnées par des dynamos dont on connaît la puissance développée en watts w par la lecture des ampères et des volts, on a en kilogrammètres :

$$\tau_1' = \frac{W}{9,81 V} = 1,019 \frac{W}{V}$$

et

$$R_1 = 1,000 \tau_1' = 1,019 \frac{W}{V}.$$

Les coefficients τ_1' et R_1 sont relatifs à l'énergie totale dépensée par la foreuse et la dynamo. Pour déduire les coefficients nets de forage à l'outil, il faut faire intervenir le rendement déduit par un essai au frein, ainsi que nous l'indiquerons aux essais des foreuses.

Il nous reste à rechercher les énergies dépensées par les frottements $p'f$ et $p''f$.

Le chemin parcouru par la force $p'f$ dans un tour est la longueur de l'hélice

qui passe par son point d'application; l'énergie totale de $\Sigma p'f$ en considérant l'hélice moyenne de longueur :

$$\sqrt{\frac{\pi^2 d^2}{4} + a^2}$$

ou en négligeant a^2 est :

$$2 p' f \frac{d \pi d}{2} = \frac{p' f \pi d^2}{2}. \quad (24)$$

Les frottements $p'f$ polissent la surface du talon de l'outil sur une très petite largeur, moins de 1 millimètre, avoisinant le tranchant; l'énergie de ces frottements échauffe la pièce et le talon de l'outil très près du tranchant. Le chemin parcouru par le frottement $p'f$ dans un tour correspond au débit du copeau au point d'application de $p'f$, débit variable en chaque point proportionnellement à sa distance à l'axe de rotation, débit variable aussi avec la contraction ou refoulement du métal. Pour les métaux non ductiles, tels que la fonte, on peut admettre que le refoulement est petit; le chemin parcouru est, dans ce cas, la circonférence décrite par le point considéré; l'énergie totale de $\Sigma p'f$, en considérant la circonférence moyenne, est :

$$2 p' f \frac{d \pi d}{2} = p' f \frac{\pi d^2}{2}. \quad (25)$$

Lorsque le métal est ductile, le refoulement atteint 30 p. 100 et plus; le chemin parcouru par $p'f$ peut être, en moyenne, pris égal à la moitié de la valeur (25), soit dans ce cas :

$$p' f \frac{\pi d^2}{4}. \quad (26)$$

Le frottement $p'f$ s'exerce avec le plus d'intensité au voisinage du tranchant; il tend à l'émousser et l'énergie de ce frottement, assez grande, échauffe l'outil. Il n'est pas surprenant que la pièce et l'outil chauffent; il faut, en outre, ajouter la chaleur dégagée par la désagrégation du métal enlevé. Il importe de laisser au calorique dégagé le temps nécessaire à sa dispersion, c'est-à-dire qu'il faut modérer la vitesse, sinon l'outil s'émousse, le frottement du talon augmente, l'opération doit être suspendue.

La direction normale à $p'f$, prise par le copeau, montre aussi la grande déviation du débit par rapport à la force impulsive de coupe.

La surface engendrée par un tranchant dans un tour est :

$$\frac{\pi d^3}{4}.$$

Après n tours sous avance constante a , la profondeur du trou étant l , la surface est :

$$\frac{\pi d^2}{4} n = \frac{\pi d^2}{4} \frac{l}{a}$$

Pour les deux tranchants :

$$S = \frac{\pi d^2}{2} \frac{l}{a}$$

Le volume étant :

$$V = \frac{\pi d^2}{4} l$$

on déduit bien :

$$\frac{V}{S} = \frac{a}{2} = \text{épaisseur du copeau}$$

et :

$$S = \frac{2V}{a}$$

Comme application, considérons un foret droit de 50 millimètres de diamètre opérant dans de la fonte sous avance constante $a = 0,10$ millimètre.

On connaît :

Les angles :

$$\alpha = 92^\circ \quad \beta = 15^\circ$$

La pression longitudinale :

$$P = 500 \text{ kg.}$$

Le moment tournant :

$$M_T = 8\,500 \text{ kgmm.}$$

Le nombre de tours par minute :

$$n = 30.$$

Les divers éléments calculés sont :

Nombre de tours pour percer une profondeur de 10 millimètres :

$$\frac{l}{a} = \frac{10}{0,1} = 100 \text{ tours.}$$

Durée pour percer cette profondeur :

$$\frac{100}{30} = 3'33.$$

Surface engendrée pour 10 millimètres de pénétration :

$$S = \frac{3,14 \times 50^2 \times 10}{2 \times 0,10} = 392\,500 \text{ millimètres carrés}$$

Pression de pénétration par millimètre de tranchant :

$$p = \frac{P}{d} = \frac{500}{50} = 10^{\text{kg}}.$$

Effort de coupe par millimètre de tranchant :

$$p_1 = \frac{4Mr}{d^2} = \frac{4 \times 8\,500}{50^2} = 14^{\text{kg}}.$$

Effort de résistance totale par millimètre de tranchant :

$$p'' = \sqrt{p^2 + p_1^2} = \sqrt{10^2 + 14^2} = 17^{\text{kg}}, 2.$$

Coefficient de résistance à la pénétration par millimètre carré :

$$R = \frac{2p}{a} = \frac{2 \times 10}{0,1} = 200^{\text{kg}}.$$

Coefficient de résistance à la coupe :

$$R_1 = \frac{2p_1}{a} = \frac{2 \times 14}{0,1} = 280^{\text{kg}}.$$

Coefficient de résistance totale :

$$R'' = \sqrt{R^2 + R_1^2} = \sqrt{200^2 + 280^2} = 344^{\text{kg}}.$$

Ces valeurs de R , R_1 , R'' , justifiées par les essais, sont très grandes, comparativement aux coefficients de résistance de cisaillement, de traction, de compression, auxquels on pourrait les comparer.

Résultante des efforts p_1 sur chaque tranchant :

$$P_1 = \frac{p_1 d}{2} = 14 \times 25 = 350^{\text{kg}}.$$

Réaction par millimètre de longueur de tranchant sur le talon du foret, en admettant que $f = 0,2$:

$$p' = \frac{p_1 (f \sin \alpha + \cos \alpha) - p (\sin \alpha - f \cos \alpha)}{(f \cos \beta - \sin \beta) (f \sin \alpha + \cos \alpha) - (\cos \beta + f \sin \beta) (\sin \alpha - f \cos \alpha)}$$

$$= \frac{14 (0,2 \times 0,999 + 0,035) - 10 (0,999 - 0,2 \times 0,035)}{(0,2 \times 0,966 - 0,259) (0,2 \times 0,999 + 0,035) - (0,966 + 0,2 \times 0,259) (0,999 - 0,2 \times 0,035)}$$

$$= \frac{3,287 - 9,92}{-0,015 - 1,069} = \frac{6,333}{1,084} = 5^{\text{kg}}, 84.$$

Frottement correspondant :

$$p'f = 5,84 \times 0,2 = 1^{\text{kg}}, 168.$$

Frottement total sur les deux talons :

$$1,168 \times 50 = 58^{\text{kg}}, 4.$$

Énergie de ce frottement par tour :

$$\frac{p'f \pi d^2}{2} = \frac{1,17 \times 3,14 \times 50^2}{2} = 4\,585^{\text{kgmm}} = 4,6^{\text{kgm}}.$$

Réaction par millimètre de longueur sur la face avant de chaque tranchant :

$$p'_1 = \frac{p (f \cos \beta - \sin \beta) - p_1 (\cos \beta + f \sin \beta)}{(f \cos \beta - \sin \beta) (f \sin \alpha + \cos \alpha) - (\cos \beta + f \sin \beta) (\sin \alpha - f \cos \alpha)}$$

$$= \frac{10 (-0,066) - 14 (1,078)}{-1,084} = \frac{15,752}{1,084} = 14^{\text{kg}}, 53.$$

Frottement correspondant :

$$p'_1 f = 14,53 \times 0,2 = 2^{\text{kg}}, 906.$$

Frottement total sur les faces avant :

$$50 \times 2,906 = 145^{\text{kg}}, 3.$$

Ce frottement est assez important ; il est dirigé à très peu près en sens contraire de l'effort de pénétration ; il a donc une influence marquée sur la valeur de P . Si, au contraire, les faces avant sont dégagées de manière à obliquer $p'f$ d'une façon notable, la projection $p'f \cos \alpha$ influe davantage sur l'effort de coupe p_1 , qui augmente, ce que montreront, d'ailleurs, divers essais signalés plus loin.

L'énergie de frottement par tour, due aux forces $p'f$, a pour valeur :

$$p'_1 f \frac{\pi d^2}{2} = \frac{2,906 \times 3,14 \times 50^2}{2} = 11\,382^{\text{kgmm}} = 11^{\text{kgm}}, 38.$$

Les énergies des frottements s'élèveraient à :

$$4,6 + 11,38 = 15^{\text{kgm}}, 98.$$

Or, l'énergie de coupe estimée ci-après en fonction de p_1 ou de R_1 s'élève à 54,95 kilogrammètres, soit un rapport :

$$\frac{15,98}{54,95} = 0,29.$$

Ainsi, les énergies des frottements seraient, dans cette application, d'environ le tiers de l'énergie totale. Ces frottements produisent par tour :

$$\frac{15,98}{424} = 0^{\text{cal}},037.$$

On connaît ainsi toutes les forces qui sollicitent le foret (fig. 1164-1165), il

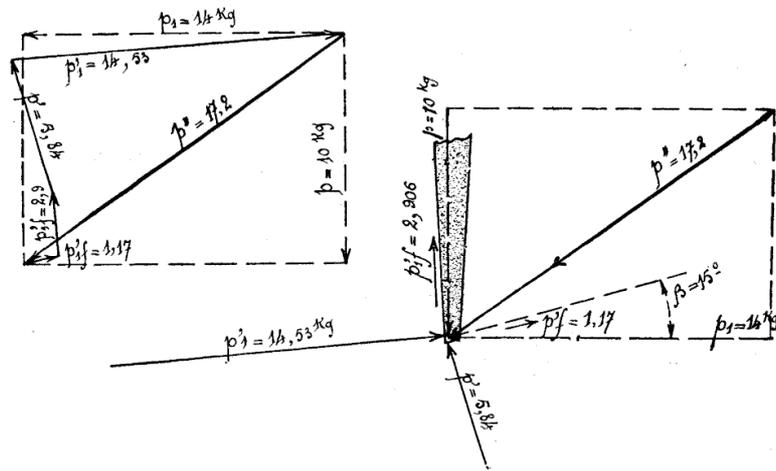


Fig. 1164 et 1165.

est facile de construire le polygone des forces relatif à l'équilibre sur un élément unitaire.

On constate, dans cette application, que la composante p_1 diffère peu de la réaction p'_1 , tandis que p est environ la moitié de p' .

L'énergie de pénétration par tour est :

$$Pa = 500 \times 0,10 = 50^{\text{kgmm}}.$$

Par millimètre cube de métal :

$$\tau_2' = \frac{2aR}{\pi d} = \frac{2 \times 0,1 \times 200}{3,14 \times 50} = 0^{\text{kgmm}},255 = 0^{\text{kgm}},00025.$$

Valeurs négligeables par rapport aux énergies de coupe qui ressortent par tour à :

$$\tau = \frac{\pi a R_1 d^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,1 \times 280 \times 50^2}{4} = 54\,950 \text{ kgmm} = 54 \text{ kgm}, 95.$$

et par millimètre cube à :

$$\tau'_1 = 280 \text{ kgmm} = 0 \text{ kgm}, 28.$$

Enfin, l'énergie par gramme de fonte serait :

$$\tau_1 = \frac{R_1}{d} = \frac{280}{7,2} = \frac{0,28}{0,0072} = 38 \text{ kgm}, 8.$$

Ce serait l'énergie nette :

Si on calcule l'énergie motrice avec un coefficient $K = 0,70$, ce qui suppose un petit nombre de couples d'organes de commande, les valeurs de τ , τ'_1 , τ_1 doivent être multipliées par :

$$\frac{1}{0,70} = 1,43$$

soit :

$$\tau = 54,95 \times 1,43 = 78 \text{ kgm}, 5.$$

$$\tau'_1 = 0,28 \times 1,43 = 0 \text{ kgm}, 4.$$

$$\tau_1 = 38,8 \times 1,43 = 55 \text{ kgm}, 5.$$

Le nombre de tours par minute étant de 30, la puissance motrice ressort à :

$$\tau m = \frac{78,5 \times 30}{60} = 39 \text{ kgm}, 25.$$

Cette valeur serait portée au double si la foreuse était par exemple une radiale comportant de 4 à 6 couples d'organes intermédiaires.

En tout cas, on voit qu'un trou de 50 millimètres de diamètre dans une pièce de fonte douce, avec une avance de 0,1 n'exige pas une grande puissance.

Cet exemple montre bien que la détermination des divers éléments du travail d'un foret n'est pas simple. Ces éléments sont trop développés pour les signaler tous dans les nombreux essais que nous citerons ultérieurement; il ne faudra pas s'étonner si nous nous contentons de faire ressortir simplement les valeurs de R , R_1 , R'' , τ'_1 et τ_1 qui permettent d'ailleurs de déduire toutes les autres ainsi que nous venons de le faire pour le foret droit.

Foret à pointe ordinaire. — Dans le foret à pointe supposé en prise sur la longueur totale de chaque tranchant, fig. 1166-1169, nous retrouvons les réactions p' et p'_1 analogues à celles du foret droit. Elles sont situées dans le plan normal à la ligne tranchante AB qui fait un angle $\frac{\Phi}{2}$ avec l'axe de l'outil.

Le frottement $p'f$ est encore dirigé suivant l'hélice parcourue par son point d'application. Le frottement p'_1f s'exerce sur la face avant de l'outil, face parallèle ou peu oblique à l'axe de rotation; il est toujours dirigé dans la direction du développement du copeau, c'est-à-dire normalement au tranchant dans la généralité des cas.

Nous pouvons admettre sans erreur appréciable que ces quatre forces sont

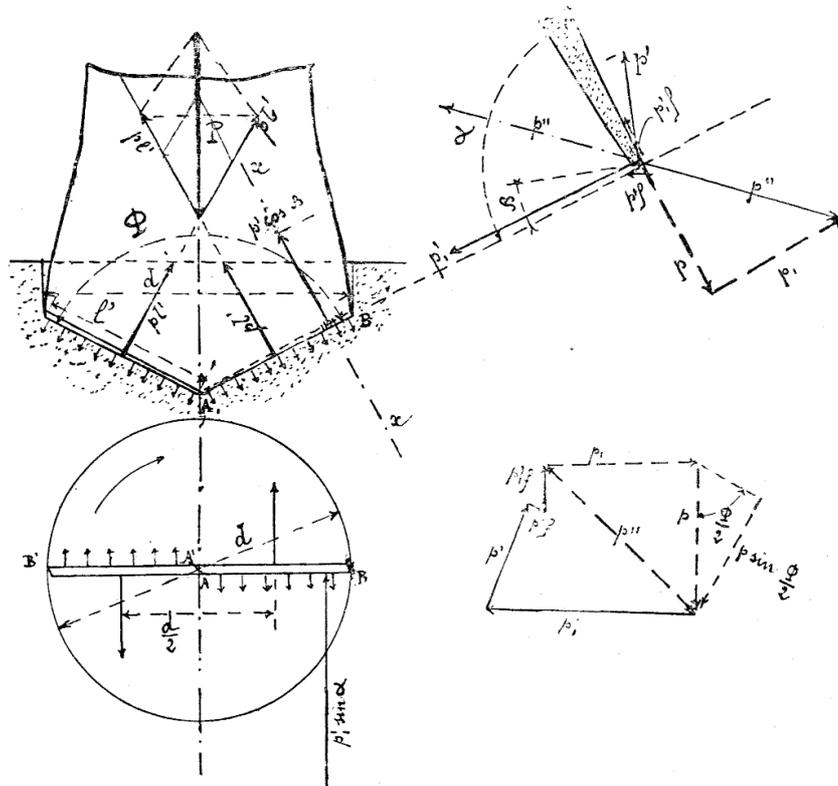


Fig. 1166 à 1169.

dans le même plan xx normal à AB ; leur résultante p'' se trouve indiquée (fig. 1168) qui est le plan xx rabattu et sur lequel sont marquées ces diverses forces.

Ici encore la résultante p'' peut se projeter sur deux directions rectangulaires pour donner p et p_1 . La force p_1 est tangente à la circonférence parcourue par

son point d'application; elle entre dans l'expression du moment tournant.

Mais la force p est oblique à l'axe du foret, avec lequel elle fait un angle $\frac{\Phi}{2}$ (fig. 1169) de sorte, qu'il faut considérer sa projection $p \sin \frac{\Phi}{2}$ dans la formule de l'équilibre de l'effort de pénétration P .

Les formules (3) (4) (5) et (6) du foret droit sont donc encore applicables pour calculer les valeurs de p' et de p_1' en fonction de p de p_1 et des angles α et β .

La pression P doit équilibrer la somme des forces $p \sin \frac{\Phi}{2}$ appliquées par millimètre de longueur sur les tranchants AB , $A'B'$, chacun de longueur l' , soit :

$$P = 2l'p \sin \frac{\Phi}{2}. \quad (27)$$

Or,

$$l' = \frac{d}{2 \sin \frac{\Phi}{2}}.$$

Il vient :

$$P = pd,$$

Valeur trouvée pour le foret droit,

On tire :

$$p = \frac{P}{2l' \sin \frac{\Phi}{2}} = \frac{P}{d}. \quad (28)$$

Ainsi pour un même diamètre et quelle que soit la valeur de l'angle Φ , pour une valeur donnée de P , la pression normale ou de pénétration de l'outil est la même par unité de longueur de tranchant. Il s'ensuit que l'avance a' normale aux tranchants reste aussi constante.

Mais la descente du foret ou l'avance proprement dite est :

$$a = \frac{a'}{\sin \frac{\Phi}{2}},$$

Soit :

$$a > a'.$$

c'est-à-dire que pour une même pression P sur deux forets de même diamètre, la pénétration par tour est plus rapide à mesure que l'angle des tranchants est plus aigu. Nous l'avons déjà reconnu aux essais de tranchage. Or un foret, limité à ses tranchants est analogue à une tranche mince quand il pénètre dans la masse sans tourner.

Pour une même avance a donnée à divers forets d'angles Φ différents, il viendrait :

$$P = pd = \frac{a' R d}{2} = \frac{a \sin \frac{\Phi}{2} R d}{2}. \quad (29)$$

La valeur maximum de P correspondrait donc à $\Phi = 180^\circ$, c'est-à-dire au foret droit, quand R , d et a restent invariables.

Lorsque Φ tend vers zéro, la pression tendrait aussi vers une valeur nulle; cependant, on conçoit que les longueurs l des tranchants étant très grandes pour Φ très petit, si des réactions élastiques existent entre les tranchants et la pièce, les forces $2 p' l$ seraient très élevées bien que l'outil n'enlèverait qu'une très mince épaisseur $\frac{a'}{2}$. Les frottements $2 p' f l$ seraient aussi très grands alors même que la pression P serait faible; il se produirait un phénomène analogue

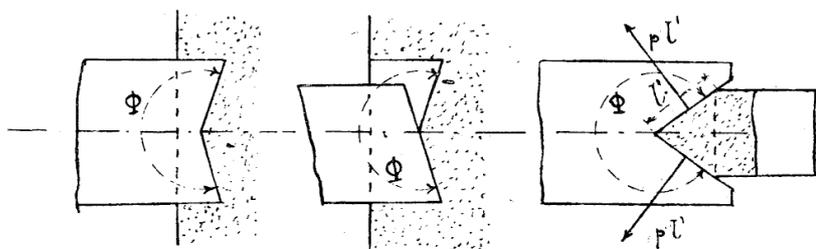


Fig. 1170 à 1172.

à celui du coincement de deux pièces coniques dont les génératrices sont presque parallèles à l'axe; de telles pièces soumises à un petit effort d'emboîtement donnent lieu à des frottements considérables.

Pratiquement, pour vérifier cette loi en ce qui concerne les forets, on ne peut guère opérer avec des angles inférieurs à 30° , ainsi que nous le signalerons au chapitre des essais.

Entre les résultantes $p l$ des forces p sur les tranchants de longueur l , et la force P , on a la relation :

$$2 p l = \frac{P}{\sin \frac{\Phi}{2}}. \quad (30)$$

Si on donne à Φ des valeurs supérieures à 180° , on est conduit à un foret (fig. 1170) difficile à affûter et qui se guide mal; on tourne la difficulté d'affûtage en supprimant l'un des tranchants (fig. 1171); on maintient le foret d'une façon rigide. En constituant l'outil comme (fig. 1172) pour couper extérieurement

une pièce, les lois du foret ordinaire peuvent s'appliquer à ce cas particulier.

Quand l'angle Φ s'approche de 360° , l'outil emboîterait un cône de génératrice l' très longue qui donnerait lieu à des efforts $2 p' l'$ analogues à ceux considérés ci-dessus. Aux limites 0° et 360° , en admettant que l'outil de diamètre d reste en prise élastique sur deux génératrices sans enlever de matière, les efforts $2 p' l'$ tendraient vers une valeur infinie; de même les frottements $2 p' f l'$ qui se développent sur le talon et qui affectent le moment de rotation.

Avec ces limites que réalise la pratique dans des outils tels que les alésoirs, on a soin de ne donner aux tranchants que de petites longueurs et on n'opère que sur des pièces peu épaisses soit dans des trous peu profonds.

La surface engendrée par un tranchant en pleine prise est :

$$\frac{\pi d l'}{2} = \frac{\pi d^2}{4 \sin \frac{\Phi}{2}}$$

Après n tours sous avance constante a , la profondeur du trou étant l , la surface est :

$$\frac{\pi d^2 n}{4 \sin \frac{\Phi}{2}} = \frac{\pi d^2 l}{4 a \sin \frac{\Phi}{2}}$$

Pour les deux tranchants

$$S = \frac{\pi d^2 l}{2 a \sin \frac{\Phi}{2}}$$

le volume étant

$$V = \frac{\pi d^2 l}{4}$$

on déduit :

$$\frac{V}{S} = \frac{a \sin \frac{\Phi}{2}}{2}$$

et

$$S = \frac{2V}{a \sin \frac{\Phi}{2}}$$

Le coefficient R de résistance à la pénétration sera pour le foret à pointe :

$$R = \frac{2p}{a'} = \frac{2p}{a \sin \frac{\Phi}{2}} = \frac{2P}{ad \sin \frac{\Phi}{2}} \quad (31)$$

Pour $\Phi = 180^\circ$, cas du foret droit, on retrouve :

$$R = \frac{2p}{a} = \frac{2P}{ad}$$

Le coefficient R_1 de résistance à la coupe est déduit en considérant la

force p_1 normale à l'axe du foret; elle se trouve dans les mêmes conditions que celle du foret droit sous avance a' ; soit :

$$R_1 = \frac{2p_1}{a'}.$$

Dans les essais, on mesure l'avance a et non pas a' , il faut donc exprimer R en fonction de a ; il vient :

$$R_1 = \frac{2p_1}{a \sin \frac{\Phi}{2}}, \quad (32)$$

pour $\Phi = 180^\circ$, on retrouve

$$R_1 = \frac{2p_1}{a}.$$

Le coefficient général de résistance serait toujours :

$$R'' = \sqrt{R^2 + R_1^2}.$$

Les relations à appliquer en fonction de R seront :

Pression totale à développer pour une avance a :

$$P = \frac{adR \sin \frac{\Phi}{2}}{2}. \quad (33)$$

Énergie de cette force par tour

$$Pa = \frac{a^2dR \sin \frac{\Phi}{2}}{2}. \quad (34)$$

Énergie pour une profondeur de trou l :

$$Pl = \frac{adlR \sin \frac{\Phi}{2}}{2}. \quad (35)$$

Énergie pour un nombre de tours n :

$$Pan = \frac{a^2dnR \sin \frac{\Phi}{2}}{2}. \quad (36)$$

Volume enlevé par tour :

$$\frac{\pi d^2}{4} a.$$

Énergie par millimètre cube :

$$T_1' = \frac{2aR \sin \frac{\Phi}{2}}{\pi d} = \frac{4adR \sin \frac{\Phi}{2}}{2\pi d^2} = \frac{4P}{\pi d^2}. \quad (37)$$

Ici, de nouveau, l'énergie de pénétration est négligeable par rapport à l'énergie de coupe relative à la composante p_1 .

Il faut aussi noter que l'effort P doit vaincre une partie du frottement $2 p_1' l' f$ qui se distribue proportionnellement aux vitesses de rotation et de pénétration en chaque point. La vitesse de pénétration étant généralement très petite, on peut admettre que la totalité du frottement s'exerce dans le sens du débit du

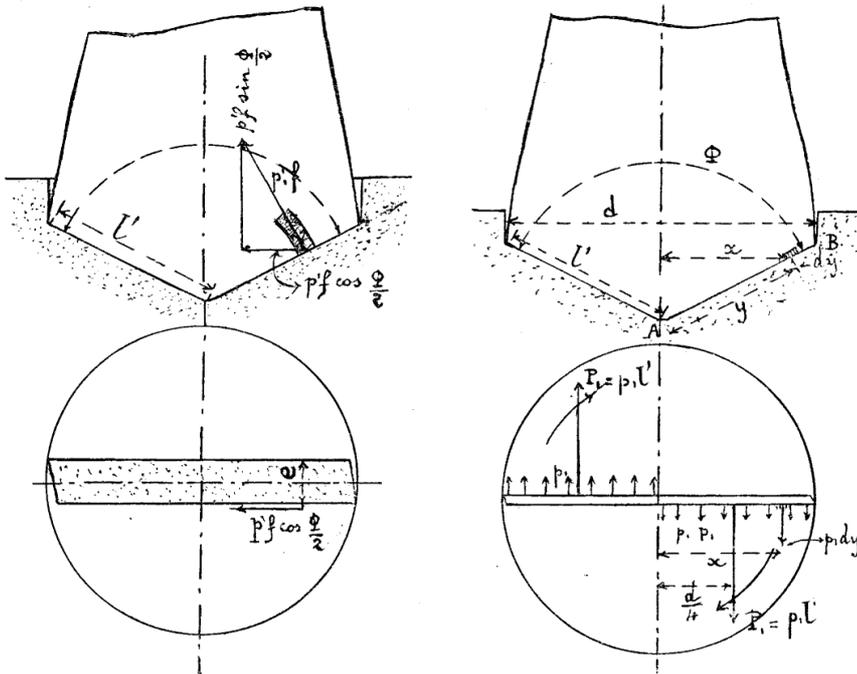


Fig. 1173 à 1176.

copeau. Ce débit n'est plus comme dans le foret droit parallèle à l'axe de rotation; il est oblique et chaque frottement tel que $p_1' f$ (fig. 1173) donne deux composantes $p_1' f \sin \frac{\Phi}{2}$, $p_1' f \cos \frac{\Phi}{2}$.

La première tend à soulever le foret, elle équilibre en partie la pression P.

La deuxième a un bras de levier $\frac{e}{2}$ (e épaisseur du foret, fig. 1174), de sorte que les forces $p_1' l' f \cos \frac{\Phi}{2}$ situées de part et d'autre sur chaque face du foret ont pour effet d'agir dans le sens favorable à la rotation; ce sont des forces impulsives.

Ce phénomène assez curieux rappelle que le frottement peut développer un effet utile. L'énergie des frottements $2 p_1 l' f$ doit être en majeure partie, pour ne pas dire en totalité, fournie par l'énergie de rotation.

Moment tournant. — L'estimation du moment tournant, lorsque le foret est en pleine prise, se fait en considérant les forces p_1 .

L'effort sur un élément dy situé à une distance y du point A (fig. 1175-1176) est :

$$p_1 dy.$$

Le moment de cette force serait :

$$p_1 x dy.$$

Mais

$$\frac{2x}{d} = \frac{y}{l'},$$

soit :

$$x = \frac{y d}{2 l'}.$$

et

$$p_1 x dy = \frac{p_1 d}{2 l'} y dy$$

Le moment total relatif à l' serait :

$$\frac{p_1 d}{2 l'} \int_0^{l'} y dy = \frac{p_1 d l'^2}{4 l'} = \frac{p_1 d l'}{4}.$$

Pour les deux tranchants, le moment tournant est donc :

$$Mr = \frac{p_1 l' d}{2} = \frac{P_1 d}{2}. \quad (38)$$

Or

$$p_1 = \frac{a' R_1}{2},$$

et

$$l' = \frac{d}{2 \sin \frac{\Phi}{2}},$$

soit :

$$Mr = \frac{a R_1 \sin \frac{\Phi}{2} d^2}{8 \sin \frac{\Phi}{2}} = \frac{a R_1 d^2}{8}. \quad (39)$$

On en déduit :

$$p_1 = \frac{2 Mr}{d l'} = \frac{4 Mr \sin \frac{\Phi}{2}}{d^2}, \quad (40)$$

et

$$R_1 = \frac{8 Mr}{a d^2}. \quad (41)$$

La valeur du moment tournant est identique à celle trouvée pour le foret droit possédant une avance a ; elle serait indépendante de l'angle Φ ; cela, parce qu'il est admis que la résistance R_1 du métal est proportionnelle à l'avance. Mais, comme il n'en est pas ainsi, dans la plupart des métaux, et que pour une avance a le foret à pointe n'entame la matière que sous une épaisseur :

$$\frac{a'}{2} = \frac{a \sin \frac{\Phi}{2}}{2}$$

plus petite que l'épaisseur du copeau $\frac{a}{2}$ entamée par le foret droit, il s'ensuit que les valeurs de R_1 pour le foret à pointe quand l'avance a est la même, doivent être plus grandes.

Cependant, l'angle Φ étant pratiquement supérieur à 90° , les différences ne sont pas grandes pour Φ compris entre 90° et 180° . Les relations des énergies sont aussi les mêmes que celles pour le foret droit; toutefois, il faut tenir compte de ce que p et p_1 se rapportent au millimètre de longueur de l . L'énergie par tour du foret :

$$\tau = 2\pi Mr. \quad (42)$$

L'énergie par millimètre cube en kilogrammètres :

$$\tau_1 = \frac{R_1}{1000} = \frac{8Mr}{1000 a d^2}. \quad (43)$$

L'énergie par gramme de métal :

$$\tau_1 = \frac{R_1}{\rho}. \quad (44)$$

L'énergie nette par seconde :

$$\tau u = \omega Mr = \frac{\omega a R_1 d^2}{8}. \quad (45)$$

L'énergie motrice par seconde :

$$\tau m = \frac{\tau u}{K}. \quad (46)$$

Dans les essais, le moment Mr sera estimé sous la forme générale :

$$Mr = P_1' L = 2P_1 \frac{d}{4} = \frac{p_1 l d}{2}. \quad (47)$$

On mesure P_1 , on connaît L , et l'on déduit :

$$P_1 = \frac{2Mr}{d} = \frac{2P_1' L}{d}, \quad (48)$$

$$p_1 = \frac{2Mr}{l d} = \frac{2P_1' L}{l d}. \quad (49)$$

Travail relatif à la tête du foret à pointe. — Nous avons admis dans les relations qui précèdent que le foret était en pleine prise; mais il existe la phase de travail de la tête du foret pendant laquelle une partie seulement des tranchants enlève le métal.

Pour une position quelconque (fig. 1177) relative à cette phase, toutes les expressions trouvées s'y appliquent en faisant $d = d'$.

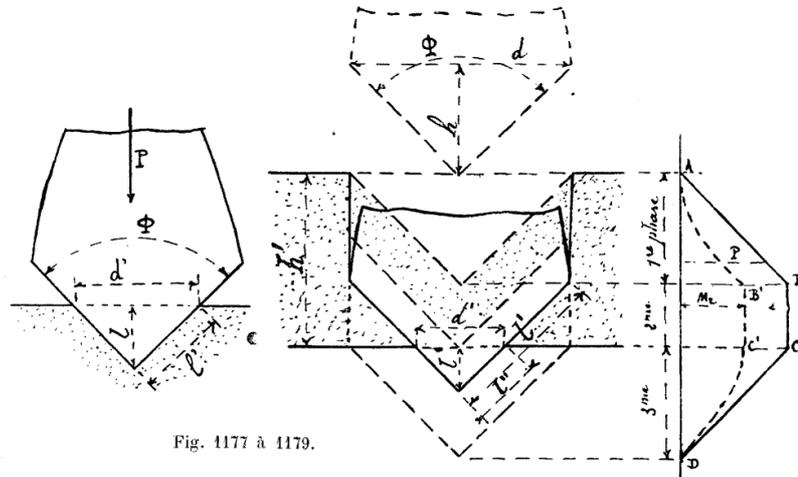


Fig. 1177 à 1179.

Si on exprime d' et l' en fonction de la profondeur l engagée, soit :

$$d' = 2l \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} \quad \text{et} \quad l' = \frac{l}{\cos \frac{\Phi}{2}},$$

il vient pour les principales expressions :

$$P = 2l'p \sin \frac{\Phi}{2} = \frac{2lp \sin \frac{\Phi}{2}}{\cos \frac{\Phi}{2}} = 2lp \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}, \quad (50)$$

d'où

$$p = \frac{P}{2l \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}}.$$

$$R = \frac{2P}{a d' \sin \frac{\Phi}{2}} = \frac{P}{a l \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} \sin \frac{\Phi}{2}}, \quad (51)$$

$$Mr = \frac{a R_1 d'^2}{8} = \frac{a R_1 l^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{2}, \quad (52)$$

$$R_1 = \frac{2Mr}{a l^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}, \quad (53)$$

L'avance a étant constante, le nombre de tours qui correspond à la pénétration totale de la tête, est :

$$\frac{l}{a} = \frac{d}{2a \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}}$$

La surface engendrée par les deux tranchants serait :

$$S = \frac{2V}{a \sin \frac{\Phi}{2}} = \frac{\pi d^3}{12a \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} \sin \frac{\Phi}{2}}$$

On peut remplacer l par an et obtenir les expressions :

$$M_r = \frac{a^3 n^2 R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{2}, \quad (54)$$

$$R_1 = \frac{2M_r}{a^3 n^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}} \quad (55)$$

L'énergie pour une rotation $2\pi dn$ sera :

$$d\tau = 2\pi M_r dn = \frac{2\pi a^3 R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{2} n^2 dn.$$

L'énergie totale pour un nombre de tours n est :

$$\tau = \pi a^3 R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} \int_0^n n^2 dn = \frac{\pi a^3 n^3 R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{3} \quad (56)$$

Or, le volume du cône est :

$$V = \frac{\pi d^3 l}{4 \cdot 3} = \frac{\pi l^3 \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}}{3} = \frac{\pi a^3 n^3 \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}}{3},$$

soit :

$$\frac{\tau}{V} = R_1.$$

La dernière phase, soit celle du foret en pleine prise que nous avons considérée en premier lieu se prolonge jusqu'à ce que la pointe traverse la pièce. A ce moment commence une troisième phase; elle donne lieu à des relations d'équilibre qui correspondent à celle de la première en ce qui concerne les pressions.

Il suffit de remplacer, dans les formules de la deuxième phase, l par

$$h = l = \frac{d}{2 \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}} = \frac{d'}{2 \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}}$$

Ainsi lorsque le foret débouche d'une longueur l (fig. 1178), il reste en prise deux parties des tranchants, soit :

$$2(l - l') = 2 \left(\frac{d}{2 \sin \frac{\Phi}{2}} - \frac{d'}{2 \sin \frac{\Phi}{2}} \right) = 2 \left(\frac{h}{\cos \frac{\Phi}{2}} - \frac{l}{\cos \frac{\Phi}{2}} \right),$$

et l'on aurait :

$$\begin{aligned} P &= (d - d') p = 2(l - l') p \sin \frac{\Phi}{2} = 2(h - l) p \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} \\ &= a(h - l) R \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} \sin \frac{\Phi}{2}. \end{aligned} \quad (57)$$

Sous avance constante, la variation de P serait représentée pour les trois phases par la ligne $A B C D$ (fig. 1179).

Le moment de rotation serait :

$$Mr = \frac{a R_1 (h^2 - l) \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{2}. \quad (58)$$

La variation de Mr comporte pour la première phase une portion de parabole AB' (fig. 1179), pour la deuxième phase, une droite $B'C'$; pour la troisième phase la variation comprend de nouveau une portion de parabole $C'D$.

Les énergies sont proportionnelles aux volumes enlevés dans chaque phase, soit :

1^{re} phase :

$$\frac{\pi d^2 h}{4 \cdot 3}.$$

2^e phase :

$$\frac{\pi d^2}{4} (h' - h).$$

3^e phase :

$$\frac{\pi d^2}{4} \left(h - \frac{h}{3} \right) = \frac{\pi d^2}{4} \frac{2h}{3}.$$

On voit que le volume de la troisième phase est le double de celui de la première phase; ce que les valeurs des moments Mr indiquent d'ailleurs par leurs variations.

La surface engendrée par les tranchants serait :

$$S = \frac{2V}{a \sin \frac{\Phi}{2}} = \frac{\pi d^3}{6 a \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} \sin \frac{\Phi}{2}}.$$

Par rapport au foret droit à petite pointe, la durée de l'opération, pour une

même épaisseur h' de la pièce, est plus grande avec le foret à pointe. Si a est l'avance commune, les nombres de tours sont :

Foret droit :

$$n = \frac{h'}{a},$$

Foret à pointe :

$$n' = \frac{h' + h}{a},$$

soit :

$$\frac{n}{n'} = \frac{h'}{h' + h}.$$

Or h est une constante pour un même foret, tandis que h' peut n'avoir qu'une valeur peu supérieure ou même inférieure à h .

Supposons $h = h'$, le rapport

$$\frac{n}{n'} = \frac{h}{2h} = \frac{1}{2}.$$

Il faudrait deux fois plus de temps pour forer le trou avec le foret à pointe qu'avec le foret droit. C'est pourquoi, lorsque les trous de petite profondeur se répètent, ce qui a souvent lieu, le foreur préfère adopter le foret droit; c'est aussi la raison pour laquelle, dans certains ateliers, ce foret est toujours très employé.

Forage sous pression constante. — Si l'on opère sous pression constante P dès le début de l'opération, on peut se proposer de calculer pendant la première phase : la profondeur l du trou en fonction du nombre de tours n effectués par le foret; puis la vitesse de pénétration à chaque instant.

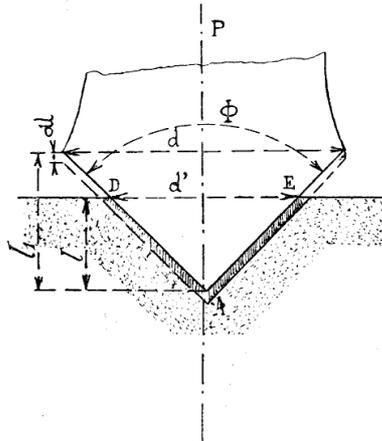


Fig. 4180.

Supposons qu'après n tours, le foret ait pénétré d'une longueur l (fig. 4180). Au bout de $n + dn$ tours, dn étant infiniment petit, la profondeur du trou aura augmenté d'une quantité dl infiniment petite.

Or dl est proportionnel à dn et, inversement proportionnel à la ligne d'appui DAE, ou, ce qui est la même chose, inversement proportionnel à l .

On a donc :

$$dl = K \frac{dn}{l}. \quad (a)$$

K est un coefficient général qui dépend de P , de l'angle Φ , de la nature du métal.

L'équation (a) s'écrit :

$$l dl = K dn.$$

et s'intègre,

$$\int_0^l l dl = \int_0^n K dn,$$

soit :

$$\frac{l^2}{2} = K n,$$

d'où

$$l = \sqrt{2Kn}. \quad (b)$$

Si l'on porte en abscisses les nombres de tours n et en ordonnées les péné-

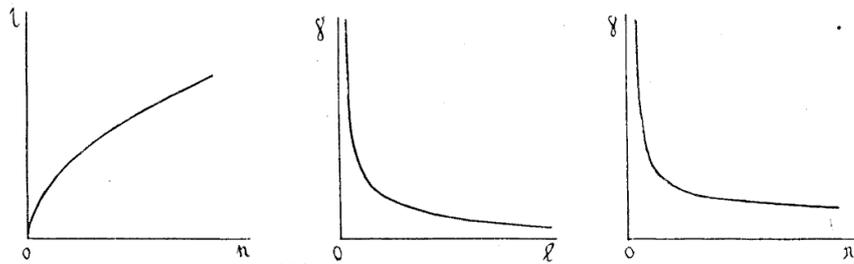


Fig. 1181 à 1183.

trations l , l'équation (b) représente une parabole ayant on pour axe et ol pour tangente au sommet (fig. 1181).

Pour déterminer K , il suffirait dans un essai de considérer un certain nombre n de tours, de mesurer la profondeur l correspondante et l'on aurait d'après l'équation (b) :

$$K = \frac{l^2}{2n}.$$

Vitesse de pénétration γ . — On peut appliquer cette dénomination au rapport

$$\frac{dl}{dn};$$

l'équation (a) donne en fonction de l :

$$\gamma = \frac{dl}{dn} = \frac{K}{l}. \quad (c)$$

En fonction de n :

$$\gamma = \frac{K}{l} = \frac{K}{\sqrt{2Kn}} = \frac{\sqrt{K}}{\sqrt{2n}}. \quad (d)$$

Les courbes représentatives des variations de γ sont : la première, une hyperbole (fig. 1182) ; la deuxième, une cubique (fig. 1183).

Il ne faut surtout pas confondre ici γ avec l'avance a par tour du foret, car dn infiniment petit n'est pas égal à 1. On peut d'ailleurs évaluer l'erreur relative que l'on commettrait en substituant a_n à γ_n .

On a en effet :

$$a_n = l_{(n+1)} - l_n = \sqrt{2K} (\sqrt{n+1} - \sqrt{n}),$$

soit :

$$\varepsilon_n = \frac{\gamma_n - a_n}{n} = \frac{\frac{1}{2\sqrt{n}} - \sqrt{n+1} + \sqrt{n}}{\frac{1}{\sqrt{2n}}} = 1 + 2n - 2\sqrt{n}(n+1)$$

$$= \frac{1}{1 + 2n + 2\sqrt{n}(n+1)}.$$

On voit qu'elle tend vers zéro quand n devient infini ; elle est donc négligeable quand n est assez grand, mais elle ne l'est pas quand n est nul ou petit.

Dès que le foret est en pleine prise sur les deux tranchants, soit à partir de $l = h$, la vitesse γ reste constante ; si on la rapporte à l'unité de tour fait dans l'unité de temps, la vitesse est égale à l'avance. On tire de la relation (51) :

$$a = \frac{P}{R l \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} \sin \frac{\Phi}{2}}.$$

Or l'équation (c) donne

$$\gamma = a = \frac{K}{l},$$

soit :

$$K = \frac{P}{R \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} \sin \frac{\Phi}{2}}. \quad (e)$$

C'est la valeur à introduire dans les expressions (c) et (d).

Épaisseur du copeau. — L'épaisseur verticale de chaque copeau à un instant quelconque de l'opération, soit à une profondeur l qui correspond à n tours est estimée, en considérant que chaque tranchant AB, A'B' étant symétrique par rapport à l'axe, lorsque AB se trouve dans la position relative à $(n-0,5)$ tours, A'B' passe à n tours dans cette position projetée horizontalement mais plus basse de l'épaisseur verticale e .

Or à $(n-0,5)$ tours la longueur (voir équation (b))

$$l_{n-0,5} = \sqrt{2K(n-0,5)},$$

et à n tours

$$l_n = \sqrt{2Kn},$$

de sorte qu'à l'instant où le tranchant A'B' passe à l'aplomb de la position qu'occupait le tranchant AB, à 0,5 de tour avant, l'épaisseur verticale :

$$\begin{aligned} e &= l_n - l_{n-0,5} = \sqrt{2Kn} - \sqrt{2K(n-0,5)} \\ &= \sqrt{2K} (\sqrt{n} - \sqrt{n-0,5}) = \sqrt{2K} \frac{0,5}{\sqrt{n} + \sqrt{n-0,5}}. \end{aligned} \quad (f)$$

Si n est assez grand, on peut négliger $-0,5$ sous le radical; il vient alors :

$$e = \sqrt{2K} \frac{0,5}{2\sqrt{n}} = \frac{2K \times 0,5}{2l} = \frac{K}{2l} = \frac{\gamma}{2}. \quad (g)$$

L'épaisseur verticale serait, dans ce cas, égale à la moitié de la vitesse et cette dernière serait égale à l'avance a par tour. L'épaisseur normale au tranchant serait toujours :

$$e' = e \sin \frac{\Phi}{2}.$$

Pour exprimer e en fonction de l , remplaçons n par $\frac{l^2}{2K}$ dans l'expression (f). il vient :

$$\begin{aligned} e &= \sqrt{\frac{2Kl^2}{2K}} - \sqrt{\frac{2Kl^2}{2K} - K} = \sqrt{l^2} - \sqrt{l^2 - K} \\ &= \frac{l^2 - l^2 + K}{\sqrt{l^2} + \sqrt{l^2 - K}} = \frac{K}{\sqrt{l^2} + \sqrt{l^2 - K}}. \end{aligned} \quad (h)$$

Si on peut négliger $-K$ sous le radical, la formule devient :

$$e = \frac{K}{2l} = \frac{\gamma}{2}$$

valeur de l'expression (g).

Moment de rotation. — Le moment, lorsque l'outil se trouve à une profondeur l , serait :

$$Mr = \frac{e R_1 d^2}{4} = e R_1 l^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}$$

remplaçant e par la valeur (f) et l^2 par $2Kn$.

$$Mr = R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} l^2 \sqrt{2K} \frac{0,5}{\sqrt{n} + \sqrt{n-0,5}} = R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} 2Kn \sqrt{2K} \frac{0,5}{\sqrt{n} + \sqrt{n-0,5}}. \quad (i)$$

Soit encore en adoptant pour e , la valeur (h) :

$$Mr = R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} l^2 (l - \sqrt{l^2 - K}). \quad (j)$$

Énergie de coupe. — L'énergie pour forer une longueur l pendant la première phase, se compose : 1° de Pl que l'on peut négliger ; 2° du travail du moment tournant ; il est proportionnel au volume enlevé et au coefficient de coupe R_1 .

Le volume dV qui correspond à dn tours est pour un tranchant :

$$dV = \frac{\pi d^2}{4} dn e. \quad (k)$$

e est l'épaisseur verticale du copeau à l'instant considéré, c'est-à-dire équation (f) :

$$e = \sqrt{2K} (\sqrt{n} - \sqrt{n-0,5}),$$

soit :

$$d\tau = dV R_1 = R_1 \frac{\pi d^2}{4} dn \sqrt{2K} (\sqrt{n} - \sqrt{n-0,5}),$$

mais

$$\frac{d^2}{4} = l^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}$$

et

$$l^2 = 2Kn,$$

il vient :

$$\frac{d^2}{4} = 2Kn \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2},$$

soit :

$$d\tau = 2\pi R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} \sqrt{2K} (\sqrt{n} - \sqrt{n-0,5}) n dn.$$

Le travail après n tours serait, pour un seul tranchant :

$$\frac{\tau}{2} = 2\pi R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} \sqrt{2K} \int_0^n (\sqrt{n} - \sqrt{n-0,5}) n dn.$$

L'intégrale peut s'écrire :

$$\int_0^n n^{\frac{3}{2}} dn - \int_0^n n \sqrt{n-0,5} dn.$$

la première partie est égale à :

$$\frac{2n^{\frac{5}{2}}}{5} = \frac{2\sqrt{n^5}}{5}.$$

Pour intégrer la deuxième partie, posons :

$$n - 0,5 = t \quad \text{soit} \quad n = t + 0,5 \quad \text{et} \quad dn = dt,$$

il vient :

$$\int_0^n (t + 0,5) \sqrt{t} dt.$$

Posant encore :

$$\sqrt{t} = u \quad \text{soit} \quad t = u^2 \quad dt = 2u \, du,$$

on aura les valeurs générales :

$$\begin{aligned} \int 2(u^2 + 0,5)u^2 \, du &= 2 \int u^4 \, du + \int u^2 \, du = \frac{2u^5}{5} + \frac{u^3}{3} \\ &= \frac{2t^{\frac{5}{2}}}{5} + \frac{t^{\frac{3}{2}}}{3} = \frac{2}{5}(n-0,5)^{\frac{5}{2}} + \frac{(n-0,5)^{\frac{3}{2}}}{3}. \end{aligned}$$

Il faut intégrer cette expression de 0 à n , soit :

$$\begin{aligned} &\left(\frac{2}{5}(n-0,5)^{\frac{5}{2}} + \frac{(n-0,5)^{\frac{3}{2}}}{3} \right) - \left(-\frac{2}{5} \times 0,5^{\frac{5}{2}} + \frac{0,5^{\frac{3}{2}}}{3} \right) \\ &= \frac{2}{5}(n-0,5)^{\frac{5}{2}} + \frac{(n-0,5)^{\frac{3}{2}}}{3} + \frac{2 \times 0,5^{\frac{5}{2}}}{5} + \frac{0,5^{\frac{3}{2}}}{3}. \end{aligned}$$

L'expression du travail de l'un des tranchants devient :

$$\frac{\tau}{2} = 2\pi R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} \sqrt{\frac{\Phi}{2K}} \left(\frac{2}{5} \sqrt{n^{\frac{5}{2}}} - \frac{2}{5} \sqrt{n-0,5} - \frac{\sqrt{n-0,5}}{3} - \frac{\sqrt{0,5}}{3} - \frac{2\sqrt{0,5}}{5} \right).$$

Les termes en $\sqrt{n^{\frac{5}{2}}}$ se neutralisent, de même ceux en

$$\sqrt{0,5} \quad \text{et en} \quad \frac{\sqrt{0,5}}{3}.$$

le terme principal à considérer de la parenthèse serait :

$$n^{\frac{3}{2}},$$

qui est homogène à l^3 ;

car :

$$n = \frac{l^2}{2K},$$

soit :

$$n^{\frac{3}{2}} = \frac{l^{\frac{3}{2}}}{(2K)^{\frac{3}{2}}} = \frac{l^3}{(2K)^2}.$$

On aurait pour le travail total sur les deux tranchants :

$$\tau = 4\pi R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} \sqrt{\frac{\Phi}{2K}} \frac{n^{\frac{3}{2}}}{3} = 4\pi R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} \frac{l^3}{3}, \quad (l)$$

soit encore

$$\tau = \frac{\pi d'^2 l}{4} R_1$$

= volume du cône de base d' , et de hauteur l , multiplié par le coefficient de coupe R_1 .

Plus simplement on arrive au même résultat lorsqu'on suppose que n est

assez grand pour admettre que l'épaisseur verticale e , correspond à la valeur de dl pour $dn =$ demi-tour. Par définition on a :

$$\gamma = \frac{dl}{dn},$$

soit :

$$\gamma = \frac{dl}{\frac{1}{2}} = 2 dl,$$

d'où

$$dl = \frac{\gamma}{2} = e.$$

Il vient alors pour un tranchant :

$$dV = \frac{\pi d'^2}{4} dn \frac{\gamma}{2} = \frac{\pi d'^2}{4} \frac{dl}{2} = \frac{\pi d'^2}{8} dl$$

$$d' = 2 l \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2},$$

$$d\tau = dV R_1 = \pi R_1 \frac{l^3 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{2} dl = \frac{\pi R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{2} l^3 dl,$$

$$\frac{\tau}{2} = \int_0^l \frac{\pi R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{2} l^3 dl = \frac{\pi R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{2} \frac{l^3}{3} = \frac{\pi d'^2 l}{8} \frac{1}{3} R_1.$$

Pour les deux tranchants, le travail total est :

$$\tau = \frac{\pi d'^2 l}{4} \frac{1}{3} R_1. \quad (m)$$

En fonction de

$$n = \frac{l^2}{2K}$$

l'expression du travail pour les deux tranchants

$$\tau = \pi R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} \frac{l^3}{3}$$

devient :

$$\tau = \pi R_1 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} \frac{\sqrt{8K^3 n^3}}{3} = K' (2Kn)^{\frac{3}{2}}. \quad (n)$$

Les courbes représentatives de τ sont deux cubiques, fig. 1184-1185.

On aurait encore :

$$\frac{d\tau}{dn} = 2K K' \sqrt{2Kn} = 3K K' l, \quad (o)$$

ce serait le travail par tour du foret.

L'accroissement du travail pour l'approfondir de l'unité, serait

$$\frac{d\tau}{dl} = 3K' l^2 = 6K K' n. \quad (p)$$

Pendant la deuxième phase, la vitesse et l'avance restent constantes sous la

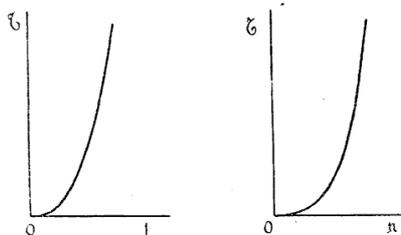


Fig. 1184 et 1185.

pression P; toutes les relations considérées précédemment et relatives à cette condition sont applicables.

Ensuite se produit la troisième phase, le foret passe outre la pièce (fig. 1186). La ligne d'appui de chaque tranchant est alors :

$$l - l'',$$

dl sera donc inversement proportionnel à :

$$2(l - l'')$$

ou à

$$(h - l).$$

Il viendrait ici :

$$dl = \frac{K dn}{h - l} \quad (a')$$

Cette équation s'écrit encore :

$$h dl - l dl = K dn$$

et s'intègre

$$\int_0^l h dl - \int_0^l l dl = \int_0^n K dn,$$

soit :

$$hl - \frac{l^2}{2} = Kn.$$

On tire :

$$l = h - \sqrt{h^2 - 2Kn}. \quad (b')$$

soit :

$$l = h \quad \text{pour} \quad \sqrt{h^2 - 2Kn} = 0,$$

et

$$h^2 = 2Kn$$

$$n = \frac{h^2}{2K}.$$

La courbe de (b') est une parabole (fig. 1187).

La vitesse de pénétration γ serait :

$$\gamma = \frac{dl}{dn} = \frac{K}{h-l} \quad (c')$$

En fonction de n

$$\gamma = \frac{K}{\sqrt{h^2 - 2Kn}} \quad (d')$$

Les courbes sont : la première (fig. 1188), une hyperbole dont l'asymptote parallèle à $o\gamma$ a pour abscisse $l=h$.

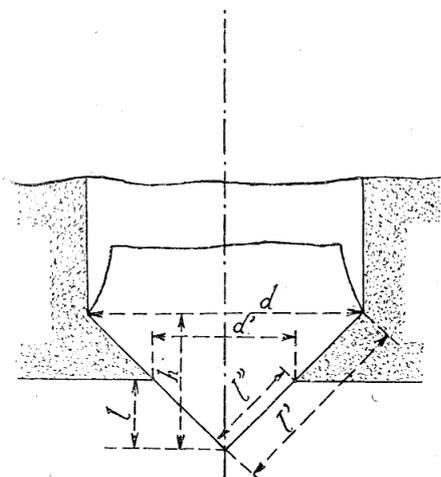


fig. 1186.

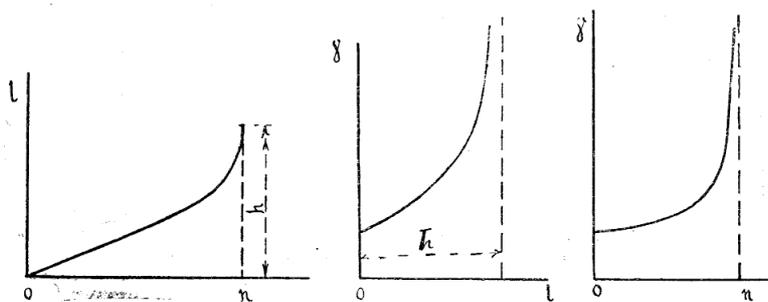


Fig. 1187 à 1189.

La deuxième (fig. 1189) est une cubique dont l'asymptote a pour abscisse.

$$n = \frac{h^2}{K} - \frac{h^2}{2K} = \frac{h^2}{2K}$$

On pourra encore pratiquement adopter pour l'épaisseur verticale du copeau :

$$e = \frac{\gamma}{2} = \frac{K}{2(h-l)} = \frac{K}{2\sqrt{h^2 - 2Kn}}. \quad (d'_1)$$

L'énergie de rotation relative à une longueur l pendant cette troisième

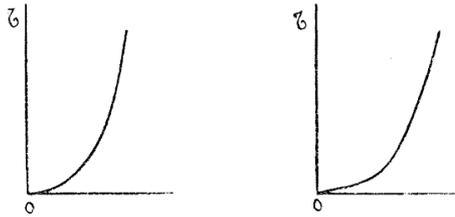


Fig. 1190 et 1191.

phase sera encore proportionnelle au volume V et au coefficient R_1 , soit :

$$\begin{aligned} \tau = V R_1 &= \left(\frac{\pi d^2 l}{4} - \frac{\pi d'^2 l}{4} \frac{1}{3} \right) R_1 = \left(\frac{\pi d^2 l}{4} - \frac{4 \pi l^3 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{12} \right) R_1 \\ &= \left(\frac{\pi d^2 l}{4} - \frac{\pi l^3 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{3} \right) R_1 = K' l - K'' l^3. \end{aligned} \quad (e')$$

en fonction de n .

$$\tau = \left[\left(\frac{\pi d^2}{4} (h - \sqrt{h^2 - 2Kn}) \right) - \frac{\pi \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{3} [(h - \sqrt{h^2 - 2Kn})^3] \right] R_1. \quad (f')$$

Les courbes de τ sont encore deux cubiques (fig. 1190-1191), dont les ordonnées maxima correspondent à $l = h$.

et à :

$$n = \frac{h^2}{2K}.$$

D'ailleurs pour

$$l = h \quad d' = d.$$

et

$$V = \pi l^3 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} - \frac{\pi l^3 \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2}}{3} = \pi \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} \left(\frac{2l^3}{3} \right),$$

soit :

$$\tau = \pi \operatorname{tg}^2 \frac{\Phi}{2} \left(\frac{2l^3}{3} \right) R_1.$$

La fig. 1192 est relative aux volumes enlevés pendant chaque phase, et celle 1193 indique la variation des avances a .

Quand le foret débouche complètement, la vitesse tend à prendre une valeur

théorique infinie. En pratique, le foreur amorce le trou par une pression P croissante, puis lorsque le foret débouche, il a soin de faire décroître la pression.

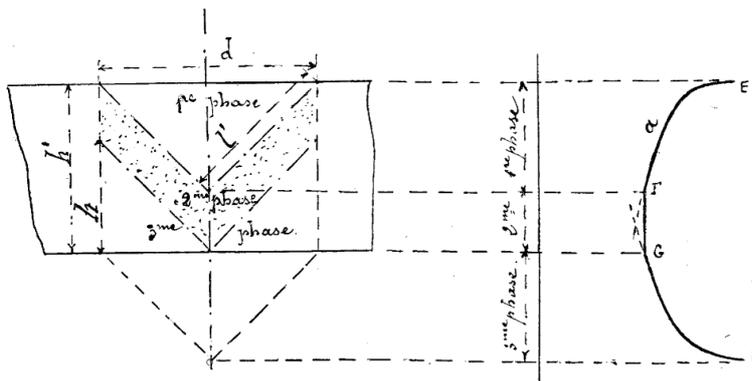


Fig. 1192 et 1193.

Nous traiterons de ce procédé plus loin en exposant l'une des méthodes d'essais que nous avons suivies.

Cas des lames. — Le tranchant d'une lame peut être considéré comme une

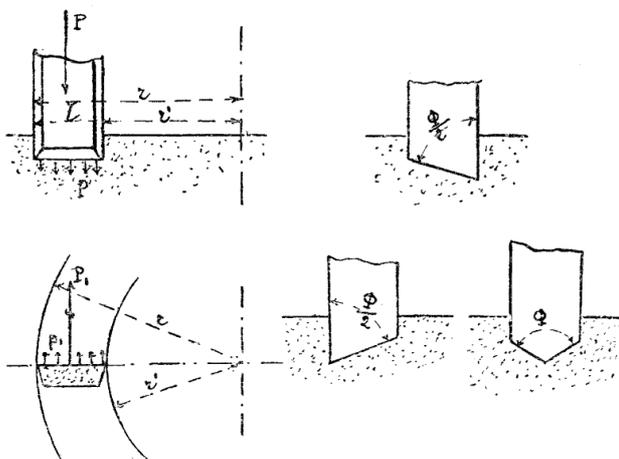


Fig. 1194 à 1198.

portion de la longueur du tranchant d'un foret. Il suffit de rappeler les formules essentielles.

Si le tranchant est normal à l'axe de rotation et présente (fig. 1194-1195)

une longueur $l = r - r'$, l'épaisseur du copeau est ici égale à l'avance, ce qu'il importe de ne pas perdre de vue lorsqu'il n'y a qu'une lame; la pression :

$$P = p l = p (r - r') = a R (r - r'), \quad (59)$$

on tire :

$$p = \frac{P}{r - r'} \quad (60)$$

$$R = \frac{P}{a (r - r')}. \quad (61)$$

Le moment tournant :

$$Mr = p_1 (r - r') \left(\frac{r + r'}{2} \right) = p_1 \left(\frac{r^2 - r'^2}{2} \right) = a R_1 \left(\frac{r^2 - r'^2}{2} \right), \quad (62)$$

soit :

$$R_1 = \frac{2 Mr}{a (r^2 - r'^2)}. \quad (63)$$

Lorsqu'il y a n lames, l'épaisseur enlevée par chaque outil est $\frac{a}{n}$ il vient :

$$P = n p l = a R (r - r'), \quad (64)$$

$$R = \frac{P}{a (r - r')}, \quad (65)$$

$$Mr = n p_1 \left(\frac{r^2 - r'^2}{2} \right). \quad (66)$$

$$p_1 = \frac{a}{n} R_1,$$

soit :

$$Mr = a R_1 \left(\frac{r^2 - r'^2}{2} \right) \quad (67)$$

et

$$R_1 = \frac{2 Mr}{a (r^2 - r'^2)} \quad (68)$$

valeurs indépendantes du nombre n de lames.

L'énergie de coupe par tour :

$$\tau = 2 \pi Mr = 2 \pi n p_1 \left(\frac{r^2 - r'^2}{2} \right). \quad (69)$$

L'énergie par seconde est :

$$\tau_s = \omega Mr = \omega n p_1 \left(\frac{r^2 - r'^2}{2} \right). \quad (70)$$

Lorsque la lame a un tranchant oblique, fig. 1196-1197, il suffit, dans les expressions ci-dessus, de remplacer l'épaisseur a ou celle $\frac{a}{n}$, respectivement par

$$a \sin \frac{\Phi}{2} \quad \text{ou} \quad \frac{a \sin \frac{\Phi}{2}}{n}.$$

Il importe peu que le tranchant soit oblique dans un sens ou dans l'autre, ou combiné (fig. 1198).

Variation des coefficients R et R₁. — Il faut signaler maintenant que les valeurs des coefficients R et R₁, et par suite celles des valeurs qui en dépendent, ne sont pas des constantes. Pour un même métal elles varient avec l'épaisseur du copeau et avec la vitesse de coupe, ce qui ajoute encore à la difficulté d'établir avec précision les divers éléments de résistance du forage.

En ce qui concerne la vitesse, il n'est guère facile de se rendre compte de son influence sur la coupe d'un outil par des essais de forage, si ce n'est dans la marche générale; mais à la coupe des métaux avec des outils plus simples que

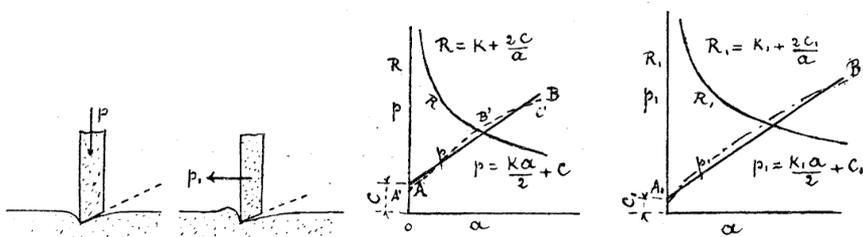


Fig. 1199 à 1202.

le foret, nous étudierons la question de plus près. Nous verrons qu'il n'y a pas grande erreur à la négliger ici.

Pour apprécier l'influence de l'épaisseur du copeau, il faut examiner l'opération plus minutieusement que nous ne l'avons encore fait.

Supposons que le tranchant d'un outil soit appliqué avec une certaine pression p , par unité de longueur de tranchant, sur une matière très élastique telle que du caoutchouc: il se produira une dépression (fig. 1199). Si la pression n'atteint pas une valeur trop grande et si l'on suspend l'action de l'outil, la pièce reprendra sa forme primitive, la matière n'aura pas été entamée par le tranchant; on aura ainsi constaté une pénétration et une réaction de coupe dites élastiques.

Pendant la rotation d'un foret qui produit simplement une dépression élastique, la matière refoulée en avant (fig. 1200) se dérobe, ondule sous le tranchant. Ces phénomènes donnent lieu à un frottement sans efficacité pour le travail utile, et à ce frottement correspond un effort p_1 , qui affecte le moment tournant.

Avant de produire une pénétration efficace, une certaine coupe sous un effort déterminé, il faut donc toujours vaincre la pression élastique maximum et le frottement qui y correspond.

Cette réaction persiste pendant le travail de l'outil; sa valeur pour le caout-

choc serait dans un certain rapport avec l'épaisseur de la pièce, ainsi que nous l'avons fait entrevoir au cisailage. Mais, pour les métaux, on peut admettre en pratique que la pénétration élastique d'un foret est une constante quelle que soit l'épaisseur de la pièce, cette épaisseur n'étant pas très petite.

Il s'ensuit que si dans les limites des pénétrations adoptées pour les forets nous admettons que la variation des pressions p en fonction des avances peut être représentée par une droite A B (fig. 1201) qui s'écarte peu de la courbe A' B' C' des valeurs réelles de p , cette droite A B coupe l'axe des ordonnées au point A.

Si l'outil possède n tranchants perpendiculaires à l'axe de rotation, l'épaisseur du copeau est :

$$\frac{a}{n}$$

et l'on peut poser :

$$p = K \frac{a}{n} + C. \quad (71)$$

Pour le foret droit ou pour une lame à deux tranchants :

$$p = \frac{K a}{2} + C. \quad (72)$$

Pour une lame à un seul tranchant :

$$p = K a + C. \quad (73)$$

La valeur du coefficient de pénétration devient :

$$R = \frac{p}{e} = \frac{p}{\frac{a}{n}} = \frac{n p}{a} = K + \frac{n C}{a}. \quad (74)$$

pour le foret droit, on aurait :

$$K = \frac{2 p}{a} = K + \frac{2 C}{a}. \quad (75)$$

Lorsque a tend vers zéro, R tend vers une valeur infinie; l'axe des ordonnées est asymptote de la courbe des valeurs de R (fig. 1201) qui est une hyperbole.

Aux pressions p correspondent les efforts p_1 de coupe dont les valeurs moyennes en fonction de a peuvent aussi être représentées, dans les limites de la pratique, par une portion de droite A, B (fig. 1202) qui coupe l'axe des ordonnées en un point A'', soit :

$$p_1 = \frac{K_1 a}{2} + C_1, \quad (76)$$

et le coefficient de coupe devient :

$$R_1 = \frac{n p_1}{a} = K_1 + \frac{n C_1}{a}. \quad (77)$$

pour le foret droit à deux tranchants

$$R_1 = \frac{2 p_1}{a} = K_1 + \frac{2 C_1}{a}, \quad (78)$$

équation d'une hyperbole dont l'axe des ordonnées (fig. 1202) est une asymptote, et dont l'autre, parallèle à l'axe des a se trouve à la distance K_1 , de cet axe.

La variation du coefficient de résistance générale :

$$R'' = \sqrt{R^2 + R_1^2}$$

aura donc aussi une allure hyperbolique.

Généralement, les résultats des essais concordent avec ces fonctions. *Il importe donc, dans les essais de coupe des métaux, de bien spécifier l'épaisseur du copeau, sinon il n'est guère possible de justifier des comparaisons.*

Cette condition essentielle a été le plus souvent négligée par la plupart des expérimentateurs.

Il n'est pas étonnant que les résultats signalés ne sont pas concordants. C'est aussi la raison pour laquelle nous avons été amené à multiplier nos séries d'essais en vue de faire varier l'épaisseur dans des limites assez grandes pour chaque genre d'opération et permettre de déduire les valeurs de K , de C , de K_1 et de C_1 avec une certaine approximation.

En considérant deux valeurs numériques de a et les valeurs de R et de R_1 , qui y correspondent, on déduit aisément K et C ; K_1 et C_1 .

Soient R' et R'' deux valeurs de R relatives à des avances a' et a'' ,

on aura :

$$R' = K + \frac{2C}{a'} \quad (79)$$

$$R'' = K + \frac{2C}{a''} \quad (80)$$

il vient :

$$R = \frac{R' a' - R'' a''}{a' - a''}, \quad (81)$$

$$C = \frac{R' - R''}{2 \left(\frac{1}{a'} - \frac{1}{a''} \right)}, \quad (82)$$

soit :

$$R = \frac{R' a' - R'' a''}{a' - a''} + \frac{(R' - R'')}{a \left(\frac{1}{a'} - \frac{1}{a''} \right)}. \quad (83)$$

Pour K_1 et C_1 en fonction de R'_1 et R''_1 on aurait :

$$K_1 = \frac{R'_1 a' - R''_1 a''}{a' - a''}, \quad (84)$$

$$C_1 = \frac{R'_1 - R''_1}{2 \left(\frac{1}{a'} - \frac{1}{a''} \right)}, \quad (85)$$

$$R_1 = \frac{R'_1 a' - R''_1 a''}{a' - a''} + \frac{(R'_1 - R''_1)}{a \left(\frac{1}{a'} - \frac{1}{a''} \right)}. \quad (86)$$

Lorsqu'il s'agit du foret à pointe ou de lames obliques, il faut, dans ces relations, remplacer a par $a \sin \frac{\Phi}{2}$ soit :

$$R = K + \frac{2C}{a \sin \frac{\Phi}{2}}, \quad (87)$$

$$R_1 = K_1 + \frac{2C_1}{a \sin \frac{\Phi}{2}}. \quad (88)$$

La valeur de K n'est pas changée, mais celle de C devient

$$C = \frac{R' - R''}{2 \left(\frac{1}{a' \sin \frac{\Phi}{2}} - \frac{1}{a'' \sin \frac{\Phi}{2}} \right)}, \quad (89)$$

et de même pour K_1 et C_1 .

La diminution des valeurs de R et de R_1 , quand l'avance augmente, est non seulement motivée par la moindre influence de la constante élastique C , mais

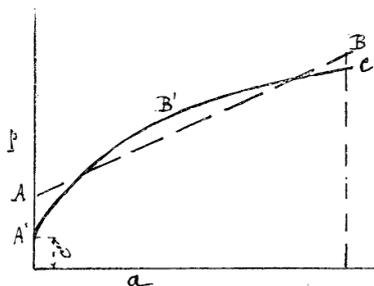


Fig. 1203.

encore par des accroissements plus petits des valeurs de p et de p_1 . Cela se conçoit *a priori*, en considérant que, plus un même volume de métal est divisé, plus il faut d'énergie pour former la totalité des copeaux.

Ainsi la courbe des variations de p en fonction de l'avance a , a parfois l'allure d'une portion de parabole $A' B' C'$ (fig. 1203). Dans ce cas, au lieu de considérer une droite $A B$ des valeurs approchées, on peut adopter la relation :

$$p = C' + \frac{K'}{2} \sqrt{a}, \quad (90)$$

$$R = \frac{2p}{a} = \frac{2C'}{a} + \frac{K'}{\sqrt{a}}. \quad (91)$$

$$R_1 = \frac{2p_1}{a} = \frac{2C_1'}{a} + \frac{K_1'}{\sqrt{a}}. \quad (92)$$

Les différences entre ces valeurs et celles de la première hypothèse seraient :

$$K + \frac{2C}{a} - \frac{K'}{\sqrt{a}} - \frac{2C'}{a} = K - \frac{K'}{\sqrt{a}} + \frac{2}{a}(C - C'), \quad (93)$$

$$K_1 + \frac{2C_1}{a} - \frac{K_1'}{\sqrt{a}} - \frac{2C_1}{a} = K_1 - \frac{K_1'}{\sqrt{a}} + \frac{2}{a}(C_1 - C_1'). \quad (94)$$

Les rapports entre les mêmes valeurs seraient :

$$\frac{K + \frac{2C}{a}}{\frac{K'}{\sqrt{a}} + \frac{2C'}{a}} = \frac{Ka + 2C}{aK' + 2C'} = \frac{Ka + 2C}{\sqrt{a}K' + 2C'} \quad (95)$$

et

$$\frac{K_1 a + 2C_1}{\sqrt{a}K_1' + 2C_1'} \quad (96)$$

Il ne faut jamais perdre de vue que pour le foret à pointe, on remplace a par $a \sin \frac{\Phi}{2}$.

De multiples essais nous ont montré que selon l'état d'acuité des tranchants, selon l'abondance de l'arrosage, la profondeur du trou, le facile dégagement des copeaux, etc., les valeurs des coefficients R , R_1 , R'' , pour les divers métaux avec les divers forets sont très influencées.

Néanmoins, on peut s'en tenir aux *valeurs moyennes* générales suivantes en supposant que l'angle $\frac{\Phi}{2}$ n'est pas inférieur à 90° .

Nous avons aussi indiqué les valeurs de l'énergie de coupe par gramme de métal, c'est-à-dire :

$$\tau_1 = \frac{R_1}{\delta}.$$

Rappelons que l'énergie par millimètre cube de métal est :

$$\tau_1' = \frac{R_1}{1000} \text{ kilogrammètres.}$$

	$R = K + \frac{2C}{a \sin \frac{\Phi}{2}}$		$R_1 = K_1 + \frac{2C_1}{a \sin \frac{\Phi}{2}}$	
Métaux	K	$\frac{2C}{a \sin \frac{\Phi}{2}}$	K ₁	$\frac{2C_1}{a \sin \frac{\Phi}{2}}$
Plomb	25	1	30	1
Antifriction	50	3	50	2,5
Zinc	70	1,5	110	1,8
Aluminium	50	1,8	100	1,8
Laiton ordinaire	40	10	80	5

Métaux.	K	$\frac{2 C}{a \sin \frac{\Phi}{2}}$	K ₁	$\frac{2 C}{a \sin \frac{\Phi}{2}}$
Laiton tenace.	100	10	130	5
Bronze ordinaire	40	20	100	8
Bronze dur.	100	20	150	8
Fonte douce	200	10	230	10
Fonte dure	300	10	400	10
Cuivre	200	12	350	5
Fer soudé.	180	12	250	15
Fer fondu.	250	12	400	12
Acier doux à 5 p. 100 de nickel.	230	8	360	10
Acier demi-dur.	280	12	450	10
Acier converti (rails).	250	15	500	12
Acier coulé.	280	18	450	10
Acier à outils.	350	14	600	5

L'application de ces formules donne pour :

Métaux.	$a = 0^{\text{m}},01$	$0^{\text{m}},02$	$0^{\text{m}},05$	$0^{\text{m}},10$	$0^{\text{m}},20$	$0^{\text{m}},30$	$0^{\text{m}},40$	$0^{\text{m}},50$
Plomb	R = 150	75	45	35	30	28,3	27,5	27
	R ₁ = 130	80	50	40	35	33,3	32,5	32
	R'' = 180	110	67	53	46	43,7	42,6	42
	$\tau_1 = 11,4$	7	4,4	3,5	3,1	2,65	2,85	2,8
Antifriccion.	R = 350	200	110	80	65	60	57,5	56
	R ₁ = 300	175	100	75	62,5	58,3	56,25	55
	R'' = 467	265	149	110	90	83	80	78
	$\tau_1 = 37,5$	22	12,5	9,4	7,8	7,3	7,1	6,9
Zinc.	R = 220	145	100	85	77,5	75	74	73
	R ₁ = 290	200	146	128	119	116	114,5	113
	R'' = 364	247	177	154	142	138	136	134
	$\tau_1 = 40$	28	20	18	16,5	16,1	16	15,5
Aluminium.	R = 230	140	86	68	59	56	54,5	53,6
	R ₁ = 280	190	136	118	109	106	104,5	103,6
	R'' = 362	236	161	136	124	120	117	116
	$\tau_1 = 108$	73	52,5	45	42	41	40,5	40
Laiton ordinaire	R = 1040	540	260	160	110	93	85	80
	R ₁ = 580	330	180	130	105	96,6	92,5	90
	R'' = 1190	633	316	206	152	134	125	120
	$\tau_1 = 68$	39	21	15,3	12,4	11,4	11	10,6
Laiton tenace.	R = 1100	600	300	200	150	133	125	120
	R ₁ = 630	380	230	180	155	146,6	142,5	140
	R'' = 1270	710	305	269	216	196	189	185
	$\tau_1 = 74$	45	27	21	18,3	17,3	17	
Bronze ordinaire.	R = 2040	1040	440	240	140	103	90	80
	R ₁ = 900	500	260	180	140	126	120	116
	R'' = 2230	1150	511	300	200	163	150	141
	$\tau_1 = 106$	59	31	21	16,5	15	140	13,6

Métaux.	$a = 0^{\text{m}},01$	$0^{\text{m}},02$	$0^{\text{m}},05$	$0^{\text{m}},10$	$0^{\text{m}},20$	$0^{\text{m}},30$	$0^{\text{m}},40$	$0^{\text{m}},50$
Bronze dur.	R = 2100	1100	500	300	200	163	150	440
	R ₁ = 950	550	310	230	190	176	170	166
	R'' = 2310	1230	538	378	276	240	225	217
	$\tau_1 = 112$	65	36,5	27	22,5	20,8	20	19,6
Fonte douce	R = 1200	700	400	300	250	233	225	220
	R ₁ = 1230	730	430	330	280	263	255	250
	R'' = 1720	821	587	446	375	351	340	333
	$\tau_1 = 170$	102	60	46	39	36,5	35,5	34,8
Fonte dure.	R = 1300	800	500	400	350	333	325	320
	R ₁ = 1400	900	600	500	450	433	425	420
	R'' = 1910	1200	781	641	570	546	535	528
	$\tau_1 = 194$	125	83	69	62,5	60	59	58,5
Cuivre.	R = 1400	800	440	320	260	240	230	224
	R ₁ = 850	600	450	400	375	366	362	360
	R'' = 1640	1000	629	512	457	438	412	424
	$\tau_1 = 95$	66,5	50	44,5	41,5	41	40,5	40
Fer soudé	R = 1380	780	420	300	240	220	210	204
	R ₁ = 1750	1000	550	400	325	300	287,5	280
	R'' = 2230	1270	692	500	404	372	356	345
	$\tau_1 = 225$	128	70,5	51,5	42	38,5	37	36
Fer fondu	R = 1450	850	490	370	310	290	280	274
	R ₁ = 1600	1000	640	520	460	440	430	424
	R'' = 2160	1315	806	638	535	527	513	505
	$\tau_1 = 205$	128	82	67	59	56,5	55	54
Acier doux à 5 p. 100 de nickel.	R = 1030	630	390	310	270	256	250	246
	R ₁ = 1360	860	560	460	410	393	385	380
	R'' = 1710	1070	682	555	491	470	459	452
	$\tau_1 = 182$	114	75	62	55	52,5	51,5	51
Acier demi-dur.	R = 1480	880	520	400	340	320	310	304
	R ₁ = 1450	950	650	550	500	483	475	470
	R'' = 2070	1290	830	680	605	580	567	560
	$\tau_1 = 194$	127	87	73	67	65	63	62
Acier converti (rails).	R = 1750	1000	550	400	325	300	287,5	280
	R ₁ = 1700	1100	740	620	560	540	530	524
	R'' = 2440	1480	922	738	647	618	603	594
	$\tau_1 = 227$	147	98,5	82,5	75	72	71	70
Acier coulé.	R = 2080	1180	640	460	370	340	325	316
	R ₁ = 1450	950	650	550	500	483	475	470
	R'' = 2540	1510	910	720	620	591	576	566
	$\tau_1 = 194$	127	87	73	67	65	63	62
Acier à outils.	R = 1750	1050	630	490	420	396	385	378
	R ₁ = 1100	850	700	650	625	616	612	610
	R'' = 2020	1350	940	810	750	733	723	717
	$\tau_1 = 147$	114	94	87	83	82,5	82	81

Formules relatives aux lames ($\alpha = 90^\circ$ $\beta = 45^\circ$)

Laiton tenace.	$R = 127 + \frac{4}{a}$	$R_1 = 168 + \frac{3,18}{a}$	1 tranchant.
—	$R = 100 + \frac{8,85}{a}$	$R_1 = 134 + \frac{5,9}{a}$	2 —
Bronze.	$R = 94 + \frac{5,65}{a}$	$R_1 = 137 + \frac{2,56}{a}$	1 —
—	$R = 75 + \frac{11,32}{a}$	$R_1 = 120 + \frac{4,8}{a}$	2 —
Cuivre.	$R = 115 + \frac{6,5}{a}$	$R_1 = 244 + \frac{4,36}{a}$	1 —
Fonte douce.	$R = 130 + \frac{5}{a}$	$R_1 = 180 + \frac{5}{a}$	1 —
Fonte demi-dure.	$R = 150 + \frac{6,66}{a}$	$R_1 = 265 + \frac{5,2}{a}$	1 —
—	$R = 108 + \frac{13,56}{a}$	$R_1 = 184 + \frac{11,44}{a}$	2 —
Id. ($\alpha = 75^\circ$).	$R = 36 + \frac{4,68}{a}$	$R_1 = 128 + \frac{5,6}{a}$	2 —
Fer misé	$R = 125 + \frac{2,50}{a}$	$R_1 = 425 + \frac{2,6}{a}$	1 —
—	$R = 50 + \frac{22}{a}$	$R_1 = 218 + \frac{39,6}{a}$	2 —
Id. ($\alpha = 75^\circ$).	$R = 150 + \frac{5,5}{a}$	$R_1 = 264 + \frac{6,28}{a}$	1 —
Id. ($\beta = 5^\circ$).	$R = 180 + \frac{3,2}{a}$	$R_1 = 187 + \frac{22,7}{a}$	1 —
Id. ($\alpha = 75^\circ$ $\beta = 5^\circ$).	$R = 160 + \frac{4,5}{a}$	$R_1 = 128 + \frac{15,2}{a}$	1 —
Id. ($\alpha = 90^\circ$ $\beta = 5^\circ$).	$R = 63 + \frac{15,4}{a}$	$R_1 = 185 + \frac{22,3}{a}$	1 —
Id. ($\alpha = 75^\circ$ $\beta = 5^\circ$).	$R = 61 + \frac{8,7}{a}$	$R_1 = 177 + \frac{15,4}{a}$	1 —
Fer fondu.	$R = 80 + \frac{12}{a}$	$R_1 = 210 + \frac{21,5}{a}$	1 —
Id. ($\alpha = 75^\circ$).	$R = 70 + \frac{8}{a}$	$R_1 = 146 + \frac{17,4}{a}$	1 —
—	$R = 171 + \frac{15,3}{a}$	$R_1 = 225 + \frac{22}{a}$	1 —
Id. ($\alpha = 75^\circ$).	$R = 93 + \frac{6,9}{a}$	$R_1 = 168 + \frac{19,2}{a}$	1 —
Acier demi-dur.	$R = 170 + \frac{5}{a}$	$R_1 = 194 + \frac{33,6}{a}$	1 —
Id. ($\alpha = 75^\circ$).	$R = 160 + \frac{4,2}{a}$	$R_1 = 161 + \frac{25,9}{a}$	1 —
—	$R = 137 + \frac{12,9}{a}$	$R_1 = 252 + \frac{21,3}{a}$	1 —
Id. ($\alpha = 75^\circ$).	$R = 101 + \frac{9,3}{a}$	$R_1 = 176 + \frac{21}{a}$	1 —
Acier à outils.	$R = 160 + \frac{19,8}{a}$	$R_1 = 280 + \frac{26,6}{a}$	1 —
Id. ($\alpha = 75^\circ$).	$R = 87 + \frac{5,96}{a}$	$R_1 = 200 + \frac{5,90}{a}$	1 —

Afin de faciliter la comparaison des valeurs des coefficients de coupe R_1 , relatifs au forage, qui sont les plus importants, nous les avons graphiqués en fig. 1204.

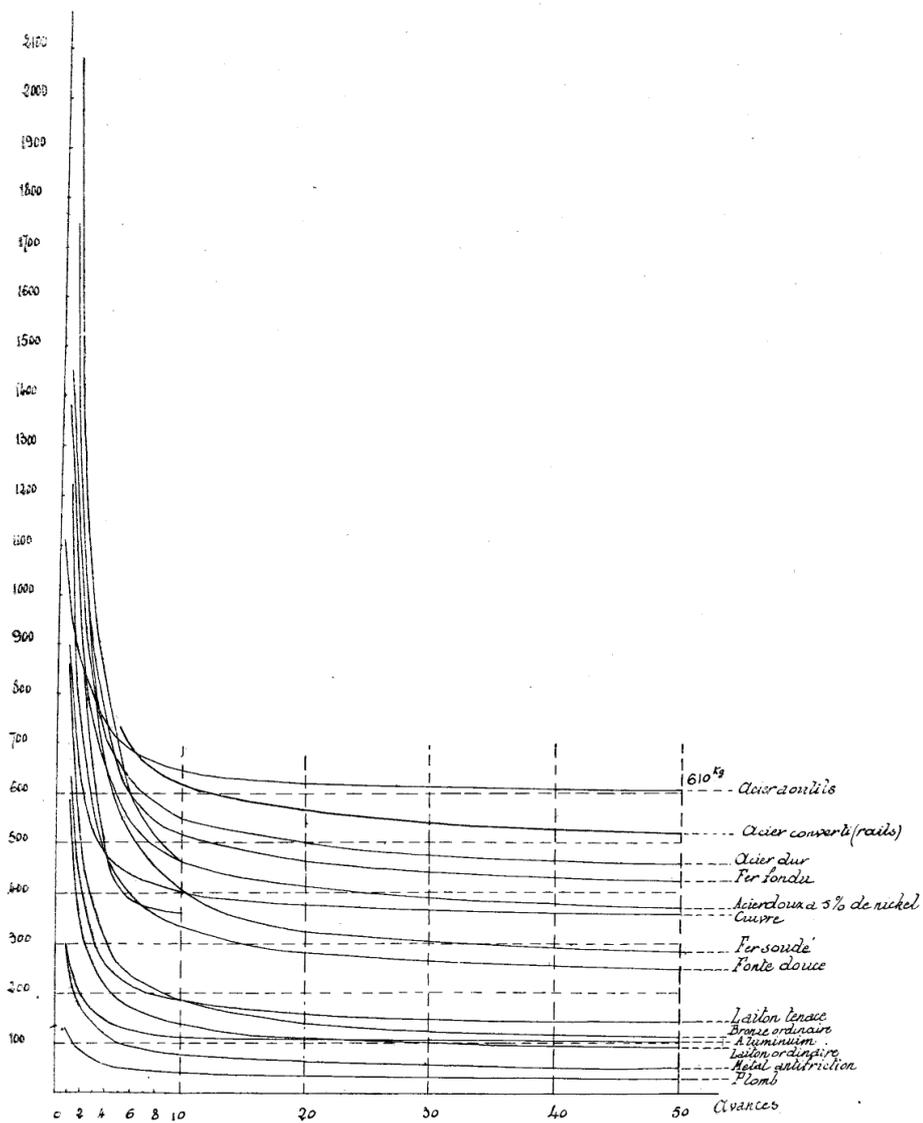


Fig. 204. — Coefficients R_1 de résistance à la coupe de forage.

Pénétration de l'outil. — Il importe encore de bien spécifier la pénétration d'un foret selon l'avance qu'il possède. Considérons une coupe d'un foret droit ou d'une lame droite (fig. 1205). Supposons le foret au repos et produisons la pénétration sous l'avance a en totalité. La face inférieure ou talon du foret refoulera dans la masse la matière qui correspond au triangle ABD.

Notons que pour une même pénétration AD, la surface de ce triangle diminue avec l'augmentation de l'angle de dépouille β ; par suite, l'effort de pénétration diminue aussi dès que le point A s'est déplacé à gauche en suivant AA₁, qui est sa trace développée en ligne droite; le talon AC se dégage, la pression se réduit à une faible valeur, soit celle qui correspond à la réaction élastique qui se manifeste à proximité du tranchant et aux frottements du copeau sur la face avant

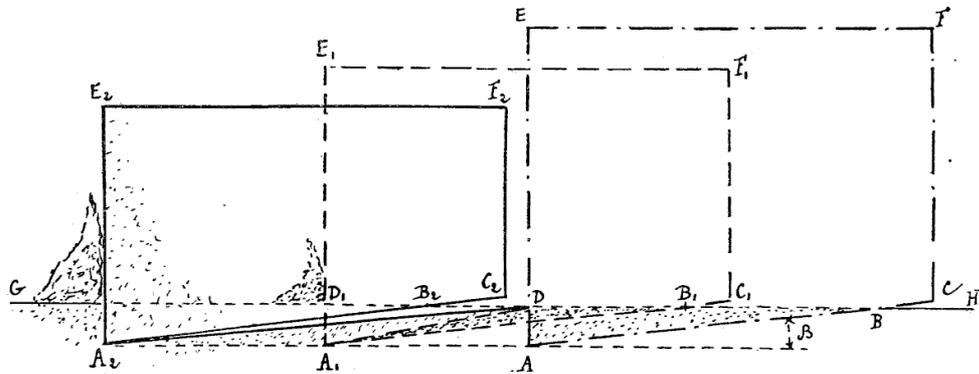


Fig. 1205.

qui tendent à soulever l'outil. Ce sera la pression ou l'*effort de tenue du copeau*.

En pratique, la descente ne se fait pas quand le foret est au repos; elle est produite, non pas instantanément, mais pendant un certain parcours angulaire de l'outil ou d'une façon continue.

Admettons d'abord une descente a , intermittente à chaque tour, de telle sorte que le point A parcourt la trajectoire droite DA₁.

Le foret sera à la fin de la descente en A₁E₁F₁C₁; la base A₁C₁ vient couper le plan GH du fond du trou en B₁. La matière qui correspond au triangle DA₁D₁ a été refoulée en avant de l'outil pour former une partie du copeau. Le talon du foret a dû encore refouler dans la masse un prisme qui correspond au triangle A₁DB₁ plus petit que celui ADB de la quantité A₁DD₁. Or, dans le triangle A₁DD₁, la hauteur A₁D₁ = a est supposée constante quel que soit le déplacement DD₁, de sorte que plus ce déplacement sera grand, plus sera petite la différence A₁DB₁. Lorsque DD₁ est égal à BD; A₁DD₁ = DAB et A₁DB₁

devient nul. Le foret ne refoulerait plus de métal dans la masse, l'effort de pénétration serait réduit à l'effort de tenue de l'outil en prise de copeau.

La trajectoire $A_1 D$ aurait une inclinaison égale à celle du talon AC , de sorte que la longueur DD_1 est dans ce cas égale à :

$$DB = \frac{AD}{\operatorname{tg} \beta}.$$

Si DD_1 devient plus grand que DB , le point A parcourt une trajectoire DA_2 constamment au-dessous du talon $A_2 C_2$; il n'y a donc pas contact de $A_2 C_2$ avec DA_2 en arrière du point A_2 pendant le déplacement du foret.

Ces observations nous montrent comment peuvent varier en un point du tranchant les efforts dits de pénétration à exercer sur un foret.

On voit qu'il est préférable de répartir l'avance sur une longueur DD_1 telle que le talon se trouve dégagé, et qu'il importe d'adopter des valeurs de β suffisantes.

En outre, il ne faut pas perdre de vue que cette condition ne peut être réalisée que pour des points un peu au delà de l'axe de rotation. Si on admet les maxima possibles aux longueurs DD_1 , soit ceux qui correspondent à l'avance continue, on aurait :

$$DD_1 = 2\pi r.$$

Le rayon r , satisfaisant à la condition :

$$DD_1 = DB = \frac{AD}{\operatorname{tg} \beta}$$

sera de

$$r = \frac{DB}{2\pi} = \frac{DA}{2\pi \operatorname{tg} \beta} = 2\pi \operatorname{tg} \beta. \quad (97)$$

Pour les rayons supérieurs à r , on aura :

$$DD_1 > DB,$$

mais pour les rayons plus petits, il viendrait :

$$DD_1 < DB;$$

il se produirait des compressions, on dit que l'outil *talonne*.

Pour r très petit, DD_1 tend vers zéro, l'effort de pénétration devient maximum. On s'explique bien la grande fatigue des parties des tranchants qui avoisinent l'axe de rotation; cette fatigue est d'autant plus grande encore que le foret est plus épais et l'angle β plus petit.

Ces observations sont applicables aux divers outils de coupe dont les déplacements d'avance ou de serrage se produisent en pleine attaque.

Par exemple, un outil de tour, qui se déplace perpendiculairement à l'axe de

rotation d'une avance a par tour, aura son talon dégagé, c'est-à-dire non en contact avec la pièce, si le rayon est supérieur à :

$$\frac{a}{2 \pi \operatorname{tg} \beta},$$

tandis qu'il refoulera le métal, il talonnera si le rayon est plus petit..

Dans les forets les plus employés, les avances ne dépassent guère 0,05 millimètre, de sorte que, pour cette valeur, le rayon r qui correspond à

$$\frac{a}{2 \pi \operatorname{tg} \beta} = \frac{0,5}{2 \pi \operatorname{tg} \beta} = r. \quad (98)$$

Pour	$\beta = 10^\circ$	$\operatorname{tg} \beta = 0,176$	est de,	$r = 0^{\text{mm}},50$
Pour	$\beta = 5^\circ$	$\operatorname{tg} \beta = 0,087$	est de,	$r = 1^{\text{mm}},00$
Pour	$\beta = 3^\circ$	$\operatorname{tg} \beta = 0,0525$	est de,	$r = 1^{\text{mm}},66$

c'est-à-dire, qu'avec une avance continue, le talon du foret est dégagé sur toute sa longueur.

S'il s'agit d'une avance se produisant en un dixième de tour :

$$AD = \frac{2 \pi r}{10}$$

à la limite pour laquelle

$$DD_1 = DB = \frac{a}{\operatorname{tg} \beta},$$

il vient :

$$r = \frac{10 a}{2 \pi \operatorname{tg} \beta},$$

soit, pour $a = 0,5$:

$\beta = 10^\circ$	$r = 5^{\text{mm}}$
$\beta = 5^\circ$	$r = 10^{\text{mm}}$
$\beta = 3^\circ$	$r = 16^{\text{mm}},6$

On juge ainsi de l'influence de la valeur de β lorsque l'avance est produite pendant une petite période de la rotation. C'est donc avec raison que, dans les foreuses bien conditionnées, on exclut les encliquetages pour déterminer l'avance.

Dans les foreuses ordinaires, la descente du foret est faite d'une façon intermittente à chaque tour de l'outil. Comme celui-ci a deux tranchants, chacun d'eux enlève la moitié de la couche de métal dans un demi-tour sous une épaisseur égale à l'avance a :

Pendant le demi-tour complémentaire, chaque tranchant frotte ou gratte la trace de l'autre sur le fond du trou. Cependant, à cause de l'élasticité générale des organes de la foreuse, la coupe se fait d'une façon à peu près continue, avec un copeau dont l'épaisseur est variable à chaque demi-tour. La période de moindre pression a l'avantage de faciliter le graissage. Il serait rationnel, quand on ap-

plique un encliquetage, d'actionner les organes de descente à chaque demi-tour.

Il importe d'adopter des avances continues, qui préviennent le talonnage du foret, permettent de réduire l'angle β et la pression de pénétration proprement dite.

Les essais montrent que, dans les forets, les efforts de pénétration ou plutôt de tenue du copeau sont relativement élevés; nous avons déjà signalé que ce sont les frottements des copeaux sur la face avant de l'outil qui entrent en jeu pour une grande part; de sorte que, si l'on réduit la composante verticale de ces frottements, soit par l'angle Φ des tranchants, soit par l'angle de coupe α , on peut réduire de beaucoup l'effort longitudinal. C'est ainsi que le foret hélicoïdal exige de grandes pressions pour pénétrer; mais, dès qu'il a attaqué le copeau, l'effort P s'abaisse parfois d'une façon très sensible.

Lorsque les tranchants sont émoussés, la pénétration pour tenir le copeau exige un effort P plus élevé; le foret glisse, refoule le métal, développe un grand frottement qui chauffe la pièce et l'outil; l'émoussement s'accuse davantage, on ne peut plus percer, même sous des pressions considérables.

Ainsi, avec un même foret à pointe ordinaire de 25 millimètres de diamètre, lorsque le tranchant était fraîchement affûté, la pression P , sous avance de 0,2 dans du fer, était de 400 kilogrammes, tandis que les tranchants émoussés exigeaient une pression de 500 kilogrammes et plus.

Cependant, en ce qui concerne l'énergie totale dépensée, l'influence n'est pas de même ordre.

Supposons que l'effort P donne lieu à un frottement total : $Pf = 500 \times 0,2 = 100$ kilogrammes, l'énergie de frottement par tour serait de 3 kilogrammètres. L'énergie de tenue du copeau serait de $500 \times 0,0002 = 0,10$ kilogrammètre seulement. Ces valeurs sont toujours très petites par rapport à l'énergie de coupe qui était, dans l'exemple ci-dessus, peu différente dans chaque cas, et égale à 26 kilogrammètres par tour.

(A suivre.)

MÉTROLOGIE

LA CONVENTION DU MÈTRE ET LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
PAR **Ch.-Éd. Guillaume** (1).

DÉCISIONS DU COMITÉ INTERNATIONAL ET DE LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE
DES POIDS ET MESURES

La haute direction du Bureau international incombe, ainsi qu'il a été dit précédemment, à un Comité composé de quatorze membres appartenant à des nationalités différentes, et dont l'action comprend tous les détails de l'activité scientifique du Bureau ainsi que de son organisation administrative. Nous avons eu plus d'une fois l'occasion, au cours de ce travail, de mentionner les décisions prises par le Comité, relativement aux travaux de Bureau. Mais, en réalité, toutes les recherches qui viennent d'être décrites ont été entreprises soit à son instigation, soit, au moins, avec son approbation. Le Comité, dans ses réunions primitivement annuelles, et maintenant bisannuelles, prend en premier lieu connaissance des travaux accomplis dans la période écoulée et dont le résumé est contenu dans les rapports qui lui sont présentés par le directeur du Bureau; puis il fixe le programme des travaux futurs, au moins dans ses grandes lignes, laissant au directeur et au personnel scientifique du Bureau le soin d'en élaborer les détails.

Les *Procès-verbaux des séances du Comité* constituent donc un résumé très complet de l'activité du Bureau international, rangé dans un ordre chronologique. Quelques notices scientifiques annexées à cette publication, faite par les soins du secrétaire du Comité international (2), fixent les étapes des questions à l'étude, et dont il est possible d'indiquer les résultats provisoires, alors que quelques recherches complémentaires sont encore nécessaires avant qu'une relation étendue puisse en être faite dans les *Travaux et Mémoires*.

Les principes généraux sur lesquels repose maintenant l'organisation du système métrique international ont été fixés définitivement par la Commission

(1) Voir le *Bulletin* d'août, octobre, novembre et décembre 1901, mars et décembre 1902.

(2) Les 22 volumes des *Procès-verbaux*, embrassant la période de 1873 à 1900, sont dus au Dr Ad. Hirsch, qui a consacré la plus grande partie de sa vie au développement des deux institutions internationales dont il était le secrétaire, l'Association géodésique internationale et le Comité international des Poids et Mesures. Les *Procès-verbaux* de la session de 1901 ont été rédigés par M. P. Blaserna.

réunie à Paris en 1872; mais, au fur et à mesure des progrès de la métrologie et de la physique générale, on a reconnu la nécessité de préciser mieux certains détails des définitions adoptées, afin d'enlever à ces définitions toute incertitude qui puisse atteindre l'ordre de grandeur des erreurs dans les mesures les plus exactes qu'il est actuellement possible de faire. C'est au Comité international qu'il appartenait de donner ces définitions, en même temps que de fixer la signification de quelques termes couramment employés en métrologie, et dont le sens n'avait pas été suffisamment précisé.

Dès les débuts des travaux du Bureau, on voulut donner une définition précise de la pression normale. Déjà en 1866, Clarke, dans un ouvrage célèbre (1), rapportait la température d'ébullition de l'eau à la pression exercée par une colonne de mercure de 760 millimètres, dans les conditions normales de la pesanteur, c'est-à-dire à 45° et au niveau de la mer. Herr adoptait la même définition en 1870, dans son mémoire cité plus haut (2).

En 1878, M. Marek présenta au Comité international un rapport contenant des propositions relatives aux points de repère auxquels les résultats des pesées devaient être réduits (3). Dans sa séance du 8 octobre de la même année, le Comité décida d'adopter « comme unité de pression celle d'une colonne de mercure de densité normale, de 760 millimètres de hauteur, à 0° de température, à 45° de latitude et au niveau de la mer ».

Cette décision a été plus tard complétée lorsque, à la suite de travaux de M. Chappuis, on put donner une définition de l'échelle normale des températures. Voici la série des propositions qui furent alors adoptées :

« Le Comité international des Poids et Mesures adopte, comme échelle thermométrique normale pour le Service international des Poids et Mesures, l'échelle centigrade du thermomètre à hydrogène ayant pour points fixes la température de la glace fondante (0°) et celle de la vapeur d'eau distillée en ébullition (100°) sous la pression atmosphérique normale; l'hydrogène étant pris sous la pression manométrique initiale de 1 mètre de mercure, c'est-à-dire à $\frac{1\ 000}{760} = 1,3158$ de la pression atmosphérique normale.

« La pression atmosphérique normale, pour le Service international des Poids et Mesures, est représentée par celle d'une colonne de mercure de 760 millimètres de hauteur, ayant la

(1) *Comparisons of Standards of Length made at the Ordnance Survey office*, p. 187.

(2) Voir note t. CI, p. 725 (p. 67 du mémoire).

(3) Le rapport de M. Marek ne semble pas avoir été publié. Il en est fait mention dans une note lue par M. G. Govi, alors directeur du Bureau, dans la séance du 8 octobre 1878, et imprimée dans le procès-verbal de cette séance. La décision du Comité à l'égard de la pression normale est indiquée dans le mémoire du D^r O.-J. Broch, *Points fixes des thermomètres, etc.*, (Trav. et Mém. T. I.), et dans une note de M. Foerster, publiée dans les procès-verbaux de 1886, p. 28.

densité de 13,59593 et soumise à l'intensité normale de la pesanteur adoptée pour le même Service.

« La valeur de cette intensité normale de la pesanteur est égale à celle de l'intensité de la pesanteur au Bureau international des Poids et Mesures (cote de niveau du Pavillon de Breteuil) divisée par 1,0003322, coefficient qui provient de la réduction théorique à la latitude de 45° et au niveau de la mer. »

La définition de la pression normale, contenue dans la dernière proposition est parfaitement satisfaisante au point de vue purement métrologique ; elle est plus précise que les définitions précédemment adoptées, parce qu'elle contient les valeurs numériques des coefficients de réduction, qu'il n'avait pas semblé nécessaire de fixer, aussi longtemps qu'on avait pu croire à la généralité de la formule de Clairaut, renfermant toutes les valeurs de l'accélération de la pesanteur, en fonction de la latitude et de l'altitude. Mais, les recherches modernes ayant montré que ces éléments ne suffisent pas pour fixer complètement la valeur de l'accélération, l'adoption de coefficients numériques déterminés pouvait seule fixer absolument la valeur de la pression normale.

Une telle définition, tout à fait correcte pour la métrologie pure, semble cependant un peu trop arbitraire pour la physique générale, puisqu'elle fait intervenir directement la valeur de g en un point de la surface de la terre, dont le seul caractère particulier est d'être le siège du Bureau international des Poids et Mesures. Il est probable que, dans un avenir plus ou moins éloigné, on aura recours à une définition à la fois aussi précise, et d'un caractère plus universel, fondée sur l'ensemble des connaissances que l'on possédera alors relativement à la répartition de la pesanteur à la surface du Globe.

La définition adoptée par le Comité international représente cependant, au point de vue général, et non seulement dans un sens purement métrologique, un grand progrès sur les définitions anciennes. Il est certain que, dans les définitions futures, on adoptera une valeur moyenne de g , comprise parmi les accélérations, légèrement variables, que l'on observe au niveau de la mer et à la latitude de 45°. Cette valeur sera nécessairement très voisine de celle qui est contenue dans la définition donnée par le Comité international, et les réductions qui resteront à faire seront extrêmement minimes.

Une proposition tendant à adopter, pour unité de pression, celle qu'exerce une colonne de 750 millimètres de mercure, et qui est extrêmement voisine de 10⁶ unités C. G. S. de pression, a semblé encore prématurée au Comité international, auquel elle a été présentée dans sa session de 1897.

Les questions de terminologie ont aussi préoccupé le Comité international. Saisi, en 1879, d'une proposition du département de l'Industrie de la Confédération suisse, il établit une série d'abréviations servant à désigner les unités métriques, et dont l'ensemble repose sur les principes suivants :

Toute unité fondamentale est désignée par son initiale; tout multiple ou sous-multiple de l'unité fondamentale est dérivé de l'abréviation de cette dernière par l'addition d'un préfixe, le même pour le même multiple ou sous-multiple des diverses unités. Ainsi, le mètre étant désigné par m, le kilomètre et le centimètre seront désignés respectivement par km et cm; de même, le gramme, le kilogramme et le centigramme sont représentés par g, kg et cg. Les unités de surface et de volume sont indiquées par les exposants du carré et du cube; cm^2 ou mm^3 désignent ainsi le centimètre carré ou le millimètre cube.

La définition du *poids* et de la *masse* a donné lieu à d'intéressantes discussions, provoquées par une proposition de M. Foerster, faite au cours de la session de 1886, discussions qui ont abouti à fixer parfaitement la terminologie sur ce point, et à définir le *kilogramme* comme étant l'*unité de masse du système métrique*.

Si l'on se reporte aux travaux de la première Commission du Mètre, on reconnaît bientôt qu'il était dans ses intentions d'envisager le kilogramme comme une unité de *quantité de matière*, et c'est ainsi que le définit Trallès dans son rapport présenté à la Commission. De même, van Swinden, dans un rapport lu à l'Académie des Sciences, le 29 prairial an VII, s'exprime ainsi :

« Qu'est-ce qu'une masse de métal qu'on nomme kilogramme? c'est le représentatif d'une masse d'eau prise à son maximum de condensation, contenue dans le cube du décimètre, et pesée dans le vide. »

Cependant, dans le cours du XIX^e siècle, l'habitude s'était établie, à la fois d'associer le kilogramme au mot *poids*, et de réserver, d'autre part, cette expression pour définir la force qu'exerce sur son support une masse exposée à l'attraction de la terre. Le kilogramme devenait ainsi une unité de force, c'est-à-dire une unité variable d'un point à l'autre de la surface de la terre.

L'élaboration complète du système absolu de mesures physiques devait faire ressortir nettement ce dualisme, en même temps que le défaut fondamental du système consistant à envisager le kilogramme comme une unité de force; et, depuis un certain nombre d'années, les physiciens s'étaient ralliés à un système dans lequel le kilogramme (ou le gramme) est envisagé comme une unité fondamentale de masse.

Le Comité international a définitivement sanctionné cette manière de voir par une décision prise dans sa séance du 13 octobre 1887, et qui est formulée en ces termes :

« La masse du kilogramme international est prise comme unité pour le Service international des Poids et Mesures. »

La question de la définition du litre est aussi revenue à diverses reprises dans les discussions au sein du Comité. La première mention qui en est

faite se trouve dans un rapport du D^r Brœch, lu dans la séance du 28 septembre 1880 :

« D'après les principes qui ont servi de base à l'établissement du système métrique, le kilogramme devait correspondre au poids, dans le vide, de 1dm³ d'eau pure au maximum de densité.

« Le prototype actuel du kilogramme, déposé et conservé aux Archives de France, a donc été construit de manière à répondre à cette considération aussi exactement qu'on pouvait le faire à la fin du siècle passé.

« D'après la résolution XXII de la Commission internationale du Mètre de 1872, le kilogramme international doit être déduit du kilogramme des Archives, dans son état actuel, sans se préoccuper de la différence qui peut exister entre son poids et celui du décimètre cube d'eau prise au maximum de densité, dont la détermination, d'après la résolution XXVII, est confiée aux soins de la Commission.

« Pour distinguer alors le volume d'eau pure au maximum de densité et le volume du décimètre cube déduit par mesure directe du prototype du mètre, il convient de désigner le premier par le mot litre, dont la valeur dépend de celle du kilogramme et non pas de celle du mètre. C'est ainsi que, d'après toutes les législations métriques, les vérificateurs des poids et mesures sont tenus de déterminer le volume du litre d'après le poids de l'eau pure qu'il peut contenir et non d'après la mesure de ses dimensions.

« J'ai, par conséquent, l'honneur de soumettre à l'approbation du Comité la résolution suivante :

« Le Comité international des Poids et Mesures adopte, pour ses publications et pour son usage officiel, le mot *litre* pour exprimer le volume de 1 kilogramme d'eau pure au maximum de densité. La millième partie du litre, c'est-à-dire le volume d'un gramme d'eau pure au maximum de densité, sera désignée par le mot *millilitre*. »

Cette proposition, appuyée par la Commission des travaux scientifiques, a été adoptée par le Comité dans sa séance du 2 octobre 1880.

A cette époque, on ne possédait que les résultats des anciennes déterminations de la masse du décimètre cube d'eau, et le sens même de l'erreur commise dans la construction du kilogramme était incertain. Depuis lors, les travaux faits au Bureau international, ainsi que ceux de MM. Macé de Lépinay, Pérot et Fabry, ont mis hors de doute le fait que le litre, volume du kilogramme d'eau pure à son maximum de densité, est un peu plus grand que le décimètre cube, mais d'une quantité qui est certainement inférieure à 70^{mm}³, et probablement à 50^{mm}³. Après avoir pris connaissance des travaux qui ont conduit à ces résultats, le Comité international a adopté le projet suivant de résolution, soumis à la Conférence générale dans la réunion qui vient d'être close :

« Considérant que la connaissance du rapport entre le décimètre cube et le volume du kilogramme d'eau pure à son maximum de densité résulte d'une détermination expérimentale, qui, malgré tous les soins pris pour son exécution, comportera toujours une incertitude;

« Considérant l'importance d'une définition de l'unité de capacité susceptible d'une réalisation pratique très précise;

« La Conférence déclare :

« 1° Qu'il faut établir une distinction entre le décimètre cube, unité de volume, et le litre, unité de capacité;

« 2° Que le litre sera défini comme étant le volume occupé par un kilogramme d'eau pure, à son maximum de densité, et sous la pression atmosphérique normale.

« Les recherches exécutées au Bureau international ayant montré, d'accord avec des déterminations antérieures, que le litre est certainement plus grand que le décimètre cube, mais ces recherches ayant établi que le rapport entre ces deux quantités ne surpasse l'unité que d'une fraction très probablement inférieure à 1/10 000, la Conférence estime que, en dehors des applications exigeant un haut degré de précision, le litre et le décimètre cube peuvent être considérés comme équivalents.

« Elle charge le Comité international de faire poursuivre au Bureau les mesures destinées à faire encore mieux connaître le rapport de ces deux grandeurs.

« Elle estime qu'il serait très désirable de publier le plus tôt possible les résultats des recherches déjà effectuées au Bureau, afin d'utiliser à l'avenir, dans les travaux scientifiques ou techniques de haute précision, la valeur la plus probable de ce rapport. »

LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE

Le Comité international des Poids et Mesures est placé, suivant une disposition de la Convention du Mètre (t. CI, p. 266), sous l'autorité de la Conférence générale, dont les attributions sont stipulées dans l'article 7 du règlement annexé à la Convention, ainsi conçu :

« La Conférence générale, mentionnée à l'article 3 de la Convention, se réunira à Paris sur la convocation du Comité international, au moins une fois tous les six ans.

« Elle a pour mission de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour la propagation et le perfectionnement du système métrique, ainsi que de sanctionner les nouvelles déterminations métrologiques fondamentales qui auraient été faites dans l'intervalle de ses réunions. Elle reçoit le rapport du Comité international sur les travaux accomplis, et procède, au scrutin secret, au renouvellement par moitié du Comité international.

« Les votes, au sein de la Conférence générale, ont lieu par États; chaque État a droit à une voix.

« Les membres du Comité international siègent de droit dans les réunions de la Conférence; ils peuvent être en même temps délégués de leurs gouvernements. »

En outre, les *dispositions transitoires* dudit règlement ont trait à la première conférence :

« ARTICLE PREMIER. — Tous les États qui étaient représentés à la Commission internationale du Mètre, réunie à Paris en 1872, qu'ils soient ou non parties contractantes à la présente Convention, recevront les prototypes qu'ils auront commandés et qui leur seront livrés dans toutes les conditions de garantie déterminées par ladite Commission internationale.

« ART. 2. — La première réunion de la Conférence générale des Poids et Mesures, mentionnée à l'article 3 de la Convention, aura notamment pour objet de sanctionner ces nouveaux prototypes, et de les répartir entre les États qui en ont fait la demande.

« En conséquence, les délégués de tous les Gouvernements qui étaient représentés à la Commission internationale de 1872, ainsi que les membres de la Section française, feront de droit partie de cette première réunion, pour concourir à la sanction des prototypes. »

Nous avons vu que la Conférence générale se réunit pour la première fois en 1889; depuis la signature de la Convention du Mètre, le Bureau interna-

tional avait été créé de toutes pièces et complètement outillé. La Section française avait procédé à la construction d'étalons de longueur et de masse, que le Bureau international avait ensuite étudiés. En même temps, d'importantes études avaient conduit à définir une échelle normale des températures, et à réaliser un mode opératoire permettant de reporter cette échelle en toute sécurité sur des instruments facilement transportables. Tous ces travaux avaient été accomplis dans l'intervalle relativement court de quatorze années, et la première Conférence eut à en prendre connaissance et à confirmer les décisions les plus importantes prises par le Comité pendant cette période de sa gestion.

La Conférence se réunit au Ministère des Affaires étrangères de France, le 24 septembre 1889, sous la présidence de M. Spuller, et tint ses autres séances au pavillon de Breteuil, les 26 et 28 septembre, sous la présidence de M. des Cloiseaux (1).

C'est dans la deuxième séance, tenue le 26 septembre 1889, qu'eut lieu l'acte fondamental pour l'existence du système métrique international, du sanctionnement des prototypes internationaux, et des étalons du mètre et du kilogramme. Voici la formule adoptée à l'unanimité par les délégués des dix-huit États représentés à la Conférence.

La Conférence générale sanctionne :

A. — *En ce qui concerne les prototypes internationaux :*

1° Le prototype du mètre choisi par le Comité international; ce prototype représentera désormais, à la température de la glace fondante, l'unité métrique de longueur;

2° Le prototype du kilogramme adopté par le Comité international; ce prototype sera considéré désormais comme unité de masse;

3° L'échelle thermométrique à hydrogène par rapport à laquelle les équations des mètres ont été établies.

B. — *En ce qui concerne les prototypes nationaux :*

1° Les mètres en platine iridié, dont les équations, par rapport au prototype international, sont renfermées dans la limite de 0,01 millimètre, avec une erreur probable ne dépassant pas 0,0002 millimètre;

2° Les kilogrammes en platine iridié, dont les équations sont renfermées dans la limite de 1 milligramme, avec une erreur probable ne dépassant pas 0,005 milligramme.

C. — *En ce qui concerne l'équation des prototypes nationaux :*

Les équations des prototypes nationaux, telles qu'elles ont été déterminées au Bureau

(1) Voici la liste des délégués et invités présents à la Conférence :

Délégués : MM. Foester, Karsten, von Lang, Marek, von Krusper, Stas, Christiansen, marquis de Mulhacén, Whitelaw-Reid, Gould, Bertrand, Chaney, Brioschi, Ohyama, de Macedo-Santiago Alcorta, Hepites, Wild, Backlund, Thalèn, Arndtsen, Hirsch, Ris.

Représentants des Pays-Bas et du Chili : MM. Bosscha et Pena Vicuna.

Membre du Comité international non délégué, M. Christie.

Le directeur du Bureau international, M. Benoît.

Les membres de la Section française : MM. Cornu, Faye, Fizeau, Laussedat, Lœwy, Mouchez, Pélignot, Phillips, Troost.

Invités : MM. Chappuis, Guillaume, Thiesen, Tresca.

international, sous la direction du Comité international, et inscrites dans le rapport de ce Comité et sur les certificats accompagnant les prototypes.

Il est intéressant d'ajouter que cette sanction, donnée par la Conférence générale aux prototypes fondamentaux du système métrique international, ainsi qu'aux étalons distribués aux États, eut bientôt après sa répercussion dans les dispositions législatives en vigueur dans un grand nombre de pays. La plupart des lois sur les poids et mesures furent soumises à révision, et mises en harmonie avec les décisions de la Conférence (1).

Conformément aux dispositions de la Convention du Mètre, la Conférence se réunit une seconde fois en 1893, sous la présidence de M. Marey ; la première séance, tenue le 4 septembre 1893, au Ministère des Affaires étrangères, fut ouverte par M. Hanotaux ; les autres eurent lieu au pavillon de Breteuil, du 6 au 14 septembre (2).

Dans l'intervalle des deux Conférences, le Bureau international avait déterminé encore quelques étalons de premier ordre, demandés trop tard pour qu'il eût été possible de les joindre aux prototypes distribués en 1889 ; les six étalons à bouts en platine iridié dont il a été question plus haut avaient été construits et étudiés ; plusieurs toises ou autres étalons anciens avaient été déterminés, ainsi que divers étalons géodésiques modernes. La relation du yard au mètre avait été établie par de nombreuses comparaisons. Les travaux relatifs au décimètre cube avaient été préparés, ainsi que diverses recherches préparatoires relatives à la mesure des températures par les procédés électriques ; à la demande de la Commission météorologique internationale, l'étude complète des thermomètres destinés à la mesure des basses températures avait été entièrement achevée ; enfin, la comparaison du mètre au repère naturel constitué par diverses longueurs d'ondes lumineuses avait été faite par M. Michelson, avec la coopération du personnel scientifique du Bureau ; en même temps, les opérations métrologiques exécutées avant la Conférence de 1889 avaient été publiées.

La Conférence, après avoir pris connaissance de ces divers travaux, ainsi que des projets de recherches futures, procéda à la distribution, par tirage au sort, des étalons à bouts, et approuva les résultats des déterminations de toutes natures effectuées au Bureau ; en même temps, elle prit connaissance des dispositions législatives de divers pays, modifiées, dans l'intervalle des deux réunions, dans un sens favorable à l'extension du système métrique.

(1) Voir Annexe IV, p. 872.

(2) *Délégués* : MM. Foerster, de Schoen, von Lang, de Bodola, Rousseau, Prytz, d'Arrillaga, Cobo de Guzman, Eustis, Vignaud, Bertrand, Chaney, Ferraris, Sone Arasuke, Garibay, de Macedo, Hepites, Mendeleef, Blumbach, Markovitch, Thalèn, Arndtsen, Duplan, Hirsch. *Le Directeur du Bureau*, M. Benoit. *Invités* : MM. Faye, Fizeau, Chappuis, Guillaume, Tresca.

La Conférence décida, en outre, que la comparaison périodique, prévue par la Convention du Mètre, des étalons livrés en 1889, commencerait dans les années suivantes, en débutant par les prototypes du kilogramme, pour lesquels la possibilité d'un changement, dans les limites de précision des pesées, étaient plus à craindre que pour les mètres.

Enfin, la Conférence approuva le projet du Comité international de créer, sur les fonds disponibles, une caisse de retraite pour le personnel du Bureau.

La Conférence vient de se réunir pour la troisième fois; après avoir pris connaissance des travaux accomplis par le Bureau dans ces six années écoulées, elle s'est attachée, plus que dans ses précédentes réunions, à diverses méthodes métrologiques sur lesquelles il semble intéressant d'insister ici.

La troisième Conférence générale était présidée par M. Bouquet de la Grye, vice-président de l'Académie des Sciences de Paris; son secrétaire était M. Blaserna (1). Comme dans les précédentes occasions, le Ministre des Affaires étrangères de la République française a désiré accueillir les délégués dans l'hôtel de son ministère, et la première séance a été ouverte par M. Delcassé. En outre, M. Millerand, ministre du Commerce, a tenu à assister à l'une des séances, qu'il a présidée.

On peut dire aujourd'hui que, à de très rares exceptions près, le système métrique est universellement employé dans les usages scientifiques, alors que l'industrie ne l'a pas encore complètement adopté, même dans les pays où il est obligatoire; le commerce et l'industrie emploient encore couramment des numérotages établis d'après une échelle arbitraire, ou fondés sur les unités autrefois en usage, et qui sont sans lien aucun avec les unités métriques. De grands progrès ont été réalisés cependant, depuis quelques années, dans cette direction, comme nous le verrons plus loin.

Au sujet des définitions fondamentales des unités métriques, la Conférence a pris deux résolutions dont la première, relative au litre, diffère peu des propositions du Comité international (p. 27 ci-dessus).

En voici le texte :

« Considérant que les recherches les plus précises concernant la détermination du volume occupé par 1 kilogramme d'eau pure à son maximum de densité ont démontré, conformément aux définitions fondamentales des unités métriques, l'égalité à peu près parfaite entre ce volume et le cube du décimètre;

« Mais, considérant que la différence entre ces deux grandeurs a pu cependant être mise en évidence par des procédés de mesure très délicats, et qu'elle ne peut plus être négligée dans des déterminations volumétriques de haute précision;

« Considérant ensuite que la densité de l'eau varie non seulement avec la température, mais aussi avec la pression, et que les définitions adoptées jusqu'ici n'ont pas tenu compte de cette dernière variation;

« Considérant enfin que les déterminations de volume au moyen de liquides sont, en général, plus simples que celles qui résultent des mesures linéaires et sont susceptibles d'une précision supérieure;

(1) Les autres délégués étaient, outre les membres du Comité international (p. 18), MM. Siegel, Marek, Rousseau, Prytz, de Novallas, Puigcerver, Morley, Baz, Lagrave, Takanosé, Egorof, Gautier, Ris.

« La Conférence déclare :

« 1° L'unité de volume, pour les déterminations de haute précision, est le volume occupé par la masse de 1 kilogramme d'eau pure, à son maximum de densité et sous la pression atmosphérique normale; ce volume est dénommé *litre* ;

« 2° Dans les déterminations de volume qui ne comportent pas un haut degré de précision, le décimètre cube peut être envisagé comme équivalent au litre, et, dans ces déterminations, les expressions des volumes basées sur le cube de l'unité linéaire peuvent être substituées à celles qui sont rapportées au litre tel qu'il vient d'être défini. »

La seconde est relative au kilogramme et à la signification qu'il convient de donner au mot *poids* :

« Vu la décision du Comité international des Poids et Mesures du 15 octobre 1887, par laquelle le kilogramme a été défini comme unité de masse ;

« Vu la décision contenue dans la formule de sanction des prototypes du Système métrique, acceptée à l'unanimité par la Conférence générale des Poids et Mesures dans sa réunion du 26 septembre 1889 ;

« Considérant la nécessité de faire cesser l'ambiguïté qui existe encore dans l'usage courant sur la signification du terme *poids* employé tantôt dans le sens du terme *masse*, tantôt dans le sens d'un *effort mécanique*.

« La Conférence déclare :

« 1° Le *kilogramme* est l'unité de masse; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme ;

« 2° Le terme *poids* désigne une grandeur de la même nature qu'une *force*; le poids d'un corps est le produit de la masse de ce corps par l'accélération de la pesanteur; en particulier, le poids normal d'un corps est le produit de la masse de ce corps par l'accélération normale de la pesanteur ;

« 3° Le nombre adopté dans le Service international des Poids et Mesures pour la valeur de l'accélération normale de la pesanteur est $980,665 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$, nombre sanctionné déjà par quelques législations. »

Cette dernière déclaration, qui eût pu paraître inutile après celle de la première Conférence relative à l'unité de masse, a été rendue nécessaire par le fait que, dans diverses législations, et, plus encore, dans le langage courant, les termes *masse* et *poids* sont souvent confondus.

Le système des unités dynamiques fondé sur la considération de la force imprimant l'unité d'accélération à l'unité de masse est presque uniquement employé en physique; mais la mécanique industrielle n'en fait encore qu'un usage restreint, et les unités pratiques de force, de travail ou de puissance qu'elle emploie sont fondées sur l'effort qu'exerce sur son support la masse de 1 kilogramme soumise à l'accélération de la pesanteur; pour les mécaniciens, cet effort porte, tout comme la masse qui le produit, le nom de kilogramme.

Il convenait donc, à la fois, de signaler expressément ce double emploi d'un même mot, afin d'en dégager complètement la signification adoptée par la première conférence, et de donner aux unités encore en usage, fondées sur l'attraction terrestre, toute la précision dont elles sont susceptibles, en fixant la valeur de l'intensité de la pesanteur que l'on doit adopter comme normale.

Cette valeur résulte de la réduction théorique à 45° et au niveau de la mer du nombre primitivement communiqué au Comité international par M. Defforges. Mais

il ne doit pas être considéré comme représentant une véritable valeur normale de l'intensité de la pesanteur dans le sens qui était attribué encore récemment à ce mot. L'accélération à 45° et au niveau de la mer ne possédant pas une valeur unique, il devenait nécessaire de fixer arbitrairement une valeur de g que, par pure convention, on considérerait comme normale pour le service des poids et mesures. Le choix de la valeur numérique inscrite dans la déclaration de la Conférence a été entraîné par le fait que plusieurs législations l'ont déjà sanctionné à la suite des décisions prises par le Comité international en 1887. On remarquera, d'ailleurs, que ce nombre est compris entre ceux que l'on rencontre dans les conditions mêmes que l'on considérerait autrefois comme suffisantes pour fixer la valeur en question.

Au sujet des unifications dans le domaine de l'industrie, la Conférence a pris connaissance des décisions des congrès internationaux qui se sont occupés respectivement du numérotage des fils textiles et des filetages des vis mécaniques.

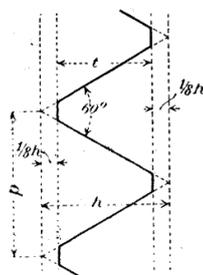


Fig. 88. Profil des vis du système international.

La première de ces questions, traitée par MM. Widmer, Ed. Simon et Fleury, se résume dans deux propositions, dont l'une concerne la soie, l'autre le coton, la laine, la schappe et la ramie. Pour ces derniers produits, le numéro d'un fil indique le nombre de kilomètres contenu dans un kilogramme. Pour la soie, le numéro représente la masse, en grammes, de dix kilomètres de fil.

On remarquera que, d'après ces dispositions, le numéro d'un fil de soie augmente en même temps que son diamètre, tandis que, pour les autres textiles, la progression est renversée. Cette anomalie apparente est justifiée par le fait que la filature de la soie utilise des procédés inverses de ceux qui sont usités pour les autres fils. La valeur des unités adoptées est imposée, d'autre part, par le diamètre moyen des fils, très différent pour la soie et pour les textiles soumis au premier numérotage.

Le lin est resté provisoirement en dehors de l'unification, pour la raison que, le commerce international de cette matière étant presque entièrement pratiqué par les filateurs anglais, il a semblé nécessaire de subordonner, pour le moment, toute décision aux possibilités de faire accepter le nouveau système par le Royaume-Uni. Les grands progrès réalisés pour l'introduction du système métrique, par les efforts des savants et des industriels anglais, et dont les législations ont marqué les étapes, font espérer que l'unification complète du numérotage des fils pourra être réalisée dans un avenir prochain.

Les décisions concernant les filetages ont été présentées à la Conférence par M. Ed. Sauvage; elles se résument dans le tableau adopté par le Congrès de Zurich d'octobre 1898, et de la Conférence du 20 octobre 1900, apportant de petites modifications aux propositions de la Société d'Encouragement.

Conformément à ces décisions, le filet de la vis est constitué par un triangle équilatéral (fig. 88), tronqué par deux parallèles à la base, menées respectivement au huitième de la hauteur à partir du sommet et de la base. La section indiquée par

cette règle constitue un profil limite, auquel la vis pleine ou la vis creuse peuvent arriver, par l'intérieur ou l'extérieur, sans jamais le dépasser.

L'ouverture des clefs est fixée aussi pour les têtes de boulons ou d'écrous : la dimension choisie est une dimension limite, que ne doivent dépasser ni l'écrou par excès, ni la clef par défaut. La hauteur recommandée pour l'écrou est égale à son diamètre, tandis que, pour les têtes de boulons, elle est égale aux sept dixièmes du diamètre.

Le tableau ci-après résume les décisions de la Conférence de 1900 :

Série des diamètres, des pas et des ouvertures de clefs correspondants.

DIAMÈTRE	PAS.	OUVERTURE DE CLEF.	DIAMÈTRE	PAS.	OUVERTURE DE CLEF.
mm	mm	mm	mm	mm	mm
6	1,0	12	33	3,5	50
7	1,0	13	36	4,0	54
8	1,25	15	39	4,0	58
9	1,25	16	42	4,5	63
10	1,5	18	45	4,5	67
11	1,5	19	48	5,0	71
12	1,75	21	52	5,0	77
14	2,0	23	56	5,5	82
16	2,0	26	60	5,5	88
18	2,5	29	64	6,0	94
20	2,5	32	68	6,0	100
22	2,5	35	72	6,5	105
24	3,0	38	76	6,5	110
27	3,0	42	80	7,0	116
30	3,5	45			

En retournant aux origines historiques du système métrique, on voit que la réforme projetée par les savants auxquels en fut confiée l'élaboration était plus complète encore que celle qui a été pratiquement réalisée. En même temps que l'adoption du mètre d'après les dimensions de la terre, on avait décidé celle de la division décimale du quart de cercle, de manière à faire correspondre le kilomètre à la minute centésimale. L'utilité de cette concordance est affirmée par l'usage, qui s'est maintenu dans toutes les marines, de compter les distances en milles correspondant à une minute sexagésimale d'arc.

Si cette réforme n'a pas eu tous les effets qu'on aurait pu en attendre, la raison en est dans l'habitude prise de rapporter la division du jour à celle de la circonférence par un nombre simple, afin de pouvoir utiliser directement les chronomètres pour la mesure des angles, et l'impossibilité actuelle de modifier la division du jour dans les usages civils.

Mais, si on limite le problème aux usages de la navigation, il change complètement d'aspect. En réalité, dans la marine, les mesures de temps ne sont pas autre chose que des mesures d'angle, et ne sont pas interprétées d'autre façon. La division décimale du jour, pratiquée au moyen de chronomètres spéciaux, mesurerait donc les angles

terrestres en grades et en fractions décimales de cette unité, et ramènerait directement au kilomètre comme unité nautique.

C'est cette réforme qui a été tentée dans la marine française, dont le Bureau des Longitudes a eu l'initiative et la direction, et dont M. le commandant Guyou s'est plus spécialement occupé.

Le principal avantage d'une réforme de la mesure des angles horaires en navigation ne serait pas, cependant, dans la correspondance immédiate qui en résulterait avec les unités linéaires, mais bien dans une simplification considérable des calculs à bord. « C'est, dit le commandant Guyou, pour les marins que les complications des unités actuelles offrent le plus d'inconvénients. Les conditions dans lesquelles ils se trouvent pour calculer à bord, la gravité des conséquences que peuvent occasionner les erreurs, enfin la nécessité d'effectuer fréquemment les calculs à la mer, rendraient déjà toute simplification précieuse. Mais ce n'est pas tout; les calculs nautiques sont aussi utiles sur les petits navires que sur les grands paquebots et les cuirassés; il y aurait donc grand intérêt à les mettre à la portée du plus grand nombre. Or, actuellement, par le fait des unités sexagésimales, ces calculs, si simples en eux-mêmes, sont hérissés de nombreuses difficultés factices qui les rendent inabordables à ceux qui ne peuvent s'y exercer par une longue préparation. »

On a fait, il est vrai, quelques objections à la tentative de réforme des calculs nautiques. Ainsi, « sur beaucoup de navires, pour certains problèmes simples (azimut par l'angle horaire, latitude par la polaire) la montre du bâtiment est employée à la place du chronomètre. Comme il est impossible de graduer cette montre en unités angulaires, l'emploi de l'unité de temps n'est pas éliminé des problèmes pour lesquels elle est utilisée. En réalité, cette objection est sans portée; l'emploi de la montre du bord comme instrument astronomique est un reste d'anciens usages qui s'expliquaient autrefois par des motifs d'économie, et qui n'ont plus de raison d'être aujourd'hui. Au degré de précision que l'on est en droit d'exiger actuellement, cette montre est insuffisante même pour les problèmes dont nous avons parlé, et l'usage devrait désormais en être absolument interdit. »

Une mise en pratique des unités nouvelles pouvait seule montrer quelle était la portée des objections faites par quelques marins, et renseigner sur les difficultés que l'on serait exposé à rencontrer dans la période de transition.

Cette expérience a été tentée durant la période comprise entre le 1^{er} juin 1899 et le 1^{er} mars 1900, sur cinq bâtiments de l'État, dont quatre étaient appelés à une navigation particulièrement active.

Pour permettre l'application du nouveau mode de calcul, on remit à chacun des navires désignés pour les expériences un chronomètre décimal, un recueil d'éphémérides et de tables nautiques dans les mêmes unités, une collection de cartes nautiques revêtues d'une graduation décimale supplémentaire, enfin un sextant décimal. On donna au nouveau chronomètre le nom de *tropomètre*, pour bien marquer qu'il ne mesurait pas le temps, mais la rotation du cercle horaire.

Les expériences ainsi effectuées ont mis en lumière les points suivants :

« L'introduction des unités décimales serait très précieuse pour la pratique de la navigation ;

« Cette réforme pourra être faite sans qu'il soit apporté aucun changement aux unités de temps; les nouvelles unités pourront être mises en pratique sans soulever de difficultés sérieuses. »

L'application de la réforme serait cependant très longue si elle nécessitait le remplacement immédiat de tout le matériel, où les chronomètres représentent une valeur considérable. Mais il n'en est heureusement pas ainsi. Les chronomètres actuellement en service pourront être utilisés jusqu'au terme naturel de leur fonctionnement, au prix d'une simple transformation des unités au début du calcul. La création des éphémérides, l'exécution d'une nouvelle graduation sur les cartes et d'une nouvelle division des sextants sont bien peu de chose en comparaison du bénéfice qui résulterait, pour la navigation, de l'emploi des unités décimales pour le calcul des positions.

Il a été question déjà, au cours de ce travail, des perfectionnements que l'emploi des aciers-nickels avait permis de réaliser dans la construction des appareils de géodésie. Le premier étalon pour la mesure des bases, dont une description sommaire a été donnée plus haut (t. CI, p. 722), et construit conformément aux plans que nous avons, M. Benoit et moi, étudiés à la suite de nombreuses expériences faites sur les anciens appareils, a pu être présenté à la Conférence, en même temps que les instruments destinés aux mesures géodésiques rapides, et les premiers résultats de leur emploi.

Il est intéressant de rapporter ici les données fournies par les comparaisons exécutées régulièrement, depuis quelques mois avec la coopération de M. Maudet, entre les termes de la base en sous-sol mentionnée précédemment (t. CI, p. 270) et la longueur de six fils de 24 mètres, en trois paires construites respectivement avec des aciers-nickels à 36, 49 et 25 p. 100 de nickel, et dont les dilatabilités sont de 0,6, 9 et 18 millionièmes environ. Ces fils, disposés contre l'une des murailles limitant le couloir dans lequel est installée la base géodésique, sont, tour à tour, amenés sur la base elle-même, à la longueur totale de laquelle ils sont comparés, sous une tension de 10 kilogrammes. Les réductions de la longueur des fils à une même température sont faites à l'aide des coefficients de dilatation déterminés au comparateur.

Les résultats obtenus jusqu'au commencement de cette année, et dont les derniers sont ultérieurs à la réunion de la Conférence, sont les suivants (1) :

Dates.	Températures.	Base — Moy des fils.
	°	mm
20 juillet 1901	17,65	+ 0,47
27 — —	15,60	+ 0,24
3 août — —	16,80	+ 0,44
10 — —	16,85	+ 0,53
17 — —	16,27	+ 0,60
24 — —	16,85	+ 0,56
31 — —	16,00	+ 0,50
7 sept. — —	15,30	+ 0,47
14 — —	15,30	+ 0,43
21 — —	15,08	+ 0,38
28 — —	15,11	+ 0,40
5 oct. — —	15,12	+ 0,41
12 — —	14,37	+ 0,35
19 — —	13,50	+ 0,27

(1) Les comparaisons, qui ont continué sans interruption, n'ont fait que continuer les résultats des premières mesures; après le minimum hivernal de la température, les valeurs relatives de la base et des fils ont repris une marche ascendante, repassant sensiblement par les précédentes valeurs aux mêmes températures. Il a été démontré de plus que l'enroulage des fils, fait avec soins, ne modifiait pas sensiblement leur valeur.

Dates.	Température.	Base — Moy. des fils. mm
26 octobre 1901.	12,90	+ 0,17
2 nov. —	11,63	— 0,06
— —	10,40	— 0,18
16 — —	10,43	— 0,23
23 — —	9,73	— 0,26
30 — —	8,93	— 0,38
7 déc. —	8,53	— 0,35
14 — —	8,77	— 0,42
21 — —	8,52	— 0,46
28 — —	9,25	— 0,43

En comparant entre eux les nombres de la deuxième et de la troisième colonne ci-dessus, on constate un parallélisme parfait entre leurs variations, tout changement de la température ayant immédiatement, ou avec un léger retard, sa répercussion sur la longueur relative de la base et des fils. La conclusion la plus probable est que la distance des repères extrêmes de la base varie avec la température; en d'autres termes, que le mur qui la constitue éprouve, dans son ensemble, une dilatation thermique comme un corps homogène. Le coefficient de dilatation qui résulterait des mesures déjà faites serait voisin du tiers de celui du fer.

Les actes administratifs les plus importants accomplis par la Conférence sont la création d'une caisse de retraites pour le personnel du Bureau international, la proposition de revenir au budget annuel de 100 000 francs, qui avait été abaissé à 75 000, il y a quelques années; enfin, la constitution du Comité international pour les six années à venir, par l'élection réglementaire de sept membres, pour remplir les vacances et pour confirmer dans leurs fonctions les membres cooptés depuis la dernière Conférence, et dont le nombre a été, conformément au règlement, complété par le sort. Le nouveau comité est ainsi constitué :

Président : M. Foerster (Berlin); *Secrétaire* : M. Blaserna (Rome); *Membres* : MM. Arndtsen (Christiania), de Arrillaga (Madrid), de Bodola (Budapest), Chaney (Londres), Cornu (Paris), Egorof (Saint-Petersbourg), Gautier (Genève), Hasselberg (Stockholm), Hepitès (Bucarest), von Lang (Vienne), de Macedo (Ministre de Portugal à Madrid), Michelson (Chicago).

ANNEXES

ANNEXE I

Propositions et discussions relatives au système métrique international.

(Extraits des Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences de l'année 1869.)

« M. le Secrétaire perpétuel appelle l'attention de l'Académie sur un document émané de l'Académie des Sciences de Saint-Petersbourg et relatif à l'extension qu'il s'agirait de donner au système métrique parmi les divers peuples (1).

« Une discussion s'engage à ce sujet, discussion à laquelle prennent part MM. le général Morin, Le Verrier, Faye, Mathieu, Serret, Sainte-Claire Deville. L'Académie décide qu'une Commission nommée dans son sein lui rendra compte de l'état de cette question, dont l'Administration française s'est occupée déjà l'année dernière, et sur laquelle plusieurs membres de cette Académie ont été appelés à donner leur avis au Gouvernement.

« M. le Président désigne, pour faire partie de cette Commission, MM. Élie de Beaumont, Dumas, Regnault, Mathieu, Le Verrier, Morin, Faye.

« M. le Secrétaire perpétuel est invité par l'Académie à donner lecture de ce document et à en ordonner l'impression dans le compte rendu de la séance.

« Voici cette pièce de la correspondance :

SYSTÈME MÉTRIQUE

Confection des étalons prototypes des poids et mesures métriques.

RAPPORT DE LA COMMISSION NOMMÉE PAR LA CLASSE PHYSICO-MATHÉMATIQUE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE SAINT-PÉTERSBOURG. *Commissaires* : MM. STRUVE, WILD, JACOBI, *rapporteur*.

« La Commission nommée dans la séance du 8 avril 1869 pour examiner la proposition de M. Jacobi concernant la nécessité de soumettre à une Commission internationale plusieurs questions qui se rapportent à la confection des étalons prototypes des poids et mesures, adhère, quant au fond, à la proposition mentionnée et a l'honneur de soumettre à la Classe les considérations suivantes.

(1) Séance du 16 août; *Comptes rendus*, t. LXIX, p. 425.

« En vue des progrès faits dans les dernières années par rapport à l'introduction plus générale du système métrique et en prévision de ce que l'adoption de ce système par les savants de tous les pays ne peut manquer de se réaliser dans un avenir prochain, il est urgent de soumettre à un examen la base sur laquelle l'unité unique et universelle des poids et mesures devra être établie définitivement. En effet, un établissement solide de cette unité est d'autant plus important qu'il ne s'agit pas seulement du consentement de toutes les nations dans le présent, mais de la garantie qu'un avenir même éloigné ne soit réduit à renier l'héritage que nous avons voulu lui léguer. Une pareille pensée avait présidé aux travaux à jamais mémorables, entrepris en France dans le but de procurer au monde une mesure universelle, invariable et susceptible d'être reproduite « quand même, comme l'a dit Arago, des tremblements de terre, des cataclysmes épouvantables viendraient à bouleverser notre planète et à détruire les étalons prototypes gardés aux Archives ». Aujourd'hui, nos appréhensions à cet égard ne sont pas assez fortes pour nous faire plaider la cause des mesures soi-disant absolues et naturelles. L'insuffisance et l'inexactitude relative de ces mesures ont été généralement reconnues et démontrées jusqu'à l'évidence par l'argumentation puissante et péremptoire du célèbre Bessel, de manière qu'il est impossible que, dorénavant, le monde savant revienne à la recherche de pareilles mesures. Aussi, est-il démontré que l'étalon du mètre gardé aux Archives de France n'est pas la dix-millionième partie du quart du méridien, que sa longueur en est seulement une partie quelconque, dont le rapport n'est défini et valable que pour une certaine époque; et auquel il faut appliquer des corrections à chaque nouveau progrès réalisé dans notre connaissance de la figure de la terre. L'étalon en question a donc dû renoncer au caractère d'une mesure naturelle qu'on lui supposait posséder à son origine, et il n'est aujourd'hui qu'une mesure arbitraire et de convention. Cependant, il est impossible de méconnaître que la fiction qui lui a servi de base a puissamment contribué à étendre son usage, en facilitant son adoption par d'autres nations. En effet, le mètre doit une grande partie de son prestige à l'idée flatteuse pour l'orgueil humain, de pouvoir rapprocher les mesures dont l'homme fait journellement usage aux dimensions du globe qu'il habite. Il est certain que l'amour-propre national aurait toujours été un obstacle à l'adoption générale, soit du pied royal de France, soit du standard yard d'Angleterre, ou du pied du Rhin, ou d'une aune quelconque. On se serait tout au plus contenté d'appliquer les principes du système métrique, ses divisions décimales et la parfaite logique de son organisation aux poids et mesures; mais leur diversité n'aurait pas disparu.

« Ainsi, par des raisons scientifiques et d'opportunité trop souvent discutées pour qu'il puisse être nécessaire d'y revenir ici, toutes les nations civilisées sont tacitement d'accord pour reconnaître au système métrique français les avantages d'un système universel des poids et mesures de l'avenir et pour considérer les étalons déposés aux Archives de France comme des étalons prototypes de ces mesures. Les Gouvernements obligés, par des nécessités scientifiques ou pratiques, à se procurer des copies exactes des étalons prototypes métriques pour pouvoir y rapporter leurs propres mesures, ne peuvent obtenir ces copies à moins de demander le consentement des autorités de France et d'envoyer à cet effet des délégués à Paris. Il est vrai que ce consentement n'a jamais été refusé et a été même accordé avec toute la prévenance possible, sous condition toujours de se servir des comparateurs disponibles au Conservatoire impérial des Arts et Métiers et de ne pas prendre ces copies directement

des étalons des Archives, mais des étalons du Conservatoire confectionnés en même temps, avec les mêmes matières et par les mêmes artistes que ceux des Archives. De cette manière, un assez grand nombre de ces copies, faites pour la plupart avec beaucoup de soins, sont répandues aujourd'hui dans plusieurs parties du monde ; elles peuvent satisfaire parfaitement, il faut l'avouer, aux besoins du commerce et de l'industrie.

« Cependant, on ne saurait méconnaître que cette manière de procéder isolément et d'abandonner une aussi importante affaire, presque au hasard, n'est pas à la hauteur de la tâche qu'il s'agit d'accomplir. En effet, toutes les copies dont nous venons de parler et qui sont destinées à servir de prototypes pour les différents pays, ont été faites indépendamment l'une de l'autre, sans avoir rien de commun entre elles, ni par la matière dont elles ont été confectionnées, ni par les méthodes et les instruments à l'aide desquels elles ont été comparées, ni par la température à laquelle cette comparaison a été faite, ni par le coefficient de leur dilatation, non plus que par leur construction et leurs dimensions, que par les règlements concernant leurs erreurs tolérables et par la manière dont les étalons sont conservés. On conçoit que ce manque d'uniformité entre les différents prototypes ne peut manquer de faire naître des incertitudes et des diversités regrettables aussi bien au point de vue des exigences de la science et de la technique, que des nécessités du commerce et de l'industrie. Ces diversités qui se font sentir, même à l'époque actuelle, et qui seront encore plus sensibles à l'avenir, ne manqueront pas de compromettre l'uniformité tant désirée de l'œuvre dont notre époque pourrait se faire une gloire. Il est à prévoir que, dès qu'on ne procède pas dans cette affaire avec toute la solidité convenable, qu'on n'emploie pas dans la confection des étalons prototypes une rigueur extrême, et tous les moyens dont la science dispose aujourd'hui pour rendre ces étalons aussi uniformes que possible, qu'on se contente, au contraire, de demi-mesures et de l'admission d'erreurs tolérables sur lesquelles chaque gouvernement aurait ses différentes appréciations au point de vue du commerce international, il est à prévoir qu'il y aura, à l'avenir, aussi bien des mètres des États-Unis, de l'Angleterre, de la Confédération de l'Allemagne du Nord, de l'Autriche, de la Suisse, du Danemark, etc., aussi bien qu'il y a aujourd'hui des pieds différents et des différentes aunes dans ces pays.

« Les inconvénients que votre Commission vient de signaler n'ont pu échapper ni aux individus, ni aux associations ou corporations savantes qui se sont occupées de la question de l'uniformité des poids et des mesures. C'est ainsi que parmi les cinq résolutions formulées en faveur du système métrique adoptées unanimement dans la sixième séance du cinquième Congrès international de statistique, la seconde résolution porte :

« Le soin de rédiger et de mettre à exécution les prescriptions à suivre dans la construction des étalons et du système même est confié à une Commission internationale qui se chargera également de la correction des petits défauts scientifiques de ce système. »

« Dans la deuxième séance de la Conférence géodésique internationale réunie à Berlin en 1867, cette assemblée s'est prononcée plus positivement encore à cet égard. Parmi les dix propositions formulées en faveur du système métrique et dans le but de parvenir à une uniformité des poids et mesures aussi complète que possible, les septième et huitième propositions portent (1) :

(1) Voir t. Gr p. 259.

7^e proposition :

« Afin de définir l'unité commune de mesure pour tous les pays de l'Europe et pour tous les temps aussi exactement et aussi invariablement que possible, la Conférence recommande la construction d'un nouveau mètre prototype européen. La longueur de ce mètre européen devrait différer aussi peu que possible de celle du mètre des Archives de Paris et doit en tous cas lui être comparée avec la plus grande exactitude. Dans la construction du nouvel étalon prototype, il faut avoir surtout en vue la facilité et l'exactitude des comparaisons nécessaires. »

Et la 8^e proposition :

« La construction du nouveau mètre prototype ainsi que la confection et la comparaison de ces copies destinées aux différents pays devraient être confiées à une Commission internationale dans laquelle les États intéressés seraient représentés. »

« Votre Commission, en s'appuyant sur ces manifestations éclatantes de l'opinion des personnes les plus compétentes dans cette matière, est unanimement d'avis que la question de l'uniformité des étalons est de la plus haute importance ; qu'elle est la base uniquement propre pour y établir un système universel des poids et mesures aussi stable que possible ; qu'un tel résultat ne peut pas être obtenu par des travaux isolés, quelque méritoires qu'ils soient, qu'on ne pourra atteindre ce but que par des travaux communs, organisés convenablement ; qu'enfin, il est indispensable *d'attirer sur cette affaire toute l'attention des gouvernements, qui nécessairement y devraient prêter leur concours par la nomination d'une Commission internationale, composée de délégués de tous les pays, et à laquelle serait confiée la confection des étalons prototypes des mesures de longueur et de capacité et des poids.*

« Il est évident qu'une pareille Commission pourra d'autant mieux accomplir sa tâche que le nombre d'étalons prototypes à confectionner de manière à s'approcher le plus possible de l'identité sera plus grand.

« En effet, une telle condition est indispensable. Ce n'est qu'une fabrication faite sur une large échelle qui permettra d'employer tout ce que la science, de concert avec la technique et la mécanique des instruments de précision, pourra produire de plus accompli.

« Il convient de relever en même temps, ce qui est important au point de vue pratique et économique, que les étalons fabriqués dans ces conditions pourront être fournis à des prix beaucoup plus modérés que si on les confectionnait séparément.

« Votre Commission a l'honneur de proposer :

1^o Que l'Académie emploie son autorité pour solliciter S. Exc. M. le Ministre de l'Instruction publique d'intervenir auprès du Gouvernement Impérial pour que tous les États étrangers soient invités à envoyer des délégués pour former une Commission internationale qui devra se réunir dans une des capitales encore à désigner dans le but de régler la confection des étalons prototypes métriques et de créer une unité de mesure véritablement universelle et effectivement internationale.

2^o Que M. Jacobi soit chargé de faire valoir, à l'occasion de la réunion de l'Association Britannique pour l'avancement des sciences à Exeter les principes qui viennent d'être établis par le présent rapport et l'urgence de l'adoption universelle du système métrique par les savants de tous les pays. »

RAPPORT SUR LES PROTOTYPES DU SYSTÈME MÉTRIQUE, LE MÈTRE ET LE KILOGRAMME DES ARCHIVES (1). *Commissaires* : MM. ELIE DE BEAUMONT, MATHIEU, MORIN, REGNAULT, LE VERRIER, FAYE, DUMAS, *rapporteur*.

« L'Académie après avoir pris connaissance des propositions faites à l'Académie de Saint-Petersbourg, au sujet des étalons des poids et mesures, a décidé qu'une Commission serait chargée d'examiner la question et de lui en donner son avis. Cette Commission vient remplir son devoir.

« Un système métrique général propre à réunir l'assentiment de toutes les nations était désiré depuis longtemps, lorsque l'Assemblée Constituante, s'inspirant des vues de l'ancienne Académie des Sciences, chargea cette compagnie d'en tracer le plan. Le travail, commencé en 1790, sur la proposition de M. de Talleyrand, et poursuivi au milieu des circonstances les plus difficiles, s'achevait le 4 messidor an VII par la présentation à la barre des deux Conseils des étalons prototypes du mètre et du kilogramme contrôlés et adoptés par une commission internationale.

« La France, au début même de cette entreprise, avait appelé le concours des autres nations. Si elle s'était mise à l'œuvre et si elle l'avait accomplie sans attendre ce concours, elle avait évité avec soin tout ce qui pouvait donner le plus léger prétexte au reproche d'avoir voulu affecter une sorte de prééminence.

« Aussi, les premiers commissaires de l'Académie avaient-ils le droit de dire que « si la mémoire de ces travaux venait à s'effacer, si les résultats seuls en étaient conservés, ils n'offriraient rien qui pût servir à faire connaître quelle nation en a conçu l'idée, en a suivi l'exécution. »

« Au procès-verbal de dépôt des étalons du mètre et du kilogramme confiés aux Archives, on compte les signatures de neuf délégués étrangers, parmi les vingt-deux signataires, où figurent d'ailleurs les artistes, le garde-général et le secrétaire.

« Le mètre avait été adopté sur le rapport définitif du délégué de la Hollande, Van Swinden, et le kilogramme sur celui de Trallès, délégué de la Suisse.

« L'Académie sait que parmi les trente-deux personnages, la plupart illustres, qui ont coopéré aux premiers travaux relatifs à la détermination du mètre et du kilogramme, on compte les savants les plus autorisés, non seulement par leur génie, mais aussi par leur rare bon sens; les artistes les plus dignes de confiance, non seulement par leur esprit inventif, mais aussi par une main-d'œuvre dont la précision n'a jamais été surpassée.

« Laplace et Lagrange y représentent la géométrie; Borda, Delambre, Méchain, Prony et plus tard Biot et Arago, la géodésie; Lavoisier, les sciences physiques; Lenoir et Fortin, la construction des instruments.

« La tradition fait remonter à Laplace une grande part dans la conception du système; elle attribue à Borda le mérite du plan des opérations géodésiques, et à Lavoisier la responsabilité de la marche adoptée pour la détermination du kilogramme.

« Les documents établissent la part qui revient dans l'exécution à Delambre, Méchain, Lenoir et Fortin.

« Alors, même que les procès-verbaux et les rapports définitifs ne le démontreraient pas, la répartition des premières copies authentiques du mètre et du kilogramme prototypes indiquerait, à elle seule, sur quel pied d'égalité les nations étrangères

(1) *Ibid.*, p. 514, 23 août 1869.

et la France furent placées pendant ce travail et au moment de sa conclusion. En effet, douze exemplaires du mètre ayant été comparés au prototype et leur exactitude ayant été reconnue, ils furent distribués sans distinction, pour leurs divers États, entre les Commissaires, au moment de clore leur travail, et les étrangers en reçurent dix.

« La précision des opérations et leur caractère international ont été souvent confirmés depuis cette époque : en premier lieu, par des arrêtés du Gouvernement français, qui ordonnent la construction de nouveaux étalons du mètre et du kilogramme destinés à l'Observatoire et au Conservatoire des Arts et Métiers; en second lieu, par les opérations répétées, qui ont été effectuées pour fournir à divers Gouvernements des copies authentiques de ces deux mesures; enfin, par une suite d'expériences auxquelles l'un de nous, M. Regnault, a consacré près d'une année, et qui avaient pour objet la discussion des méthodes et la construction des instruments à l'aide desquels on peut procéder avec certitude à la vérification des étalons des mesures et poids métriques.

« Cependant, la Conférence géodésique internationale, réunie à Berlin en 1867, proposait, ainsi que le rappelle M. Jacobi, la construction d'un nouveau mètre prototype européen, dont la longueur devrait différer *aussi peu que possible* de celle du mètre des Archives de Paris, et dans la construction duquel on aurait surtout en vue la facilité et l'exactitude des comparaisons nécessaires.

« La construction du nouveau mètre prototype et la comparaison des copies destinées aux divers États seraient confiées à une commission internationale.

« A ces prescriptions, M. Jacobi ajoute celle qui était formulée par le Congrès international de statistique, qui voulait que cette commission fût chargée en outre de la correction *des petits défauts scientifiques du système*.

« De son côté, le Gouvernement français n'était pas demeuré indifférent à ces manifestations, et il avait chargé, sous la présidence de notre confrère, M. le Maréchal Vaillant, une commission, formée de membres de l'Académie et de représentants du Bureau des Longitudes, de lui donner son avis.

« Cette commission a terminé depuis longtemps la première partie de sa mission. Elle a adressé son rapport à M. le Ministre de l'Instruction publique, et elle est demeurée à sa disposition pour l'exécution des opérations qu'elle propose, quand elles auront reçu l'approbation du Gouvernement.

« En attendant, puisque la question semble destinée à faire ailleurs l'objet de discussions publiques, l'Académie pensera sans doute, avec la Commission qu'elle a chargée de l'examiner, qu'une déclaration de sa part est devenue nécessaire. Ses commissaires n'avaient pas besoin d'une longue délibération pour la préparer. Ces matières n'ont jamais cessé de les occuper, et elles sont devenues depuis deux ans, pour chacun d'eux, l'objet d'une étude approfondie, ayant été consultés à divers titres par l'autorité sur les difficultés qu'on lui signalait.

« Trois questions sont posées : 1° le mètre prototype des Archives représente-t-il l'unité fondamentale du système métrique ? 2° le kilogramme des Archives représente-t-il l'unité de poids ? 3° peut-on donner aux Gouvernements qui veulent adopter le système métrique le moyen de se procurer avec certitude des étalons du mètre et du kilogramme absolument conformes à ces deux unités ?

« Les membres de votre Commission n'ont jamais hésité à ce sujet, et leurs nouvelles conférences n'ont fait que les fortifier dans leur sentiment.

« Le mètre et le kilogramme des Archives sont des prototypes représentant, l'un l'unité fondamentale du système métrique, l'autre l'unité de poids.

« Ils doivent être conservés comme tels, sans modification.

« En effet, ce serait bien mal connaître la pensée des savants illustres qui ont préparé et exécuté le travail relatif à la détermination des bases du système métrique, que de supposer qu'ils aient considéré la distance du pôle boréal à l'équateur comme invariable sur tous les méridiens, et la méridienne qui traverse la France comme représentée, elle-même, par des chiffres absolus.

« La valeur du mètre changerait donc avec les pays et les époques, si on n'acceptait pas comme unité fixe la valeur qui lui a été attribuée par leurs premières opérations. Les changements, il est vrai, resteraient absolument insensibles dans la pratique; ils auraient, néanmoins, pour effet de jeter le trouble dans les travaux scientifiques, et d'exiger, pour leur comparaison de nation à nation, ces calculs de conversion qu'on a voulu éviter par l'adoption d'un type commun.

« La France est d'autant moins libre de considérer la valeur du mètre, dont elle a gardé le prototype, comme destinée à subir les variations qui seraient indiquées par les nouvelles mesures du méridien qu'on pourrait exécuter, qu'elle n'a pas adopté seule cette unité fondamentale; que, comme nous l'avons rappelé, diverses nations ont concouru par leurs délégués au travail de sa Commission primitive des poids et mesures, et que, depuis le commencement du siècle, beaucoup d'autres ont adopté le système métrique et fait exécuter des étalons authentiques de son unité.

« A l'égard du kilogramme, on lui reproche de représenter le poids du litre d'eau au maximum de densité, et non le litre d'eau à zéro, par exemple, quantité mieux définie. Il est bien connu que les expériences relatives à la détermination du kilogramme ont été effectuées à zéro ou à quelques dixièmes de degré au-dessus: rien n'était donc plus facile que de s'en tenir à ces premiers résultats. Il est également certain que les savants français avaient admis, en formulant leur programme, que l'unité de poids serait le décimètre cube d'eau liquide à zéro. C'est un acte de déférence envers M. Trallès, délégué de la Suisse, qui a fait accepter, par les commissaires français, le maximum de densité de l'eau comme terme fixe.

« Faut-il le regretter? Nous ne l'examinons pas. Le kilogramme des Archives est une unité tellement conforme à sa définition qu'il serait impossible de la modifier d'une manière appréciable pour les besoins ordinaires de la société.

« Y a-t-il lieu de faire pour les savants un kilogramme qui soit capable de satisfaire aux exigences des expériences ultérieures, par lesquelles le maximum de densité de l'eau serait fixé d'une manière définitive? Nous ne le pensons pas. Il paraîtrait bien plus naturel de garder, pour les besoins de la science, le kilogramme tel qu'il est, et de modifier en un point secondaire sa définition, ce qui serait sans conséquence.

« La Commission ne saurait donc accepter, ni pour la détermination du mètre, ni pour celle du kilogramme, qu'il y ait lieu d'admettre l'utilité de nouvelles opérations ayant pour objet de fixer les deux types de ces mesures. Si, sous prétexte du progrès de la science, on acceptait que ces types peuvent être modifiés aujourd'hui, leur instabilité se perpétuerait d'âge en âge; les savants de chaque siècle pourraient, en effet, avoir la prétention d'introduire, à leur tour, de nouvelles corrections dans les méthodes employées par leurs prédécesseurs.

« La Commission, après avoir décidé, à l'unanimité, qu'il y a lieu de considérer les prototypes du mètre et du kilogramme déposés aux Archives comme invariables et comme appartenant à toutes les nations, a examiné ce qui restait à faire pour permettre aux délégués de tous les pays d'intervenir dans l'étude des moyens à

employer pour en reproduire des copies authentiques destinées à servir d'étalons.

« Il lui a paru que, pour conserver au système métrique son large caractère d'universalité et pour dégager de plus en plus la France de toute prétention à une prépondérance qu'elle n'a jamais réclamée, il convenait de continuer ce qui s'était fait dès l'origine de ce travail, et d'appeler à ce nouveau concert les nations étrangères.

« Elle a donc l'honneur de proposer à l'Académie de demander au Gouvernement de provoquer la formation d'une commission internationale qui serait chargée d'étudier les moyens d'exécution des étalons destinés aux divers pays, et de choisir les méthodes de comparaison ou les instruments de vérification qu'il convient de mettre en usage pour les obtenir dans l'état actuel de la science. »

« Après avoir entendu la lecture de ce rapport, l'Académie en adopte les conclusions à l'unanimité. »

M. Chevreul prend ensuite la parole et s'exprime en ces termes :

« Après avoir entendu le rapport qui vient d'être lu sur le système métrique français, j'éprouve la plus vive satisfaction, et je m'empresse d'autant plus d'y donner ma pleine adhésion, que prochainement je ferai hommage à l'Académie d'un ouvrage sur *la méthode « a posteriori » expérimentale et sur ses applications*; on verra que c'est sur la base même de cet ouvrage que repose l'adhésion que je suis heureux de donner à la conclusion du rapport et à l'esprit qui l'a dicté. »

NOTE SUR LA CONFECTION DES ÉTALONS PROTOTYPES DESTINÉS A GÉNÉRALISER

LE SYSTÈME MÉTRIQUE, PAR M. DE JACOBI (1).

« M. le secrétaire perpétuel a bien voulu m'engager à profiter de mon court séjour à Paris pour donner à l'Académie quelques explications concernant la proposition faite par l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg, de former une commission internationale dans le but de régler la confection des étalons prototypes et de créer une unité de mesures véritablement universelle et effectivement internationale.

« L'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg n'a jamais laissé échapper l'occasion de se prononcer en faveur du système métrique français. Autant que c'était dans ses attributions, elle n'a cessé de recommander à l'administration l'adoption de ce système; mais c'est surtout au point de vue de la science qu'il lui a paru indispensable que les savants de tous les pays adoptassent un langage uniforme en tout ce qui concerne l'expression des quantités mesurables. Pour rendre ses convictions à cet égard plus manifestes, elle a d'abord formellement émis le vœu que ses membres se servent à l'avenir, dans leurs publications, uniquement des poids et mesures du système métrique français. Ensuite elle a décidé que des invitations soient adressées aux Universités et aux autres corporations scientifiques et techniques du pays, d'adopter le même moyen et de soumettre à M. le Ministre de l'Instruction publique un mémoire pour attirer son attention sur les avantages de répandre dans les écoles primaires une connaissance plus étendue du calcul décimal et de ses applications au système métrique. Enfin, dès l'année prochaine, les observations météorologiques faites dans les nombreux établissements répandus sur le vaste territoire de la Russie

(1) *Ibid.*, p. 854; 18 octobre 1869.

seront publiées en mesures métriques, et, quant aux thermomètres, en centigrades.

« Il est vrai que ces décisions ne concernent que des applications du système métrique dans les sciences, mais l'Académie est convaincue que la force des choses ne tardera pas à étendre ces applications à d'autres domaines encore. Aussi est-il constaté par mille exemples que les vérités et les faits acquis par la science sont des germes indestructibles qui font éclosion là où l'on s'y attend le moins. Ce n'est donc qu'une question de temps de voir subir par les administrations, aujourd'hui les plus réfractaires, l'influence irrésistible de ces faits et de ces vérités.

« Pour désigner nettement la position de l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg vis-à-vis du système métrique français, il suffit de renvoyer à la proposition mentionnée, dans laquelle elle a déclaré qu'elle reconnaît à ce système tous les avantages d'un système universel des poids et mesures, et qu'elle considère les étalons déposés aux Archives de France comme les étalons prototypes de ces mesures. Quant à l'origine de ces prototypes, elle en a toujours tenu compte pour s'inspirer du glorieux exemple de vos illustres prédécesseurs, qui n'ont pas reculé devant les immenses difficultés qui s'opposaient à l'accomplissement de leur mission. Elle a tenu aussi compte de la critique de leurs travaux. La mesure de l'arc méridien français, en la confrontant avec les remarquables travaux exécutés depuis, n'est pour elle qu'une confirmation de plus que, malgré toutes les hypothèses et tous les calculs, la nature n'a pas pu faire de la figure de la Terre un ellipsoïde de révolution.

« Le monde savant, en adoptant pour les besoins de la science un prototype quelconque comme mesure universelle, et qui doit servir non seulement au présent, mais également à un avenir éloigné, fait un acte d'une haute importance. Il ne peut le faire sans s'imposer des devoirs graves, pour l'accomplissement desquels il est responsable envers la postérité. Sous ce rapport, il doit être inexorable, et surtout ne pas faire des concessions qui pourraient le faire déroger de ses convictions ou forfaire à sa conscience scientifique. Il croit de son premier devoir de se préoccuper et de s'inquiéter de l'intégrité de son prototype et de sa conservation illimitée, autant qu'il est permis à l'homme de se servir de cette expression, et il ne peut remplir ce devoir qu'en rendant le monde civilisé entier responsable de cette intégrité et de cette conservation. Ceci s'applique à un prototype de convenance quelconque que le monde savant aurait été libre de choisir, en faveur duquel on aurait pu faire valoir des raisons d'opportunité plus ou moins fortes, et auquel il n'aurait pas été impossible d'appliquer l'organisation parfaite et logique du système métrique français. En renonçant, je suppose, à tout jamais à toute alternative à cet égard, et en adoptant franchement comme son prototype l'étalon déposé aux Archives de France, le monde savant cède moins à une nécessité matérielle qu'au besoin de rendre un hommage éclatant, qui est en même temps un juste tribut de reconnaissance, non seulement à la glorieuse initiative de la France et de ses illustres savants, mais aussi aux sacrifices matériels et intellectuels qu'elle n'a pas cessé de supporter pendant plus d'un demi-siècle pour le développement de cette œuvre importante.

« Dans l'état actuel des choses, le problème de rendre le monde civilisé entier responsable de l'intégrité et de la conservation illimitée de son étalon prototype, qui n'est plus le prototype exclusif de la France, mais celui du monde entier, ce problème n'admet qu'une seule solution correcte. Il ne suffit point, à cet effet, de faire une copie à trait de l'étalon à bout des Archives, non plus que d'envoyer un délégué d'un pays quelconque à Paris pour prendre de cette copie à traits une nouvelle copie, et

d'employer à cet effet un métal quelconque qui lui semble le plus propre; il ne s'agit plus d'entreprendre des travaux isolés, quelque méritoires qu'ils soient, mais d'un travail collectif, auquel participeront au même titre, et sur le pied d'égalité, les délégués de tous les pays. Ce travail collectif consistera à faire fabriquer à la fois, et dans les meilleures conditions possibles, un nombre considérable d'étalons prototypes sur le modèle de l'étalon des Archives françaises, d'employer à cette fabrication des substances qui, par leur composition chimique, par leur constitution moléculaire, par leur coefficient de dilatation par la chaleur, présenteront toutes les garanties d'homogénéité que les progrès de la technique et des arts métallurgiques peuvent offrir. Ces copies, auxquelles on donnera exactement les mêmes dimensions, seront comparées avec l'étalon prototype et entre elles, au moyen d'un comparateur qui réunira tout ce que la science, de concert avec la technique des instruments de précision, pourra produire de plus accompli, et dont la construction ne sera gênée par aucune considération d'économie. Les étalons, ainsi construits et rendus identiques par leur longueur dans les limites les plus restreintes, seront distribués aux différents pays, où ils seront conservés dans des conditions similaires, qui les mettront autant que possible à l'abri de toute atteinte extérieure et des influences élémentaires.

« L'avantage de cette opération, dirigée avec des soins extrêmes et sous les auspices des personnes les plus compétentes, sera d'établir ce système métrique international sur les bases les plus larges et de lui assurer toute la solidité requise. En effet, en considération de la perfection extrême des moyens de confection et des méthodes de comparaison employées, les étalons sortis de cette opération collective ne seront pas des copies, dans l'acceptation usuelle de ce mot, mais de véritables étalons prototypes, dont chacun aura le droit, je ne dis pas *historique*, mais *scientifique*, de remplacer l'original dans les Archives de France. Ceci est d'autant plus vrai, qu'il nous est permis de supposer que les moyens de confection et de vérification que nous emploierons ne seront pas inférieurs à ceux employés il y a soixante-dix ans. Et si l'on s'avisait de construire à côté de nos copies exactes du mètre des Archives un même nombre d'étalons dont chacun serait tenu d'avoir une longueur de $0^{\text{toise}}, 513\,074$, nous obtiendrions à coup sûr les mêmes résultats, c'est-à-dire deux séries de mesures équivalentes sous tous les rapports. Ou, en d'autres mots, nous espérons que les étalons de la Commission internationale future exprimeront la longueur de $0^{\text{toise}}, 513\,074$ avec la même exactitude que cette mesure de longueur est représentée par l'étalon prototype des Archives de France.

« Le but de la Commission internationale sera atteint dès qu'il n'y aura plus aucun centre de civilisation qui ne possède le mètre des Archives dans un ou plusieurs de ses équivalents, et qu'ainsi toutes les garanties exigibles concernant la perpétuité du système dont il forme la base seront acquises.

« Ces points de vue, Messieurs, que j'ai l'honneur de vous présenter, vous les trouverez, je le désire, à la hauteur de la chaleureuse coopération de la France, dont la conclusion du savant rapport de votre illustre Secrétaire perpétuel, lu dans la séance de l'Académie du 23 août, nous a ouvert la perspective. Le monde savant applaudit à cette solution, parce qu'il y aperçoit le couronnement définitif de l'œuvre entreprise par vos illustres devanciers; et l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg, dont je suis heureux de pouvoir être ici l'organe, se félicite également de cette solution, et, bien loin de vouloir ravir à la France l'honneur de son initiative, ne tient, au contraire, qu'à l'affermir. »

« Après la lecture de cette note, le président, M. Chevreul, en remerciant M. de Jacobi de sa communication, dit qu'il ne doute pas de la sympathie avec laquelle les amis des sciences accueilleront les sentiments qui viennent d'être exprimés en termes si dignes : rien ne les satisfait plus que les conquêtes de l'esprit scientifique, appliqué sans cesse à rendre meilleures les conditions de l'humanité, et en applaudissant à tout ce qui rapproche les peuples civilisés, multiplie leurs relations mutuelles et en accroît l'intimité, ils considèrent qu'un des moyens les plus efficaces d'arriver à ce but est l'uniformité des poids et mesures, d'une si grande importance dans les transactions de tout genre. M. le Président invite M. de Jacobi à vouloir bien s'entendre avec la Commission du système métrique de l'Académie sur ce qu'il y a de mieux à faire pour réaliser le plus tôt possible un désir partagé par les hommes éclairés de tous les pays. »

ANNEXE II

**Résolutions de la Commission internationale du mètre
réunie à Paris en 1872.**

En ce qui concerne le mètre :

I. Pour l'exécution du mètre international, on prend comme point de départ le mètre des Archives dans l'état où il se trouve. (Décision directe.)

II. La Commission déclare que, vu l'état actuel de la règle en platine des Archives, il lui paraît que le mètre à traits peut en être déduit avec sécurité. Toutefois, cet avis de la Commission a besoin d'être confirmé par les différents procédés de comparaison qui pourront être employés dans cette recherche. (Commission I.)

III. L'équation du mètre international sera déduite de la longueur actuelle du mètre des Archives, déterminée d'après toutes les comparaisons qui auront été faites à l'aide des procédés que la Commission internationale du mètre sera en état d'employer. (Commission I.)

IV. Tout en décidant que le nouveau mètre international doit être un mètre à traits, dont tous les pays recevront des copies identiques, construites en même temps que le prototype à traits, la Commission devra construire ensuite un certain nombre d'étalons à bouts, pour les pays qui en auront exprimé le désir, et les équations de ces mètres à bouts, par rapport au nouveau prototype à traits, seront également déterminées par les soins de la Commission internationale. (Décision directe.)

V. Le mètre international aura la longueur du mètre à 0° C. (Commission V.)

VI. On emploiera pour la fabrication des mètres un alliage composé de 90 de platine et 10 d'iridium, avec une tolérance de 2 p. 100 en plus ou moins. (Commission II.)

VII. On fabriquera avec le lingot provenant d'une coulée unique, à l'aide des procédés usités dans le travail des métaux connus, des règles dont le nombre et la forme seront déterminés par la Commission internationale. (Commission II.)

VIII. Ces règles seront recuites pendant plusieurs jours à la température la plus élevée, pour n'avoir plus à leur faire subir que les plus faibles actions mécaniques, avant de les porter sur les instruments comparateurs. (Commission II.)

IX. Les barres de platine iridié sur lesquelles on doit tracer les mètres à traits

auront une longueur de 102 centimètres, et leur section transversale sera représentée par le modèle décrit dans une note de M. Tresca. (Commission II.) (Voir p. 16.)

X. Les barres destinées à la construction des mètres à bouts auront une section transversale analogue, mais symétrique dans le sens vertical, conformément à la figure spéciale qui la représente; les bouts seront alors travaillés suivant une surface sphérique de 1 mètre de rayon. (Commission III.)

XI. Pendant toutes les opérations que l'on devra faire avec les mètres étalons, ils seront portés par les deux rouleaux indiqués par M. le général baron Wrede; mais, pour leur conservation, ils seront placés dans des étuis convenablement appropriés. (Commission III.)

XII. Chacun des mètres internationaux devra être accompagné de deux thermomètres à mercure, isolés, soigneusement comparés au thermomètre à air; il est jugé nécessaire que ces thermomètres soient vérifiés, de temps à autre, au moyen du thermomètre à air. (Commission IV.)

XIII. La méthode de M. Fizeau sera employée pour déterminer la dilatation du platine iridié, qui servira à la construction des mètres. (Commission IV.)

XIV. Les prototypes seront soumis aux meilleurs procédés à l'aide desquels on pourra déterminer les coefficients de la dilatation absolue des mètres entiers. Ces mesures seront faites séparément, au moins à cinq températures différentes, comprises entre zéro et 40° C. (Commission IV.)

XV. La comparaison relative des prototypes devra être exécutée au moins à trois températures comprises entre ces mêmes limites. (Commission IV.)

XVI. La Commission décide que deux appareils seront construits, l'un à déplacement longitudinal pour le tracé des mètres, l'autre à déplacement transversal pour leur comparaison. (Commission VI.)

XVII. Les comparaisons seront faites en immergeant les nouveaux étalons dans un liquide et dans l'air, mais en réservant de ne plonger l'étalon des Archives dans aucun liquide avant la fin des opérations. (Commission VI.)

XVIII. Le tracé des mètres à traits et leur première comparaison avec le mètre des Archives seront d'abord effectués par le procédé de M. Fizeau. (Commission VI.)

XIX. Pour la détermination des équations des divers étalons, on emploiera, en outre, tous les moyens de comparaison déjà connus et éprouvés, c'est-à-dire, suivant les cas, soit des touches de différentes formes, soit la méthode de MM. Airy et Struve, soit celle de MM. Stamkart et Steinheil. (Commission VI.)

XX. Les équations entre le mètre des Archives et le nouveau mètre international à traits, ainsi que les équations entre les autres étalons à traits et le mètre international, seront déterminées par la discussion des résultats de toutes ces observations. (Commission VI.)

XXI. Les opérations seront faites, à l'inverse, en partant du mètre international pour la construction des étalons à bouts qui seraient demandés par les différents États. (Commission VI.)

En ce qui concerne le kilogramme :

XXII. Considérant que la relation simple, établie par les auteurs du système métrique, entre l'unité de poids et l'unité de volume, est représentée par le kilogramme actuel, d'une manière suffisamment exacte pour les usages ordinaires de l'industrie et même de la science;

Considérant que les sciences exactes n'ont pas le même besoin d'une relation

numériquement simple, mais seulement d'une détermination aussi parfaite que possible de cette relation ;

Considérant enfin les difficultés que ferait naître un changement de l'unité actuelle de poids métrique ;

Il est décidé que le kilogramme international sera déduit du kilogramme des Archives dans son état actuel. (Décision directe.)

XXIII. Le kilogramme international doit être rapporté à la pesée dans le vide. (Commission V.)

XXIV. La matière du kilogramme international sera la même que celle du mètre international, c'est-à-dire le platine iridié, contenant 10 p. 100 d'iridium avec 2 p. 100 de tolérance en plus ou en moins. (Commission IX.)

XXV. La matière du kilogramme sera fondue et coulée en un seul cylindre, qui sera ensuite soumis à des chauffes et à des opérations mécaniques, capables de donner à sa masse toute l'homogénéité nécessaire. (Commission IX.)

XXVI. La forme du kilogramme international sera la même que celle du kilogramme des Archives, c'est-à-dire un cylindre dont la hauteur égale le diamètre et dont les arêtes soient légèrement arrondies. (Commission IX.)

XXVII. La détermination du poids du décimètre cube d'eau doit être faite par les soins de la Commission internationale. (Commission VIII.)

XXVIII. Les balances qui devront servir aux pesées sont non seulement celles qui pourraient être mises dès à présent à la disposition du Comité d'exécution par les institutions et les savants qui les possèdent, mais encore une nouvelle balance construite suivant les conditions de la plus grande précision. (Commission X.)

XXIX. Les volumes de tous les kilogrammes seront déterminés par la méthode hydrostatique, mais le kilogramme des Archives ne sera placé ni dans l'eau ni dans le vide avant la fin des opérations. (Commission X.)

XXX. Pour déterminer le poids des nouveaux kilogrammes, par rapport à celui des Archives, dans le vide, on se servira de deux kilogrammes auxiliaires, autant que possible de même poids et de même volume que celui des Archives, suivant la méthode indiquée par M. Stas.

Chacun des nouveaux kilogrammes devra aussi être comparé, dans l'air, avec le kilogramme des Archives. (Commission X.)

XXXI. Le kilogramme international étant construit, tous les autres lui seront comparés, dans l'air et dans le vide, pour la détermination de leurs équations. (Commission X.)

XXXII. On emploiera, dans ce but, la méthode de l'alternance et celle de la substitution, avec contrepoids de même matière. (Commission X.)

XXXIII. Les corrections relatives aux pertes de poids dans l'air seront effectuées avec les données les plus précises et les mieux discutées de la science. (Commission X.)

En ce qui concerne l'exécution :

XXXIV. Considérant qu'elle est appelée à indiquer les mesures propres à donner au système métrique des poids et mesures un caractère véritablement international, que l'unité des poids et mesures ne saurait être obtenue, d'une manière rigoureuse et satisfaisante pour les besoins des sciences et des arts, qu'à la condition que tous les pays qui ont adopté le système métrique possèdent des étalons d'égale valeur et de construction identique, parfaitement comparables et rigoureusement comparés, la

Commission internationale du mètre, pour accomplir sa mission, devra construire autant d'étalons identiques du mètre et du kilogramme que les États intéressés en voudront réclamer; tous ces étalons devront être comparés par les soins de la Commission, et leurs équations établies aussi exactement que possible; ensuite l'un de ces mètres et l'un de ces kilogrammes devront être choisis comme prototypes internationaux par rapport auxquels les équations de tous les autres seront exprimées; enfin, les autres étalons ainsi exécutés seront distribués indistinctement entre les différents États intéressés.

XXXV. La confection des nouveaux prototypes du mètre et du kilogramme, le tracé des mètres, la comparaison des nouveaux prototypes avec ceux des Archives, ainsi que la construction des appareils auxiliaires nécessaires à ces opérations, sont confiés aux soins de la Section française, avec le concours du Comité permanent, prévu dans l'article suivant. (Commission VII.)

XXXVI. La Commission choisit dans son sein un Comité permanent, qui doit fonctionner jusqu'à la prochaine réunion de la Commission, avec l'organisation et les attributions suivantes :

(a) Le Comité permanent sera composé de douze membres appartenant tous à des pays différents: pour délibérer valablement, il faut au moins la présence de cinq de ses membres; il choisit lui-même son président et son secrétaire; il s'assemblera toutes les fois qu'il le jugera nécessaire, et au moins une fois par an.

(b) Le Comité dirige et surveille l'exécution des décisions de la Commission internationale, au sujet de la comparaison des nouveaux prototypes métriques entre eux, ainsi que la construction des comparateurs, balances et autres appareils auxiliaires servant à ces comparaisons.

(c) Le Comité permanent fera les travaux indiqués dans le paragraphe (b) précédent, avec tous les moyens appropriés qui seront à sa disposition; il aura recours pour ces travaux au *Bureau international des Poids et Mesures*, dont la fondation sera recommandée aux États intéressés.

(d) Lorsque les nouveaux prototypes seront construits et comparés, le Comité permanent rendra compte de tous les travaux à la Commission internationale, qui sanctionnera les prototypes avant de les distribuer aux différents pays. (Commission VII.)

XXXVII. La Commission internationale signale aux Gouvernements intéressés la grande utilité qu'il y aurait à fonder à Paris un *Bureau international des Poids et Mesures* sur les bases suivantes :

1° L'établissement sera international et déclaré neutre.

2° Son siège sera à Paris.

3° Il sera fondé et entretenu aux frais communs de tous les pays qui adhéreront au traité à intervenir, entre les États intéressés, pour la création du Bureau.

4° L'établissement dépendra de la Commission internationale du mètre et sera placé sous la surveillance du Comité permanent, qui désignera le directeur.

5° Le Bureau international aura les attributions suivantes :

(a) Il sera à la disposition du Comité permanent pour les comparaisons qui serviront de base à la vérification des nouveaux prototypes, dont le Comité est chargé.

(b) La conservation des prototypes internationaux, suivant les prescriptions données par la Commission internationale.

(c) Les comparaisons périodiques des prototypes internationaux avec les étalons.

nationaux et avec les témoins, ainsi que celle des thermomètres étalons, suivant les règles établies par la Commission.

(d) La confection et la vérification des étalons que d'autres pays pourront demander à l'avenir.

(e) La comparaison des nouveaux prototypes métriques avec les autres étalons fondamentaux, employés dans les différents pays et dans les sciences.

(f) La comparaison des étalons et échelles de précision qui pourront être envoyés à sa vérification, soit par des Gouvernements, soit par des sociétés savantes ou même par des artistes et des savants.

(g) Le Bureau exécutera tous les travaux que la Commission ou son Comité permanent lui demandera dans l'intérêt de la Métrologie et de la propagation du système métrique. (Commission VII.)

XXXVIII. Le bureau de la Commission internationale est chargé de s'adresser au Gouvernement français, pour qu'il veuille bien communiquer, par voie diplomatique, les vœux de la Commission, concernant la fondation d'un Bureau international des Poids et Mesures, aux Gouvernements de tous les pays représentés dans la Commission, et pour qu'il invite ces gouvernements à conclure un traité pour créer, d'un commun accord et le plus tôt possible, un Bureau international des Poids et Mesures sur les bases proposées par la Commission. (Commission VII.)

En ce qui concerne les moyens de conservation et la garantie de l'invariabilité des étalons :

XXXIX. La Commission est d'avis que l'étalon international devra être accompagné de quatre règles identiques, maintenues, comme lui, à température aussi peu variable que possible; une autre règle identique devra être conservée, à titre d'expérience, à température invariable et dans le vide; il y aura lieu d'établir des témoins en quartz et en béryl, comparables en tous temps à la règle entière, en totalité ou par fractions. (*Les autres moyens sont réservés.*) (Commission XI.)

XL. La Commission émet le vœu que, dans l'intérêt de la science géodésique, le Gouvernement français fasse mesurer à nouveau, en temps opportun, une des anciennes bases françaises. (Décision directe.)

(Il n'est pas fait mention, dans ces décisions, de l'étude des étalons géodésiques; cette étude, insérée à l'article 6 de la Convention du Mètre, a été recommandée pour la première fois dans un rapport présenté par Yvon Villarceau au Bureau des Longitudes, et adopté dans la séance du 15 octobre 1873).

ANNEXE III

Publications scientifiques du Bureau international des Poids et Mesures.

TRAVAUX ET MÉMOIRES

TOME I

- O.-J. Broch. — Accélération de la pesanteur sous différentes latitudes et à différentes altitudes.
 — Tension de la vapeur d'eau.
 — Points fixes des thermomètres et températures d'ébullition de l'eau pure.
 — Poids du litre d'air atmosphérique.
 — Volume et poids spécifique de l'eau pure aux températures comprises entre 0° et + 30°.

J.-RENÉ BENOÎT. — Études sur l'appareil de M. Fizeau pour la mesure des dilatations, appartenant au Bureau international des Poids et Mesures.

W.-J. MAREK. — Pesées exécutées du 14 septembre 1878 au 30 septembre 1879.

J. PERNET. — Sur les moyens d'éliminer, dans l'évaluation des températures, l'influence de la variation des points fixes des thermomètres à mercure.

TOME II

J.-RENÉ BENOÎT. — Mesures de dilatation et comparaisons des règles métriques.

W.-J. MAREK. — Pesées exécutées du 1^{er} octobre 1879 au 30 septembre 1881.

O.-J. BROCH. — Dilatation du mercure.

TOME III

J.-RENÉ BENOÎT. — Mesures de dilatation et comparaisons des règles métriques.

W.-J. MAREK. — Pesées exécutées du 1^{er} octobre 1881 au 15 janvier 1883.

TOME IV

J.-B. DUMAS. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE. E. MOUCHEZ. O.-J. BROCH. J.-S. STAS. — Rapport de la Commission mixte chargée de la comparaison du nouveau prototype du kilogramme avec le kilogramme des Archives de France.

J. PERNET. — Comparaisons des mètres dans l'air à la température ambiante.

O.-J. BROCH. — Vérifications de quelques étalons anglais du kilogramme, de l'once troy et de la livre avoir du poids.

TOME V

O.-J. BROCH. — Note sur l'étalonnage des sous-divisions d'une règle, sur l'étude des erreurs progressives d'une vis micrométrique et sur le calibrage des thermomètres.

CH.-ED. GUILLAUME. — Études thermométriques.

M. THIESEN. — Études sur la balance.

H. TORNOË. — Sur quelques analyses chimiques faites pour le Bureau international des Poids et Mesures.

TOME VI

J.-RENÉ BENOÎT. — Nouvelles études et mesures de dilatations par la méthode de M. Fizeau.

P. CHAPPUIS. — Études sur le thermomètre à gaz et comparaison des thermomètres à mercure avec le thermomètre à gaz.

CH.-ED. GUILLAUME. — Formules pratiques pour la transformation des coefficients thermiques.

TOME VII

O.-J. BROCH. — Comparaisons des règles dans le comparateur Brunner.

GÉNÉRAL MARQUIS DE MULHACÉN. — Compte rendu, à la première Conférence générale, sur les travaux accomplis par le Comité et le Bureau international.

J.-RENÉ BENOÎT. — Rapport à la Conférence sur les nouveaux prototypes métriques et leurs équations.

M. THIESEN. — Détermination de la variation de la pesanteur avec la hauteur au Pavillon de Breteuil.

H. TORNOË. — Analyses de l'alliage des mètres et des kilogrammes prototypes.

— Sur quelques analyses de verres.

TOME VIII

M. THIESEN. — Kilogrammes prototypes.

— Première partie. Comparaisons des prototypes nationaux du kilogramme entre eux.

TOME IX

- M. THIESEN. — Kilogrammes prototypes. Deuxième partie. Comparaisons des prototypes nationaux avec le prototype international.
 — Troisième partie. Compensation des comparaisons et discussion des résultats. Recherches sur la constance des prototypes du kilogramme.
 — Quatrième partie. Détermination du volume des prototypes du kilogramme.

TOME X

- A. CORNU et J.-RENÉ BENOÎT. — Détermination de l'étalon provisoire international. (Rapport présenté au Comité international au nom de la Commission mixte.)
 J.-RENÉ BENOÎT et CH.-ED. GUILLAUME. — Mètres prototypes.
 CH.-ED. GUILLAUME. — Thermomètres étalons.

TOME XI

- ALBERT-A. MICHELSON. — Détermination expérimentale de la valeur du mètre en longueurs d'ondes lumineuses.
 J.-RENÉ BENOÎT et CH.-ED. GUILLAUME. — Mètres prototypes et étalons (deuxième mémoire).
 — Nouvelles déterminations des mètres étalons du Bureau international.

TOME XII

- J.-RENÉ BENOÎT. — Détermination du rapport du yard au mètre.
 P. CHAPPUIS et J.-A. HARKER. — Comparaison du thermomètre à résistance de platine avec le thermomètre à gaz.
 J.-RENÉ BENOÎT et CH.-ED. GUILLAUME. — Mètres à bouts.
 AD. HIRSCH et P. BLASERNA. — Comptes rendus des première, deuxième et troisième Conférences générales des Poids et Mesures, réunies. Paris en 1889, 1895 et 1901.

TOME XIII (*sous presse*)

ANNEXES AUX PROCÈS-VERBAUX

1877. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE et J.-S. STAS. — Analyse du platine iridié employé par la Section française de la Commission internationale du mètre à la confection des prototypes.
 O.-J. BROCH. — Poids spécifiques et coefficients de dilatation du platine et des métaux qui l'accompagnent.
 W. FÖRSTER. — Note sur l'influence de la mise au foyer et de l'inclinaison des microscopes sur les mesures micrométriques.
 1878. O.-J. BROCH, H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE et J.-S. STAS. — Des types en platine, en iridium et en platine iridié à différents titres.
 W. FÖRSTER. — Sur le rapport entre le grossissement des microscopes et la précision des mesures micrométriques.
 1879. O.-J. BROCH, H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE et J.-S. STAS. — De la règle type en forme d'X et en platine iridié pur à 10 p. 100 d'iridium.
 1891. G. DEFFORGES. — Mesures de l'intensité absolue de la pesanteur au Bureau International.
 CH. Éd. GUILLAUME. — Rapport sur l'étude des étalons mercuriels de résistance électrique.
 1892. P. CHAPPUIS. — Nouvelle détermination de la dilatation de l'eau pure.
 CH.-ED. GUILLAUME. — Étude des métaux propres à la construction des règles étalons.

1897. D. MENDELEEF. — Examen des rapports entre les mesures fondamentales de Russie, de France et de Grande-Bretagne.
1899. CH.-ED. GUILLAUME. — Détermination de la masse du décimètre cube d'eau. (Rapport préliminaire.)
- P. CHAPPUIS. — Études thermométriques effectuées en collaboration avec M. Harker.
- CH.-ED. GUILLAUME. — Nouvelles recherches sur les aciers au nickel.
- ALBERT-A. MICHELSON. — Nouvelle méthode de tracer et d'observer des divisions de précision.
1901. Sur les dangers de l'introduction de températures normales secondaires dans la définition des unités métriques.
- Résumé de quelques législations relatives aux poids et mesures.
 - Décisions de la Conférence générale et du Comité international.

PUBLICATIONS DIVERSES

- Circulaire et règlement concernant la vérification des étalons.
- Notice sur les thermomètres à mercure.
- Notice sur les thermomètres destinés à mesurer les basses températures.

ANNEXE IV

Résumé de quelques législations relatives aux Poids et Mesures.

Les extraits suivants, de quelques législations anciennes ou actuelles relatives aux Poids et Mesures consacrant, sous des formes diverses, les unités métriques, bien que très incomplets, donneront cependant une image suffisante de l'extension graduelle du Système au cours du XIX^e siècle. Les événements politiques qui ont marqué les premières décades du siècle ont été généralement favorables à son extension, mais ont amené aussi quelques retours en arrière, dont le plus singulier est sans doute celui qui s'est produit même en France, où un système mitigé fut substitué en 1812 au système original, qui n'a été rétabli dans son intégrité que plus tard.

Les premières législations, inspirées en général de la loi française, définissent le mètre comme étant la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre; les lois plus tardives mentionnent l'étalon des Archives de France, ou sa copie nationale comme la seule représentation du Mètre. Les législations nouvelles ou les lois anciennes modifiées reconnaissent à leur tour les étalons internationaux, et consacrent leurs copies établies au Bureau international.

Parmi les documents les plus instructifs relatifs à l'établissement et au développement du système métrique dans un grand nombre de pays, il convient de citer les résultats de l'enquête parlementaire et diplomatique entreprise successivement par un Comité de la Chambre des Communes du Royaume-Uni, et ordonnée par lord Salisbury aux Ambassadeurs et Ministres plénipotentiaires auprès des Gouvernements des États dans lesquels le Système métrique est légal ou obligatoire. Les réponses adressées au Gouvernement britannique par ses représentants sont très catégoriques; affirmatives sur la question des avantages scientifiques et industriels ou commerciaux du Système métrique, elles sont toutes négatives — à l'exception cependant de l'appréciation donnée par M. l'Ambassadeur du Royaume-Uni en Turquie — au sujet d'un désir quelconque de revenir aux anciennes mesures.

FRANCE

Le Système métrique a été établi en France par la loi du 1^{er} août 1793, modifiée par les lois du 18 germinal an III et du 19 frimaire an VIII. Voici les dispositions principales de la loi du 18 germinal :

« Art. 2. — Il n'y aura qu'un seul étalon de Poids et Mesures; ce sera une règle de platine sur laquelle sera tracé le mètre, unité fondamentale de tout le système des mesures. »

La loi définit aussi le gramme comme « le poids absolu d'un volume d'eau pure égal au cube de la centième partie du mètre, à la température de la glace fondue ». (Art. 5).

La loi du 19 frimaire reconnaît les unités fixées par les étalons déposés plus tard aux Archives; l'article 2 est conçu en ces termes :

« Le mètre et le kilogramme en platine déposés le 4 messidor dernier au Corps législatif par l'Institut national des sciences et arts, sont les étalons définitifs des mesures de longueur et de poids. »

Un décret du 12 février et un arrêté du 28 mars 1812 autorisent l'emploi du double mètre sous le nom de toise et du tiers de mètre dénommé pied; l'aune devient égale à 12 décimètres, le boisseau au huitième de l'hectolitre. Le même décret autorise la division binaire du litre et celle du kilogramme, dont la moitié devient la livre, la trente-deuxième partie l'once, divisée elle-même en huit parties ou gros.

La loi du 4 juillet 1837, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1840, rapporte le décret du 12 février 1812, et par conséquent l'arrêté ministériel qui en était la conséquence, et rétablit dans son intégrité les lois des 18 germinal an III et 19 frimaire an VIII (1). Dans la loi de 1837, les unités fondamentales sont définies à la fois conformément aux intentions des premiers législateurs, et par rapport aux étalons des Archives.

Une nouvelle loi est en préparation.

ALLEMAGNE

Le Système métrique a été introduit en Allemagne par une loi du 17 août 1868, dont l'entrée en vigueur, dans la Confédération de l'Allemagne du Nord, était prévue pour le 1^{er} janvier 1872, avec emploi facultatif des mesures métriques dès le 1^{er} janvier 1870. Cette loi fut étendue à l'Empire d'Allemagne par une nouvelle loi promulguée le 26 novembre 1871. Les mesures agraires bavaroises restaient autorisées jusqu'au 1^{er} janvier 1878.

Les étalons internationaux sont reconnus par une loi du 26 avril 1893, dont l'article 1^{er} est conçu en ces termes :

« Le mètre et le kilogramme sont les unités des dimensions et des poids.

« Le mètre est l'unité de longueur. Il est représenté par la distance des traits terminaux tracés sur la règle sanctionnée par la Conférence générale internationale des Poids et Mesures comme prototype du mètre, et qui est déposée au Bureau international des Poids et Mesures.

(1) On remarquera, toutefois, que ces lois sont contradictoires sur quelques points.

« Le kilogramme est l'unité de poids. Il est représenté par la masse de la pièce reconnue par la Conférence générale internationale des Poids et Mesures comme prototype du kilogramme, et qui est déposée au Bureau international des Poids et Mesures. »

Les articles 2 et 5 définissent les étalons nationaux, sanctionnés par la Conférence générale, et échus par le sort à l'Empire d'Allemagne.

AUTRICHE-HONGRIE

Une loi de l'Empire d'Autriche du 23 juillet 1871 définit les unités métriques par des étalons nationaux qui sont respectivement un mètre à bouts en verre et un kilogramme en cristal de roche, et prévoit l'emploi facultatif du système métrique dès le 1^{er} janvier 1873, avec l'obligation de s'en servir à partir du 1^{er} janvier 1876. La même loi donne les équivalents entre les anciennes mesures et les nouvelles.

La loi du 12 janvier 1893 sanctionne les étalons internationaux en même temps que les copies attribuées à l'Empire d'Autriche. Le kilogramme est défini comme étant l'unité de masse; l'échelle normale est adoptée pour la mesure des températures, conformément à la définition donnée par le Comité international.

En Hongrie, le système métrique, adopté dans une loi de l'année 1874 (loi VIII), est obligatoire également depuis le 1^{er} janvier 1876. Une loi de 1891 reconnaît les étalons internationaux et les prototypes nationaux remis par le Bureau international.

BELGIQUE, HOLLANDE ET LUXEMBOURG

Le système métrique a été introduit dans les Pays-Bas alors réunis, par une loi du 21 août 1816. Son enseignement devait commencer dans les écoles, au plus tard, le 1^{er} janvier 1817, et il devenait définitivement obligatoire à partir du 1^{er} janvier 1820. Les dénominations restaient semblables à celles des anciennes mesures du Royaume, et n'ont été remplacées par celles en usage dans le système métrique qu'à partir de 1855 pour la Belgique, et de 1869, pour la Hollande.

Une loi du 4 mars 1848 sanctionne en ces termes des étalons propres au Royaume de Belgique :

« Les étalons du mètre et du kilogramme, reconnus conformes à ceux existant à l'Institut de France, par la commission nommée en vertu de la loi du 18 juin 1836, ainsi que le procès-verbal de leur vérification, seront déposés à la Chambre des Représentants, pour y servir, au besoin, de types de comparaison. »

Les étalons internationaux et les copies attribuées à la Belgique sont sanctionnés par un décret royal du 1^{er} juin 1896. Entre temps, les étalons reconnus par la loi de 1848 avaient été détériorés dans l'incendie du Palais de la Nation, survenu en 1883.

Les nouveaux étalons du Royaume de Hollande sont semblables aux étalons internationaux, mais ont été déduits directement de ceux des Archives, par une commission néerlandaise. Le mètre hollandais diffère de 2 μ ,7 du mètre international. Depuis l'année 1869, les désignations métriques coexistent avec les anciens noms des unités, conservés dans les Pays-Bas, et les poids pharmaceutiques sont abolis depuis la même époque.

BULGARIE

En Bulgarie, le système métrique a été rendu facultatif par une loi du 18/30 décembre 1888; dès le 1^{er} juin 1889, le système devenait obligatoire dans le commerce des grains, et son emploi général était imposé à partir du 1^{er} janvier 1892.

Les unités de masse et de capacité sont dérivées du mètre, conformément à la première loi française. Toutefois, la loi prévoit l'acquisition d'un mètre et d'un kilogramme prototypes en platine.

CONFÉDÉRATION ARGENTINE

Une loi du 10 septembre 1863 autorise le Système métrique, et donne au Président la faculté de le rendre obligatoire; en exécution de cette loi, un décret du 17 mai 1872 le prescrit dans les opérations de la douane. Enfin, une loi du 13 juillet 1877 le reconnaît comme seul légal à partir de 1887.

CORÉE ET SIAM

Dans le premier de ces pays, le système légal est en grande partie décimal, mais les unités ne sont pas celles du système métrique.

Au Siam, le mètre est employé depuis 1889 dans les travaux publics et a été introduit plus récemment dans les trafics par chemin de fer; son usage semble se généraliser rapidement.

DANEMARK

Le système métrique n'est pas encore légal au Danemark; cependant, tous les rapports officiels relatifs aux chemins de fer et à la statistique minière font usage des unités métriques. Une loi rendant le système obligatoire a été adoptée par la première Chambre, mais la seconde Chambre ne l'a pas encore sanctionnée. Les industriels et les commerçants du Royaume sont très favorables à l'emploi du Système métrique; les habitants des contrées rurales le sont moins.

ÉGYPTE

Un décret de l'année 1875 a introduit le système métrique, à titre facultatif, dans tout le territoire de l'Égypte. En 1892, un progrès a été accompli par l'obligation imposée de l'emploi du système pour toutes les transactions du gouvernement avec les particuliers. Les anciennes mesures agraires ont été conservées, et les anciennes unités de masse sont encore dans l'usage courant du commerce. Le système métrique est enseigné dans les écoles de l'État.

ESPAGNE

L'introduction obligatoire du Système métrique en Espagne et dans les colonies du Royaume a été opérée par une loi du 17 juillet 1849. La loi définit le Mètre d'après les dimensions de la terre, mais sanctionne en même temps son prototype en platine, déposé aux Archives nationales. Les autres unités se déduisent du mètre conformément aux définitions.

Les prototypes internationaux et nationaux sont reconnus par une loi du 8 juillet 1892, d'après laquelle :

« Art. 2. — L'unité fondamentale du système sera la longueur du Mètre prototype international, construit et conservé suivant les stipulations de la Convention internationale signée à Paris le 20 mai 1875.

« Art. 3. — Le prototype national du Mètre sera une de ses copies, en platine pur iridié au 10 p. 100 de son poids, du prototype international, avec son équation déterminée par comparaison directe dans le Bureau international constitué d'après les dispositions de la susdite convention. »

L'article suivant reconnaît les prototypes du kilogramme.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Le Système métrique a été rendu facultatif aux États-Unis par une loi du 28 juillet 1866, dont voici le premier article :

« Il est décidé, par le Sénat et la Chambre des représentants des États-Unis assemblés en Congrès, qu'à partir de l'adoption de cette loi, il sera légal, dans toute l'étendue des États-Unis, d'employer des poids et des mesures du Système métrique, et aucun contrat ou transaction, ou plaidoyer devant aucun tribunal ne doit être invalide ou sujet à objection par le fait que les poids ou les mesures employés dans cet acte, ou auxquels il se rapporte sont des mesures du Système métrique. »

Le deuxième article établit les équivalents légaux.

Un décret ultérieur a sanctionné les étalons livrés par le Bureau international.

ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE

Plusieurs lois du Royaume-Uni consacrent l'existence du Système métrique, en le déclarant d'abord non-illégal, puis en autorisant formellement son emploi.

Une première loi de 1863 porte l'autorisation de l'emploi du système, sous une forme analogue à celle adoptée dans la loi des États-Unis; puis une annexe à la loi passée le 8 août 1878 indique les équivalents métriques des mesures britanniques, en même temps qu'elle donne une liste des étalons métriques du Board of Trade. La loi du 26 juillet 1889 prévoit que les bureaux locaux de vérification pourront être pourvus d'étalons du Système métrique en vue de la vérification de semblables étalons utilisés dans le commerce.

Enfin, l'usage des mesures métriques dans tout le Royaume-Uni a été reconnu par une loi du 27 mai 1897, qui prévoit son emploi dans les termes suivants :

Art. 4. «... l'usage des poids ou des mesures du Système métrique dans le commerce est légal... »

En même temps, les étalons livrés par le Bureau international sont reconnus comme étalons nationaux du mètre et du kilogramme.

GRÈCE

Le Système métrique a été rendu facultatif en Grèce par un décret royal de l'année 1836; les unités métriques sont dès lors employées dans les actes du Gouvernement, au moins pour les mesures itinéraires ou de superficie; mais, dans le peuple, le décret est resté lettre morte. A diverses reprises, le gouvernement grec a discuté l'opportunité de rendre le système obligatoire; mais, jusqu'ici, il a reculé devant la résistance des populations rurales.

ITALIE

Les diverses provinces qui constituent actuellement le Royaume d'Italie ont adopté le Système métrique à des époques très diverses. Ainsi une loi du 27 octobre 1803 l'a introduit dans le royaume lombardo-vénitien, et une ordonnance de Joachim Napoléon l'a rendu légal dans le royaume des Deux-Siciles où, d'ailleurs, il n'est devenu d'un usage général qu'à la suite d'une nouvelle loi promulguée en 1863. Le Piémont a adopté le système en 1845, et le Grand-Duché de Modène en 1849. Pour l'Italie partiellement puis complètement unifiée, le système a été rendu obligatoire par les lois des 28 juillet 1861 et 23 juin 1874. Un décret royal du 23 août 1890 reconnaît en ces termes les étalons internationaux et les nouveaux étalons nationaux :

« Art. 1^{er}. — Les Poids et les Mesures légaux dans le royaume d'Italie sont uniquement ceux du Système métrique décimal, dont les unités sont les suivantes :

« Pour les mesures linéaires : le mètre international;

« Pour les mesures de superficie : le mètre carré;

« Pour les mesures de volume : le mètre cube;

« Pour les poids : le gramme, millième partie du kilogramme international;

« Pour les mesures de capacité : le litre, volume de mille grammes d'eau pure à quatre degrés de l'échelle centésimale. »

« Art. 5. — L'étalon prototype national pour les mesures linéaires est le mètre de platine et d'iridium assigné au Royaume d'Italie, le 26 septembre 1889, par la Conférence internationale des Poids et Mesures, avec la déclaration qu'il porte le numéro 1, et qu'il est plus court que le mètre de onze dix-millionièmes, à 0 degré centigrade de température... »

JAPON

Les anciens systèmes de mesures du Japon ont été coordonnés dans une loi du 23 mars 1891, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1893. Cette loi reconnaît aussi le système métrique, et consacre les équivalents entre ses unités et celles du système japonais, choisies de telle sorte que les réductions reposent sur des nombres arrondis. Ainsi, le *shaku*, unité de longueur, est égal à $10/33$ du mètre, et le *kwan*, unité de masse, est égal à 3,75 kilogrammes. Les divisions du shaku sont décimales; les mul-

tiples sont décimaux ou sexagésimaux, suivant la numération généralement usitée dans l'Orient. La division du kwan est aussi décimale.

MEXIQUE

Au Mexique, le Système métrique a été mis en vigueur dès le 1^{er} janvier 1862, par une loi promulguée le 15 mars 1857, le rendant obligatoire; un décret du 15 mars 1861 en fixe l'application.

Les étalons internationaux sont reconnus par une loi du 16 septembre 1896, dans les termes suivants :

« L'unité de longueur nommée mètre sera égale à la longueur du mètre reconnu et adopté comme étalon prototype du Système métrique international.

« L'unité de masse nommée kilogramme sera égale en poids au poids du kilogramme déclaré le prototype international de masse. »

PÉROU

Une loi du 16 décembre 1862 et un décret du 10 mars 1869 fixent les conditions de l'introduction du Système métrique au Pérou. Plus récemment, le 21 septembre 1891, une loi a été promulguée, en vue de la création d'un bureau de poids et mesures, « qui se mettra en rapport avec le Bureau international de Sèvres, aussi bien qu'avec les bureaux similaires de l'étranger... » L'article 5 prévoit l'acquisition de prototypes issus du Bureau international.

PORTUGAL

Un décret royal du 13 décembre 1852 a introduit le Système métrique dans le Royaume de Portugal, en fixant deux années pour le terme de son entrée en vigueur. Dès cette époque, une série de décrets et d'ordonnances l'ont rendu obligatoire successivement dans les divers services de l'État ainsi que dans le commerce. Enfin une loi du 16 mai 1867 le rend exclusif, en déclarant tout autre système illégal à partir du 1^{er} janvier 1870, date prorogée ultérieurement jusqu'au 1^{er} janvier 1872 pour les mesures de capacité, à l'exception cependant des villes de Lisbonne et d'Oporto, où le système devait être exclusif pour toutes les mesures un an plus tôt.

ROUMANIE

Le système métrique a fait son apparition en Roumanie par la loi de 1864, prévoyant son adoption facultative à partir du 1^{er} janvier 1866. Dès cette époque, on commença à outiller les bureaux de vérification en vue de l'étalonnage des unités métriques et une loi de 1880 fixa les conditions dans lesquelles la loi de 1864 devait être appliquée. Le système a été rendu obligatoire par une loi de 1883, déclarant les autres systèmes illégaux à partir du 1^{er} janvier 1884; ultérieurement, le délai fut prorogé jusqu'à la fin de la même année.

RUSSIE

Les Poids et Mesures encore partiellement en usage en Russie ont été fixés par un ukase du 11 octobre 1835 définissant comme unité de longueur la sagène de

7 pieds anglais, dont la valeur légale était représentée par un étalon propre à l'Empire russe. L'unité de masse est une livre particulière.

Le Système métrique est facultatif depuis l'année dernière (1), et des tables de transformation ont été publiées par la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire russe, à la suite de comparaisons faites au Bureau international, à la Chambre centrale et au Standards office de Londres. (Voir *Procès-verbaux du Comité international*, session de 1897, p. 153.) (1).

SERBIE

Une loi du 1/13 décembre 1873 prévoyait l'introduction obligatoire du Système métrique dans le Royaume de Serbie à partir de l'année 1880 ; mais, en 1879, le délai fut prorogé jusqu'en 1883.

SUÈDE ET NORVÈGE

Un décret royal a rendu le système métrique facultatif en Suède à partir du 1^{er} janvier 1879, en Norvège, le 1^{er} juillet de la même année.

En Suède, l'ancien système est resté autorisé jusqu'au commencement de 1889, tandis qu'en Norvège, il avait été aboli dès le 1^{er} juillet 1882. Il convient de mentionner le fait que le gramme était en usage dans les postes à partir du 1^{er} juillet 1871.

Le décret concernant le royaume de Suède prévoyait (art. 2) la substitution des étalons fournis par le Bureau international aux étalons provisoires.

En Norvège, un décret royal du 4 mai 1890 a sanctionné les nouveaux prototypes.

SUISSE

En Suisse, les lois cantonales ont consacré à diverses époques, à partir de 1822, un système basé sur un pied de 30 centimètres et une livre de 500 grammes, système étendu à la Confédération tout entière par la loi du 24 décembre 1851. La loi du 3 juillet

(1) Voici le texte des articles de la loi russe du 4/16 juin 1899, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1900, concernant les unités et l'emploi facultatif du système métrique.

ARTICLE PREMIER. — La base des mesures russes de poids (masse) est une livre (fount) ajustée sur l'étalon en platine établi en 1835 d'après une livre des monnaies, en bronze doré, de 1747 ; cette livre est représentée par une livre-prototype en platine iridié, portant la marque $\frac{N}{II}$ 1894, et dont la valeur est égale à 0,409 512 41 du kilogramme international (à 0,000 000 01 du kilogramme près).

ART. 3. — La base des mesures russes de longueur est l'archinne, correspondant à 28 pouces anglais, et égale à 0,711 200 du mètre international (à 0,000 001 du mètre près). L'archinne est représentée par une archinne-étalon à traits, en platine iridié, portant la marque $\frac{N}{II}$ 1894.

ART. 11. — L'emploi du mètre et du kilogramme internationaux, ainsi que des autres unités métriques est autorisé en Russie au même titre que celui des mesures russes, sous réserve du consentement mutuel des parties, dans toutes les transactions commerciales, contrats, projets, etc. Cette même faculté est accordée aux institutions de l'État et aux établissements municipaux, par autorisation, ou sur l'ordre du Ministre compétent, mais sous la réserve, toutefois, que les décisions ministérielles n'entraînent pas, pour le public, l'obligation d'appliquer, sans son consentement, les mesures métriques dans ses relations avec ces institutions.

1875 rendit obligatoire, à partir du 1^{er} janvier 1877, le Système métrique déjà facultatif depuis quelques années.

Cette loi, votée par les Chambres fédérales peu de temps après la conclusion de la Convention du mètre, consacre provisoirement les unités fondées sur des étalons copiés sur ceux des Archives de France, mais sanctionne par avance les étalons qui devaient être livrés par le Bureau international. La loi contient en effet la disposition suivante :

« Art. 2. — Dès que la Suisse aura reçu la copie identique du nouveau mètre prototype international à traits que doit préparer la Commission métrique internationale, cette copie sera substituée au type décrit ci-dessus. »

L'article 3 sanctionne de même le futur kilogramme étalon.

Le rapport du Département fédéral de l'industrie et de l'agriculture sur sa gestion de 1889 mentionne la substitution des nouveaux étalons aux anciens.

TURQUIE

Une loi de l'année 1886 a rendu le Système métrique obligatoire à Constantinople après un intervalle de cinq années. En conséquence de cette loi, les anciennes mesures ont été confisquées et détruites dans la capitale; mais aucune tentative n'a été faite pour introduire le nouveau système dans les provinces. A Constantinople même, les mesures de l'ancien système ont reparu peu à peu, et, malgré une tentative énergique en faveur du Système métrique, le Conseil d'État, reconnaissant qu'il était impossible d'user de rigueur, a autorisé de nouveau l'emploi de l'ancien système turc. Donc, à l'heure actuelle, les deux systèmes sont facultatifs.

TUNISIE

Le système métrique a été introduit dans la Régence par un décret du 12 janvier 1895. Son usage s'y est répandu rapidement, et les mesures métriques y sont toutes employées aujourd'hui.

ÉTATS DE L'AMÉRIQUE CENTRALE ET DE L'AMÉRIQUE DU SUD

Le système métrique est peu employé dans l'Amérique centrale; les gouvernements du Guatemala, de Costa-Rica, Nicaragua et San-Salvador l'ont introduit dans les douanes et rendu facultatif, mais la loi est restée sans grand effet dans le commerce. Le Honduras est resté jusqu'ici étranger au système.

Dans l'Amérique du Sud, outre les pays mentionnés précédemment, le Brésil possède le système obligatoire, mais avec quelques tolérances dans son application; le système est aussi obligatoire au Chili, et a été adopté en Colombie en 1853. En 1862, le gouvernement de l'Uruguay l'a rendu obligatoire, mais sans grand succès; une nouvelle loi de 1894, prévoyant des pénalités, a eu plus d'effet, et le commerce l'a complètement adopté.

Au Venezuela, le système métrique est employé depuis 1857 dans les transactions officielles.

ANNEXE V

**Note sur les valeurs de quelques longueurs d'onde et sur les mesures
par les procédés interférentiels.**

La plupart des mesures de longueurs d'onde faites antérieurement aux travaux de M. Michelson ont été exécutées par la méthode des réseaux, au moyen de laquelle le professeur Rowland et M. R. Thalèn, notamment, ont atteint un haut degré de précision. Cependant, comme nous allons le voir, l'emploi des réseaux les plus parfaits, aux mains d'un métrologiste d'une habileté aussi consommée que le regretté professeur Rowland, laisse, dans les résultats, une incertitude sensiblement plus grande que celle qu'y permet de soupçonner la méthode des interférences par réflexion.

Si nous réduisons aux mêmes conditions de densité de l'air les valeurs des longueurs d'onde des trois radiations principales du cadmium déterminées dans ces trois séries d'expériences, nous obtenons le tableau suivant :

	Longueurs d'onde des radiations du cadmium d'après		
	Michelson. μ	Rowland. μ	Thalèn (1). μ
Rouge	0,643 847 2	0,643 864 9	0,643 847 8
Verte	0,508 582 4	0,508 597 7	0,508 582 4
Bleue	0,479 991 1	0,480 007 4	0,479 991 1

On est frappé, à l'inspection de ce tableau, par la concordance presque absolue entre les nombres de M. Michelson et ceux de M. Thalèn, concordance telle que le plus grand écart relatif entre les nombres est de l'ordre de un millionième, tandis que les nombres de M. Rowland diffèrent de la valeur commune des autres respectivement de $1/37\ 000$, $1/33\ 000$ et $1/30\ 000$ en nombres ronds.

Le réseau dont s'est servi M. Thalèn, et dont il a fait une étude très complète, a été mesuré deux fois au Bureau international, sur une longueur de 51 millimètres, en 1894 par M. Chappuis, et par moi en 1897. La plus forte divergence entre les résultats de M. Thalèn et ceux de M. Michelson indiquerait une exactitude égale au vingtième de micron dans la détermination de cette longueur, exactitude quatre ou cinq fois plus grande que celle que l'on eût pu attribuer aux mesures, dans le résultat desquelles il a dû se produire une heureuse compensation d'erreurs. On conclura tout au moins de cette concordance inattendue que les procédés interférentiels par les réseaux et par la réflexion sur des surfaces planes peuvent fournir des résultats identiques dans les limites de précision des mesures actuelles.

L'écart entre les valeurs communes de MM. Michelson et Thalèn et celles de Rowland, bien qu'un peu plus fortes qu'on eût pu le prévoir, ne doivent cependant pas surprendre; elles correspondent, en moyenne, à une erreur de $2\ \mu$ à $3\ \mu$ sur 1 décimètre, quantité qu'il est assurément facile de garantir aujourd'hui après un étalonnage bien fait d'une bonne règle divisée, au moyen d'un comparateur convenablement installé;

(1) R. THALÈN. Sur la détermination absolue des longueurs d'onde de quelques raies du spectre solaire (Upsal, 1898).

mais il est peu de physiciens qui puissent profiter à la fois de toutes ces conditions, qui ne se trouvent simultanément réalisées que dans quelques institutions outillées spécialement pour les déterminations métrologiques.

Un autre fait surprend davantage, c'est la variation du rapport des longueurs d'onde dans l'étendue du spectre visible, variation qu'on ne peut guère attribuer qu'à de petites imperfections du réseau dont s'est servi Rowland.

Les mesures faites par l'éminent physicien de Baltimore sont classiques à bon droit, et constituent encore aujourd'hui l'ensemble le plus complet et le plus précis de données numériques que nous possédions sur la totalité du spectre. Cependant, si l'on adoptait la valeur qu'il donne pour la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium dans le calcul des dimensions du cube utilisé par MM. Macé de Lépinay, Perot et Fabry, ou de ceux de M. Chappuis, on trouverait, pour la masse du décimètre cube d'eau, une valeur voisine de 0,999 890, différant de 40 à 50 milligrammes de celle qui résulte de mes expériences, en sens inverse de la divergence actuelle des résultats obtenus par les deux procédés; la raie bleue donnerait une divergence de 60 à 70 milligrammes. Or, nous avons vu qu'une erreur de mes mesures dans le sens indiqué par cette divergence est extrêmement peu probable, et, d'ailleurs, la grandeur de cette erreur est tout à fait inadmissible. On voit, par conséquent, que la détermination de la masse du décimètre cube d'eau faite au Bureau international, à l'aide des méthodes interférentielles et des procédés de contact, eût suffi, à elle seule, pour donner une valeur des longueurs d'onde des radiations du cadmium beaucoup plus exacte que celle qu'ont fournie les expériences directes du professeur Rowland. Cet exemple nous montre une fois de plus que, dans la détermination de la masse du décimètre cube d'eau faite au Bureau international, on dépasse déjà sensiblement la précision des mesures physiques qui ont été considérées jusqu'ici comme les meilleures, et qu'on s'approche de la limite que l'état actuel de la métrologie ne permet pas encore de dépasser.

On trouvera, dans le beau mémoire de M. Thalén cité plus haut, et dans des travaux plus récents de M. Chappuis, ainsi que dans ceux de M. Perot et Fabry, l'indication des longueurs d'onde d'un certain nombre de radiations susceptibles d'être employées en métrologie, et qui sont connues aujourd'hui avec une très grande approximation. Les valeurs des longueurs d'onde les mieux déterminées reposent encore sur les résultats des mesures de M. Michelson, auxquels elles ont été rapportées. Mais une mesure indépendante, par des procédés nouveaux, sera entreprise prochainement au Bureau international par MM. Perot et Fabry.

MÉTALLURGIE

SUR LA DILATATION DES ACIERS AU CARBONE TREMPÉS,
par MM. O. Charpy et L. Grenet.

Depuis la publication de notre mémoire sur les dilatations des aciers aux températures élevées (*Bulletin* d'avril 1903), nous avons effectué, sur les aciers au carbone trempés de différentes manières, de nouvelles mesures, qui nous conduisent à modifier légèrement nos conclusions relativement aux conditions dans lesquelles se produisent les contractions de recuit. Nous croyons utile de donner ci-dessous une nouvelle rédaction qui englobe les faits récemment observés.

Les courbes de dilatation que l'on obtient sur des échantillons trempés se ramènent à trois types :

a) La courbe de dilatation de l'échantillon trempé coïncide exactement avec la courbe de l'échantillon recuit ;

b) La courbe de dilatation de l'échantillon trempé indique qu'il se produit, pendant le chauffage, une contraction assez rapide dans un intervalle de température peu étendu, au voisinage de 300° (figures 17 et 18, p. 488) ;

c) La courbe de dilatation de l'échantillon trempé indique qu'il se produit pendant le chauffage deux contractions : la première aux environs de 150°, la deuxième aux environs de 300° (figure 20).

Les conditions dans lesquelles se produisent ces contractions de recuit, ainsi que leur amplitude, paraissent dépendre :

1° De la teneur en carbone de l'acier ;

2° De la température de trempe ;

3° De la vitesse de refroidissement, c'est-à-dire de la dimension de l'échantillon trempé et de la nature du liquide de trempe.

Toutes choses égales d'ailleurs, on aura d'autant plus de chances d'obtenir après trempe le type *c* de la courbe de dilatation que la teneur en carbone sera plus forte, que la température sera plus élevée, que le refroidissement sera plus rapide.

Si on effectue la trempe sur des fragments de métal de quelques centimètres, dans lesquels on découpe ensuite un barreau de dilatation, on n'observe jamais aucune modification par la trempe de la courbe de dilatation, quels que soient la

teneur en carbone, la température et le liquide de trempe, bien que, dans ces conditions, on réalise une modification parfois considérable des propriétés mécaniques du métal.

Nous n'avons observé ces contractions de recuit qu'en trempant directement les barreaux de dilatation dont l'épaisseur est seulement de 2 à 3 millimètres.

En opérant dans ces conditions, nous avons constaté que : pour les aciers doux (0,50 de carbone et au-dessous), la trempe soit à l'eau froide, soit à l'huile, en partant de températures comprises entre 700° et 1 000°, ne modifie aucunement la courbe de dilatation.

Pour les aciers à teneur moyenne en carbone (0,60 à 1 p. 100), on n'observe pas non plus de modification de la courbe de dilatation quand on trempe à l'huile au-dessous de 1 000° ou à l'eau au-dessous de 900°.

Mais un barreau chauffé à 325° et trempé à l'eau froide donne une courbe de dilatation qui présente une contraction vers 300°; un barreau chauffé à 1 000° et trempé à l'huile donne également une contraction beaucoup moins accentuée vers 300°; enfin, un barreau chauffé à 1 000° et trempé à l'eau froide donne une courbe de dilatation qui présente, outre la contraction de 300°, une faible contraction au-dessus de 150°.

Pour les aciers à forte teneur en carbone (plus de 1 p. 100), on constate que la trempe à l'huile au-dessous de 900° ne modifie pas la courbe de dilatation; la trempe à l'eau froide à 900° ou au-dessus, fait apparaître nettement deux contractions à 150° et 300°; la trempe à 800° dans un mélange réfrigérant donne aussi des contractions à peine marquées à ces mêmes températures; enfin, la trempe à l'huile à 1 000° fait apparaître aussi les deux contractions.

PROGRAMME DES PRIX

PROPOSÉS PAR LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE A DÉCERNER
DANS LES ANNÉES 1903 ET SUIVANTES

GRANDES MÉDAILLES

La Société décerne chaque année, sur la proposition de l'un des six comités du Conseil, une médaille en or portant l'effigie de l'un des plus grands hommes qui ont illustré les arts ou les sciences, *aux auteurs, français ou étrangers, des travaux qui ont exercé la plus grande influence sur les progrès de l'industrie française*, pendant le cours des six années précédentes.

Ces grandes médailles seront distribuées dans l'ordre suivant :

1904. Architecture et Beaux-Arts.	A l'effigie de Jean Goujon.	1907. Commerce.	A l'effigie de Chaptal.
1905. Agriculture.	de Thénard.	1908. Arts mécaniques	de Prony.
1906. Arts économiques.	d'Ampère.	1909. Arts chimiques	de Lavoisier.

Dans les années précédentes, ces médailles ont été décernées, savoir : en 1868, pour le commerce, à *M. F. de Lesseps*; — en 1870, pour la chimie, à *M. H. Sainte-Claire Deville*; — en 1872, pour l'agriculture, à *M. Boussingault*; — en 1873, pour la physique et les arts économiques, à sir *Charles Wheatstone*; — en 1875, pour le commerce, à *M. Jacques Siegfried*; — en 1876, pour les arts mécaniques, à *M. H. Giffard*; — en 1877, pour les arts chimiques, à *M. Walter Weldon*; — en 1880, pour l'architecture et les beaux-arts, à *M. Ch. Garnier*, architecte; — en 1882, pour les arts économiques, à *M. Gaston Planté*; — en 1883, pour le commerce, à la *Chambre de commerce* de Paris; — en 1884, pour les arts mécaniques, à *M. Joseph Farcot*; — en 1885, pour la chimie, à *M. Michel Perret*; — en 1886, pour les beaux-arts, à *M. Barbedienne*; — en 1887, à *M. Gaston Bazille*, pour l'agriculture; — en 1888, à *M. Émile Baudot*, pour les arts économiques; — en 1889, pour le commerce, à la Société de Géographie commerciale de Paris; — en 1890, pour les arts mécaniques, à *M. Pierre-André Frey*; — en 1890 hors tour), pour les arts économiques, à *M. Gramme*, — en 1891, pour les arts chimiques, à *M. Solvay*; — en 1892, pour les constructions et beaux-arts, à *M. Froment-Meurice*; — en 1893, pour l'agriculture, à *M. Lecouteux*; — en 1894, pour les arts économiques, à Lord *Kelvin*; — en 1895, pour le commerce, au *Comité de l'Afrique française*; — en 1896, pour les arts mécaniques, à *M. Kreutzberger*; — en 1897, pour les arts chimiques, à *M. Osmond*; — en 1898, pour les beaux-arts, à *M. Paul Mame*; — en 1899, à *M. Joly*, pour l'agriculture; — en 1900, à *M. A. Potier*, pour les arts économiques; — en 1901, à la *Chambre de commerce* de Lyon, pour la mission lyonnaise en Chine; — en 1902, pour les arts mécaniques, à *M. Steinlen*.

GRAND PRIX DU MARQUIS D'ARGENTEUIL

Le marquis d'Argenteuil a légué à la Société d'Encouragement une somme de 40 000 francs pour la fondation d'un prix qui doit être décerné, tous les six ans, à l'auteur de la découverte la plus utile au perfectionnement de l'industrie française, principalement pour les objets dans lesquels la France n'aurait point encore atteint la supériorité sur l'industrie étrangère, soit quant à la qualité, soit quant aux prix des objets fabriqués.

Le prix de 12 000 francs, ainsi fondé, a été décerné, en 1846, à M. Vicat, pour ses travaux sur les chaux hydrauliques; — en 1852, à M. Chevreul, pour ses travaux sur les corps gras; — en 1858, à M. Heilmann, pour sa peigneuse mécanique; — en 1864, à M. Sorel, pour la galvanisation du fer; — en 1870, à M. Champenois, pour l'organisation des distilleries agricoles; — en 1880, à M. Poitevin, pour ses découvertes en photographie; — en 1886, à M. Lenoir, pour son moteur à gaz et l'ensemble de ses inventions; — en 1892, à M. Berthelot, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, pour ses remarquables travaux, qui ont puissamment contribué aux progrès des industries chimiques; — en 1898, à M. Moissan, pour ses travaux de chimie.

Ce prix sera décerné, s'il y a lieu, en 1904.

FONDATION DE LA CLASSE 27 POUR ENCOURAGEMENT
A L'INDUSTRIE COTONNIÈRE

Les exposants de la classe 27, à l'Exposition universelle de 1867, sur l'initiative de M. Gustave Roy, ont donné à la Société d'Encouragement une somme de 13 169 fr. 85 pour encouragement aux développements et aux progrès de l'industrie cotonnière en France et dans les colonies françaises.

PRIX POUR LE MATÉRIEL DU GÉNIE CIVIL
ET DE L'ARCHITECTURE

Les exposants de la classe 65, à la même Exposition universelle, sur l'initiative de M. Elphège Baude, ont donné à la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale une somme de 2 315 fr. 75 c. pour fonder un prix qui sera décerné, tous les cinq ans, à l'auteur des perfectionnements les plus importants au matériel et aux procédés du génie civil, des travaux publics et de l'architecture.

Ce prix consiste en une médaille d'or de 500 francs; il sera décerné, s'il y a lieu, en 1905.

**PRIX FOURCADE, POUR LES OUVRIERS DES FABRIQUES
DE PRODUITS CHIMIQUES**

Les *exposants de la classe 47*, à l'Exposition universelle de 1878, sur l'initiative et avec la coopération de M. Fourcade, ont fondé, auprès de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, un prix de 1 000 fr. qui sera remis chaque année, en séance publique de cette Société, au simple ouvrier des exposants de la classe 47 ayant le plus grand nombre d'années consécutives de service dans la même maison.

Ce prix est décerné tous les ans ; il est de 1 000 francs.

PRIX DE LA CLASSE 50 A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867

Les exposants de cette classe, sur l'initiative du baron Thénard, ont donné à la Société d'Encouragement une somme de 6 326 fr. 80 c. pour la fondation d'un prix qui sera accordé à l'auteur du perfectionnement le plus important apporté dans le matériel des usines agricoles et des industries alimentaires.

PRIX PARMENTIER

Les *exposants de la classe 50* à l'Exposition universelle de 1889 ont donné à la Société d'Encouragement, sur l'initiative de M. Aimé Girard, une somme de 9 846 fr. 75 c. pour la fondation d'un prix triennal de 1 000 francs, destiné à récompenser les recherches scientifiques ou techniques susceptibles d'améliorer le matériel ou les procédés des usines agricoles et des industries alimentaires.

Ce prix sera décerné, s'il y a lieu, en 1905.

Prix biennal Meynot aîné père et fils, de Donzère (Drôme), de la valeur de 1 200 francs, provenant du don de M. Meynot aîné père et fils.

Ce prix sera attribué s'il y a lieu

en 1907, pour petite culture dans l'Isère,

en 1905, — invention agricole : dans toute la France,

1° A celui qui aura inventé ou perfectionné un instrument ou une machine propre à la moyenne ou à la petite culture.

L'invention ou le perfectionnement devra avoir pour résultat de réaliser une amélioration notable et avantageuse soit dans la préparation des terres, soit

dans le traitement des plantes et des animaux, soit encore dans les manipulations des produits de l'exploitation.

Ce prix pourra être encore attribué à celui qui aura introduit soit un procédé perfectionné de culture, soit un végétal ou un animal nouveau propres à accroître les profits de la petite ou de la moyenne culture.

2° Au cultivateur, viticulteur ou maraîcher qui, cultivant son bien ou le bien d'autrui en qualité de colon à mi-fruits ou à prix d'argent, avec les bras de sa famille, soit seul, soit avec un ouvrier *au plus*, donnera le meilleur exemple par sa conduite, son assiduité au travail, par l'ordre dans son ménage et qui, par l'application des meilleures méthodes de culture et de l'outillage le plus perfectionné, aura réalisé les meilleurs résultats dans sa petite exploitation.

Ce prix aura une certaine importance, il constituera une petite fortune pour celui qui l'obtiendra, et fera bénir le bienfaiteur par les familles laborieuses du pays.

La Société joindra à la récompense pécuniaire une médaille d'argent qui en perpétuera le souvenir dans les familles.

Pour atteindre le but et empêcher le prix d'aller à de gros cultivateurs, il faudra tenir la main à ce que les concurrents soient ceux qui cultiveront leur bien avec leurs bras, *seuls ou avec l'aide d'un ouvrier au plus* (homme ou femme).

Au cas où aucun concurrent ne serait jugé digne de la récompense aux époques fixées, le concours sera remis d'année en année, jusqu'à ce qu'un mérite suffisant se soit produit.

En cas de non-attribution, le montant du prix fera retour au capital pour accroître la valeur du prix à distribuer ultérieurement.

Les concurrents devront se faire inscrire avant le 1^{er} janvier de l'année du concours.

PRIX MESENS (ARTS ÉCONOMIQUES)

M^{me} veuve Melsens, voulant perpétuer la mémoire de M. Melsens, son mari, a donné à la Société une somme de 5 000 francs, pour fonder un prix destiné à récompenser l'auteur d'une application de la physique ou de la chimie à l'électricité, à la balistique ou à l'hygiène.

Ce prix, de la valeur de 500 francs, est triennal. Il sera décerné en 1904.

FONDATION MASSION

M. MASSION, notaire à Paris, voulant perpétuer la mémoire de son fils, ingénieur mécanicien, a donné, en 1903, à la Société une somme de 30 000 francs, dont les revenus seront consacrés à des recherches en vue de la « *construction d'un moteur à puissance spécifique très élevée* ».

FONDATEMENTS ET DONS SPÉCIAUX

Legs Bapst.

Cette fondation se compose de deux parties. L'une d'elles, destinée à donner des secours aux inventeurs malheureux, possède un titre de 1 565 fr. 20 de rente 3 p. 100.

La seconde partie du legs, qui doit servir à favoriser les recherches utiles à l'industrie et à aider les inventeurs dans leurs travaux, possède un titre de 3 480 fr. de rente 3 p. 100.

Fondation Christoffe et Bouilhet pour la délivrance des premières annuités de brevets.

Cette fondation possède un revenu annuel de 1 036 francs de rente.

Fondation Fauler (Industrie des cuirs).

Cette fondation a pour but de secourir des ouvriers ou contremaîtres malheureux, ayant rendu des services appréciés dans l'industrie des cuirs.

Son revenu annuel est de 621 fr. 30 de rente.

Fondation Legrand (Industrie de la savonnerie).

Cette fondation est destinée à venir en aide aux ouvriers ou contremaîtres malheureux de l'industrie de la savonnerie, ayant rendu des services appréciés.

Son revenu annuel est actuellement de 892 fr. 80 de rente.

Fondation de Milly (Industrie de la stéarine).

Cette fondation a pour but de venir en aide à des ouvriers et contremaîtres malheureux, ou ayant contracté quelque infirmité dans l'exercice de leur profession.

Son revenu annuel est actuellement de 561 fr. 60 de rente.

Fondation de Baccarat (Industrie de la cristallerie).

Cette fondation, destinée à secourir des ouvriers et contremaîtres malheureux ou infirmes, possède un revenu annuel de 415 fr. 20.

Fondation Ménier (Industrie des arts chimiques).

Cette fondation a pour but de venir en aide à des ouvriers et contremaîtres appartenant à l'industrie des arts chimiques.

La fondation possède un revenu annuel de 177 fr. 60.

Legs Giffard.

Une partie du revenu du capital de 50 000 francs, légué à la Société par Henri Giffard, a été destinée à distribuer des secours dans des conditions qu'il appartient au Conseil d'administration de la Société de fixer. — La somme disponible pour les secours est de 974 fr. 50.

Fondation Christofle et Bouilhet (Artistes industriels).

Cette fondation, destinée à venir en aide à des artistes industriels malheureux, possède un revenu annuel de 417 fr. 60.

MÉDAILLES DUMAS

Ces médailles ont été instituées en 1897 — sur l'initiative de M. Aimé Girard — en faveur des ouvriers qui, sans quitter les ateliers, se sont peu à peu élevés jusqu'au rang de directeur d'usine ou de chef d'un service important dans un grand établissement industriel ou agricole.

Pour concourir à cette récompense, les seules conditions à remplir sont d'appartenir à la nationalité française et d'être présenté à la Société par les personnes auxquelles appartiennent les établissements dont les concurrents font partie.

MÉDAILLES

A DÉCERNER AUX CONTREMAÎTRES ET AUX OUVRIERS DES ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS
ET DES EXPLOITATIONS AGRICOLES.

La Société d'Encouragement, dans le but d'exciter les contremaîtres et les ouvriers à se distinguer dans leur profession et à encourager ceux qui se font remarquer par leur bonne conduite et les services qu'ils rendent aux chefs qui les emploient, a pensé que le moyen le plus propre à amener ce résultat était d'accorder des récompenses à ceux qu'une longue expérience aurait fait reconnaître comme ayant servi avec zèle, activité et intelligence; en conséquence, elle a pris l'arrêté suivant :

1° Il sera décerné chaque année, dans la séance générale, des médailles de bronze aux contremaîtres et ouvriers des grands établissements industriels et des exploitations agricoles de France.

2° Chaque médaille, à laquelle seront joints des livres pour une valeur de 50 francs, portera gravés le nom du contremaître ou de l'ouvrier et la désignation soit de l'atelier, soit de l'exploitation agricole à laquelle il est attaché.

3° Les contremaîtres ou ouvriers qui voudront obtenir ces médailles devront se munir de certificats dûment légalisés, attestant leur moralité et les services qu'ils ont rendus, depuis cinq ans au moins, à l'établissement auquel ils sont attachés. Ces certificats devront être appuyés tant par le chef de la maison, par le maire et les autorités locales, que par les ingénieurs civils ou militaires, en activité ou en retraite, et par les membres de la Société d'Encouragement qui résident sur les lieux.

4° Le contremaître ou l'ouvrier ne pourra être ni le parent, ni l'allié, ni l'associé, par acte, des propriétaires de l'établissement. Il devra savoir *lire et écrire*, et s'être distingué par son assiduité à ses travaux, son intelligence et les services qu'il aura rendus à l'atelier ou à l'exploitation agricole ; à mérite égal, la préférence sera accordée à celui qui saura dessiner et qui aura fait faire des progrès à la profession qu'il exerce. Enfin, les certificats, en attestant que ces conditions sont remplies, donneront sur le candidat tous les détails propres à faire apprécier ses qualités.

CONDITIONS GÉNÉRALES

A REMPLIR PAR LES CONCURRENTS AUX PRIX ET RÉCOMPENSES
DÉCERNÉS PAR LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

1° Les modèles, mémoires, descriptions, renseignements, échantillons et pièces destinés à constater les droits des concurrents seront adressés franco de port au *Secrétariat de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, 44, rue de Rennes*. Ils devront être *remis avant le 31 décembre de l'année précédant la distribution des prix* : ce terme est de rigueur.

2° Les procédés ou machines seront examinés par les Comités compétents.

3° Les membres du Conseil d'Administration sont exclus du concours.

4° Les autres membres de la Société sont admis à concourir ainsi que toutes autres personnes de nationalités française ou étrangères. Les mémoires, notes, descriptions et légendes doivent être rédigés en langue française.

5° La Société se réserve le droit de publier en tout ou en partie les documents récompensés.

6° La Société ne rendra pas les mémoires descriptifs, les pièces écrites et les dessins qui n'auront point été récompensés ; mais elle permettra aux auteurs d'en prendre copie, et elle leur rendra les modèles s'il y a lieu.

7° Les concurrents qui auraient traité plusieurs des questions mises au concours sont invités à envoyer des mémoires séparés sur chacune d'elles.

8° La Société remettra le montant des récompenses ou les médailles aux titulaires ou à leurs fondés de pouvoir.

N. B. La communication des mémoires ou procédés soumis aux concours ne saurait engager en aucune façon la responsabilité de la Société quant à l'application des lois et règlements qui régissent les brevets d'invention.

LES PIÈCES DÉPOSÉES RESTENT LA PROPRIÉTÉ DE LA SOCIÉTÉ.

NOTES DE MÉCANIQUE

LE NOUEUR *Colman*.

Lorsqu'on passe les fils des broches sur des bobines qui contiennent les fils de plusieurs broches, il faut, à chaque nouvelle brochée, nouer son fil au fil déjà bobiné; en outre, pendant ce bobinage, le fil casse assez souvent; de là, de nombreux nœuds, qui, s'ils sont exécutés à la main, sont irréguliers et font perdre du temps. La petite et très ingénieuse machine de M. H. D. Colman, de Rockford, Illinois, a pour objet de permettre l'exécution mécanique, régulière et rapide de ces nœuds.

Cette machine, qui présente l'aspect de la figure 1 et ne pèse que 150 grammes, se monte sur la main gauche de l'opérateur au moyen d'une courroie et permet de marcher d'environ 20 p. 100 plus vite qu'à la main, tout en donnant des nœuds beaucoup plus réguliers (fig. 21).

Le détail du fonctionnement de ce noueur est facile à suivre sur les figures 2 à 13.

Le pouce de l'opérateur est engagé (fig. 1) dans la fourche B' de l'arbre B, dont le secteur B⁴ (fig. 12) commande le pignon C' (fig. 6) de l'arbre C. L'extrémité de cet arbre C est (fig. 14) recourbé en C² de façon à former pince avec le levier C⁴, pivoté dans sa rainure C³, et dont le bas s'engage dans le cylindre came C⁵ (fig. 1 et 2). Ce cylindre est excentrique à l'arbre C, et de section intérieure elliptique, de manière à imprimer à C⁴ les mouvements nécessaires pour pincer puis couper le fil (fig. 9, 10 et 11).

L'arbre E (fig. 1 et 13) porte deux bras : l'un E' a son galet E³ engagé dans la rainure B⁵ du secteur B⁴, et l'autre, E², entraîne le bras E⁴ des doigts E⁵ (fig. 4 et 5). Sur ce même arbre E, est monté fou le bras FF², à guide-fil F³ (fig. 1 et 6); le fil est entre E³ et E⁵ pendant le serrage du nœud, avec F³ entre les doigts E⁵. Un ressort F⁴ tend à écarter E² de F d'un angle limité par le taquet D⁴ (fig. 3). Un cliquet F⁵ (fig. 1 et 13) pivoté en F⁶ (fig. 15) sur F, permet, par sa prise sur E⁶, d'enclancher, comme en figure 15, F avec E, et F³ porte (fig. 5) un bras F⁷, dont le bouton F⁸ (fig. 3 et 15) s'engage dans une rainure F⁹ de F, en position pour être repoussé par le toc D³ et déclancher ainsi E⁵ de E⁶. L'engagement de F⁸ au bout de la rainure F⁹, arrête alors le recul du bras F, et le bras E², reculant un peu plus, achève de séparer les doigts E⁵ de F³, en même temps que le ressort F⁴ sépare E² de F.

Voici maintenant comment on opère :

On amène d'abord, avec le pouce, la fourche B' dans sa position la plus élevée

(fig. 6), et, avec la main droite, on passe les deux bouts des fils à nouer en F^3 , C^2 et D' , comme en figure 2. La pression du pouce sur B' fait, par B^4 , tourner C , dont le premier quart de tour amène C^2 dans la position (fig. 2); en même temps, la came B^5 (fig. 12) fait osciller l'arbre E de manière à faire glisser, par E^2 , E^4 , les doigts E^5 sur F dans la position (fig. 2); puis, quand le galet E^2 de E^2 arrive au bas de B^5 , les doigts E^5

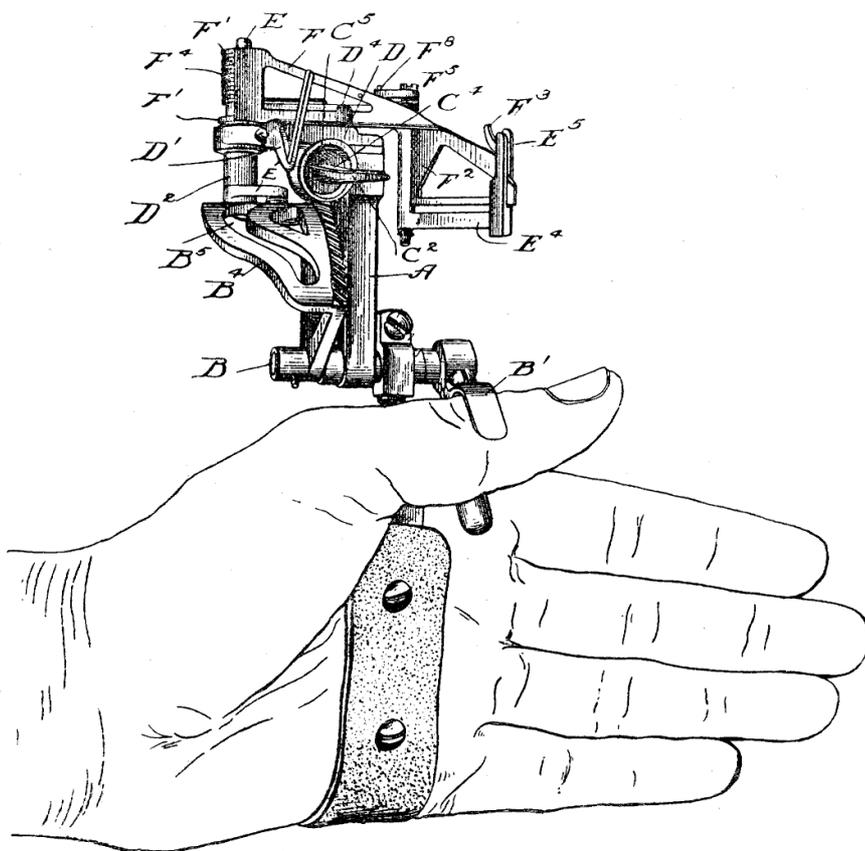


Fig. 1. — Noueur Colman monté sur la main.

arrivent jusqu'au bout de F , où ils pincent le fil en F^3 , comme en figure 3, position dans laquelle le cliquet F^5 enclanche E^2 avec F .

En cette position, C a fait $3/4$ de tour, et le cylindre-came C^5 (fig. 11) a ouvert la pince C^2 (fig. 14) prête à recevoir le fil pendant le dernier quart de tour; la came B^5 (fig. 12) continuant son mouvement, ramène F et C dans les positions (fig. 4 et 5), F tirant le fil dont C^4 a coupé les brins et retient les bouts. En ce point (fig. 5), la touche

F⁸, rencontrant le taquet D³, permet au ressort F⁴ de séparer E⁵ de F³, en ramenant F sur D³, comme en figure 6, 7 et 8.

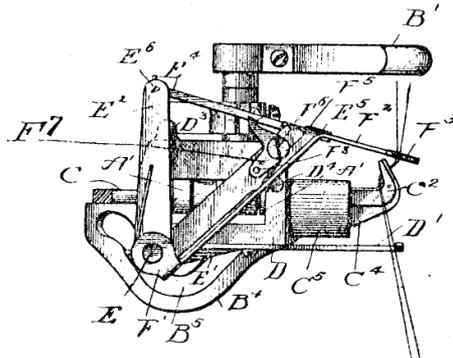


Fig. 2.

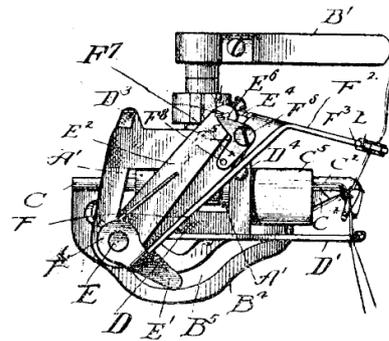


Fig. 3.



Fig. 4.

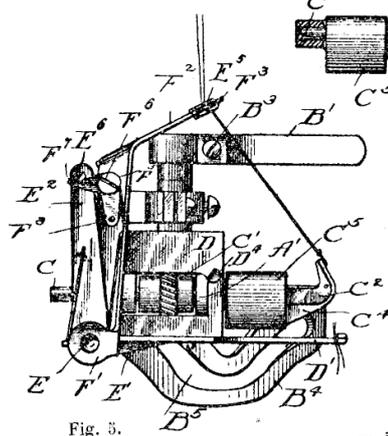


Fig. 5.

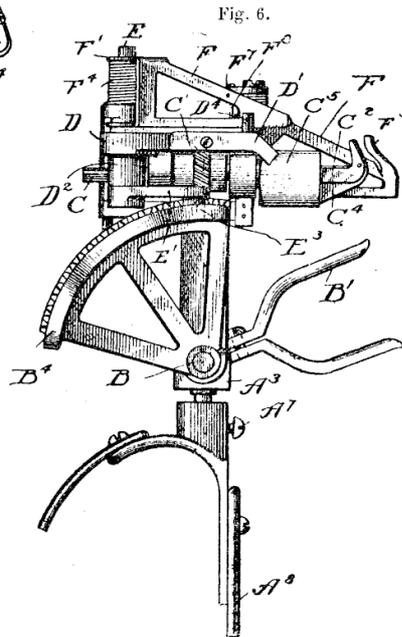


Fig. 6.

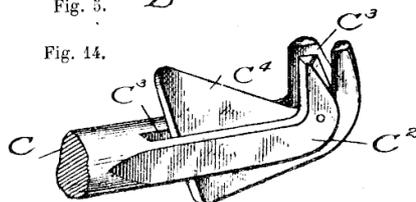


Fig. 14.

Fig. 2 à 6 et 14. — Noueur Colman.

L'appareil fig. 16-18 dérive du précédent par la suppression du mécanisme des pinces E⁵ (fig. 1) remplacé par une platine G, que la came B⁵ du secteur B⁴ commande

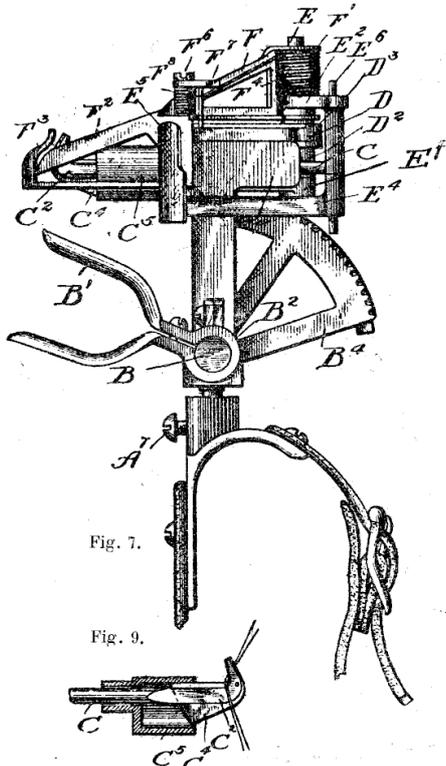


Fig. 7 à 15. — Noueur Colman.

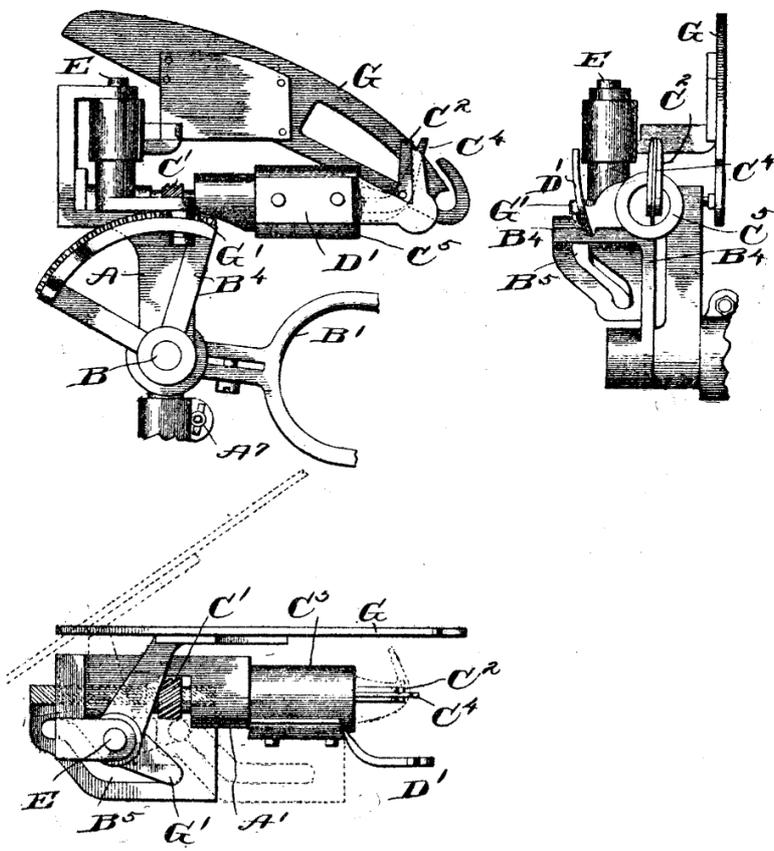


Fig. 16 à 18. — Noueur Colman simplifié.

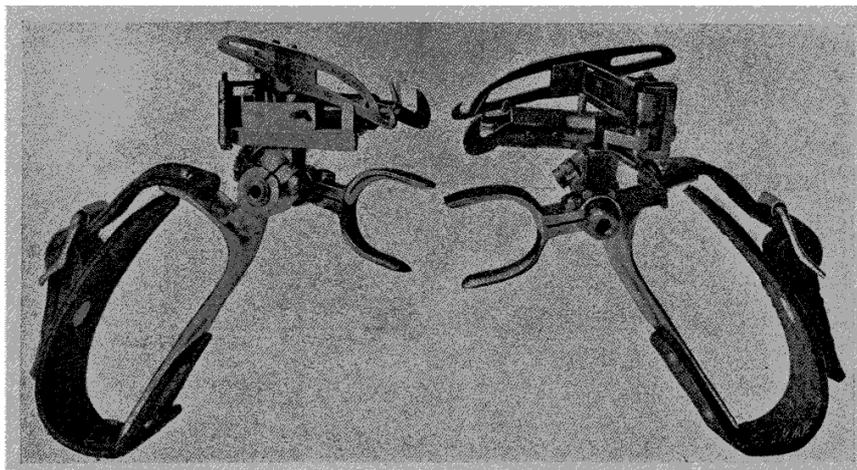


Fig. 19. — Noueur Colman simple.

par le levier G' en la faisant osciller devant la pince C², en passant de sa position en:

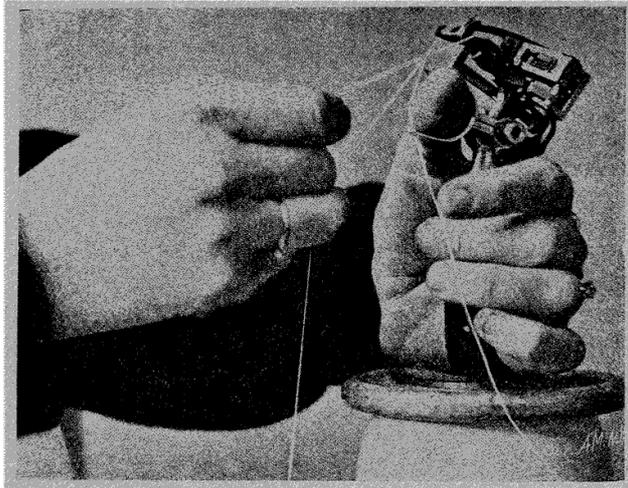


Fig. 20. — Passage du fil.

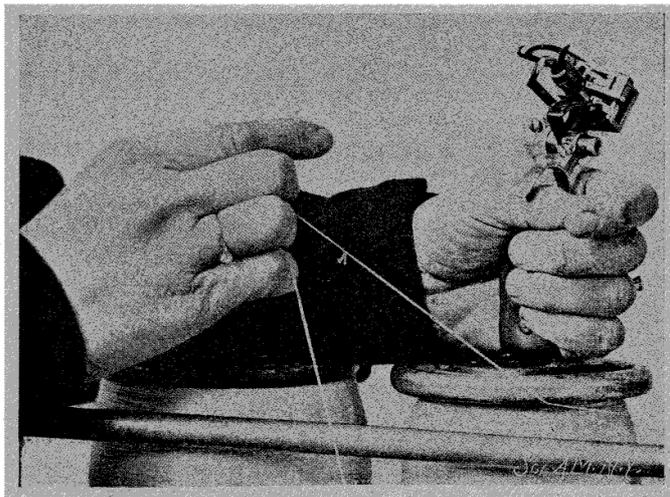


Fig. 21. — Après l'exécution du nœud.

traits pleins à sa position pointillée, quand on abaisse B'. Le frottement du fil tendu sur G remplace, pour le serrage du nœud, les pinces E⁵ de l'appareil précédent.

Tome 104. — 1^{er} semestre. — Juin 1903.

57

Cette machine simplifiée est représentée en exécution et en fonctionnement par les figures 19 à 21, empruntées au *Scientific American* du 3 janvier 1903.

LES NAVIRES FRIGORIFIQUES, D'APRÈS *M. L. Balfour* (1).

L'industrie du transport maritime des viandes frigorifiées est, en Angleterre surtout, des plus importantes; en 1902, l'importation de ces viandes s'y est élevée à 7 220 000 carcasses, dont 3 700 000 venues de la Nouvelle-Zélande. Il y avait, en janvier 1902, d'engagés dans ce trafic, 147 vapeurs, d'un tonnage total de 8 277 400 carcasses par an, et, en construction, 10 vapeurs, d'une capacité de 852 000 carcasses, dont quelques-uns peuvent embarquer jusqu'à 130 000 carcasses de moutons par voyage. Il est probable que ces importations ne feront qu'augmenter.

Pour assurer la conservation de ces viandes pendant leur transport, il faut non seulement que les machines frigorifiques soient en bon fonctionnement, mais aussi que le navire soit bien approprié à sa destination et au système de réfrigération adopté: air, ammoniac ou acide carbonique.

Avec les machines à air, l'air comprimé, refroidi par une circulation d'eau puis détendu en accomplissant un travail, et ainsi abaissé à -50° environ, est distribué dans le navire par des conduites en bois, puis revient de même des chambres frigorifiques au compresseur. Ces grandes conduites sont, en général, disposées de chaque côté des chambres frigorifiques et de manière à pouvoir être employées alternativement pour l'aller et le retour; elles sont montées de manière à pouvoir être enlevées quand on emploie le navire au transport de cargaisons ordinaires. Elles ont une section d'environ 600×600 millimètres, suffisante pour le passage de l'ouvrier chargé d'en régler les ouvertures au moyen de tiroirs. L'air refroidi à environ -55° est 1,26 fois plus dense que l'air à 15° , de sorte que la circulation ascendante de cet air doit être forcée et les conduites étanches pour résister à la pression de cette circulation.

Avec le compresseur à ammoniac, ce gaz, liquéfié dans des condenseurs à la température de l'eau de la mer, se regazéifie et se détend, à la température d'environ -23° , dans une canalisation en tubes de fer, de plusieurs kilomètres de long, répartie dans les chambres frigorifiques, et d'où l'ammoniac retourne au compresseur. L'air des chambres est mis en circulation autour de cette canalisation par des ventilateurs, et comme sa température ne s'abaisse guère au-dessous de -18° , le volume d'air à faire ainsi circuler est beaucoup plus considérable qu'avec les machines à air. Les conduites de cet air doivent avoir de très grandes dimensions, et, comme dans le cas des machines à air, ne jamais présenter de déviations que l'air froid et lourd franchit difficilement.

Les machines frigorifiques à acide carbonique fonctionnent comme celles à ammoniac, mais, au lieu de faire détendre l'acide carbonique dans une longue canalisation des chambres, on opère, en général, cette détente dans un réfrigérant à dissolution de chlorure de calcium d'une densité de 1 kilogramme 4 par litre, et que l'on fait circuler dans des serpentins disposés dans les chambres. Ces serpentins sont en tubes de fer soudés à l'électricité, de 50 millimètres de diamètre et disposés en panneaux renfermant chacun une longueur d'environ 60 mètres de tubes; ils sont fixés

(1) *Institution of Naval Architects*, 3 avril 1903.

aux parois des chambres et mobiles sous les écoutilles; la circulation y est divisée en groupes de serpentins indépendants, ayant chacun leur aller et retour au réfrigérant, commandé par des valves spéciales d'isolement de manière à permettre de régler séparément la température des différentes chambres. La présence des serpentins au haut des chambres provoque une circulation naturelle de l'air froid, plus lourd, et tombant de ces plafonds, où il est automatiquement remplacé par l'air moins froid du bas des chambres.

Sur les navires transportant des fruits et autres matières exigeant une réfrigération moins énergique que les viandes, le refroidissement se fait dans des chambres fermées, avec serpentins à liquide réfrigérant et circulation de l'air au moyen de ventilateurs, au lieu d'une détente directe de l'ammoniac dans ces serpentins.

Dans tous les systèmes de refroidissement, le succès dépend, avant tout, de la continuité de la circulation du liquide et de l'air dans toutes les parties des chambres et de leur cargaison; il faut veiller à ce qu'il ne se produise aucune stagnation de l'air dans des recoins ou des poches. Chacun des trois systèmes a ses avantages et ses inconvénients. L'air est simple, sans danger, très énergique, donnant très vite de basses températures, mais, en raison de sa faible capacité frigorifique, encombrant et d'un mauvais rendement, exigeant une grande dépense de combustible. En outre, il se prête mal au transport de cargaisons variées, exigeant simultanément différentes températures aux divers points du navire: des viandes qui doivent être gelées à -25° , frappées à -35° , et des fruits pour lesquels on ne doit pas dépasser 7° environ.

L'ammoniac, facile à liquéfier, a une grande puissance réfrigérante et permet de refroidir soit par circulation de liquide incongelable, comme avec l'acide carbonique, soit sans accumulation de neige dans les conduites d'air et les chambres, comme avec les machines à air; les chambres sont faciles à examiner et toutes prêtes à recevoir une nouvelle cargaison, aussitôt après le débarquement de l'ancienne. En revanche, l'ammoniac ne peut se conserver au contact du cuivre ou des bronzes, son odeur est des plus désagréables, et il faut en emporter une charge de rechange en cas de fuites. L'acide carbonique permet des températures plus basses que l'ammoniac, avec des machines plus concentrées, mais aussi des pressions plus élevées de liquéfaction; il n'attaque pas les métaux: cuivre et bronze. Les circulations de liquide incongelable agissent comme des volants de froid, et assurent l'indépendance des différentes chambres; un accident à l'une d'elles n'affecte pas les autres; mais il s'y accumule de la neige, qui, en fondant, au débarquement, peut endommager les isolants.

Dans les grands navires frigorifiques, de 100 000 à 130 000 carcasses, la machinerie frigorifique se trouve, en général, dans l'entrepont supérieur, dont la construction doit être adaptée pour recevoir une pareille charge, qui varie de 120 à 160 tonnes. Les figures 1 et 2 indiquent la disposition générale des chambres frigorifiques, avec la machinerie dans l'entrepont ou dans la cale.

Les parois des chambres frigorifiques doivent être aussi lisses et planes que possible, sans projections ni saillies encombrantes, conductrices, et qui gênent la circulation de l'air; leur hauteur ne doit pas dépasser une limite fixée par la charge que supportent les carcasses du bas, qui ne doivent pas être écrasées au point d'y empêcher la circulation de l'air.

La coque des navires frigorifiques doit être particulièrement soignée, la rivure doit en être tout à fait étanche, parce qu'il est presque impossible d'y accéder pen-

dant la traversée en raison des isolants qui la recouvrent; ces fuites dégraderaient l'isolement et pourraient compromettre la cargaison.

L'isolement est absolument capital; il doit être épais, lent à se refroidir, mais aussi

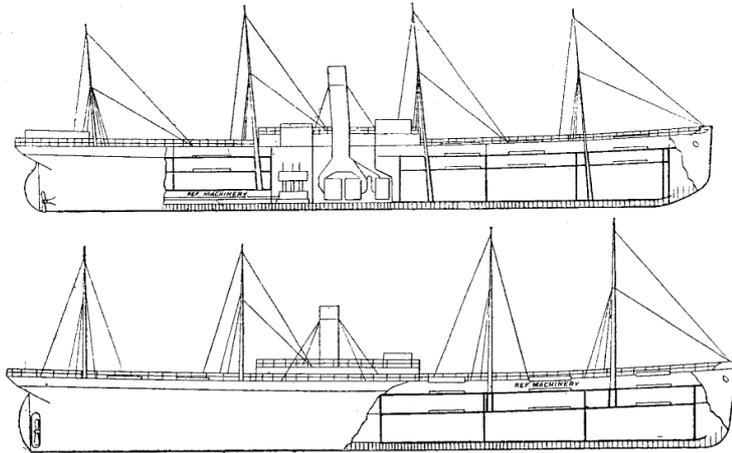


Fig. 1 et 2.

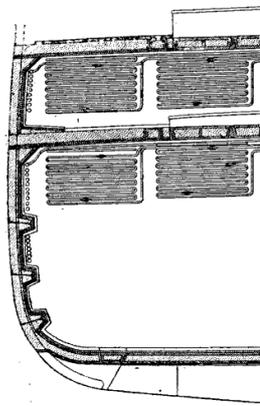


Fig. 3. — Circulation de liquide incongelable.

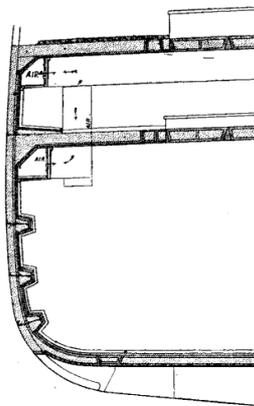


Fig. 4. — Air sortant de machines frigorifiques à air.

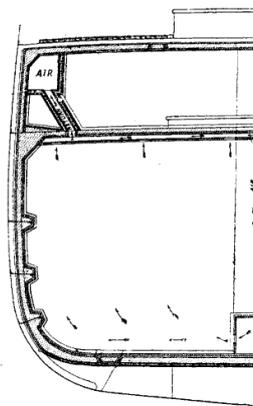
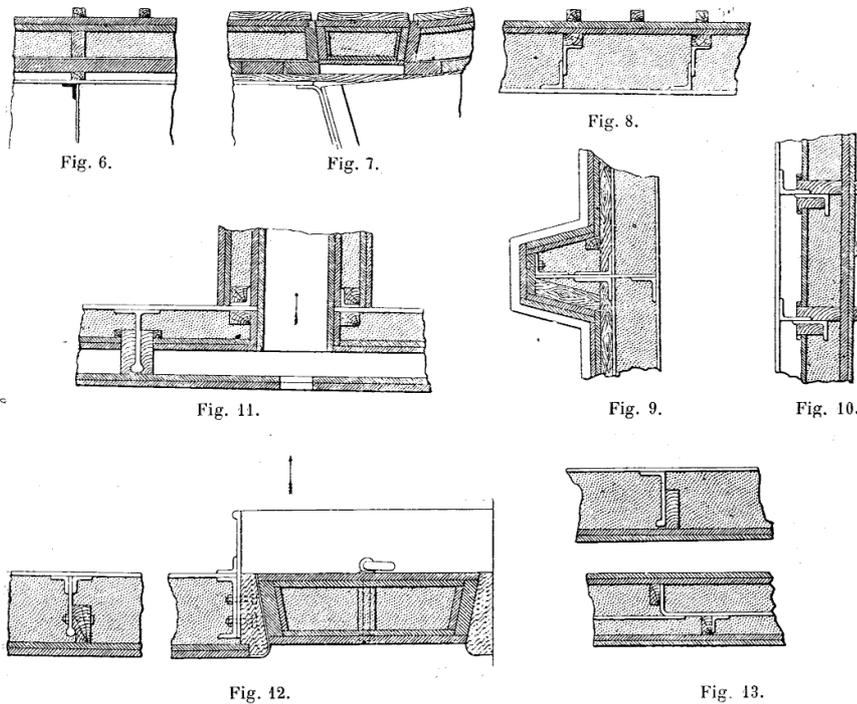


Fig. 5. — Air passant sur une circulation d'ammoniac détendu.

à se réchauffer, résistant, et permettre l'accès des chambres et ouvertures diverses de service. Avant de commencer les travaux de pose de l'isolant, il faut s'assurer de l'étanchéité à l'eau de la coque, des ponts, des tuyaux de circulation de gaz, de liquides et d'air. Le fer surtout doit être très soigneusement isolé, avec interposition d'une couche isolante entre lui et l'isolant intérieur direct des chambres.

Les figures 3 et 4 représentent le type général d'isolement avec matière isolante entre la coque en fer et le garnissage en bois des chambres intérieures soutenues par de grosses pièces de bois et cimentées de manière à en assurer l'étanchéité. L'inconvénient de ce système est la difficulté de son accès en cas d'avarie et l'accumulation de l'eau qui s'y produirait, sans écoulement possible, dans la matière isolante séparée du ballast. Dans le dispositif (fig. 5), on laisse, entre l'isolant et la tôle de la coque, une épaisseur d'air qui pare à ce dernier inconvénient et permet de localiser facilement les fuites. En fait, les navires frigorifiques sont à deux coques : une en fer et l'autre



en bois, de 500 à 550 tonnes, et que l'on pourrait sans doute diminuer par l'emploi de machines frigorifiques plus puissantes.

Le fond de la cale est (fig. 6 à 8) isolé, en général, par une couche de matière isolante de 120 millimètres environ d'épaisseur, reposant sur un plancher et recouverte de deux cours de planches avec lambourdes. Parfois, on fait reposer directement le charbon isolant sur les tôles du réservoir de ballast constituant le fond de cale, et qu'il protège contre l'oxydation; sous les écoutilles, l'isolement est protégé par une fourrure en bois de 50 millimètres d'épaisseur.

La figure 10 représente l'isolement des parois, soit directement sur coque avec double plancher de 5 millimètres d'épaisseur, soit avec interposition d'une couche

d'air, premier planchage simple, matière isolante de 180 d'épaisseur, et double plancher de 50 millimètres. Les carlingues sont isolées par des redans comme en figure 9.

Les plafonds sont (fig. 11 et 12) isolés par double cours de planches, avec ou sans couche d'air entre la matière isolante et la tôle, et prises d'accès permettant l'examen et le remplacement ou remplissage de la matière isolante. Sur les planchers des ponts on établit, en marge, une sorte de trottoir (fig. 6) de 1^m,50 de large, avec une couche de matière isolante d'environ 100 millimètres. Les cloisons sont (fig. 13) isolées par une épaisseur de 250 millimètres, avec ou sans couche d'air. Les tunnels sont isolés par des couches de 230 millimètres, disposées pour un remplissage facile; les portes et écoutilles sont isolées comme l'indique la figure 12. Les mâts et ventilateurs sont recouverts d'un isolant de 150 millimètres.

Les fonds et les parois des chambres sont garnis de nervures ou lambourdes en bois de 60 x 60, écartées de 300, et destinées à faciliter la circulation de l'air entre les carcasses qui s'y appuient; il n'y en a pas sur les cloisons où les carcasses s'appuient par leurs pattes.

Dans toutes les chambres on dispose des thermomètres, en des tubes en fer galvanisé de 60 millimètres de diamètre, accessibles du pont, convenablement isolés, et aboutissant aux chambres du bas par des enveloppes en bois en parties démontables, avec ouvertures permettant de prendre la température en différents points. Chaque grande chambre doit avoir au moins six thermomètres : deux au centre, deux sur les côtés, un en avant, un en arrière.

Les isolants les plus fréquemment employés sont le charbon de bois en esquilles et la laine de laitier; aussi le feutre, la pierre ponce et le liège granulé; les deux premiers isolants ont fait leurs preuves et sont considérés comme les meilleurs. Le bourrage de ces isolants ne doit pas être exagéré, mais suffisant pour les empêcher de se prendre en masses sous l'effet des mouvements et vibrations du navire; on atteint, avec la laine de laitier, une densité d'environ 250 kil. au mètre cube et 230 kil. avec le charbon de bois. Ce charbon n'est pas, comme on l'a dit, susceptible de combustion spontanée; les incendies signalés de ce fait sont attribuables, presque toujours, à des courts circuits électriques.

Les chambres doivent être ventilées à fond après le débarquement et avant le chargement d'une autre cargaison, et asséchées, ainsi que la fausse cale, principalement dans les navires à isolement sans couche d'air. Il faut se garer à tout prix de l'humidité des isolants, et être pourvu de panneaux permettant de remplacer rapidement les isolants principalement sous les écoutilles, auprès des portes et dans les coins des chambres, au-dessus et aux passages des tuyauteries d'ammoniac.

CHARGEUR DE HAUT FOURNEAU *Kennedy* (1).

L'ancien couvercle des hauts fourneaux à basse pression, maintenu par son poids seulement, ne peut plus suffire avec les hauts fourneaux rapides à minerais fins et à haute pression de vent. Les portes de sûreté contre les explosions laissent échapper des gaz tant que dure la pression du vent, et rentrer de l'air dès que cette pression s'arrête, air qui provoque, de son côté, des explosions, de sorte que ces portes sont plutôt dangereuses. Le chargeur de M. J. Kennedy, dont nous avons décrit l'ensemble

(1) *Iron and Steel Institute*, 8 mai 1903, et *Engineering*, 29 mai, p. 731. Note de M. A. Saklin.

dans notre *Bulletin de juillet 1902* (p. 110), a pour objet de parer à ces inconvénients par l'emploi d'une fermeture mécanique étanche et d'un changement automatique n'exigeant pas la présence d'ouvriers au sommet du fourneau.

Ce chargeur installé, pour la première fois, au commencement de 1901, aux forges d'Iroquois, Chicago, compte déjà quatorze applications aux États-Unis; il repose sur les deux principes suivants : (a) Les explosions ne se produisent dans le haut des fourneaux que si l'air peut s'y mélanger aux gaz. (b) Même dans le cas d'une combustion excessivement vive de ces gaz, il ne se produirait, avec une fermeture étanche, qu'une augmentation de pression de courte durée. En pratique, il suffit que l'appareil puisse résister à une pression de deux atmosphères environ.

Dans l'exemple représenté par les figures 1 à 3, le gueulard, de 6^m,60 de diamètre,

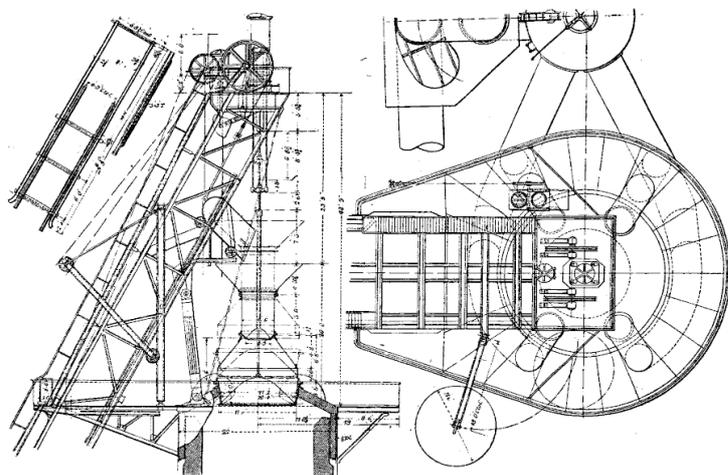


Fig. 1, 2 et 3. — Chargeur de haut fourneau *Kennedy*.

se termine par un tronc de cône ayant, au sommet, l'ouverture nécessaire pour le passage de la cloche de 3 mètres de diamètre. Ce tronc de cône repose sur un garnissage de 380 millimètres d'épaisseur, en briques réfractaires très denses, soutenu par un gros anneau en fer cornière à 2^m,40 au-dessous de la base du cône. Le garnissage proprement dit du gueulard se dilate librement à l'intérieur de cette enveloppe, qui dure très longtemps, et qui protège ses fers de la chaleur excessive; et, à l'entrée même du gueulard, on a intercalé, dans la première rangée de briques, des blocs de fonte blanche, qui les protègent contre les chocs des charges. Les gaz sont enlevés par quatre conduites descendantes, qui se réunissent dans deux conduites à nettoyage automatique; le gueulard est entièrement fermé, sans portes d'explosion.

L'amenée des charges se fait par une voie inclinée sur trois poutres en treillis supportées, au gueulard, par deux poinçons articulés, et se terminant, à 1^m3^m,40 au-dessus, par une forte plate-forme, sur laquelle sont montées les molettes du treuil et les cylindres de commande de la cloche, et où se trouve le mécanicien.

La cloche, en acier coulé, s'appuie par son rebord inférieur sur un anneau, aussi en acier, et qui repose sur la cornière supérieure du tronc de cône, à laquelle est boulonnée la trémie de chargement, en tôles d'acier, avec portes permettant de la visiter. Au sommet du premier cône de cette trémie, se trouve le siège d'une petite cloche de distribution des charges à la grande, et suspendue à un tube entourant la tige de la grande cloche; le diamètre de cette petite cloche est de $1^m,14$; elle répartit les charges uniformément. Ces charges sont versées par l'écope dans le cône supérieur de la trémie, de chaque côté du tube de support de la petite cloche. L'écope de

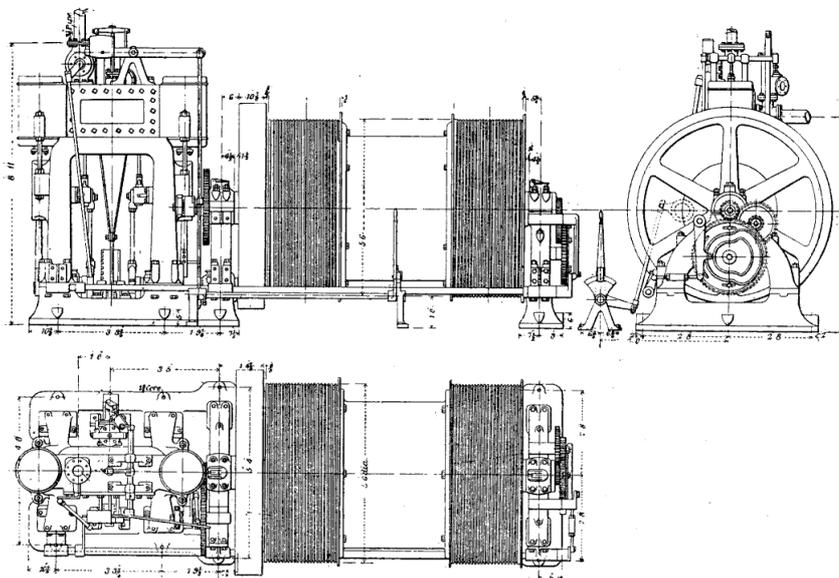


Fig. 4. — Travail du chargeur Kennedy.

droite verse d'abord deux charges à gauche et une à droite, suivant la pratique universelle en Amérique.

Le cylindre central, à eau ou à huile, qui commande directement la grande cloche, a sa distribution manœuvrée par câble du bas du fourneau; la course de son piston est de $1^m,80$, et la cloche peut s'abaisser de $0^m,60$ au moins dans le gueulard. Le cylindre latéral commande la petite cloche par un levier à contrepoids et le tube de suspension qui entoure la tige de la grande cloche; le contrepoids est suffisant pour maintenir la petite cloche fermée en charge, de sorte que son cylindre ne fait que lever ce contrepoids; sa distribution est aussi manœuvrée du bas. Les bennes sont portées sur quatre roues à la largeur de la voie principale de montée, et les roues d'avant sont doublées de deux autres, d'écartement moindre, qui, au haut de la montée, prennent sur les voies de bascule, comme on le voit en fig. 1; ces bennes sont garnies de plaques d'acier faciles à remplacer.

Le treuil, entièrement automatique, est commandé à la vapeur ou par l'électricité, qui dépense 30 à 40 p. 100 moins de vapeur, mais coûte d'établissement deux fois plus cher que la machine à vapeur.

Le treuil à vapeur est commandé (fig. 4) par une machine verticale à deux cylindres, réversible, attaquant par engrenages deux tambours de 1^m,70 de diamètre, dont l'arbre porte, à son extrémité filetée, deux écrous ajustables, qui, au bout de leur course, sont entraînés dans la rotation de l'arbre, et agissent sur la prise de vapeur et le frein de manière à ralentir, puis arrêter les bennes aux points voulus.

Les treuils électriques sont commandés par des dynamos de 120 à 150 chevaux, avec frein et rhéostat de ralentissement actionnés aussi automatiquement.

Sur la grande plate-forme du gueulard, se trouve une grue de secours, pour enlever la grande cloche et son anneau, ce qui se fait après avoir enclanché le tube de la petite cloche avec la tige de la grande et défait les boulons qui relient son anneau au gueulard en donnant à son cylindre sa pleine course de levée, et en laissant redescendre la cloche et son anneau sur une paire de rails amenés à cet effet. On saisit ensuite la cloche par la grue de secours, qui l'amène sur le côté du gueulard. La nouvelle cloche est alors amenée par cette même grue, au-dessus du gueulard, sur les rails, sous la trémie, que l'on abaisse sur la cloche, laquelle est alors rattachée à sa tige. L'on enlève la cloche, la trémie et l'anneau au-dessus des rails, que l'on enlève, puis on abaisse le tout dans sa position définitive; on revisse les boulons d'attache de l'anneau, et on sépare la tige de la grande cloche du tube de la petite. Il faut, avec huit hommes, environ trois heures pour changer une cloche, de sorte que cette opération est relativement très rapide et facile.

PROFILOGRAPHIE POUR ENGRENAGES

On sait qu'on est obligé, le plus souvent, de remplacer les profils théoriquement exacts des dents d'engrenages en cycloïde ou en développante par des profils formés d'arcs de cercle.

Pour faciliter le tracé de ces arcs, on peut utiliser le procédé suivant, indiqué par M. Franz Haas (1) :

Le profil adopté pour les dents de la roue A (fig. 1) est découpé dans un carton en grandeur naturelle ou amplifiée et posé sur un autre carton B, de façon que les circonférences primitives de deux engrenages se touchent; les deux cartons sont fixés aux centres A et B sur une planche. En faisant tourner les deux roues, et en traçant la suite des positions du profil de la dent de A sur la feuille B, on obtient l'enveloppe de ce profil qui est le profil cherché de la dent de B.

Ce procédé a servi de base à la construction du profilographe. Lorsqu'on adopte, pour le flanc de la dent, un arc de cercle de centre O, on peut, au lieu d'employer un gabarit de rayon ρ , décrire le flanc de la dent en faisant tourner le centre O avec la circonférence primitive autour de A. Dans ce cas, A et B sont fixes et O tourne autour de A. On peut également prendre A et O comme points fixes et faire tourner B autour de A. Le cercle primitif B roulera sur celui de A si l'on dispose en C (fig. 1), un galet qui imprime au cercle de B, lors de sa rotation de B autour de A, au cercle B, un roulement sur le cercle A.

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 16 mai 1903.

En figure 2, un compas peut tourner autour de A et on y fixe en B une feuille de papier sur laquelle il faut tracer le profil de la dent. En C (point où se touchent les cercles primitifs) le compas porte un galet qui imprime au papier la rotation autour de

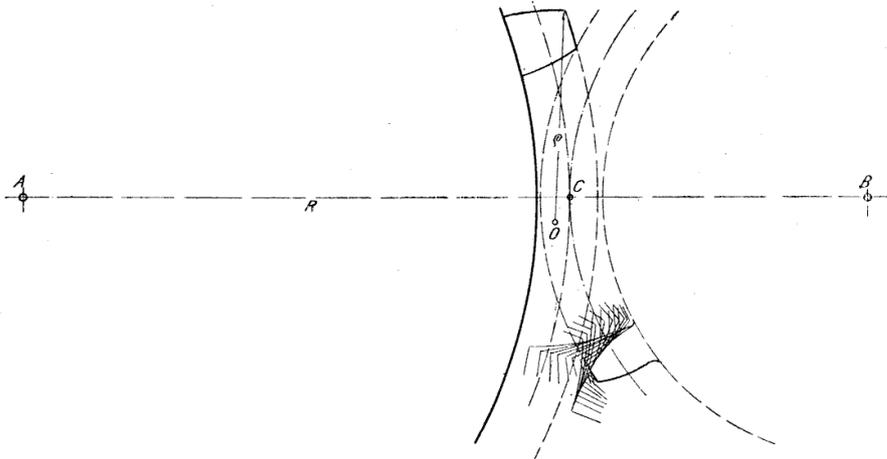


Fig. 1.

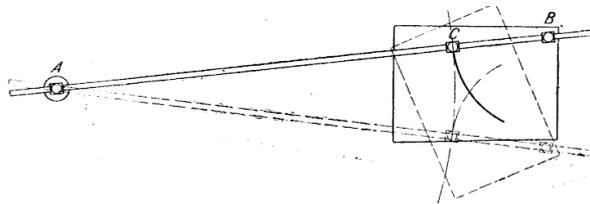


Fig. 2.

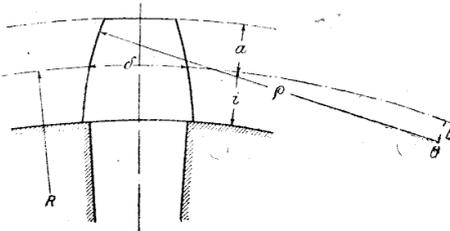


Fig. 3.

B; autour du point fixe O (fig. 1) oscille le crayon. La position du point A est déterminée par la distance entre O et A, égale à $R + E$, ainsi que par la longueur a (fig. 3).

L'amplitude de l'oscillation du crayon est, dans les appareils exécutés, de 50 millimètres, ce qui est suffisant pour tous les cas; le rayon ρ de la génératrice est de

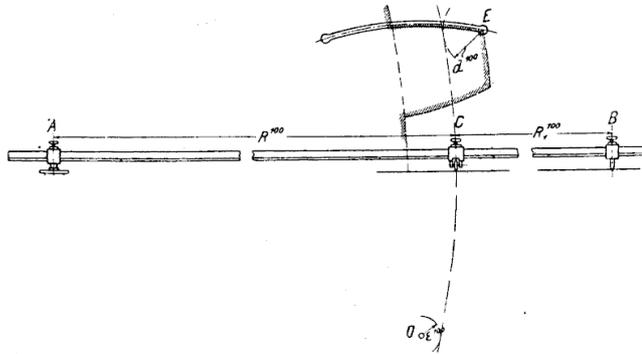


Fig. 4.

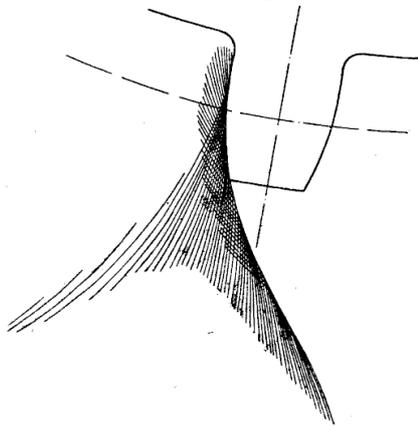


Fig. 5.

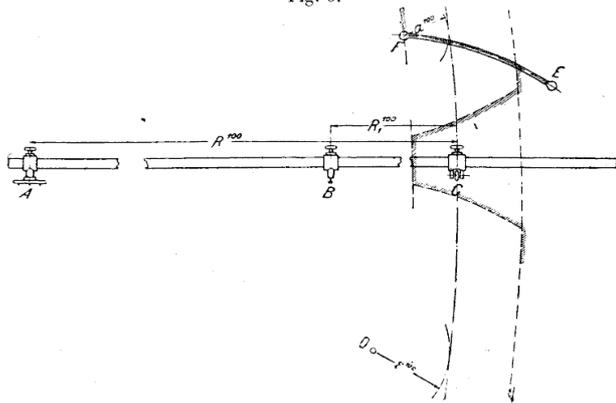


Fig. 6.

400 millimètres. Par conséquent, toutes les données doivent être réduites dans le

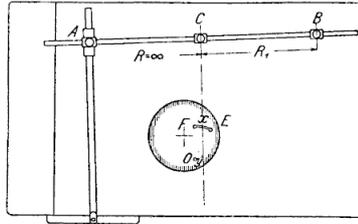


Fig. 7.

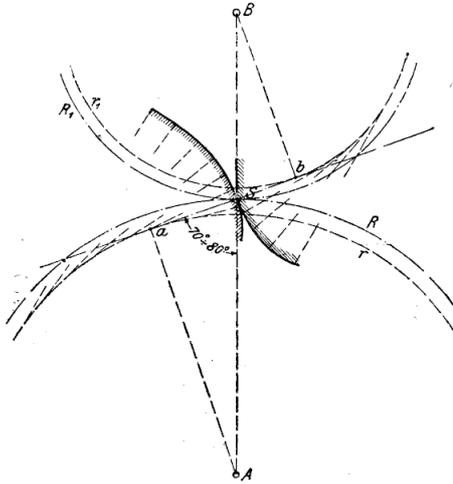


Fig. 8.

rapport de 100 à ρ , donné ou adopté. Le tracé du profil de la dent est alors opéré de la manière suivante :

On se donne;

- R, rayon du cercle primitif de A ;
- R^1 , rayon du cercle primitif de B ;
- ρ , rayon de courbure du flanc de la dent de A ;
- E, distance entre le centre O de ce flanc et le cercle primitif A ;
- a , saillie de la dent (hauteur au-dessus du cercle primitif) ;
- i , hauteur de la dent en dedans du cercle primitif ;
- t , pas ;
- δ , épaisseur de la dent de la roue A ;
- δ' , épaisseur de la dent de la roue B.

Ces grandeurs, réduites dans le rapport $\frac{\rho}{100}$, sont désignées respectivement par R^{100} , R_1^{100} , etc.

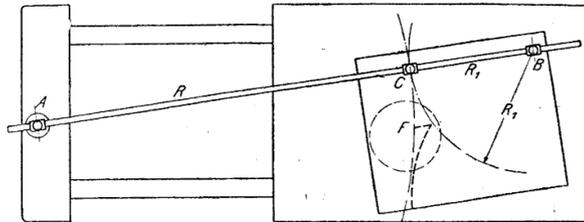


Fig. 9.

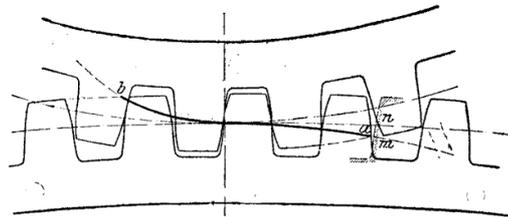


Fig. 10.

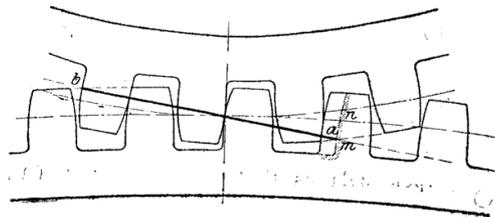


Fig. 11.

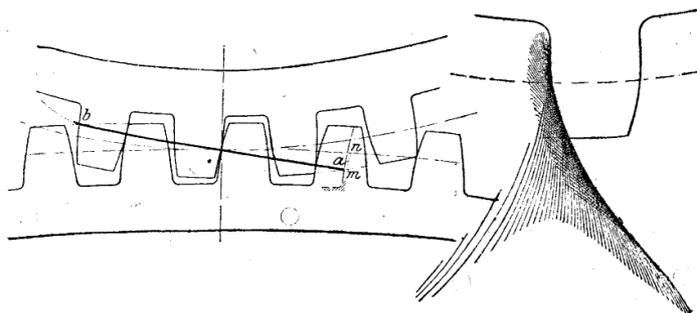


Fig. 12.

Pour les roues coniques, on prendra les rayons :

$$R_c = \frac{R}{\cos \alpha}, \quad R'_c = \frac{R'}{\sin \alpha}, \quad \text{d'où } \operatorname{tg} \alpha = \frac{R'_c}{R_c}$$

On placera ensuite le point A (fig. 4) de façon que $AC = R^{100}$ et $BC = R_1^{100}$ et que le galet, placé en C, décrive une circonférence distante de a^{100} du point extrême E de la pointe à tracer et de E^{100} du centre de rotation O de la génératrice. Cette dernière distance (E^{100}) doit être prise de O vers A, lorsque O se trouve *au-dessus* du cercle primitif A et dans le sens contraire lorsque O est *au-dessous* de ce cercle. On trouve facilement le point A par tâtonnement.

Ayant fixé le papier en B, si l'on met en mouvement le crayon oscillant et fait tourner le compas avec le papier, autour de A, le crayon décrira sur le papier l'en-



Fig. 13.

veloppe de la dent de B. En tâtonnant avec le compas, on peut facilement trouver un cercle d'opposition, et déterminer E_1^{100} et ρ_1^{100} .

Ainsi que le montre la figure 5, l'appareil décrit complètement le flanc de la dent.

Dans le cas des couronnes dentées (fig. 6), on aura soin de porter la hauteur a^{100} à partir du point F, vers l'extérieur.

Sur le compas, on visse une douille demi-ronde qui peut être facilement déplacée sur la règle de même forme (fig. 7). Le galet C passe alors par les deux points x et y .

On peut faire également usage du profilographe pour tracer les flancs des dents de roues en série. On sait que l'on obtient des profils exacts des dents de cercles primitifs R et R_1 (fig. 8), en traçant par le point S une droite ab , inclinée de 75° environ sur AB, abaissant les deux perpendiculaires Bb et Aa sur ab , décrivant des cercles avec Bb et Aa comme rayons, et déroulant ensuite ab sur le cercle r et ba sur le cercle r_1 . Les développantes de cercle ainsi obtenues constituent les flancs correspondants des dents. La figure 9 montre de quelle façon l'on peut tracer ces développantes au moyen du profilographe.

Dans le cas d'un engrenage cycloïdal (fig. 10), les rayons des cercles roulants sont égaux au $1/4$ des rayons des cercles primitifs. Pour les engrenages à développantes (fig. 11), l'angle est de 80° . Les engrenages représentés par la figure 12 ont été tracés par le procédé direct, d'après un profil donné des dents de la grande roue. Si l'on veut avoir un engrenage cycloïdal, on place les points C et B (fig. 13) à la distance $W = R \sin 75^\circ$.

LES MACHINES A VAPEUR RAPIDES POUR L'ÉLECTRICITÉ d'après M. T. H. Minshall (1).

Les machines à simple effet de Willans et de Westinghouse ont fait faire un grand pas à la question des machines rapides économiques et régulières, puis l'introduction

(1) *Institution of Civil Engineers*, London, décembre 1902.

du graissage forcé par Belliss permet de faire marcher les machines à double effet aussi vite que celles à simple effet; en Angleterre, les machines rapides ont acquis rapidement la faveur des électriciens, au point que les grandes stations en emploient aujourd'hui autant que de machines lentes.

Chaque type de distribution a sa limite de vitesse : environ 120 tours par minute pour les Corliss usuelles à déclat; au delà de 180 tours, il faut employer des tiroirs cylindriques, et la limite de vitesse est rapidement atteinte par la difficulté d'obtenir un bon échappement avec des lumières et des tiroirs de dimensions normales.

Les difficultés provenant des vibrations et des forces d'inertie, en partie vaincues par une application intelligente de la compression, sont très graves pour les machines à simple et double manivelle, mais considérablement atténuées par l'emploi de trois manivelles avec attirails de poids égaux et six ou neuf cylindres en tandem deux à deux. Les triples expansions à trois cylindres et trois manivelles, et même les compoonds bien équilibrés, donnent d'excellents résultats. L'équilibrage des machines à triple expansion et trois manivelles, avec attirails de même poids, se fait exactement sans l'emploi de contrepoids; on en construit jusqu'à 2 000 chevaux; au delà, il conviendrait d'ajouter un cylindre avec équilibrage analogue à celui de Schlick, permettant de diminuer le poids du grand piston, ce qui compenserait l'encombrement et l'augmentation de dépense de vapeur fréquente dans ce cas.

Jusqu'à une certaine vitesse, les forces d'inertie des pièces en mouvement alternatif, qui sont maxima aux fonds de courses, peuvent devenir avantageuses en augmentant la régularité du couple de rotation, comme dans la machine classique de Porter, où l'on augmentait, à cet effet, la masse du piston; cette inertie empêche le renversement brusque des efforts aux fonds des courses et l'amène graduellement même sans compression. Dans certains cas, l'accroissement de pression sur la bielle, due à cette inertie, dépasse la pression de la vapeur et l'on arrive, dans certaines machines, comme celle de Willans, à éviter entièrement les brusques changements de sens des efforts. Dans les machines à simple effet, c'est possible par la compression seule, mais pas dans les machines à double effet et de condensation. L'inertie des grands tiroirs occasionne souvent des chocs, auxquels on peut remédier par l'emploi de cylindres amortisseurs spéciaux à compression.

Le graissage forcé des portées a singulièrement amélioré les machines rapides à double effet; mais le graissage des cylindres présente encore de sérieuses difficultés, augmentées d'ailleurs par l'emploi de la vapeur surchauffée. L'emploi d'un mélange de graphite et d'huile, ou même de graphite seul, a donné des résultats contestés; la présence du graphite augmenterait la condensation initiale sur les parois des cylindres.

Le réglage des machines à grande vitesse est aussi satisfaisant que celui des machines lentes. Les variations de vitesse peuvent se diviser en variations permanentes, temporaires et instantanées. Les variations permanentes dues à des variations de la charge peuvent être rendues aussi faibles que l'on veut par l'emploi de ressorts de régulateur très sensibles, et en évitant les battements au moyen de dash-pots amortisseurs. Dans certains cas, l'emploi simultané des réglages par étranglement et par détente de la vapeur a donné l'isochronisme sur des machines à grandes vitesses. Les variations temporaires dues à celles de la charge sont atténuées principalement par le volant, et sans difficulté dans les machines rapides. Les variations instantanées, qui se présentent notamment dans la marche avec alternateurs en parallèle, peuvent s'atténuer mécaniquement par l'emploi de régulateurs sensibles à dash-pot et de

volants, et électriquement par l'emploi de conducteurs entre les pièces polaires ou d'un amortisseur analogue à celui de Leblanc, mais au détriment du rendement de la machine. On a souvent exigé, des machines commandant les dynamos, une action du régulateur beaucoup trop sensible, amenant des battéments, que l'on fait parfois disparaître en supprimant le régulateur et en agissant sur la prise de vapeur. Néanmoins, pour chaque machine, il y a un déplacement angulaire ou décalage maximum compatible avec la marche en parallèle, et ce décalage, variable entre 2 et 2°,5, est plus grand avec les machines rapides; la considération de ce décalage intervient autant que celle du réglage sous charges variables dans la détermination des volants. Le tableau ci-dessous donne les masses des volants nécessaires pour maintenir à 1 : 300 la variation cyclique, ou par tour de la vitesse avec différents types de moteurs d'une puissance électrique de 410 chevaux. Avec un même facteur de sûreté, le poids du volant est beaucoup moindre dans les moteurs à grandes vitesses; on peut y employer la fonte sans danger, tandis, qu'avec les machines lentes, il faut avoir recours à des constructions spéciales coûteuses.

Machines.	Tours par minute.	Variation de la puissance p. 100.	Puissance du volant nécessaire en mètres-tonnes		Poids du volant à la jante en négligeant l'action de volant des autres pièces tournantes du moteur.		Diamètre de gyration pour une vitesse de gyration de 24 ^m par sec.
			totale.	par cheval électrique.	500 kgr.	—	
3 manivelles, double effet, complète sur chaque manivelle	350	3,1	45	0,036	500 kgr.	1 ^m ,30	
3 manivelles : triple expansion; puissances: 6:5:4.	350	6,6	32	0,080	1 100 —	„	
3 manivelles, simple effet, machine complète sur chaque manivelle . . .	350	11,5	60	0,15	2 000 —	„	
2 manivelles opposées. . .	350	29,2	145	0,35	5 000 —	„	
1 manivelle horizontale. .	180	34,2	240	0,60	8 000 —	„	

Il règne encore une incertitude en ce qui concerne le rendement organique des machines à vapeur lentes, et l'on est mieux fixé en ce qui regarde les machines rapides. Le frottement organique tantôt augmente tantôt baisse avec la charge de la machine. Pour les machines lentes, le rendement organique varie de 88 à 91 p. 100, non compris la pompe à air. Avec le graissage forcé, les machines à double effet, rapides, à deux et trois cylindres, atteignent des rendements de 92 à 94 p. 100, jusqu'à 96, 3 p. 100, pour une machine Belliss essayée par l'auteur, et ce rendement est encore très élevé en faibles charges; 85 p. 100 par exemple aux trois quarts de charge.

Avec les machines rapides à double effet, la condensation initiale aux cylindres est faible, ainsi que l'avantage des enveloppes de vapeur, mais les avantages de la surchauffe sont plus considérables que dans les machines lentes. Les causes qui empêchent le rendement des machines rapides d'atteindre ce que promettait leur vitesse sont l'augmentation de l'espace nuisible des cylindres et des distributeurs cylindriques, leurs fuites, et les défauts de cette distribution dans les moteurs à double effet.

Avec les tiroirs cylindriques, l'espace nuisible atteint, en effet, souvent 7 p. 100 de la cylindrée; mais son action est, en partie, atténuée par la compression élevée.

L'économie de la surchauffe, dans les machines rapides, tient, en partie, à ce qu'elle diminue les fuites des tiroirs cylindriques, résultat dû à la dilatation plus

grande du métal. La faible surchauffe obtenue en étranglant la prise de vapeur rend la marche plus économique que sans ce laminage; mais la haute surchauffe ne doit guère être employée qu'avec des cylindres parfaitement rodés. Les réchauffeurs intermédiaires ne paraissent pas donner des bénéfices en rapport avec leur prix.

Les enveloppes de vapeur ne sont guère employées avec la surchauffe. En général, elles sont de peu d'utilité avec les machines rapides, principalement parce que leur chaleur n'a pas le temps de se transmettre à la vapeur dans le cylindre. D'autre part, l'enveloppe de vapeur forme un excellent isolant quand elle est pleine d'air et permet de réchauffer facilement les cylindres à la mise en train, avantages suffisants pour en justifier la dépense.

La condensation est moins avantageuse avec les machines rapides qu'avec les lentes parce que la pression au cylindre d'échappement y est souvent supérieure de 50 à 70 millimètres à celle même du condenseur, tandis que cette surpression ne dépasse guère 15 millimètres avec les machines lentes; ceci tient à l'éloignement des machines rapides de leur condenseur, séparé en raison de la difficulté de faire marcher les pompes à air au delà de 200 à 230 tours par minute. En outre, la résistance des lumières à l'échappement aux grandes vitesses contribue aussi à diminuer le vide au cylindre, principalement en raison de l'obligation de fermer l'échappement assez avant pour assurer une grande compression.

Le réglage par étranglement de la prise de vapeur, plus économique que celui par détente au-dessous d'une certaine charge, suffit pour les allures peu variables de l'éclairage électrique, mais, pour les régimes très variables, comme ceux des machines de traction, le réglage par détente devient nécessaire; quant à l'économie, les deux réglages sont presque équivalents.

Avec le réglage par étranglement, on peut, pour les surcharges ou coups de collier, employer une dérivation admettant la vapeur de haute pression aux cylindres de détente, ou augmenter l'admission au petit cylindre.

Avec des pressions d'admissions inférieures à 11 kilogrammes, la triple expansion ne présente guère d'avantage sur les machines rapides, tandis que cette économie est considérable pour des pressions plus élevées, en raison de la moindre chute de température par cylindre, de l'utilisation des fuites du second cylindre au troisième, et de la faiblesse des fuites de ce dernier, et ce, sans diminution sensible du rendement organique.

En somme, comme rendement total, les machines rapides, encore légèrement inférieures aux machines lentes en pleine charge, leur sont au moins égales en charges variables.

Les accidents aux machines rapides ne sont guère plus graves ni d'une réparation plus longue que ceux des machines lentes; les ruptures de volants y sont presque inconnues; leur entretien est bien moins coûteux; leur surveillance coûte de 60 à 75 p. 100 de moins; leur usure n'est guère plus rapide avec le graissage forcé; les alésages des cylindres n'y sont pas plus fréquents. L'entretien des machines à vapeur rapides de la station électrique de Westminster ne dépasse guère 1 fr. 25 par cheval et par an; ce sont des machines à double effet et triple expansion de 1 000 chevaux.

En raison de la perfection exigée pour leur construction, le prix des machines rapides n'est pas aussi différent qu'on le croirait *a priori* de celui des machines lentes, quand on y comprend le service de la condensation, mais on réalise une économie de 30 à 50 p. 100 sur les fondations, et aussi sur les dynamos, principalement les alternateurs. L'économie des bâtiments est aussi très considérable.

PRO CÈS-VERBAUX

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Séance du 22 mai 1903.

Présidence de *M. Voisin Bey*, vice-président.

M. Linder s'excuse de ne pouvoir assister à la séance.

CORRESPONDANCE. — *M. Collignon*, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. Bordenave, 23, rue Richer, présente un brevet pour une *Serrure avec avertisseur électrique*. (Arts mécaniques.)

M. le Dr Détourbe, 206, boulevard Raspail, présente ses *Lunettes de sûreté pour ateliers*. (Arts mécaniques.)

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés au *Bulletin* de mai.

Autorisation d'aliéner un titre de rente. — L'Assemblée générale décide l'aliénation de 600 francs de rente 3 p. 100, à prélever sur l'inscription n° 14 154, et délègue à cet effet, pour agir en son nom et signer le transfert, *M. Goupil de Préfelin*, trésorier de la Société.

Cette aliénation est destinée à solder les frais d'installation du nouveau calorifère de l'hôtel de la Société.

CONFÉRENCE. — *M. Appert* fait une conférence sur la *Fabrication mécanique des bouteilles*.

M. le Président remercie *M. Appert* de sa très intéressante conférence, qui sera reproduite au *Bulletin*.

Séance du 12 juin 1903

Présidence de *M. Linder*, président.

M. Collignon, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. Renault, 3, rue Trouillet, à Clichy, demande une annuité de brevet pour un appareil de sauvetage en cas d'incendies. (Constructions et Beaux-Arts.)

M. Chaplet, ingénieur à Laval, dépose un pli cacheté relatif à un aviateur.

M. le Ministre de l'Instruction publique invite la Société d'Encouragement à participer à l'Exposition de Saint-Louis en 1904. (Bureau.)

M. Largier, 12, boulevard des Italiens, demande une annuité de brevet pour un bec à récupération. (Arts chimiques.)

M. Aug. Coret, 53, boulevard Bineau, à Neuilly, adresse à la Société une lettre par laquelle il revendique la priorité de l'idée de faire entretenir continuellement le mouvement d'une horloge, c'est-à-dire de la faire remonter automatiquement, par les dilatations d'un appareil flexible contenant de l'alcool, sous l'influence des variations de la température de l'air ambiant. En effet, en octobre 1876, il adressa, du Bourg-Saint-Andéol, à la Société d'Encouragement, une horloge de ce système.

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la page 916 du présent Bulletin.

RAPPORTS DES COMITÉS. — Est lu et approuvé le rapport présenté par *M. Barbet*, au nom du Comité des Arts mécaniques, sur un mécanisme de commande d'outils mobiles, par *M. Fromholt*.

COMMUNICATIONS. — *MM. Marot* et *Delafon* présentent à la Société un moteur à cylindres tournants et une pile à liquide immobilisé.

M. le Président remercie *MM. Marot* et *Delafon* de leurs intéressantes communications, qui sont renvoyées aux comités des Arts mécaniques et des Arts économiques.

LIVRES ET OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN JUIN 1903

Du Ministère du Commerce. Exposition de 1900. **Rapport général administratif et technique** par M. A. Picard, vol. 2, et *Rapports du Jury international.* Groupe VI. **Génie civil. Moyens de transport** (2^e partie). Groupe XIV. **Industries chimiques.** Groupe XV. **Industries diverses.** Classes 98 à 100. Groupe VII. **Agriculture.** Groupe XVI. **Economie sociale, Hygiène, Assistance publique.** Groupe XII. **Décoration et mobilier,** 8 vol. in-4^o. Imprimerie nationale.

De M. Davanne. **Musée rétrospectif de la classe 12 (Photographie)** à l'Exposition de 1900, in-4^o, 200 p. et planches. Paris, Belin.

De M. P. Larivière. **Le musée rétrospectif du métal à l'Exposition de 1900 (Classe 63),** in-4^o, 156 p., nombreuses figures et planches. Paris, Belin.

Traité de chimie industrielle, par MM. Wagner, Fischer et Gautier, 4^e éd. française, vol. 2, in-8^o, 880 p., 300 fig. Paris, Masson.

Handbuch der Arbeiterwohlfahrt, par M. O. Dammer, vol. 2, in-8^o, 490 p. Stuttgard, Enke.

De M. Pinat. **Le congrès de la houille blanche.** 16 brochures.

Théorie des moteurs à gaz, par M. G. Moreau, in-8^o, 224 p. Paris, Béranger.

Essais des machines électriques à courant continu et alternatif, par MM. Duquesne et Rouvière, in-8^o, 352 p., 233 fig. Paris, Béranger.

Institution of Civil Engineers London, Proceedings, vol. CLI (1902-1903).

Les instruments de précision, par M. d'Ocagne. Conférence faite au Conservatoire des arts et métiers, in-8^o, 39 p., publiée par le syndicat des constructeurs d'instruments d'optique et de précision, 28, rue Serpente, Paris.

De la Royal Society of Edinburgh. **Transactions,** vol. XLI et XLII. **Proceedings.** vol. XXIII.

Leçons sur les moteurs d'automobiles et les applications de l'alcool au chauffage, à l'éclairage et à la force motrice, professées à la Faculté des sciences de Bordeaux, par M. L. Marchis, in-8^o, 540 p. autographiées, Paris, Dunod.

Agenda des ingénieurs agricoles, par M. Vermorel, in-18, 300 p. Paris, Librairie agricole.

Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole, par M. A. Witz, vol I, in-8^o, 500 p., 140 fig., Paris, Bernard.

Les progrès de la sidérurgie allemande. L'Exposition de Dusseldorf en 1902, par M. M. Métayer. In-8^o, 114 p., publié par le Comité des forges de France.

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Mai au 15 Juin 1903

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

<i>Ag.</i> . . .	Journal de l'Agriculture.	<i>Ms.</i> . . .	Moniteur scientifique.
<i>Ac.</i> . . .	Annales de la Construction.	<i>MC.</i> . . .	Revue générale des matières colorantes.
<i>ACP.</i> . . .	Annales de Chimie et de Physique.	<i>N.</i> . . .	Nature (anglais).
<i>AM.</i> . . .	Annales des Mines.	<i>PC.</i> . . .	Journal de Pharmacie et de Chimie.
<i>AMA.</i> . . .	American Machinist.	<i>Pm.</i> . . .	Portefeuille économ. des machines.
<i>Ap.</i> . . .	Journal d'Agriculture pratique.	<i>RCp.</i> . . .	Revue générale de chimie pure et appliquée.
<i>APC.</i> . . .	Annales des Ponts et Chaussées.	<i>Rgc.</i> . . .	Revue générale des chemins de fer et tramways.
<i>Bam.</i> . . .	Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.	<i>Rgds.</i> . . .	Revue générale des sciences.
<i>BMA.</i> . . .	Bull. du ministère de l'Agriculture.	<i>Ri.</i> . . .	Revue industrielle.
<i>CN.</i> . . .	Chemical News (London).	<i>RM.</i> . . .	Revue de mécanique.
<i>Cs.</i> . . .	Journal of the Society of Chemical Industry (London).	<i>Rmc.</i> . . .	Revue maritime et coloniale.
<i>CR.</i> . . .	Comptes rendus de l'Académie des Sciences.	<i>Rs.</i> . . .	Revue scientifique.
<i>DoL.</i> . . .	Bulletin of the Department of Labor, des États-Unis.	<i>Rso.</i> . . .	Réforme sociale.
<i>Dp.</i> . . .	Dingler's Polytechnisches Journal.	<i>RSL.</i> . . .	Royal Society London (Proceedings).
<i>E.</i> . . .	Engineering.	<i>Rt.</i> . . .	Revue technique.
<i>E'</i> . . .	The Engineer.	<i>Ru.</i> . . .	Revue universelle des mines et de la métallurgie.
<i>Eam.</i> . . .	Engineering and Mining Journal.	<i>SA.</i> . . .	Society of Arts (Journal of the).
<i>EE.</i> . . .	Eclairage électrique.	<i>SAF.</i> . . .	Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
<i>Elé.</i> . . .	L'Électricien.	<i>SeP.</i> . . .	Société chimique de Paris (Bull.).
<i>Ef.</i> . . .	Économiste français.	<i>Sie.</i> . . .	Société internationale des Électriciens (Bulletin).
<i>EM.</i> . . .	Engineering Magazine.	<i>SiM.</i> . . .	Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.
<i>Es.</i> . . .	Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).	<i>SiN.</i> . . .	Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
<i>Fi.</i> . . .	Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).	<i>SL.</i> . . .	Bull. de statistique et de législation.
<i>Gc.</i> . . .	Génie civil.	<i>SNA.</i> . . .	Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
<i>Gm.</i> . . .	Revue du Génie militaire.	<i>SuE.</i> . . .	Stahl und Eisen.
<i>IC.</i> . . .	Ingénieurs civils de France (Bull.).	<i>USR.</i> . . .	Consular Reports to the United States Government.
<i>Ie.</i> . . .	Industrie électrique.	<i>VDI.</i> . . .	Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
<i>Im.</i> . . .	Industrie minérale de St-Étienne.	<i>ZOI.</i> . . .	Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten-Vereins.
<i>IME.</i> . . .	Institution of Mechanical Engineers (Proceedings).		
<i>IoB.</i> . . .	Institution of Brewing (Journal).		
<i>La.</i> . . .	La Locomotion automobile.		
<i>Ln.</i> . . .	La Nature.		
<i>Lo.</i> . . .	Locomotion.		

AGRICULTURE

- Agriculture en Angleterre.* SNA. *Avril*, 378.
 — aux États-Unis. *Ef.* 23 *Mai*, 6-13 *Juin*, 743, 818, 857.
Apiculture. La loque et les fourmis. *Ap.* 28 *Mai*, 691.
Bétail. Commerce à Paris. SNA, 29 *Avril*, 311.
 — Principes organiques du corps des animaux (Grandeau). *Ap.* 28 *Mai*, 689.
 — Dischley mérinos de Grignon. *Ag.* 18 *Mai*, 690.
 — Sérothérapie anti-aphteuse. *Ap.* 30 *Mai* 847.
 — Aliments du bétail : l'eau (Grandeau). *AP.* 4 *Juin*, 721.
 — Tondeuse australienne. *Ap.* 11 *Juin*, 766.
Beurves australiens. *Ap.* 11 *Juin*, 755.
Bois (Industrie du). *Ri.* 23 *Mai*, 208.
Chevaux. Race percheronne. *Ap.* 4-11 *Juin*, 724, 761.
Irrigations aux Indes (Chailley-Bert). *Rgds.* 15 *Mai*, 480; 30 *Mai*, 543.
Lait. Commerce et répression des fraudes (Cruvelhier). *Bs.* 23 *Mai*, 653.
 — Production et commerce. *Ap.* 4 *Juin*, 435.
 — Stérilisation. *Ag.* 23 *Mai*, 825.
 — Cryoscopie. *Id.* 6 *Juin*, 905.
Machines agricoles (Les). *E'*. 12 *Juin*.
 — Supplément au concours de Paris. *Ag.* 23 *Mai*, 819; 13 *Juin*, 940.
Oliviers (Soins à donner aux). *Ag.* 6 *Juin*, 889.
Poules. Race combattant anglais. *Ap.* 4 *Juin*, 732.
Sanves (Destruction des) (Hitier). *Ap.* 21 *Mai*, 4-11 *Juin*, 638, 731, 734.
Vigne. Concentration des vins (Marre). *Rep.* 17 *Mai*, 202.
 — (Brunissure de la). *Ag.* 13 *Juin*, 929.
- CHEMINS DE FER**
- Accidents.* Prompts secours. *Gc.* 6 *Juin*, 87.
Chemin de fer du Queensland. *E.* 5 *Mai*, 734.
 — algériens et tunisiens en 1899-1900. *Rgc.* *Juin*, 370.
 — en Afrique. *Id.*, 380.
 — électriques, métropolitain de Paris. *Le.* 10 *Juin*, 246.
 — — Bertin-Lichterfeld. *VDI.* 13 *Juin*, 849.
Chauffage des trains par l'électricité (Reynal). *EE.* 6 *Juin*, 372.

- Éclairage des trains* à l'acétylène. *Ln.* 13 *Mai*, 385.
 — à l'incandescence, gaz. Chemin de fer de l'Ouest. *Rgc.* *Juin*, 300.
Freins Westinghouse perfectionné. *Rt.* 10 *Juin*, 335, électromagnétique. *Sic.* *Mai*, 261.
Gare de triage de Chicago. *Rgc.* *Juin*, 362.
Locomotives à vapeur surchauffée (Bernier). *VDI.* 23-30 *Mai*, 730, 779. (Mallet) *IC.* *Juillet*, 612.
 — à foyer au pétrole en Amérique. *Rgc.* *Juin*, 387.
 — modernes (Kupka). *RM.* *Mai*, 497.
 — Compound à 8 roues couplées du méditerranéen italien. *E.* 5 *Juin*, 749.
 — simple à 6 roues couplées du Chicago-Alton. *Rgc.* *Juin*, 388.
 — Consolidation du South Buffalo. *RM.* *Mai*, 495.
 — Distribution Youghusland, Michel. *RM.* *Mai*, 500.
 — Pare-étincelles Wainvraight. *RM.* *Mai*, 503.
 — Surchauffeur Pokyvenike. (*Id.*). 505.
 — Automotrice à vapeur du London and South Western. *E.* 23 *Mai*, 683.
 — Chargement du charbon au dépôt de Fond-du-Lac. *Gc.* 23 *Mai*, 61.
Matériel roulant à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 30 *Mai*, 776; 13 *Juin*, 839.
 — Boite à graisse Potel. *Bam.* *Mai*, 648.
 — Symington. *RM.* *Mai*, 505.
 — Essieux creux Mercader. *RM.* *Mai*, 464.
 — Serrure de sûreté Core. *Id.* 622.
 — Wagons à grande capacité de l'État prussien. *Rgc.* *Juin*, 385.
Signaux et enclenchements électro-pneumatiques. *E.* 5 *Juin*, 742.
 — pétard pour brouillards. Clayton. *E.* 5 *Mai*, 740.
 — Postes électriques Taylor de la gare de Pélang. *Rgc.* *Juin*, 347.
Voie. trénaïl Collet. *Gm.* 23 *Mai*, 60. Lakhowsky. *Id.*, 13 *Juin*, 107.
 — Construction d'une voie ferrée normale au camp de Châlons en 1902. *Gm.* *Mai*, 425.

TRANSPORTS DIVERS

- Automobiles.** Course Paris-Madrid. *Lo.* 20-30 *Mai*, 322, 337. *E'*. 29 *Mai*, 547.

- Automobiles** (Pratique des). *E'*. 5 Juin, 547.
 — à pétrole de Diedrich. *Lo.* 23 Mai, 326.
 — — de Dion-Bouton (populaire). *Lo.* 23 Mai, 333.
 — — Renault, 14 ch. *La.* 21 Mai, 326.
 — — Louet, 18 ch. *La.* 11 Juin, 374.
 — — Cottereau. *Lo.* 13 Juin, 378.
 — Châssis à entrée latérale. *Lo.* 23 Mai, 329.
 — Ressorts (Attache des). *Lo.* 6 Juin, 866.
Locomotive routière à grue Clayton et Shuttleworth. *E.* 12 Juin, 793.
Tramways électriques en Angleterre. *Élé.* 23 Mai, 329.
 — — aux États-Unis. *Ri.* 6 Juin, 227.
 — — du London United. *E.* 5 Juin, 571.
 — — de Berlin-Lichterfelde VDI, 6 Juin, 801.
 — à contact de la General Electric. *E.* 29 Mai, 711.
Vélocipèdes (Progrès des). *Ln.* 30 Mai, 440.
 — Chaîne démontable Tezzot. *Lo.* 13 Juin, 377.

CHIMIE ET PHYSIQUE

- Acétylène* bibromé (Lenoult). *CR.* 6 Juin, 1333.
Acide silicique et silicates alcalino-terreux (Kanter). *ScP.* 5 Juin, 278.
Alcool. Formation dans les jus sucrés qui fermentent (Gautier et Halphen). *CR.* 8 Juin, 1373.
Argent colloïdal (Chassevent et Posternak). *ScP.* 5 Juin, 543.
Baryum. Préparation de sous-sels (Guntz). *ScP.* 5 Juin, 483, 490.
 — Action du gaz ammoniac à basse température (Mentrel). *Id.* 493.
Cellulose soluble (Vignon). *ScP.* 5 Juin, 513.
Caoutchouc. Estimation de la gutta-percha (Markwald et Frank). *CN.* 5 Juin, 266.
Brasserie. Levures à tendances héréditaires. *IoB.* Avril, 222.
 — Réfrigération en brasserie (Harrap). *IoB.* Avril, 246.
Chaux et Ciments. Portland fabriqué avec du laitier (Schwartz). *E'*. 22 Mai, 529.
 — Influence de l'humidité sur les ciments étuvés contenant du sulfate de chaux. *Le Ciment.* Mai, 68.
 — Divers. *Cs.* 30 Mai, 629.
Chlorure plombico-ammoniacal. Préparation (Seyewetz et Trawitz). *Sep.* 20 Mai, 432.
Cæsium-ammonium et rubidium-ammonium (Moissan). *CR.* 18 Mai, 1177.
 — Action de l'acétylène. Préparation du carbure de cæsium et de rubidium. *Id.*, 1217.
Dissociation (Courbes de) (Bouzat). *CR.* 8 Juin, 1395.
Dissolutions. Constante physique des corps dissous (Colson). *Acp.* Juin, 276.
Fluor liquide; combinaisons à — 187°; solide à — 252°, 5; combinaison avec l'hydrogène liquide (Dewar et Moissan). *ScP.* 20 Mai, 444, 448.
Gaz d'éclairage. Ventilateur compresseur Bouvier. *Ri.* 23 Mai, 204.
Graisses (Problème de l'industrie des) (Lewkowitzsh). *Cs.* 30 Mai, 592.
Hydrogène combiné dans le cuivre recuit (Leduc). *CR.* 25 Mai, 1234.
 — Purification par le froid (Renard). *CR.* 6 Juin, 1317.
Hydrures métalliques (Non-conductibilité des) de silicium, de rubidium, de cæsium (Moissan). *ScP.* 28 Mai, 443-448.
 — de potassium, combinaison avec l'acide carbonique. *Id.*, 449.
Hypochlorite de soude solide (Muspratt). *Cs.* 30 Mai, 531.
Industrie chimique en Italie. *E.* 22 Mai, 680.
Iridium (Analyse des osmiures d') (Leidié et Quenessen). *CR.* 8 Juin, 1399.
Laboratoire. Divers. *Cs.* 30 Mai, 650.
 — Dosage des corps halogènes dans les composés organiques (Baubigny et Chavanne). *CR.* 18 Mai, 1197.
 — Dosage de la glycérine, nouveau procédé (Buisène). *CR.* 18 Mai, 1204.
 — — du manganèse dans les aciers. *Rt.* 10 Juin, 327.
 — Tincométrique du chrome dans les tissus (Richardson et Hanson). *Cs.* 30 Mai, 614.
 — Électrolytique des métaux, emploi d'une cathode tournante (Gooch et Medevay). *CN.* 12 Juin, 284.
 — Précipitation du manganèse par l'acide persulfurique en liqueur acide (Baubigny). *CR.* 6 Juin, 1325.
 — Recherche du plomb et du manganèse (Trillat). *CR.* 18 Mai, 1205.
 — — de l'arsenic dans les animaux (G. Bertrand). *ACP.* Juin, 242.

- Laboratoire.** Lunette pyrométrique à réticule thermométrique. *Gc.* 30 Mai, 72.
 — Analyse du ferro-chrome (Jaboulay). *RCp.* 17 Mai, 210.
 — — de la colle forte et de la gélatine (Muller). *Ms.* Juin, 438.
 — Compte-gouttes normal. Étude comparée (Yvon). *Pc.* 11^{er} Juin, 308.
- Lithium.** Réduction du carbonate par la chaleur (Lebeau). *CR.* 25 Mai, 1234.
- Matière** (Idées modernes sur la) (Crookes). *CN.* 12 Juin, 277.
- Nitrocellulose.** Constitution (Vignon). *ScP.* 5 Juin, 509.
- Noir animal** (Matière carbonatée du) (Patterson). *Cs.* 30 Mai, 608.
- Optique.** Polarisation de la lumière diffusée par réfraction (Lafay). *CR.* 25 Mai, 125.
 — Aberration zonale des lentilles (Everett). *RSL.* 4 Juin, 509.
- Papier.** Fabrique de papier et de cellulose à Rumford-Falls. *Gs.* 13 Juin, 104.
- Peinture pour la conservation des métaux.** *Ef.* 22 Mai, 509. *Technology Quarterly.* Mars, 32.
- Photographie.** Divers. *Ms.* Juin, 383, 391.
 — Voile dichroïque (Lumière et Seyewetz). *id.*, 393.
- Plomb.** Action de l'eau distillée (Clowes). *Cs.* 30 Mai, 606.
- Radio-activité.** Plomb radio-actif (Hofmann et Wolf). *CN.* 22 Mai, 241.
 — Nature des corps radio-actifs (Re). *CR.* 8 Juin, 1393.
 — Siliciures de chrome (Lebeau et Figueras). *CR.* 6 Juin, 1329.
- Rayons X.** État actuel (Wilbert). *Fi.* Juin 401.
- Radium** (Propriétés des émanations du) (Crookes). *CN.* 22 Mai, 241. (Curie et Daune). *CR.* 6 Juin, 1317.
- Sucrierie.** Divers. *Cs.* 30 Mai, 643.
- Sulfate d'ammoniaque** (Danger caché des saturateurs de) (Carrilla). *Cs.* 27 Mai, 607.
- Sulfate de soude en dissolution** (État du) (Marre et Marquis). *ScP.* 20 Mai, 424.
- Teinture.** Divers. *MC.* 1^{er} Juin, 161; *Cs.* 30 Mai, 621, 622.
 — Influence des substitutions dans les diphenylamines génératrices de couleurs sulfurées directes (Vidal). *Ms.* Juin, 427.
- Teinture.** Utilisation des vapeurs nitreuses résiduelles de la préparation des persels par l'acide nitrique. (Blondel). *MC.* 1^{er} Juin, 161.
 — Emploi du bleu de nitroso sur tissus de soie (Sifferlen). *Id.*, 162.
 — Enlevages colorés au chromate et à l'oxalate de potasse sur bleu cuvé (Sandmeyer). *Id.*, 163.
 — Colorants phénoliques (Perkin). *Cs.* 30 Mai, 600.
- Verre** (Influence du cuivre sur l'argenterie du) (Vignon). *ScP.* 5 Juin, 315.
- Zinc et cadmium.** Sulfures cristallisés (Viard). *ScP.* 20 Mai, 454.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

- Angleterre.** Mouvement des prix. *SL.* 6 Mai, 716.
- Apprentissage** en Allemagne (Wolff). *Musée Social.* Mai,
- Alcools** (Transformation de l'Industrie des). *Ef.* 13 Juin, 859.
- Arachide.** Commerce et emplois. *Ef.* 5 Juin, 822.
- Argentine** (Les Français en). *SNA.* Avril, 273.
- Assistance aux vieillards.** Projet de loi. *Ef.* 6-13 Juin, 813, 853.
- Bière** (la) en Allemagne. *SL.* Mai, 705.
- Caisses d'épargne** (Régime des) (Blerry). *Rso.* Juin, 942.
- Brevets.** Adhésion de l'Allemagne à la convention internationale *Bam.* Mai, 632.
- Colonisation** d'après Le Play. *Rso.* 1^{er} Juin, 883.
- Caoutchouc du Congo.** *E.* 20 Mai, 732.
- Contrat collectif de travail.** Passé et avenir. *Rso.* 16 Juin, 949.
- Crédit populaire.** Un précurseur au x^e siècle. *Rso.* 1^{er} Juin, 894.
- États-Unis.** Propriété rurale. *EE.* 23 Mai, 743, 6-13 Juin, 818, 857.
- Fabrication moderne** (Méthodes de). *E.* 5 Juin, 753.
- Fonds publics français et étrangers.** *Ef.* 23 Mai, 737.
- France.** Département de la Seine et ses besoins. *Ef.* 6 Juin, 820.
 — Réforme des octrois. *SL.* Mai, 662.
 Impôt sur le revenu. *Rso.* 16 Juin, 974.

- Inde*. Province de Sind (Birdwood). *SA*.
29 Mai, 593; 5 Juin, 612.
- Loi nouvelle sur la marine marchande*. *Ge*.
23 Mai, 56.
- Monnaie* (La) et les prix. *Ef*. 13 Juin, 855.
- Maroc*. (Voyage de reconnaissance au) (Wengerber). *Rgds*. 13-30 Mai, 509, 367.
- Maison de charité* à Paris au commencement du
xv^e siècle (Escard). *Rso*. 1^{er} Juin, 844.
- Paris**. Budget pour 1903. *SL*. Mai, 698.
- Repos du dimanche* et la législation. *Ef*. 23 Mai,
741.
- Ouvriers anglais et américains*. *E*. 12 Juin, 598.
— (Favière). *Rso*. 1^{er} Juin, 867.
- Richesse* (La) immobilière à Paris et à Londres.
Ef. 23 Mai, 739.
- Socialisme**. Progrès chez les paysans (Devio-
laine). *Rso*. 1^{er} Juin, 857.
— Origine et histoire (L. Buell). *SuM*. Mars,
41.
- Zones franches* (Établissement des) dans les
ports maritimes. *Ef*. 30 Mai, 779.

CONSTRUCTIONS ET TRAVAUX PUBLICS

- Béton fretté*. *Le Ciment*. Mai, 65. *Gm*. Mai,
431.
- Caserne des pompiers* de la rue Carpeaux. *Ge*.
6 Juin, 81.
- Ciment armé* (Pilotis en). *Le Ciment* Mai, 75.
- Enfoncée-pieux à vapeur*. *Carrie*. *E'*. 30 Mai,
342.
- Incendies*. Rapport annuel de la Metropolitan
Fire Brigade. *E*. 12 Juin, 786.
- Ponts de Genac sur l'Hérault* (Dartain). *APC*.
1902. N° 41. François-Joseph à Lai-
bach. 201; 22 Mai, 305.
— de Campbell Rood, Londres. *E*. 29 Mai,
714.
— (Construction des) en Amérique. *E'*.
22 Mai, 510; 5 Juin, 562.
— Édouard VII à Kew. *E*. 5 Juin, 539.

ÉLECTRICITÉ

- Accumulateurs* Edison. *EE*. 23 Mai, 315. Emploi
dans les distributions. *Elé*. 6 Juin, 356.
- Appareillage*. Porcelaine pour l'électricité. *Elé*.
13 Juin, 375.
- Conductibilité du bismuth cristallisé* (Perrot).
CR. 25 Mai, 1246. Conductibilité
extérieure des fils d'argent plongés
dans l'eau. *CR*. 8 Juin, 1391.

- Commutateur automatique* pour instruments de
mesure. *EE*. 23 Mai, 317.
- Distribution**. Installation électrique de la
filature Adhémar et Maigret. *Elé*.
30 Mai, 337.
— à 5 phases, étude théorique (Ehnert).
EE. 13 Juin, 418.
- Dynamos** asynchrones avec compensation et
compoundage (Hergland). *EE*. 23 Mai,
302.
— continues de petite et moyenne puis-
sance (Proportions des) (Mavor). *Le*.
28 Mai, 227.
— Moment d'inertie d'un induit. Calcul
(Fabry). *EE*. 30 Mai, 321.
— triphasée (Surélévation dangereuse de
tension dans une). *EE*. 6 Juin, 375.
- Moteurs**. Commande Siemens et Hulsks pour le
sens de rotation d'un moteur à cou-
rant continu. *EE*. 23 Mai, 117.
— à courant continu. Détermination des
rhéostats de démarrage (Terme). *Le*
25 Mai, 225.
— triphasés. Facteur de puissance (Dura).
EE. 13 Juin, 421.
- Éclairage**. Arcs à effet. *EE*. 30 Mai, 344.
— Arc chantant. Théorie (Bary). *Le*.
10 Juin, 245.
- Électrochimie**. Zinc, procédé Hœpfner. *Eam*.
16 Mai, 751.
— Divers. *Cs*. 30 Mai, 634.
— Électrolyse des sulfures alcalino-ter-
reux (Brochet et Ranson). *CR*. 18 Mai,
1195.
— du sulfure de baryum avec diaphragme
(Brochel. et Ranson). *CR*. 25 Mai,
1258.
— des chlorures alcalins (Førster et Mul-
ler). *EE*. 13 Juin, 424. Procédé Mac
Donald. *Eam* 6 Juin, 887.
— Séparation électrolytique du manga-
nèse avec le fer, de l'aluminium
avec le fer et le nickel, du zinc avec
le fer (Hollard et Bertiaux). *CR*.
25 Mai, 1266.
- Institut électrotechnique* de Grenoble (Barbil-
lon). *EE*. 23 Mai, 281.
- Interrupteur à mercure* pour courant alternatif
Villard. *Le*. 25 Mai, 221.
- Mesures**. Ondographe différentiel Hospita-
lier. *Sie*. Mai, 282.
— Galvanomètre enregistreur à contact

- tournant Carpentier. *EE.* 13 *Juin*, 401.
- Mesures.** Appareils Weston à lecture directe pour courant continu et alternatif. *Id.*, 403.
- Fréquence-mètre Weiss. *EE.* 13 *Juin*, 428.
- Piles** Théorie (Rosset). *EE.* 30 *Mai*, 324.
- Essai rapide du chlorhydrate d'ammoniaque pour piles. *Élé.* 13 *Juin*, 377.
- Force électromotrice des dissolutions salines (Berthelot). *CR.* 8 *Juin*, 1357.
- Stations centrales.** Réglementation anglaise nouvelle. *EE.* 6 *Juin*, 361.
- d'Italie. *EM.* *Juin*, 362.
- Télégraphie sans fil.** *Dp.* 23, 30 *Mai*, 324, 337 6 *Juin*, 363. (Ondes hertziennes en) (Ferrié). *CR.* 25 *Mai*, 1246, 2 *Juin*, 1310.
- Manipulateur Gallego. *EE.* 30 *Mai*, 344.
- Télémetre électrique** Sorensen. *Élé.* 6 *Juin*, 339 (Devaux-Charbonel).
- Téléphonie.** Circuits téléphoniques combinés. *Sie.* *Mai*, 264.
- Rappel Rodary pour communications téléphoniques et télégraphiques au chemin de fer P.-L.-M. *Rgc.* *Juin*.
- Vêtement protecteur** Artémieff. *EE.* 6 *Juin*, 375.
- HYDRAULIQUE**
- Barrages** dans l'Inde. *E'*. 5 *Juin*, 562.
- Distributions d'eau.** Réservoirs de Staines. *E'*. *Juin*, 587.
- Pulsomètre** Emerson *Ri.* 6 *Juin*, 201.
- Pompes** centrifuges Sulzer. *Ri.* 6 *Juin*, 221.
- RM.* *Mai*, 507. Hedlund, Rateau, *id.*, 507, 510.
- du drainage de la Nouvelle-Orléans. *EM.* *Juin*, 342.
- Ashley et Barr. Berosher Petsche. *RM.* *Mai*, 507. Davy, *id.*, 512.
- Turbines.** Régulateur Weber. *RM.* *Mai*, 513.
- (Recherches sur les) (Schmitthenner). *VD.* 13 *Juin*, 841.
- Valeur commerciale des chutes d'eau (Naggle). *E.* 12 *Juin*, 799.
- MARINE, NAVIGATION**
- Allemagne.** Voies navigables de 1875 à 1900 (Duval). *ACP.* 1903, n° 42.
- Ancre** Lenox. *E.* 29 *Mai*, 729.
- Constructions navales** (Problèmes de). *E.* 22 *Mai*, 691.
- en 1901 et 1902. *SL.* *Mai*, 702.
- Résistance aux vagues (Roc). *E.* 29 *Mai*, 718.
- Canal de la mer du Nord. *E.* 5 *Juin*, 75 6
- du Panama. *EM.* *Juin*, 321, 326.
- Écluses.** Emploi des siphons amorceurs pour le remplissage et la vidange des sas (Luneau). *APC.* 1902, n° 43.
- Embarcations électriques.** *Élé.* 13 *Juin*, 369.
- Machines marines.** Vibrations des navires (Melville). *E.* 22 *Mai*, 607.
- Marines de guerre.** Dépense de charbon des cuirassés. *E'*. 12 *Juin*, 597.
- anglaise. *Rmc.* *Mai*, 1137. Cuirassé *Commonwealth.* *E'*. 22 *Mai*, 518.
- espagnole. Croiseur *Cardinal Cisneros.* *E'*. 5 *Juin*, 570.
- Pêche.** Ports de Æsbjerg et Frederickshaven (Danemark). *Rmc.* *Mai*, 1173.
- Phares.** Feu flottant le Sandettié (Rivière). *APC.* 1902, n° 40.
- Phare de Chassiron. Éclairage (Joly). *APC.* 1902, n° 43.
- du Sud de la mer Rouge (Bernard). *IC.* *Avril*, 883.
- Ports** de Londres (Administration du) (Aaron). *APC.* 1902, n° 44.
- de Buffalo (Digue du). *E'*. 22 *Mai*, 515.
- de Douvres. *E.* 12 *Juin*, 774.
- Position d'un navire** quand l'horizon n'est pas visible (Détermination de la) (Decante). *Rmc.* *Mai*, 1124.
- Propulsion des navires** (Mansel). *E'*. 22 *Mai*, 526.
- Sauvetage** (Bateau de) à vapeur. *E'*. 5 *Juin*, 576.
- Vitesses des navires** à la mer (Mesure des) (Guyon). *CR.* 18 *Mai*, 1170.
- MÉCANIQUE GÉNÉRALE**
- Aérostation.** Ballon *Lebaudy.* *Rs.* 23 *Mai*, 669; *Gc.* 13 *Juin*, 97.
- Air comprimé.** Raccord pour conduites. *Ri.* 6 *Juin*, 226.
- Drague à godets** et à succion Smulders. *Gc.* 23 *Mai*, 49.
- Chaudières** modernes. *Dp.* 13 *Juin*, 372.
- Choix d'une chaudière (Stromeyer). *E'*. 29 *Mai*, 555.

- Chaudières** à tubes d'eau Hanson. *Ri.* 23 *Mai*, 206.
- — Hohenstein, Clarke, Brown, Normand, Foley. *Ru. Mai*, 476.
 - Émulseur Altmayer. *VDI.* 23 *Mai*, 749.
 - Épuration des eaux au Chicago-North Western. *Rs. Ru. Mai*, 486.
 - Foyers au pétrole Peugeot, Armstrong, Holden, Korting. *Ru. Mai*, 482.
 - — Welstcamps *Id.*, 485.
 - — Tirage aspiré Pratt *Id.*, 486.
 - Purgeur Granger. *RM. Mai*, 488.
 - Surchauffeurs Sugden, Ogden, Marquart, Cruse. *RM. Mai*, 488.
- Dynamomètre électrique** Gaiffe et Gunter. *Ln.* 6 *Juin*, 1.
- Engrenages hélicoïdaux** (Tracé des). *AMA* 13 *Juin*, 760.
- Enseignement de la mécanique.** Modèles (Kammerer). *VDI.* 23 *Mai*, 735; 13 *Juin*, 854.
- Flexible** Messropian. *Bam. Mai*, 615.
- Froid.** Machines frigorifiques à l'Exposition de Dusseldorf (Schwartz). *Dp.* 6-13 *Juin*, 358, 380.
- Levage.** Grue tournante de 2 tonnes Wilson. *E'.* 29 *Mai*, 544.
- Pont roulant pour cales de navires Stuckholtz. *Ri.* 30 *Mai*, 216.
 - Transport par hélices à 200 mètres. *Gc.* 30 *Mai*, 74.
 - Triage des colis postaux à la gare d'Orléans. *Ln.* 6 *Juin*, 10.
- Machines-outils.** Aléseurs. Construction et travail (Ball). *E.* 22 *Mai*, 677.
- Ateliers du Great-Eastern Ry. à Stratford. *E'.* 16 *Juin*, 588.
 - Manu. Construction de tracteurs. *E'.* 29 *Mai*, 539.
 - à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 26 *Mai*, 741.
 - Commandées par l'électricité. *EM. Juin*, 374 (Loppé). *Id.* 10 *Juin*, 252.
 - Cisaille Sack. *SuE.* 1^{er} *Juin*, 680.
 - Écrous. Machine à les fabriquer à chaud Burdick. *Rs.* 30 *Mai*, 213.
 - Découpage du laiton. *VDI.* 6 *Juin*, 819.
 - Presse à découper les armatures de dynamos. *VDI.* 30 *Mai*, 769.
 - — à étamper. Puissance absorbée. *AMA.* 13 *Juin*, 762.
 - Fraisage. Théorie (Pradel). *Bam. Mai*, 482.
- Machines-outils.** Fraiseuses (Travaux de). *E'.* 22 *Mai*, 513, 522.
- Taille des pignons Malicet et Blin. *RM. Mai*, 470.
 - Meulage (Le) Norton. *AMA.* 23 *Mai*, 641.
 - — (Horner). *E.* 29 *Mai*, 709; 12 *Juin*, 779.
 - Perceuse radiale Grant. *AMA.* 23 *Mai*, 648.
 - — Archdale. *E.* 29 *Mai*, 705.
 - — Perçages rapides. *Dp.* 30 *Mai*, 343.
 - Soudure oxyacétylénique. *Gc.* 23 *Mai*, 511.
 - Tour vertical Smith et Coventry. *E'.* 6 *Juin*, 580.
 - Raboteuses. Puissance consommée (Ulrich). *Bam. Mai*, 99.
 - Travail rapide. *AMA.* 6 *Juin*, 730.
 - à bois, à l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 26 *Mai*, 746.
- Moteurs à vapeur anglais.** *E'.* 22 *Mai*, 521.
- et du continent *Id.*, 29 *Mai*, 535; 5 *Juin*, 561.
 - Compound grande vitesse Hoy. *Ri.* 13 *Juin*, 233.
 - Équilibrage (Brillié). *Gc.* 23-30 *Mai*, 51, 69; 6 *Juin*, 85. (Lelong). *RM. Mai*, 414.
 - Progrès récents (Arrachart). *IC.* *Avril*, 543.
 - Détente et compression de la vapeur humide (Smith). *E'.* 29 *Mai*, 535.
 - binaires à acide sulfureux (Thurston). *Fi. Juin*, 429.
 - Condenseur central Allen de 5 000 chevaux. *E'.* 22 *Mai*, 520.
 - — à Dusseldorf. *Gc.* 30 *Mai*, 65.
 - — à surfaces Ljungstrom. *RM. Mai*, 468.
 - Pistons (Résistance des) (Codron). *MR. Mai*, 438.
 - Réchauffeurs (Emploi des). *E'.* 29 *Mai*, 553.
 - Turbines et moteurs rotatifs. *AMA.* 6 *Juin*, 728.
 - à gaz. Réglage. *Lo.* 6 *Juin*, 366.
 - — Allumage. *Ri.* 6-13 *Juin*, 222, 235.
 - électrique. *Lo.* 6 *Juin*, 363, 365, 366.
 - Bardou. *Lo.* 13 *Juin*, 372.
 - de haut fourneau Cockeril, 750 chevaux. *E.* 22 *Mai*, 687. (Rendement des) (Scott). *E.* 22 *Mai*, 694.

Moteurs à vapeur. Gazogène Taylor. *E.* 5 Juin, 761.

— à pétrole. Carburateur Moisson. *Ln.* 30 Mai, 413.

Poulie Unbreakable. *E.* 29 Mai, 729.

Résistance des matériaux. Corrosion des métaux dans l'eau de mer (Diegel), *Société d'Encouragement de Berlin.* Mai, 159.

MÉTALLURGIE

Alliages. Cuivre et magnésium (Boudouart). *CR.* 6 Juin, 1327.

Argent. Pertes dans le grillage des blendes argentifères (Sander). *Ms. Juin.*

Cubilot à fond mobile sur truck Grather. *Eam.* 6 Juin, 861.

Cuivre Fonte à Mont Lyell (Tasmanie). *Eam.* 30 Mai, 818.

— Minerais pauvres, procédé Arsdale. *Eam.* 6 Juin, 853.

— (Traitement des) (Peters). *Id.* 855.

— Action de l'arsenic sur le cuivre (Granger). *CR.* 8 Juin, 1397.

Fer et acier à l'Exposition de Dusseldorf (Baber). *Im.* 1903; *II.* 361.

— Élimination du soufre du coke et du fer brut au four à coupole (Reush). *Ms. Juin,* 431.

— Décarburation des aciers par évaporation dans le vide (Belloc). *CR.* 6 Juin, 1321.

— Cémentation des aciers (Guillet). *CR.* 6 Juin, 1319.

— Procédés Thomas et Bertrand Theil. Comparaison. *Ms. Juin,* 434.

— Aciérie de Britannia (Middlesborough). *E.* 12 Juin, 669.

— Microstructure et propriétés physiques des aciers à essieux (*Technology Quarterly.* Mars, 4.

— Hauts fourneaux : transporteurs. *Dp.* 23 Mai, 322. A l'Exposition de Dusseldorf. *VDI.* 6 Juin, 812. Analyse des gaz (Waldeck). *SuE.* 1^{er} Juin, 670. Chargeur Kennedy. *Id.*, 677.

— Fer et houille. Industrie en Allemagne. *Ef.* 30 Mai, 777.

— Fonte malléable (La) Diller. *E.* 12 Juin, 795.

Fer et acier. Fonderie Løwe (Berlin). *SuE.* 1^{er} Juin, 658.

— Moderne. *EM. Juin,* 409.

— Gazogènes. Valves Nagel. *SuE.* 1^{er} Juin, 691.

Or. Régénération des dissolutions cyanurées. *Eam.* 30 Mai, 817.

Zinc. Élimination du fer de la blende (Philips). *Ms. Juin,* 432.

MINES

Algérie et Tunisie. Recherches minérales (S. Meunier). *Rs.* 23 Mai, 641.

Angleterre. Richesse minérale. *E.* 22 Mai, 693.

Boukarre et Turkestan Russe. Richesses minérales (Levat). *AM. Mars,* 271.

Cuivre. Mines de Bute (Montana), genèse de la chalcocite (Winchell). *Eam.* 23 Mai, 782.

— Filon de Camp Bird *Id.*, 30 Mai, 820.

Déblaiement hydraulique à la mine d'étain de New-Brothers (Tasmanie). *Eam.* 30 Mai, 815.

Électricité dans les carrières d'ardoises françaises. *E.* 22 Mai, 675.

— (Recherche des minerais par l') (Skewes). *Eam.* 23 Mai, 781.

— Traction électrique dans les mines. *Élé.* 23 Mai, 324; 6 Juin, 353.

Explosifs. Emploi dans les mines (Schmerber). *IM.* 1903; *II.* 601.

Extraction. Puits de 1000 mètres à Ronchamp (Poussige). *Im.* 1903; *II.* 425.

— Essais des câbles métalliques (Mourgues et Bouchard). *Im.* 1903; *II.* 573.

— Enregistreur de vitesse pour machines d'extraction Karlik. *Ru.* Avril, 91.

— Machines d'extraction électriques. *Ru.* Avril, 97.

France. Statistique de l'industrie minérale 1901-1902. *AM. Mars,* 355.

Fer du lac Supérieur. *Eam.* 23 Mai, 786.

Grisou. Explosion d'Abertynwg. *E.* 5 Juin, 765.

Houille du Canada. *E.* 29 Mai, 724.

— Gisements du globe. *Ef.* 6 Juin, 815.

- | | |
|--|---|
| <p>Or. En Guyane vénézuélienne (Paquet). <i>Ru.</i>
<i>Avril</i>, 4.</p> <p>— Observations sur les dépôts d'or. <i>Eam.</i>
<i>6 Juin</i>, 835.</p> <p>— Mines du Transvaal un an après la paix.
<i>Ef.</i> <i>30 Mai</i>, 773.</p> <p><i>Perforatrice</i> Merssopian. <i>Bam.</i> <i>Mai</i>, 609.</p> | <p>Préparation mécanique. Lavage des charbons (Charvet). <i>Im.</i> 1903; <i>II.</i> 535.</p> <p>— Élévateur centrifuge Peck. <i>Eam.</i> <i>23 Mai</i>, 784.</p> <p><i>Sel marin.</i> Au Texas. <i>Eam.</i> <i>6 Juin</i>, 859.</p> <p><i>Turquoises.</i> District de Burro. Nouveau-Mexique. <i>Eam.</i> <i>23 Mai</i>, 786.</p> |
|--|---|

Le Gérant : GUSTAVE RICHARD.

1. Introduction

Le présent document a pour objet de présenter les modalités de mise en œuvre de la nouvelle réglementation relative à la sécurité des installations de production d'énergie électrique. Les dispositions de la réglementation ont été élaborées en collaboration avec les professionnels du secteur et ont pour but de garantir la sécurité des personnes et des biens, ainsi que la continuité de l'approvisionnement en électricité.

2. Champ d'application

La réglementation s'applique à toutes les installations de production d'énergie électrique, quelle que soit leur puissance, et à toutes les opérations de maintenance et de réparation de ces installations.

LISTE DES NOUVEAUX MEMBRES

ADMIS PENDANT LE PREMIER SEMESTRE 1903

A FAIRE PARTIE DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

MM.

ANTHONAY (Léon d'), ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue d'Assas, Paris.
ARCHEMONT (Olivier d'), licencié ès sciences, 17, rue de Richelieu, Paris.
COQUELET (Georges), chef des travaux graphiques à l'École Nationale supérieure des Mines, 18, rue Saint-Sulpice, Paris.
GAUMONT (L.), directeur du Comptoir général de photographie, 57, rue Saint-Roch, Paris.
LAFOSSE (Henri), inspecteur des Eaux et Forêts au Ministère de l'Agriculture, Paris.

MM.

MARETTE (Henry), ancien élève de l'École polytechnique, 18, rue du Lycée-Molière, Paris.
MIQUET (L.), directeur de la Société française du Petit-Outillage à Nouzon (Ardennes).
SOCIÉTÉ ANONYME DES MINES DE MALFIDANO, 13, boulevard Haussmann, à Paris.
THOMAS (Marcel), ingénieur civil des Mines, aciéries de Longwy, à Mont-Saint-Martin.

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES

NOMS DES AUTEURS MENTIONNÉS

DANS LE PREMIER SEMESTRE DE LA CENT DEUXIÈME ANNÉE DU BULLETIN

(La lettre (P), à la suite d'un article, indique qu'il ne s'agit que d'une présentation.)

A

- ARNAUDE (M^{lle}). Fleurs artificielles (P), 143.
AUREGGIO. Ouvrages sur la cavalerie (P), 756.

B

- BACLÉ. Ouvrage de M. Dumas sur l'acier au nickel, 161.
BALENSPERGER. Aérostats (P), 144.
BALFOURD. Les navires frigorifiques, 898.
BANKI. Moteur à pétrole, 303.
BARBET. Expérience de M. Canovetti sur la résistance de l'air, 166.
BARCHY. Serrure (P), 755.
BAYKOFF. Alliages de cuivre et d'antimoine, 658.
BORDENAVE. Serrure (P.), 914.
BOURDON. Mandrineur Jannin, 18.
BOUVIER. Ventilateur compresseur, 146.

C

- CAMPBELL. Cuisson du ciment Portland, 97.
CANOVETTI. Expérience sur la résistance de l'air, rapport de M. Barbet, 166.

Tome 104. — 1^{er} semestre. — Juin 1903.

- CAUDRON. Travail des machines-outils, 29.
CHAPLET. Aviateurs (P), 915.

- CHARPY et GRENET. Dilatation des aciers aux températures élevées, 464, 883.
COCHRANE. Fonctionnement d'un moteur à gaz de haut fourneau Cockeril, 121.
CODRON. Expériences sur le travail des machines-outils, 538, 790.
COINON. Blanchiment de l'ivoire. Rapport de M. Livache, 14.
COLMAN. Nœueur, 892.
CORET. Régulateur de température (P), 756. Horloge perpétuelle, 912.

D

- DELAFON. Piles à liquides immobilisés (P), 913.
DELAURIER. Moteur à vapeur pour aérostats (P), 148.
DENAIFFE et SIRODOT (l'Avoine). Rapport de M. Prilleux, 12.
DÉTOURBE. Lunettes d'atelier (P), 911.
DEVAL. Flexion des barrettes en ciment, 408.
DILIGEON. Changement de vitesse Roullot, 362.
DONALDSON. Angles des outils, 287.
DUCOMMUN. Tour vertical, 593.

59

DUMAS. L'acier au nickel, rapport de M. Baclé, 161.
 DUPAYS. Propriétés physiques et mécaniques des engrais, 508.
 DUPONT. Emaillage à chaud. Rapport de M. Livache, 351.
 DURAND. Raccord de tuyauterie. Rapport de M. Imbs, 616.

E

ELBORALL. Application des dynamos triphasées à la conduite des machines-outils, 583.
 ESPITALIER. Constructions démontables, rapport de M. Pillet, 449.

F

FONTAINE. Stérilisateur Lepage, 610.
 FORBES. Stérilisateur, 609.
 FOUSSARD. Bouée de poche (P), 143.

G

GALLOWAY. Machine soufflante, 749.
 GAZY. Signal de chemin de fer (P), 755.
 GIRARD (Aimé) et LINDET. Le froiment et sa mouture, 147.
 GUILLAUME. Convention du mètre, 840.
 GUILLET. Métallographie des aciers au nickel, 658.
 GRUBLER. Résistance des meules en carburendum, 434.
 GUY. Carbuter doreur (P), 757.

H

HAAS. Profilographe pour engrenages, 903.
 HENRY. Rendement des foyers lumineux, 782.
 HERSENT. Travaux des port de Bizerte. Rapport de M. Voisin Bey, 321.
 HITIER. Fermes à betteraves de la Saxe, 372.

HONORÉ. Nommé membre de la commission des fonds, 142.
 HOUR. Pendule à remontage automatique. Rapport de M. Rozé, 22.
 HUTTON et PETAVEL. Électro-chimie à hautes températures, 104.
 IMBS. Raccord de tuyauterie Durand, 616.
 IZART. Electrométallurgie de l'antimoine (P), 756.

J

JANNIN. Mandrineur pour tubes. Rapport de M. Bourdon, 18.
 JOHANSSON. Calibres, rapport de M. Sauvage, 614.

K

KENNEEY. Laminier, 746.
 — Chargeur de haut fourneau, 902.

L

LAFOSSE. Nommé membre du Conseil, 756.
 LAFONTAINE. Piège à fauves (P), 143.
 LARGIER. Bec à récupération (P), 915.
 LASCHE. Paliers à grandes vitesses, 263.
 LE CHATELIER. (H). Perméabilité des mortiers, 89.
 LENEVEU. Enrouleur embrayeur. Rapport de M. G. Richard, 367.
 LENTZ. Distribution, 124.
 LEPAGE. Stérilisateur, 610.
 LILLESALL C^o. Machine soufflante, 749.
 LILLY. Emploi du jet de sable pour le nettoyage des aciers, 429.
 LIVACHE. Émaillage à chaud, procédé Dupont, 351.
 — Blanchiment de l'ivoire, procédé Coinon, 14.

M

MAËS. Nommé membre du Conseil, 755.
 MAHON. Dessinateur universel (P), 736.
 MAMY. Accidents du travail, 618.

MAROT. Moteur à cylindres tournants (P), 943.
 MASSIOT. Don de 30 000 francs, 753.
 MÉNOCHIO. Décatissage (P), 736.
 MILET. Maréomoteur (P), 443.
 MINSHALL. Moteurs à vapeur rapides pour l'électricité, 911.
 MONTUPET. Sifflet avertisseur de manque d'eau pour chaudières (P), 308.

N

NEWBURY et SMITH. Constitution des ciments hydrauliques, 641.

P

PEROT. Nominé membre du Conseil, 756.
 PETAVEL et KINGSMILL. Indicateur de pression, 562.
 PILLET. Constructions démontables Espitallier, 449.
 PIPAULT. Moteurs à pétrole (P) 755.
 PRILLIEUX. Rapport sur l'ouvrage de MM. Denaiffe et Sirodot, *l'Avoine*, 12.

R

RENARD (Commandant). Sécurité des ballons dirigeables, 196.
 RENAULT. Appareil de sauvetage (P), 913.
 RICHARD G. Notes de mécanique, 147, 263, 434, 579, 726, 892.
 — Littérature des périodiques, 151, 311, 441, 600, 760, 914.
 — Galet enrouleur Leneveu, 367.

— Electro-chimie à hautes températures, d'après MM. Hutton et Petavel, 104.
 RIVIÈRE. Changement de vitesse (P), 144.
 ROBERT. Moteur rotatif (P), 308.
 ROULLOT. Changement de vitesse pour vélos. Rapport de M. Diligeon, 362.
 ROZÉ. Pendule à remontage automatique Hour, 22.

S

SAMAIN. Bouchon de sûreté (P), 756.
 SAUVAGE. Unification des calibres, 26.
 — Notes sur les locomotives, 224, 688.
 — Calibres de M. Johansson, 614.
 SCHMIDT. Machines à vapeur surchauffée, 298.
 SELBY BIDGE. Emploi de la puissance électrique dans les ateliers, 134.
 STREIFF. Méthode de synthèse (P), 144.

T

TAYLOR WHITE. Acier à outils, 293.
 TYLOR. Emploi du nivellement dans les ateliers, 420.

V

VILLARD. Radioscopie stéréoscopique, 769.
 VOISIN BEY. Rapport sur les travaux du port de Bizerte, 321.

W

WEISS. Condenseur, 300.
 WORMS DE ROMILLY. Décès, 756.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET ANALYTIQUE
DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE PREMIER SEMESTRE DE LA CENT DEUXIÈME ANNÉE DU BULLETIN

A

- Accidents du travail**, prévention, (MAMY), 618.
- Ateliers** (Emploi de la puissance électrique dans les) (SELBY BIDGE) (G. R.), 134.
- *Emploi des appareils de nivellement* (TYLOR), 420.
- Aérostation.**
- *Résistance de l'air aux corps en mouvement*. Expériences de M. CANOVETTI. Rapport de M. BARBET, 166.
- *Sécurité dans les ballons dirigeables* (Commandant RENARD), 196.
- Agriculture.**
- *Fermes à betteraves de Saxe* (HITTIER), 372.
- *Engrais, propriétés physiques et mécaniques* (DUPUY), 509. Rapport de M. RINGELMANN, 508. *Propriétés physiques*, 511. *Teneur en eau. Finesse*, 512. *Poids spécifiques*, 514. *Densité apparente*, 515. *Vides et pleins*, 517. *Talus naturels*, 518. *Propriétés mécaniques. Tassement*, 520. *Influences du tassement sur le volume des vides*, 525. *Frottement*, 526. *Influence du mécanisme*, 530. *De la Section des orifices*, 536.

B

Bibliographie.

- *L'Avoine*, par MM. DENAÏFFE et SIRODOT. Rapport de M. PRILLIEUX, 12.
- Dictionnaire général des sciences et de leurs applications, 146.
- *Le froment et sa mouture*, par MM. Aimé GIRARD et LINDET, 147.
- *Recherches sur les aciers au nickel à hautes teneurs*, par M. DUMAS. Rapport de M. BACLÉ, 161.
- *Ventilateur-compresseur* BOUVIER, 146.
- *Livres reçus*, 149, 311, 441, 601, 913.
- Bicyclettes.** *Changement de marche* ROULOT. Rapport de M. DELIGEON, 362.
- Blanchiment de l'ivoire.** Procédé COINON. Rapport de M. LIVACHE, 14.

C

- Conseil d'administration** de la Société pour 1903, 3.
- *Conservatoire des arts et métiers*. Office national de la propriété industrielle, 375.
- Constructions démontables** ESPITALTIER. Rapport de M. PILLET, 449.

Convention du mètre et bureau international des poids et mesures (Guillaume), 840.

— *Calibres Johansson*. Rapport de M. SAUVAGE, 614.

Ciments et mortiers

— *Constitution des chaux hydrauliques* (NEWBURY et SMITH), 644, *perméabilité des mortiers par diffusion* (LE CHATELIER), 89.

— *Cuisson du ciment de Portland* (expériences préliminaires sur la) (CHAMPBELL), 97.

— *Résistance. Essais de barrettes verticales en ciment soumise à un effort déterminant, dans leur longueur un moment fléchissant constant* (DEVAL), 408.

Calibres. Unification (SAUVAGE), 26.

D

Déhouilleuse des mines d'Anzin. 119.

E

Électro-chimie à hautes températures (HUTTON et PETAVEL) (G. R.), 104.

Émaillage à chaud des grandes pièces de fonte. Procédé DUPONT. Rapport de M. LIVACHE, 351.

Engrenages. Profilographie HAAS, 905.

F

Foyers lumineux. Rendement, C. HENRY, 782.

G

Galet enrouleur débrayeur LENEVEU. Rapport de M. G. RICHARD, 367.

I

Ivoire. Blanchiment. Procédé COTTON. Rapport de M. LIVACHE, 14.

J

Jet de sable. Emploi pour le nettoyage des aciers (LILLY), 431.

L

Littérature des périodiques reçus à la bibliothèque, 143, 311, 441, 600, 760, 917.

Locomotives (Notes sur les) (SAUVAGE), 224, 688.

M

Mines. Machines d'extraction des mines de Bruay, 579.

MACHINES-OUTILS

Mandrineur, Jannin pour tubes de chaudières. Rapport de M. BOURDON, 18.

Expériences sur le travail des machines-outils (CAUDRON), 29, 528, 790. *Forage. Foret à pointe ordinaire*, 31. *Foret hélicoïdale*, 45. *Foret droit*, 59. *Vitesses de pénétration et de rotation des forets et des lames*, 79. *Copeaux de forage*, 538. *Fonte*, 557. *Antifriction*, 562. *Zinc*, 562. *Cuivre*, 563. *Aluminium*, 568. *Fer et acier*, 571. — *Angles de coupe des outils* (DONALDSON), 287.

— *Acier à outils*. TAYLOR, WHITE, 293.

— *Conduite des machines-outils par dynamos triphasées* ELBORALL, 583.

— *Meules en carburendum* essais de résistance (GRUBLER), 434.

— *Tour vertical*. Ducommun, 593.

— *Efforts et énergies de forage*, 790.

— *Forage sous pression constante*, 814.

— *Essais de coupe*, 829.

MÉTALLURGIE

Aciers. *Dilatations aux températures élevées* (CHARPY et GRENET), 464. *Aciers au carbone*, 478; *trempés*, 488; *au nickel*, 492; *Résumé*, 506.

Aciers au nickel. *Métallographie* CUILLET, 658, *microstructure des aciers bruts*, 660; *au nickel trempés*, 668; *recuits*, 673; *écrouis*, 676; *refroidis*, 677. *Cémentation et décarburation*, 681. *Régénération des aciers au nickel transformés*, 685.

Alliages de cuivre et d'antimoine (BAYKOFF), 626.

Hauts-fourneaux. Chargeur KENNEDY, 902.

Laminoirs à l'exposition de Dusseldorf, 726; *à blindages du Creusot*, 740, Kennedy, 746. *Des forges de Rochling*, 746.

Machines soufflantes de la LILLESBALL. C^o DE GALLOWAY, 749.

Moteurs à vapeur. *Surchauffée* SCHMIDT de 300 chevaux, 298.

— *à distribution par soupapes* LENTZ, 125.

— *Condenseur* WEISS, 300.

— *rapides pour l'électricité* (MINSHALL), 911.

Moteur à gaz de hauts-fourneaux COCKERILL, aux forges d'Ormesby (COCHRANE), 421.

Moteur à pétrole BANKI. Essais, 303.

N

Navires frigorifiques (BALFOURD), 898.

Nouveur COLMAN, 892.

O P Q

Port de Biserte (Travaux du), par M. HERSENT. Rapport de M. VOISIN BEY, 321.

Pendule à remontage automatique. Hour. Rapport de M. ROZÉ, 22. Observation de M. CORET.

R

Raccord de tuyauterie DURAND. Rapport de M. IMBS, 616.

Radiographie stéréoscopique. VILLARD, 770.

S

Séances Procès-verbaux, 19 décembre 1902 9-23 janvier 1903, 149, 308, 13-27 février, 308, 439, 13 et 27 mars, 439, 600, 24 avril, 8-22 mai, 755, 910, 12 juin, 915.

Stérilisateur Lepage, 609. Rapport de M. FONTAINE, 609.

U

Unification des calibres (Rapport sur l') (SAUVAGE), 26.