N° 433
(4)

N° 433
(4)

BIBLIOTHÈQUE
N° d'Entrée
f^lis

ANNALES

DES MINES

5108

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'Administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des travaux publics. Cette commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le chef du cabinet, du personnel et du secrétariat, est composée ainsi qu'il suit :

MM.
LINDER, inspecteur général des mines, *président*.
BOCHET, inspecteur général.
CASTEL, d°
HATON DE LA GOUPILLIÈRE, inspecteur général, directeur de l'École supérieure des mines.
ORSEL, inspecteur général.
MALLARD, inspecteur général, professeur à l'École supérieure des mines.
LORIEUX, inspecteur général.
MASSIEU, d°
LAUR, d°
RÉSAL, inspecteur général, professeur à l'École supérieure des mines.
VILLOT, inspecteur général.
CHEYSSON, inspecteur général des ponts et chaussées, professeur à l'École supérieure des mines.

MM.
KELLER, ingénieur en chef, secrétaire de la Commission de la statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur.
VICAIRE, ingénieur en chef, professeur à l'École supérieure des mines.
CARNOT, ingénieur en chef, inspecteur de l'École supérieure des mines.
LEDOUX, ingénieur en chef, professeur à l'École supérieure des mines.
AGUILLON, d°
DOUVILLÉ, d°
BERTRAND, d°
LE CHATELIER, d°
LODIN, d°
SAUVAGE, ingénieur des mines, professeur à l'École supérieure des mines.
DE LAUNAY, d°
ZEILLER, ingénieur en chef, *secrétaire de la commission*.

L'Administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des travaux publics*, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

N° 433 (4)
Entrée 1 bis

ANNALES DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT.

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

HUITIÈME SÉRIE

MÉMOIRES. — TOME XVII.

PARIS
V^VE CH. DUNOD, ÉDITEUR
LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES
Quai des Augustins, n° 49

1890

N° 433 (4)

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1890.

ÉCOLE NATIONALE DES MINES BIBLIOTHÈQUE

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

CALINON (A.). — Étude de cinématique à deux et à trois dimensions. In-8°, 129 p. avec fig. Paris, Berger-Levrault et Ce. (3881)

CHAPEL (A.). — Sur quelques procédés nouveaux de calcul graphique. In-8°, 16 p. avec figures. Paris, Berger-Levrault et Ce. (Extrait de la *Revue d'artillerie.*) (180)

COMBEROUSSE (C. de). — Cours de mathématiques, à l'usage des candidats à l'École polytechnique, à l'École normale supérieure, à l'École centrale des arts et manufactures. 2e *édition,* refondue et augmentée. T. IV : Algèbre supérieure. Deuxième partie. In-8°, XXIV-831 p. Paris, Gauthier-Villars. 15 fr. (868)

Journal de l'École polytechnique, publié par le conseil d'instruction de cet établissement. 59e cahier. In-4°, 133 pages et 11 planches. Paris, Gauthier-Villars et fils. 12 fr. (1934)

LAURENT (H.). — Traité de mécanique rationnelle, à l'usage des candidats à la licence et à l'agrégation. 3e *édition.* 2 vol. in-8°. T. I, VIII-352 p. avec fig.; t. II, XIV-364 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 12 fr. (1226)

MÉRAY et RIQUIER. — Sur la convergence des développements des intégrales ordinaires d'un système d'équations différentielles totales. In-4°, 26 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 1^f^,50 (5304)

MOUCHEZ. — Rapport annuel sur l'état de l'Observatoire de Paris pour l'année 1889, présenté au conseil, dans sa séance du

4 mars 1890. In-4°, 27 p. et planche. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5522)

Rey (L.). — Nouvelles formules pour le calcul des pièces soumises à des efforts de flexion ou de torsion. In-8°, 19 p. avec fig. Paris, Steinheil. (Ext. des *Mémoires de la Société des ingénieurs civils.*) (2525)

Stoffaes. — Théorie des déterminants. In-8°, 48 p. avec fig. Paris, Lefort. (2262)

Tannery (P.). — Sur les tentatives d'explication de la gravitation universelle. In-8°, 9 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (Ext. des *Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux*). (1575)

Yot (V.). — Nouvelle instruction sur la règle à calcul. In-12, 47 p. avec figures. Paris, Picart. 0f,75. (1063)

2° *Physique. — Chimie. — Métallurgie.*

Appert (L.). — Examen des défauts du verre et des moyens de les reconnaître. In-8°, 19 p. et planche. Paris, imp. Chaix. (Ext. des *Mémoires de la Société des ingénieurs civils.*) (4089)

Arnould. — Formule établie par M. Villié pour déterminer la quantité de vapeur sèche fournie par une chaudière à vapeur. In-8°, 5 p. Lille, Danel. (*Société industrielle du Nord de la France.*) (2286)

Béhal (A.). — Dérivés azoïques, conférence par M. A. Béhal. In-8°, 24 p. Paris, Carré. (Ext. du *Bulletin des sciences physiques.*) (2082)

Bovet (C.) — Études chimique, physiologique et thérapeutique sur les eaux minérales de la source de Saint-Léger, à Pougues. In-8°, 123 p. avec planches. Paris, imp. Noizette. (5188)

Brault (J.). — Histoire de la téléphonie et Exploitation des téléphones en France et à l'étranger. Le Phonographe, le Graphophone. 3e *édition*. Petit in-8°, 468 p. avec 140 grav. Paris, G. Masson. (705)

Comptes rendus des travaux du congrès international des électriciens (Paris, 1889), publiés par les soins de M. J. Joubert, rapporteur général. In-8°, 392 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5425)

Couette (M.). — Études sur les frottements des liquides (thèse). In-4°, 119 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5427)

Delahaye (P.). — L'Année électrique, ou Exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de l'électricité à l'industrie et aux arts. 6e année. In-18 jésus, VIII-381 p. Paris, Baudry et Ce. (3663)

Duché (G.), E. Meylan, B. Marinovitch et G. Szarvady. — Aide-mémoire de l'ingénieur électricien. Recueil de tables, formules et renseignements pratiques à l'usage des électriciens. Première année (1888). In-12, x-424 p. avec fig. Paris, Tignol. (202)

Éclairage électrique du quartier de cavalerie Bonnard à Épinal. In-8°, 12 p. et plan. Paris, Berger-Levrault et Ce. (Ext. de la *Revue du génie militaire.*) (208)

Électricité. Notes sur les applications des contrôleurs électriques de rondes, réveils électriques et téléphones indiscrets. In-8°, 15 p. avec figures. Paris, imp. Chaix. (Ext. du *Bulletin de la Société des anciens élèves des écoles nationales d'arts et métiers.*) (902)

Fontaine (H.). — Exposition universelle de 1889. Éclairage électrique. Monographie des travaux exécutés par le syndicat international des électriciens. In-4°, 200 p. avec 32 grav. et 29 pl. Paris, Baudry et Ce. (4452)

—— Éclairage électrique. Ses avantages et son prix de revient. In-8°, 30 p. Paris, Imp. nationale. (Conférences de l'Exposition universelle internationale de 1889.) (5257)

Gentilini (R.). — La Société anonyme des manufactures de glaces et produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey à l'Exposition universelle de 1889. In-8°, 61 p. avec fig. et grav. Paris, imp. Chaix. (Ext. du journal *le Génie civil.*) (3418)

Guettier (A.). — Le Fondeur en métaux. In-8°, 475 p. et atlas in-8° de 52 planches. Paris, Bernard et Ce. (749)

Hallopeau (A.). — L'État de la métallurgie (1789-1889). Le Maître de forges. In-8°, 60 p. Paris, Imp. nationale (Conférences de l'Exposition universelle internationale de 1889.) (4753)

Hospitalier (E.). — Traité élémentaire de l'énergie électrique. T. I. Grand in-8°, XIV-608 p. Paris, G. Masson. (5020)

Janet (P.). — Étude théorique et expérimentale sur l'aimentation transversale des conducteurs magnétiques (thèse). In-4°, 99 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5277)

Japing (E.) et M. Deprez. — Le Transport de force par l'électricité. 2e *édition* française, annotée et augmentée de la description des plus récentes applications du transport de force par M. Marcel Deprez, membre de l'Institut. In-16, 338 p. avec 50 figures dans le texte. Paris, Tignol. 5 fr. (Bibliothèque des actualités industrielles.) (3446)

Lépany (G.). — Les établissements métallurgique à l'Exposition

universelle de 1889 : Sociétés anonymes de Commentry-Fourchambault ; Houillères de Commentry et Montvicq ; Hauts fourneaux, fonderies, forges, aciéries et ateliers de construction de Fourchambault, Montluçon, Imphy et la Pique-Nevers. In-8°, 34 p. avec fig. Paris, imp. Chaix. (Ext. du journal *le Génie civil.*) (584)

MACÉ DE LÉPINAY (J.). — Sur la localisation des franges d'interférence des lames minces isotropes. In-8°, 6 p. avec fig. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Ext. du *Bulletin de la Société scientifique industrielle de Marseille.*) (6412)

MARCHAND (E.). — Des corrections nécessitées par les variations d'humidité dans certaines installations magnétiques. In-8°, 6 p. Lyon, imp. Plan. (Ext. des *Mémoires de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon.*) (1504)

MATHIAS (E.). — Sur la chaleur de vaporisation des gaz liquéfiés (thèse). In-4°, 83 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (5301)

MATHIEU (E.). — Traité de physique mathématique. Théorie de l'élasticité des corps solides. Première partie : Considérations générales sur l'élasticité ; Emploi des coordonnées curvilignes ; Problèmes relatifs à l'équilibre d'élasticité ; Plaques vibrantes. In-4°, VIII-219 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 11 fr. (5078)

MINARY (E.). — De la hauteur de l'atmosphère terrestre. In-8°, 8 p. Besançon, imp. Dodivers. (Ext. des *Mémoires de la Société d'émulation du Doubs.*) (2219)

MOLLINS (J. de). — Note sur un cas particulier de l'action de l'argile sur les eaux vannes industrielles. In-8°, 5 p. Lille, imp. Danel. (Société industrielle du nord de la France.) (2223)

MONTPELLIER (J.-A.) et G. FOURNIER. — Les Installations d'éclairage électrique. Manuel pratique du monteur électricien. In-8°, 540 p. avec fig. Paris, Carré. (Bibliothèque internationale de l'électricité et de ses applications.) (5520)

MOUREAUX, LASNE et MAZE. — Procès-verbaux sommaires du congrès météorologique international tenu à Paris du 19 au 26 septembre 1889. In-8°, 47 p. Paris, Imp. nationale. (431)

NANSOUTY (M. de). — L'année industrielle. Revue des progrès industriels et scientifiques ; par Max de Nansouty. (4e année. 1890.) In-18 jésus, XII-311 p. avec figures. Paris, Tignol. (Bibliothèque des actualités industrielles.) (4815)

NAQUET (A.) et M. HANRIOT. — Principes de chimie fondés sur les théories modernes. 5e *édition*, revue, corrigée et augmentée. 2 vol. in-12, T. I : Chimie minérale, 508 p. avec 41 gravures ;

t. II : Chimie organique, 746 p. avec 22 gravures. Paris, Savy. 11 fr. (432)

NICOT (A.). — La Chimie et la Pharmacie à l'Exposition universelle de 1889. In-8°, 46 p. Paris, Doin. (Ext. du *Bulletin général de thérapeutique.*) (977)

PELLAT (H.). — Leçons sur l'électricité (électrostatique, pile, électricité atmosphérique) faites à la Sorbonne en 1888-1889. Grand in-8°, VII-415 p. avec figures. Paris, Carré. (Cours de la Faculté des sciences de Paris, publiés par l'association amicale des élèves et anciens élèves de la Faculté des sciences.) (2766)

PERIN-GRADOS. — Notice sur les paratonnerres, leur utilité, leur emploi. In-32, 11 p. avec fig. Paris, imp. Morris père et fils. (3510)

RENARD (A.). — Traité de chimie appliquée à l'industrie. Avec 225 figures dans le texte. Grand in-8°, XXV-851 p. Paris, Baudry et Ce. 20 fr. (5132)

SER (L.), L. CARETTE et E. HERSCHER. — Traité de physique industrielle. Production et utilisation de la chaleur. T. II. Première partie : Chaudières à vapeur, distillation, évaporation, séchage, désinfection. Grand in-8°, XII-474 p. avec 226 fig. Paris, G. Masson.

VASCHY (A.). — Traité d'électricité et de magnétisme. Cours professé à l'École supérieure de télégraphie. T. I. Grand in-8°, III-430 p. avec fig. Paris, Baudry et Ce. (5359)

VIVAREZ (H.). — L'Électricité à l'Exposition universelle de 1889. In-8°, 75 p. Paris, Tignol. (1054)

VATTIER (C.). — L'Avenir de la métallurgie du fer au Chili. In-8°, 111 p. et planche. Paris, imp. Roger et Chernoviz. (2569)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

BOULAY. — Flore pliocène des environs de Théziers (Gard). In-8°, 74 p. Paris, Klincksieck. (703)

DESPLANTES (F.). — Tremblements de terre. Grand in-8°, 119 p. avec grav. Limoges, Ardant et Ce. (197)

MICHEL-LÉVY (A.) et A. LACROIX. — Tableaux des minéraux des roches. Résumé de leurs propriétés optiques, cristallographiques et chimiques. In-4°, 42 p. Paris, Baudry et Ce. (3491)

TESTUT (L.). — Recherches anthropologiques sur le squelette quaternaire de Chancelade (Dordogne). Avec 14 planches dont 4

en photogravure. Grand in-8°, 127 p. Lyon, imp. Pitrat aîné. (Ext. du *Bulletin de la Société d'anthropologie de Lyon.*) (1577)

4° *Mécanique. — Exploitation des mines.*

Buchetti (J.). — Les machines à vapeur à l'Exposition universelle de Paris. In-4°, XXII-143 p. avec fig. et album in-f° de 40 pl. Paris, impr. Davy. 50 fr. (2634)

Delahaye (P.). — L'industrie du pétrole à l'Exposition de 1889. In-8°, 82 p. avec grav. et planche. Paris, impr. Chaix. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (3376)

Demoulin (M.). — Les machines à vapeur à triple et quadruple expansion et les progrès récents des appareils de navigation. In-8°, 79 p. avec fig. Paris, Baudry et Ce. (3381)

Duclau (S.). — Les machines à vapeur. In-8°, 121 p. avec grav. Limoges, Ardant et Ce. (3386)

Guettier (A.). — Le constructeur-mécanicien. In-8°, XIV-412 p. et atlas in-8° de 52 pl. Paris, Bernard et Ce. 9 fr. (*Technologie professionnelle des arts et métiers.*) (2396)

Hirsch. — La mécanique générale à l'Exposition universelle de 1889. In-8°, 39 p. Paris, Impr. nationale. (Conférences de l'Exposition universelle internationale de 1889.) (3702)

Lapparent (A. de). — La question du charbon de terre. In-18 jésus, 121 p. Paris, Savy. 1^f^,50. (5036)

Moteur à air dilaté. Machine à gaz à un seul cylindre de 100 chevaux, système simplex de MM. E. Delamare-Deboutteville et L. Malandin, construite par MM. Matter et Ce, à Rouen. In-8°, 7 p. Paris, Libr. technologique. (Extr. de la *Publication industrielle d'Armengaud aîné.*) (4544)

Pollak (F.). — Les principales mines du Witwater-Strand et l'état comparatif de leurs résultats en 1889. In-8°, 14 p. avec tableau. Paris, impr. Buttner-Thierry. (5325)

Saint-Germain (A. de). — Étude cinématique sur le joint uviversel. In-8°, 11 p. avec fig. Caen, Delesques. (Extr. des *Mémoires de l'Académie nationale des sciences, arts et belles-lettres de Caen.*) (1562)

Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie pour l'année 1888, avec un appendice concernant la statistique minérale internationale. In-4°, XVI-215 p. et 3 cartes en coul. Paris, Baudry et Ce. 10 fr. (Ministère des travaux publics.) (4334)

Witz (A.). — Théorie des machines thermiques. In-8°, 35 p. avec

fig. Paris, Doin. (Extr. de la *Revue générale des sciences pures et appliquées.*) (2577)

5° *Construction. — Chemins de fer.*

Allard (E.). — Les phares : histoire, construction, éclairage (histoire, tours et édifices des phares, intensités lumineuses des appareils, transparence de l'atmosphère et portée des phares, applications de l'électricité à l'éclairage des phares, balisage et signaux sonores, calculs, tableaux statistiques, etc.). Petit in-f°, 548 p. avec 226 fig. et 36 pl. et cartes. Paris, J. Rothschild. 100 fr. (4077)

Bert (E.). — Loi du 11 avril 1888 concernant les transports de marchandises par chemins de fer. Responsabilité des compagnies en cas de retard, avarie ou perte. In-8°, 95 p. Paris, Chevalier-Marescq et Ce. 4^f^,50. (1616)

Bonnami (H.). — Traité élémentaire de la cuisson et de la fabrication des produits hydrauliques. Accords entre les faits observés et la théorie. Dosage rationnel des mortiers et rendement des pâtes; essais des chaux et ciments au moyen du nouet. In-8°, VIII-34 p. avec fig. Dijon, impr. Aubry. (6166)

Bossut (L.). — Sur l'emploi de méthodes géométriques dans les calculs des projets de routes et de voies ferrées. In-8°, 46 p. avec fig. et planche. Paris, Berger-Levrault et Ce. (3337)

Bourdiol. — Percement des tunnels dans les terrains ébouleux. Notice sur la perforeuse système Bourdiol et sur l'emploi d'un nouveau genre de cintre pouvant être mis en place au fur et à mesure de l'exécution de l'abatage en tenant lieu de boisage. In-8°, 16 p. (3341)

Debauve (A.). — Les chemins ruraux. In-32, 192 p. Paris, Ve Dunod. (Extr. de la nouvelle édition, en publication, du *Dictionnaire administratif des travaux publics.*) (2883)

Durand-Claye (A.). — Hydraulique agricole et génie rural. Leçons professées à l'École des ponts et chaussées par Alf. Durand-Claye, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et rédigées par *F. Launay*, ingénieur des ponts et chaussées. T. Ier. In-8°, XII-363 p. avec fig. et portrait. Paris, Doin. (731)

Fontviolant (B. de). — Détermination et emploi des lignes d'influence des tensions élastiques dans les arcs pleins et les arcs réticulaires articulés aux naissances. In-8°, 21 p. avec fig. Paris, impr. Chaix. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (3409)

Moncharmont (P.). — Chemins de fer. Voie métallique univer-

selle. Outillage et pose. Gr. in-8°, 11 p. Paris, Libr. technologique. (Extr. de la *Publication industrielle d'Armengaud aîné.*) (5519)

Nansouty (M. de). — Le chemin de fer glissant de Girard et Barre.

Paulin (H.). — Nouvelle méthode graphique pour le calcul des surfaces des profils en travers. In-8°, 15 p. et 2 pl. Paris, Hennuyer. (Extr. du *Portefeuille de la Société des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines.*) (777)

Soulerin (L.). — Étude sur un nouveau système de freins continus pour chemins de fer. Supplément. In-8°, 86 p. Paris, impr. Ve Éthiou-Pérou et fils. (1034)

Ulrich (F.). — Traité général des chemins de fer contenant une étude spéciale des tarifs appliqués en Allemagne, Autriche-Hongrie, Suisse, Italie, France, Belgique, Hollande, Angleterre et Russie. *Edition* française, revue par l'auteur. In-8°, x-559 p. Paris, Baudry et Ce. 16 fr. (4061)

6° *Objets divers.*

Bellom (M.). — De la réglementation et de la surveillance organisées en vue de prévenir les accidents par la loi allemande du 6 juillet 1884. In-8°, 34 p. Paris, 37, boulevard Magenta. (Extr. du *Bulletin du comité permanent du congrès des accidents du travail.*) (5622)

Béziat d'Audibert (E.). — Examen des mesures financières à prendre pour garantir efficacement le service des pensions; constitution des capitaux de réserve ou répartition annuelle des charges. Rapport présenté au congrès international des accidents du travail, tenu à Paris du 9 au 14 septembre 1889. In-8°, 25 p. Évreux, impr. Hérissey. (154)

Brants (V.). — La législation italienne et le travail des enfants. In-8°, 12 p. Paris, 174, boulevard Saint-Germain. (Extr. de *la Réforme sociale.*) (3075)

Chaufton (A.). — L'assurance contre les accidents industriels. In-8°, 35 p. Paris, Impr. nationale. (Conférences de l'Exposition universelle internationale de 1889.) (3627)

Cheysson (E.). — Notes présentées au comité permanent du congrès international des accidents sur le projet de loi d'assurance contre les accidents voté en première lecture par le Sénat. In-8°, 19 p. Paris, Guillaumin et Ce. (Extr. des *Bulletins du comité.*) (5655)

Faucheur (E.). — Accidents du travail. Congrès international de Paris. In-8°, 12 p. Lille, impr. Danel. (6287)

Gibon (A). — Les accidents du travail et l'industrie. In-4°, 252 p. Paris, Guillaumin et Ce. 3 fr. (3421)

Gruner (E.). — Congrès international des accidents du travail à l'Exposition universelle internationale de 1889. T. Ier. Gr. in-8°, 520 p. Paris, Baudry et Ce. (921)

—— —— T. II. Gr. in-8°, 477 p. Paris, Baudry et Ce. Les 2 vol. 20 fr. (5011)

Grande (la) Encyclopédie, inventaire raisonné des sciences, des lettres et des arts; par une société de savants et de gens de lettres, sous la direction de MM. Berthelot, sénateur, membre de l'Institut, Hartwig-Derenbourg, F. Camille Dreyfus, A. Giry, etc. T. IX, accompagné de 2 cartes en couleur. Gr. in-8° à 2 col., 1.208 p. avec fig. Paris, Lamirault et Ce. (3697)

Jannet (C.). — L'organisation du travail d'après F. Le Play et le mouvement social contemporain, précédés d'un avant-propos sur le pape Léon XIII et la question sociale. In-8°, 33 p.

Jourdain (R.). — De l'intervention des tribunaux pour la fixation des indemnités en cas d'accidents du travail : bénéficiaires de l'indemnité suivant l'état civil des victimes. Rapport présenté au congrès international des accidents du travail, tenu à Paris du 9 au 14 septembre 1889. In-8°, 14 p. Evreux, impr. Hérissey. (236)

Ledoux (C.). — L'organisation du travail dans les mines et particulièrement dans les houillères tant en France qu'à l'étranger, conférences faites à l'École libre des sciences politiques, les 7 et 14 février 1890. In-8°, 64 p. Paris, Chaix. (3462)

Léturgeon. — Assurance contre les accidents, mémoire présenté au congrès international des accidents du travail. In-8°, 6 p. Evreux, impr. Hérissey. (253)

Luzzatti (L.). — Physiologie expérimentale de l'assurance obligatoire et d'État et de l'assurance libre et facultative, rapport présenté au congrès international des accidents du travail, tenu à Paris du 9 au 14 septembre 1889. In-8°, 9 p. Evreux, impr. Hérissey. (60)

Marie (L.). — Traité mathématique et pratique des opérations financières. In-8°, VIII-570 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 10 fr. (1244)

Muller (E.) et O. Du Mesnil. — Des habitations à bon marché au point de vue de la construction et de la salubrité. In-8°,

15 p. Paris, Baillière et fils. (Extr. des *Annales d'hygiène publique et de médecine légale.*) (2751)

Plichon (J.). — La situation des ouvriers mineurs en France et à l'étranger. In-8°, 76 p. Paris, impr. Noizette. (5324)

Procès-verbaux des séances et visites du congrès international des accidents du travail tenu à Paris du 9 au 14 septembre 1889, rédigés sous la direction de M. Gruner. In-8°, 56 p. Paris, Impr. nationale. (782)

Roux (L.). — Compte rendu des travaux de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon pendant l'année 1889. In-8°, 27 p. Lyon, impr. Plan. (1559)

Statistique agricole annuelle. (1888.) In-8°, 209 p. Paris, Impr. nationale. (Ministère de l'agriculture.) (646)

Statistique générale de la France. T. XVI et XVII. Statistique annuelle. (Années 1886 et 1887.) Gr. in-8°, 522 p. avec tableaux. Paris, Berger-Levrault et Ce. (Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies.) (2812)

Villard (T.). — Les associations du travail en France et à l'étranger. In-8°, 30 p. Paris, Impr. nationale. (Conférences de l'Exposition universelle internationale de 1889.) (3000)

OUVRAGES ANGLAIS.

1° *Mathématiques pures.*

Muir (T.). — The Theory of Determinants in the Historical Order of its Development. Part. I, Determinants in General. Liebnitz (1693) to Cayley (1841). In-8°, 266 p. Macmillan. 13^f^,15.

2° *Physique. — Chimie. — Métallurgie.*

Bottone (S.-R.). — The Dynamo : How Made, and How Used. 6th ed. With Additional Matter and Illusts. In-8°, 96 p. Swan Sonnenschein. 3^f^,15.

Clowes (F.). — Treatise on Practical Chemistry and Qualitative Analysis. 5th ed. In-8°, 410 p. Churchill. 3^f^,40.

Frankland (E.). — Water Analysis for Sanitary Purposes. With Hints for the Interpretation of Results. 2nd ed., Revised. In-8°, 132 p. Gurney and Jackson. 6^f^,25.

Gray (J.). — Electrical Influence Machines : A Full Account of their Historical Development and Modern Forms. With Instructions for Making Them. In-8°, 246 p. Whittaker. 5^f^,65.

Jamieson (A.). — Elementary Manual of Magnetism and Electricity. Part 2, Voltaic Electricity, Electro-Magnetism and Electro-Kinetics. In-12, 120 p. Griffin. 1^f^,90.

M'Dermott (W.) and Duffield (P. W.). — Losses in Gold Amalgamation. With Notes on the Concentration of Gold and Silver Ores. In-8°, 106 p., 6 pl. Spons. 6^f^,25.

Munro (J.). — Electricity and its Uses. With numerous Engravings. 3rd ed., Revised and Enlarged. In-8°, XVI-208 p. Religious Tract Society. 4^f^,40.

Richards (W.). — Aluminium : Its History, Occurence, Properties, Metallurgy and Application, includings its Alloys. 2nd ed., Revised and greatly Enlarged. In-8°, 520 p. avec 28 fig. et 2 diagrammes. Low. 26^f^,25.

Richardson (A.-T.). — Tables for Chemical Analysis. In-8°. Relfe. 2^f^,50.

Roscoe (Sir H. E.) and Schorlemmer (C.). — A Treatise on Chemistry. Vol. 3. The Chemistry of the Hydrocarbons and their Derivatives; or, Organic Chemistry. Pt. 2. New and thoroughly Revised ed. In-8°, 710 p. Macmillan. 26^f^,25.

Salomons (Sir D.). — Electric Light Installations and the Management of Accumulators. New ed., Revised and Enlarged. With numerous Illusts. In-8°, 336 p. Whittaker. 6^f^,25.

Thorpe (T.-E.). — A Dictionary of Applied Chemistry. 3 vols. Vol. I. In-8°, 718 p. Longmans. 52^f^,50.

Thomson (Bolton). — Electricity in General Practice. In-8°, 50 p. Baillière. 3^f^,15.

Urquhart (J.-W.). — Electric Light : Its Production and Use. 3rd ed, carefully revised, with large Additions. In-8°, 390 p. Lockwod and Son. 9^f^,40.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Dana (J.-D.). — Characteristics of Volcanoes, with Contributions of Facts and Principles from the Hawaiian Islands; including a Historical Review of Hawaiian Volcanic Action for the past Sixty-seven Years, a Discussion of the Relations of Volcanic Islands to Deep-Sea Topography, and a Chapter on Volcanic-Islands Denudation. Illust. by Maps of the Islands, a Bathymetric Map of the Atlantic and Pacific Oceans, and Views of

Cones, Craters, a Lava-Cascade, Lava-Fountain, etc. In-8°, XVI-400 p. Low. 24f,50.

Memoirs of the Geological Survey. England and Wales. The Geology of the Isle of Wight. By *H. W. Bristow.* 2nd ed., Revised and Enlarged, by *C. Reid.*, and *Aubrey Strahan.* 10f,65.

—— England and Wales. Guide to the Geology of London and the Neighbourhood. By *W. Whittaker.* 5th ed. 1f,25.

—— England and Wales. The Geology of the Country near Yarmouth and Lowestoft. Explanation of Sheet 67. By *J.-H. Blake.* 2f,50.

WILLIAMS (J.-W.). — British Fossils, and where to seek them : An Introduction to the Study of Past Life. With Illusts. In-8°, 96 p. Swan Sonnenschein. 1f,25.

4° *Mécanique. — Exploitation des mines.*

BUCKNILL. — Submarine Mining. Reprinted from *Engineering.* In-8°. "Engineering" Office. 13f,15.

CREMONA (L.). — Graphical Statics : Two Treatises on the Graphical Calculus and Reciprocal Figures in Graphical Statics. (Trans. by *Th. Hudson Beare.*) In-8°, 168 p. Clarendon Press. 10f,65.

KAPP (G.). — Electric Transmission of Energy and Its Transformation, Subdivision and Distribution. 2nd ed. In-8°, 350 p. Whittaker. 9f,40.

ROBINSON (W.). — Gas and Petroleum Engines : A Practical Treatise on the Internal Combustion Engine. With numerous Illusts. In-8°, 612 p. Spons. 17f,50.

THURSTON (R.-H.). — A Handbook of Engine and Boiler Trials, and of the Indicator and Prony Brake for Engineers and Technical Schools. In-8°, 510 p. Spons. 26f,25.

TRAIL (T.-W.). — Boilers, Marine and Land : Their Construction and Strength. With Illusts. 2nd ed. In-8°, 560 p. Griffin. 15 fr.

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

Forth Bridge (The). — Reprinted from Engineering. In-4°, 72 p., 2 pl., 157 fig. "Engineering" Office. 6f,25.

PHILIPS (P.). — The Forth Railway Bridge : Being the Expanded Edition of "The Giant's Anatomy". With 20 Illusts. In-4°, 40 p. Edimbourg, R. Grant and Son. 7f,50.

Railways of America : Their Construction, Development, Management and Appliances. By various Writers. With an Introduction by *M. Coole.* In-8°, 470 p., avec plus de 200 fig. Murray. 39f,40.

SMITH (J.-B.). — A Treatise upon Cable or Rope Traction : As Applied to the Working of Street and other Railways. Revised and Enlarged from Engineering. With Plates and Illusts. In-4°. "Engineering" Office. 6f,25.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

MUNROE (H.-S.). — The new dressing-works of the St. Joseph Lead Company, at Bonne-Terre, Missouri. In-8°, 20 p., 3 pl. (*Amer. Inst. of Mining Engineers.*)

—— The English Versus the Continental System of Jigging : is close Sizing advantageous? In-8°, 23 p. (Même recueil.)

RICHARDS (J.). — A Manual of Machine Construction, for Engineers, Draughtsmen and Mechanics, embracing Examples, Rules, Tables, etc. Illust. In-4°, 300 p. Philadelphie. 37f,50.

United States Geological Survey. Monographs. Vol. 13 : Geology of the Quicksilver Deposits of the Pacific Slope. By *G.-F. Becker.* In-4°, xx-486 p.; Atlas to accompany the Monograph, 14 sheets fol. Washington, Government Printing Office. 11 fr.

—— —— Vol. 14 : Fossil Fishes and Fossil Plants of the Triassic Rocks of New Jersey and the Connecticut Valley. By *J.-S. Newberry.* With Illusts. In-4°, XIV-96 p. Washington, Government Printing Office. 5f,50.

OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques pures.*

AUWERS (K.). — Die Entwickelung der Stereochemie. Theoretische und experimentelle Studien. Heidelberg, C. Winter. In-8°, III-157 p. 4 fr. (1308)

Bach (C.). — Elasticität und Festigkeit. 2 Lfg. Berlin, Springer. In-8°, xiv-211-376 p. avec fig. et 4 pl. 10 fr. (765)

Brunn (H.). — Ueber Curven ohne Wendepunkte. Munich, Th. Ackermann's Verl. In-8°, vi-75 p. avec 6 pl. 3f,50. (101)

Buschbaum (C.). — Untersuchungen über die Bahn des Kometen 1886 IX (Barnard-Hartwig). Göttingen, Vandenhoeck und Ruprecht. In-4°, 45 p. 3 fr. (102)

Schroeter (H.). — Grundzüge einer rein-geometrischen Theorie der Raumkurve 4. Ordnung 1. Species. Leipzig, Teubner. In-8°, vi-100 p. 3f,50. (1334)

2° *Physique. — Chimie.*

Beckmann (W.). — Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss des kohlensauren und citronensauren Natron auf die Ausscheidung der Alkalien. Dorpat, Karow. In-8°, 74 p. 2 fr. (489)

Dürre (E.-F.). — Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. 32 Lfg. Leipzig, Baumgärtner. In-4°. III. Bd., p. 561-640 avec 120 pl. 7f,50. (2362)

Engelhardt (A.). — Chemisch-technische Hertstellung täglicher Bedarfsartikel ohne maschinellen Betrieb. Leipzig, E. Krause. In-8°, viii-352 p. 7f,50. (2363)

Geitel (M.). — Das Vassergas und seine Verwendung in der Technik. (Extr. des *Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen.*) Berlin, Dierig und Siemens. iv-51 p. avec 97 pl. 12f,50. (2365)

Jaennicke (F.). — Handbuch der Glasmalerei. Stuttgart, Neff. In-8°, viii-299 p. avec 31 fig. 5f,15. (1975)

Jüngst (C.). — Schmelversuche mit Ferro-Silicium. (Extr. de la *Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen.*) Berlin, Ernst und Korn. In-4°, 99 p. avec 9 pl. 20 fr. (786)

Kittler (E.). — Handbuch der Elektrotechnik. (2 Bde) II. Bd. 1. Hälfte. Stuttgart, Enke. In-8°, 324 p. 12f,50. (1976)

Ledebur (A.). — Eisen und Stahl in ihrer Anwendung für bauliche und gewerbliche Zwecke. Berlin, S. Fischer. In-8°, viii-163 p. 5 fr. (1182)

Lindner (G.). — Theorie der Gasbewegung. Berlin, Simion. In-4°, vi-150 p. 12f,50. (1981)

Luschin (Eug. von Ebengreuth). — Asbest, dessen Vorkommen und Verarbeitung in Oesterreich-Ungarn. (Extr. du *Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch.*) Vienne, Szelinski. In-8°, 42 p. 1f,75. (1983)

Rosenberger (F.). — Die Geschichte der Physik in Grundzügen mit synchronistischen Tabellen der Mathematik, der Chemie und beschreibenden Naturwissenschaften, sowie der allgemeinen Geschichte. III. Thl. 2. Abth. Brunswick, Vieweg und Sohn. In-8°, xiii p. et p. 319-826. 13 fr. (1327)

Stilling (J.). — Anilin-Farbstoffe als Antiseptica und ihre Anwendung in der Praxis. 1. Mittheilung. Strasbourg, Trübner. In-8°, 25 p. 1f,25. (1732)

Wagner (C.). — Das elektrische Glühlicht, sein Wesen und sein Betrieb durch Batteriestrom. Berlin, Mode's Verl. In-8°, 96 p. 2f,85. (1593)

Wille (R.). — Wolfram-Geschosse. Berlin, Eisenschmidt. In-8°, iv-100 p. 2f,50. (2379)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Andrussow (N.). — Die Schichten von Cap Tschauda. (Extr. des *Annalen des k. k. naturhistorischen Hofmuseums.*) Vienne, Hölder. In-8°, 12 p. 2f,50. (1706)

Felix (J.) und H. Lenk. — Beiträge zur Geologie und Paläontologie des Republik Mexico. I. Thl. Leipzig, Felix. In-4°. VIII, 114 p., 4 pl. 12f,50. (916)

Fritsch (A.). — Fauna der Gaskohle und der Kalksteine der Permformation Böhmens. II. Bd. 4. Heft. Prague, Rivnac. Infol. II. Bd., 4. Heft, IV p. et p. 93-114, 12 pl. 40 fr. (920)

Katzer (F.). — Geologie von Böhmen. II. Abth. Prague, Taussig. In-8°, p. 321-672. 6 fr. (929)

Niedzwiedzki (J.). — Beitrag zur Kenntniss der Salzformation von Wieliczka und Bochnia, sowie der an diese angrenzenden Gebirgsglieder. IV. Lemberg, Milikowski. In-8°, p. 153-198, av. 1 pl. 3 fr. (1324)

Roux (W.). — Die Entwickelungsmechanik der Organismen, eine anatomische Wissenschaft der Zukunft. Vienne, Urban und Schwarzenberg. In-8°, 26 p. 1f,25. (1328)

Sammlungen des geologischen Reichsmuseums in Leiden. I. Serie. Bd. IV. Heft 7. Beiträge zur Geologie Ost-Asiens und Australiens. II. Serie. Bd. I. Heft 3. Beiträge zur Geologie von Niederländisch West-Indien. Leiden. In-8°. 9f,40. (943)

v. Sandberger (F.). — Uebersicht der Versteinerungen der Trias-

Formation Unterfrankens. (Extr. des *Verhandlungen der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg.*) Würzburg, Stahel. In-8°, 46 p. 2f,50. (1329)

Steinmann (G.) und L. Döderlein. — Elemente der Paläontologie. 2. Hälfte. Evertebrata (Schluss) und Vertebrata. Leipzig, Engelmann. In-8°, XIX p. et p. 337-848. avec fig. 887-1030. 18f,75. (139)

Stürtz (B.). — Neuer Beitrag zur Kenntniss palaeozoischer Seesterne. (Extr. des *Palaeontographica.*) Stuttgart, Schweizerbart. In-4°, p. 203-247 avec 6 pl. 15 fr. (1733)

Yokoyama (M.). — Versteinerungen aus der japanischen Kreide. (Extr. des *Palaeontographica.*) Stuttgart, Schweizerbart. In-4°, p. 159-202, av. 8 pl. 20 fr. (1736)

4° Mécanique. — Exploitation des Mines.

Beck (W.). — Deutsch-russisches technisches Wörterbuch der Bergbau- und Hüttenkunde, enthaltend die gebräuchlichsten technischen Wörter aus der Metallurgie, Bergbaukunde, Markscheidekunst, Probirkunde, Salinenkunde, Geologie, Mineralogie, Chemie, Physik, Mechanik, Geodäsie, Baukunde und des Eisenbahnwesens. St-Pétersbourg, Ricker. In-8°, vii-496 p. 20 fr. (1969)

Friese (F.-M. Ritter von). — Bilder von den Kupferkies-Lagerstätten bei Kitzhübel und den Schwefel - Lagerstätten bei Swoszowice. Nach der Natur aufgenommen von den k.k. Bergbeamten. In-4°, 35 p., avec 78 pl. Vienne, k. k. Hof und Staatsdruckerei.

Kupferschieferbergbau (der) und der Hüttenbetrieb zur Verarbeitung der gewonnenen Minern in den beiden Mansfelder Kreisen der Preussischen Provinz Sachsen unter Berücksichtigung der geognostischen und historischen Verhältnisse. Dargestellt von der Ober-Berg- und Hütten-Direction in Eisleben. Eisleben, Kuhnt (Freiberg i/S., Craz und Gerlach). In-8°, 125 p. avec 3 pl. 7f,50. (1179)

Pechau (J.). — Leitfaden des Maschinenbaues. III. Abth. Reichenberg, Fritsche. In-8°, viii-194 p. avec 43 fig. 10 fr. (793)

OUVRAGES ESPAGNOLS.

Echegaray (J.). — Teorias modernas de la física; unidad de la fuerzas materiales. III. serie. Madrid. In-8°, 255 p. 9 fr.

Malo de Molina (M.). — Labore de minas. Tomo I. Parte 1, Cartagena. In-4°, 416 p. avec 22 pl. 40 fr. (2373)

OUVRAGES ITALIENS.

1° Mathématiques pures.

Barbera (L.). — Teoria della integrabilità delle funzioni e dei massimi e minimi degli integrali definiti. Bologne, imp. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 213 p. 6 fr. (5231)

Bigiavi (C.). — Sopra una classe di equazioni differenziali lineari a coefficienti doppiamente periodici. Pise, imp. T. Nistri e C. In-8°, 92 p. (Extr. des *Annali d. r. scuola normale sup. di Pisa.*) (311)

Forti (A.-O.). — Il metodo dei minimi quadrati e la teorica degli errori con applicazioni alle scienze di osservazione (Geometria pratica). Seconda edizione riveduta con appendice. Milan, U. Hoepli. In-8°, xij-108 p. av. pl. 2f,50. (314)

Razzaboni Amilcare. — Sulle rappresentazioni dello spazio sopra sè stesso che conservano le aree delle superficie corrispondenti : nota presentata alla r. accademia delle scienze dell' istituto di Bologna nella sessione delli 24 novembre 1889. Bologne, imp. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 7 p. (Extr. du *Rendiconto delle sezioni della r. accademia delle scienze dell' istituto di Bologna.*) (668)

Valle Guido. — Sulle equazioni differenziali, alle quali soddisfano il modulo e il moltiplicatore nella trasformazione delle funzioni ellittiche : nota. Turin, C. Clausen. In-8°, 15 p. (Extr. des *Atti della r. accademia delle scienze di Torino.* (1053)

2° *Physique. — Chimie.*

Ciotto (F.). — Studio chimico delle calci e dei cementi. Padoue, Angelo Draghi. In-8°, 115 p. 1f,50. (5235)

Coscera Nicomede. — Considerazioni e proposte sulla determinazione dell' anidride carbonica libera nelle acque medicinali naturali contenute in bottiglie. Rome, imp. alle Terme Diocleziane. In-8°, 11 p. avec fig. (Extr. du *Bollettino farmaceutico.*) (665)

Grimaldi (G.-P.). — La teoria elettromagnetica del Maxwell e le esperienze di H. Hertz : prelezione al corso di fisica complementare, dettato nell' istituto fisico della r. università di Roma, anno scolastico 1889-90. Rome, imp. della r. accademia dei Lincei. In-4°, 40 p. (667)

Rothen. — Studio sulla telefonia. Milan, editori dell' Elettricità. In-16, 185 p. avec fig. 2 fr. (1052)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Casoria (E.). — Predominio della potassa nelle acque termo-minerali vesuviane (Nunziante e Montella) : ricerche. Florence, imp. Cooperative. In-8°, 5 p. (Extr. del' *Idrologia e la climatologia medica.*) (664)

Ciofalo (S.). — L' oligocene dei dintorni di Termini-Imerese : memoria. Catane, imp. Galàtola. In-4°, 13 p. (Extr. des *Atti dell' accademia gioenia di scienze naturali in Catania.*) (1915)

Gioli (G.). — Briozoi neogenici dell' isola di Pianosa nel mar Tirreno. Pise, T. Nistri e C. In-8°, 18 p. av. pl. (Extr. des *Atti d. soc. toscana di scienze naturali.*) (316)

Gregorio (A. de). — Iconografia conchiologica mediterranea, vivente e terziaria. I (Studî sul genere Scalaria). Palerme, L. Pedone Lauriel. In-4°, 11 p. avec pl. (Extr. des *Annales de géologie et de paléontologie*, publiées à Palerme sous la direction de Antoine de Gregorio.) (3755)

Issel (A.). — Dei fossili recentemente raccolti nella caverna delle Fate (Finalese) : nota. Gênes, imp. Sordomuti. In-8°, 11 p. (Extr. des *Annali del museo civico di storia naturale di Genova.*) (1446)

Malagoli (M.). — Foraminiferi tratti dal fango eruttato dalle salse di Nirano. Modène, imp. G. T. Vincenzi e nipoti. In-8°, 11 p. (Extr. des *Atti d. soc. dei naturalisti di Modena.*) (1048)

Memme (F. de). — Sopra alcuni cristalli di cuprite e di calcite. Genève, imp. A. Ciminago. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti della società ligustica di scienze naturali e geografiche.*) (3758)

Stefani (C. de). — Le pieghe delle Alpi Apuane : contribuzione agli studî sull' origine delle montagne. Florence, imp. succ. Le Monnier. In-8°, 115 p. av. fig., carte géologique et deux tableaux. 12 fr. (671)

Traverso (S.). — Note sulla geologia e sui giacimenti argentiferi del Sarrabus (Sardegna). Turin, Fr. Casanova In-4°, 57 p. av. pl. (4740)

4° *Mécanique. — Exploitation des mines.*

Costruttore (Il) : trattato pratico delle costruzioni civili, industriali e pubbliche, delle arti ed industrie attinenti, disposto alfabeticamente ad uso dell' ingegnere civile ed industriale, dell' architetto, dell' agronomo, dei capimastri, imprenditori, industriali, ecc. Vol. I, disp. 37-38. Milan, Fr. Vallardi. In-4°, p. 905-952 avec planche. (1094)

Romei (M.). — Le miniere dei Monte Amiata : notizie storiche e corografiche. Florence, imp. succ. LeMonnier. In-8°, 281 p. 4 fr. (1448)

5° *Objets divers.*

Enciclopedia delle arti e industrie, compilata colla direzione degli ing. R. Pareto e G. Sacheri. Disp. 79-81. Turin, Union typographique. In-4°, p. 885-1512, avec fig. 3 fr. chaque livraison. (730-2168)

Parodi (L.). — Brevi osservazioni al nuovo progetto di legge sulle miniere. Florence, imp. G. Barbèra. In-8°, 52 p. (3322)

N° 433
CH1

BIBLIOTHÈQUE
Entrée
1 bis

ANNALES
DES MINES

NOTE
SUR LES RONDELLES BELLEVILLE

Par M. RATEAU, ingénieur des mines.

Une *rondelle Belleville*, ainsi appelée du nom de son inventeur, est un tronc de cône en acier trempé, d'une hauteur petite par rapport au diamètre de base, et d'épaisseur constante. En termes plus précis, c'est un solide de révolution engendré par un rectangle très allongé tournant autour d'un axe situé dans son plan, et qui satisfait, en outre, aux deux conditions de ne pas traverser le rectangle et de ne pas s'écarter de la perpendiculaire aux grands côtés du rectangle d'un angle de plus de 6 à 7 degrés (*).

(*) Au début, on a expérimenté des rondelles affectant en coupe, au rayon matière, la forme d'un solide d'égale résistance, c'est-à-dire amincies sur les bords. D'autres essais ont été faits sur des rondelles embouties en forme de calotte sphérique. Les résultats obtenus ont été mauvais dans les deux cas. Avec la première forme, il y avait rupture à la circonférence; avec la deuxième, il y avait déformation complète à l'aplatissement. On a donc été amené à adopter une méridienne rectangle. (Morandiere, *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1866, 4e cahier.)

Deux rondelles accolées par leurs bases, de manière à se présenter mutuellement leur concavité, constituent un *couple* de forme lenticulaire (*fig.* 1, Pl. I) qui fléchit sous un effort de compression et s'aplatit même tout à fait si l'effort est suffisant. Plusieurs couples de rondelles, empilés autour d'un guide cylindrique qui passe dans leurs trous, forment un ressort, sorte d'accordéon circulaire en métal, qui trouve application dans les cas où il s'agit d'amortir des chocs ou de supporter des charges considérables.

La flexibilité de ces ressorts ne dépend que de la forme de la rondelle élémentaire, si on suppose le métal homogène, et si on en connaît les constantes d'élasticité et, particulièrement, le coefficient d'élasticité E à la traction. Pour s'en faire une idée, on n'avait pas d'autre moyen que l'expérience directe, lorsque, en 1887, j'ai fait connaître (*) une formule permettant de calculer les charges que peuvent supporter des rondelles dont les constantes géométriques sont données.

Je vais exposer, dans ce qui suit, le mode de calcul qui m'a conduit à cette formule. Je la comparerai ensuite aux résultats des expériences et montrerai qu'elle les suit d'une manière satisfaisante. Enfin, j'en ferai quelques applications, notamment à la recherche des meilleures formes de méridienne à adopter pour avoir l'utilisation la plus grande.

Mon calcul repose sur des hypothèses fondamentales analogues à celles qu'on fait pour obtenir la formule simple des poutres prismatiques. Je suppose :

1° que, pendant la flexion d'une rondelle Belleville, sa méridienne reste constamment identique à ce qu'elle est primitivement sans charge;

2° que je puis calculer les effets des *fibres circulaires* (*), engendrées par les éléments de la méridienne tournant autour de l'axe de la rondelle, comme si elles étaient isolées les unes des autres.

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 13 juin 1887.

La première hypothèse n'est pas évidente *a priori;* elle se justifiera par la concordance du calcul et de l'observation, dans les limites qui seront indiquées plus loin. Quant à la seconde, on sait qu'elle est suffisamment exacte tant que la limite d'élasticité n'est pas dépassée.

1° ÉTABLISSEMENT DE LA FORMULE.

Mise en équations. — Considérons (*fig.* 2, Pl. I) un couple de deux rondelles égales, disposé horizontalement pour fixer les idées, et supposons qu'on serre ce couple entre les mâchoires d'un étau. Chacune des rondelles s'aplatit et se déforme de manière que le bord périphérique augmente de diamètre pendant que le bord central se rétrécit. Sur celui-ci, la mâchoire de l'étau exerce une pression totale P, parallèle à l'axe (**), et, sur l'autre bord, la seconde rondelle exerce une pression totale —P, égale, mais de sens contraire. Ces deux pressions totales sont les résultantes de forces élémentaires que nous supposerons uniformément distribuées sur les circonférences des bords.

Soit, maintenant, plus particulièrement, un *secteur* de la rondelle supérieure limité par deux plans méridiens faisant entre eux un très petit angle θ. Ce secteur est tenu en équilibre, d'une part, par le couple $(p - p)$ des pressions sur le bord supérieur central et sur le bord inférieur périphérique, et, d'autre part, par les forces

(*) Il va sans dire que je n'attache au mot fibre qu'un sens géométrique et qu'il ne correspond à aucune réalité physique.

(**) Je néglige bien entendu le frottement qui s'exerce entre la mâchoire de l'étau et le bord de la rondelle.

élastiques latérales qui se développent dans les plans méridiens limitant le secteur; et il est évident, par raison de symétrie, que ces forces élastiques sont ou perpendiculaires aux plans méridiens, ou dans ces plans méridiens mêmes. Appelons :

E le coefficient d'élasticité ou module de Young;
r_0 le rayon initial d'une fibre circulaire;
$r_0 + \Delta r$ le rayon de cette fibre après déformation.

A chaque élément $d\omega$ de la méridienne correspond une fibre circulaire dans laquelle l'effort de tension (ou de compression) t est égal à $t = E\frac{\Delta r}{r_0} d\omega$.

La partie de cette fibre comprise dans le secteur est tirée (ou comprimée) à chacune de ses extrémités par une force égale à t et tangente à la fibre. Ces deux forces donnent lieu à une composante φ, égale à $t.\theta$, appliquée à l'élément $d\omega$ du plan méridien moyen, et placée dans ce plan, perpendiculairement à l'axe de la rondelle (*fig.* 2, Pl. I).

Nous exprimerons les conditions d'équilibre du secteur en écrivant que : 1° la somme des forces φ est nulle, 2° le moment résultant des forces φ est égal et de signe contraire au moment du couple des pressions p et $-p$. La première de ces conditions se réduit à

$$(a) \qquad \iint \frac{\Delta r}{r_0} d\omega = 0,$$

intégrale double qui doit être prise dans tout l'intérieur de la méridienne.

Pour exprimer la seconde, désignons par z la distance de chaque force φ à un point quelconque du plan méridien moyen, et par c le bras de levier du couple $p - p$; remarquons aussi que $p = P\frac{\theta}{2\pi}$. Nous obtenons, après avoir

supprimé le facteur commun θ,

$$(b) \qquad \iint \frac{\Delta r}{r_0} z\, d\omega = \frac{Pc}{2\pi E},$$

intégrale double qui, comme la première, doit être prise dans l'intérieur de la méridienne.

Ces deux équations (a) et (b) résolvent complètement le problème cherché; c'est-à-dire qu'elles permettent de calculer la force déformatrice P en fonction de la variable qui définit la déformation.

Développement des équations. — Ce qui précède ne préjuge rien sur la forme de la méridienne. Mais il n'y a aucun intérêt à conserver au problème toute sa généralité. Nous admettrons donc, dorénavant, que la méridienne est symétrique par rapport à un diamètre MN (*fig.* 2).

Soit O le point où ce diamètre, prolongé, vient couper l'axe de la rondelle. Désignons par :

l la longueur MN du diamètre ou *rayon matière;*
a la longueur NO, lorsque la rondelle n'est soumise à aucune force extérieure et se trouve ainsi à l'état naturel;
α_0 l'angle à la base, c'est-à-dire l'angle de MN avec le plan de base de la rondelle, à l'état naturel;
α l'angle à la base après déformation; cet angle étant d'ailleurs négatif lorsque la rondelle est retournée.

Prenons pour axe des x le diamètre OM, et, pour axe des y, la perpendiculaire Oy à ce diamètre menée par le point O. Ces axes suivent invariablement la méridienne pendant la déformation, de sorte que son périmètre conserve la même expression analytique.

Quand la rondelle est déformée, le diamètre MN vient couper l'axe en un point O′ situé entre N et O, à une petite distance du point O. Appelons δ cette distance OO′, et convenons de prendre le point O pour centre des mo-

ments des forces ; nous voyons que :

$$(c)\qquad \frac{\Delta r}{r_0}=\frac{(x-\delta)\cos\alpha+y\sin\alpha}{x\cos\alpha_0+y\sin\alpha_0}-1,$$
$$z=x\sin\alpha-y\cos\alpha.$$

Remarquons maintenant que c peut être remplacé par $l\cos\alpha$, et posons, pour simplifier l'écriture :

$$(d)\qquad \operatorname{tg}\alpha_0=t_0,\quad \operatorname{tg}\alpha=t,\quad \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_0}-1=u,$$

il vient, après avoir aussi substitué $dxdy$ à $d\omega$:

$$(a_1)\qquad 0=\int_{-\eta}^{+\eta}\int_a^{a+l}\left[(1+u)\,\frac{ty+x-\delta}{t_0y+x}-1\right]dy\,dx,$$
$$(b_1)\qquad \frac{\mathrm{P}\,l}{2\pi\mathrm{E}}=\int_{-\eta}^{+\eta}\int_a^{a+l}\left[(1+u)\,\frac{ty+x-\delta}{t_0y+x}-1\right](tx-y)\,dy\,dx.$$

Intégration par rapport à y. — Après avoir intégré par rapport à y, ce qui est facile, remplaçons 2η par e, épaisseur de la rondelle correspondante à l'abscisse x, et remplaçons aussi $(1+u)^{-1}$ par $1-u$, en négligeant u^2 devant l'unité puisque il est très petit — généralement inférieur à $\frac{1}{5.000}$ — nous avons :

$$(a_2)\qquad 0=\int_a^{a+l}\left[\begin{array}{c}\left(\frac{t}{t_0}+u-1\right)e\\ +\left(\frac{t_0-t}{t_0^2}x-\frac{t\delta}{t_0}\right)\text{Log nat.}\,\frac{2x+t_0e}{2x-t_0e}\end{array}\right]dx,$$

$$(b_2)\qquad \frac{2\pi\mathrm{E}}{\mathrm{P}\,l}=\int_a^{a+l}\left[\begin{array}{c}\frac{\mathrm{H}e}{t_0}-(1-u)tex\\ +\left(\frac{t}{t_0}x(x-\delta)-\frac{\mathrm{H}x}{t_0^2}\right)\text{Log nat.}\,\frac{2x+t_0e}{2x-t_0e}\end{array}\right]dx,$$

$$\text{avec}\quad \mathrm{H}=\left(t^2+\frac{t}{t_0}-1\right)x+\delta.$$

Intégration par rapport à x. — L'intégration exacte par rapport à x n'est pas possible en général (*). Mais

(*) L'intégration par rapport à x pourrait se faire exactement si e était une fonction entière de x, car, en désignant par Π un

ici, comme nous nous bornons à une approximation, nous allons développer en série en profitant de ce que t_0e est très petit par rapport à $2x$.

On a, comme on sait :

$$\text{Log nat.}\,\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}=2\varepsilon\left(1+\frac{\varepsilon^2}{3}+\frac{\varepsilon^4}{5}+\dots\right),$$

donc :

$$\text{Log nat.}\,\frac{2x+t_0e}{2x-t_0e}=\frac{t_0e}{x}\left[1+\frac{1}{12}\left(\frac{t_0e}{x}\right)^2+\frac{1}{80}\left(\frac{t_0e}{x}\right)^4+\dots\right].$$

Et, à cause de la petitesse extrême du rapport $\left(\frac{t_0e}{x}\right)^2$, il convient d'arrêter le développement aux deux premiers termes. En remplaçant donc, dans les intégrales précédentes, $\text{Log nat.}\,\frac{2x+t_0e}{2x-t_0e}$ par $\frac{t_0e}{x}\left[1+\frac{1}{12}\left(\frac{t_0e}{x}\right)^2\right]$, on a :

$$(a_3)\qquad 0=\int_a^{a+l}\left[\left(u-\frac{\delta}{x}\right)e+\frac{t_0e^3}{12x^2}\left(t_0-t-\frac{t_0\delta}{x}\right)\right]dx,$$

$$(b_3)\qquad \frac{\mathrm{P}\,l}{2\pi\mathrm{E}}=\int_a^{a+l}\left[(ux-\delta)te+\frac{(1+tt_0)e^3}{12x}\left(t_0-t-\frac{t_0\delta}{x}\right)\right]dx.$$

Mais $t_0\delta$, t_0^2, tt_0 étant très petits par rapport à l'unité, on peut les négliger à côté d'elle. Avec cette simplification (*), les équations deviennent :

$$(a_4)\qquad 0=\int_a^{a+l}\left(u-\frac{\delta}{x}\right)e\,dx,$$

$$(b_4)\qquad \frac{\mathrm{P}\,l}{2\pi\mathrm{E}}=\int_a^{a+l}\left[(ux-\delta)te+\frac{(t_0-t)e^3}{12x}\right]dx.$$

polynôme en x, on a

$$\int\Pi\,\text{Log}\,(x+m)\,dx=\text{Log}\,(x+m)\int\Pi dx-\int\frac{\int\Pi\,dx}{x+m}\,dx.$$

(*) En développant complètement les calculs, on voit que cette simplification revient à négliger devant l'unité les termes $\frac{e^2}{\mathrm{D}d}$ et $\frac{f_0^2}{l^2}$ (voir les notations ci-après) qui, en pratique, sont plus petits que $\frac{1}{100}$.

De la première de ces équations on tirera δ en fonction de la variable t qui définit la déformation; puis, en portant cette valeur de δ dans la seconde, et intégrant, on aura P en fonction de t, et ce sera l'équation cherchée.

Ordinairement, l'épaisseur e est constante. C'est ce que nous supposerons dans ce qui va suivre.

Épaisseur uniforme. — Dans le cas de l'épaisseur uniforme, les intégrations sont faciles; elles donnent :

$$(1)\quad \begin{cases} \delta = u\,\dfrac{l}{\text{Log nat.}\,\dfrac{a+l}{u}}, \\ \mathrm{P} = \pi \mathrm{E} e l (t_0 - t)\left[t(t_0+t)\left(\dfrac{1}{2}+\dfrac{a}{l}-\dfrac{1}{\text{Log}\,\dfrac{a+l}{a}}\right) + \dfrac{1}{6}\dfrac{e^2}{l^2}\,\text{Log}\,\dfrac{a+l}{a}\right]. \end{cases}$$

Mais, habituellement, la quantité $\left(\dfrac{1}{2}+\dfrac{a}{l}-\dfrac{1}{\text{Log}\,\dfrac{a+l}{a}}\right)$ diffère extrêmement peu de $\dfrac{1}{12}\,\text{Log}\,\dfrac{a+l}{a}$ (*), il y a donc, là encore, matière à simplification.

Appelons maintenant :

D le diamètre de la rondelle;
d le diamètre du trou;

(*) On a en effet

$$\frac{\dfrac{1}{12}\,\text{Log}\,\dfrac{a+l}{a}}{\dfrac{1}{2}+\dfrac{a}{l}-\dfrac{1}{\text{Log}\,\dfrac{a+l}{a}}} = 1+\frac{1}{15}\left(\frac{l}{2a+l}\right)^2+\frac{1}{63}\left(\frac{l}{2a+l}\right)^4+\dots$$

et $\dfrac{l}{2a+l}$ est presque toujours plus petit que $\dfrac{1}{2}$, dans les types du commerce.

$\lambda = \dfrac{\mathrm{D}}{d}$ le rapport de ces diamètres;

f_0 la flèche initiale à l'état naturel;

f la flèche sous charge;

$\xi = \dfrac{f}{f_0}$ le rapport de ces flèches;

et rappelons que e désigne l'épaisseur de la rondelle. Nous avons, soit rigoureusement, soit approximativement :

$$l = \frac{\mathrm{D}-d}{2}, \qquad \frac{a+l}{a} = \frac{\mathrm{D}}{d},$$

$$t_0 = \frac{2f_0}{\mathrm{D}-d}, \qquad t = \frac{2f}{\mathrm{D}-d}, \quad u = 2\,\frac{f_0^2-f^2}{(\mathrm{D}-d)^2} = 2\,\frac{f_0^2}{(\mathrm{D}-d)^2}(1-\xi^2).$$

Et, en substituant ces valeurs dans les équations (1), celles-ci deviennent :

$$(2)\quad \begin{cases} \delta = \dfrac{f_0^2}{(\mathrm{D}-d)\,\text{Log}\,\dfrac{\mathrm{D}}{d}}(1-\xi^2), \\ \mathrm{P} = \dfrac{2}{3}\pi \mathrm{E}\left(\text{Log}\,\dfrac{\mathrm{D}}{d}\right)\dfrac{f_0 e^3}{(\mathrm{D}-d)^2}(1-\xi)\left[1+\dfrac{f_0^2}{2e^2}\xi(1+\xi)\right]. \end{cases}$$

De telle sorte que, si on pose :

$$(3)\quad \begin{cases} \mathrm{A} = \dfrac{2}{3}\pi \mathrm{E}\,\text{Log}\,\dfrac{\mathrm{D}}{d} \times \dfrac{f_0 e^3}{(\mathrm{D}-d)^2} = \dfrac{\pi \mathrm{E}}{6}\dfrac{f_0 e^2}{l^2}\,\text{Log}\,\lambda, \\ m = \dfrac{1}{2}\dfrac{f_0^2}{e^2}, \end{cases}$$

la formule définitive cherchée est la suivante :

$$(4)\quad \boxed{\mathrm{P} = \mathrm{A}(1-\xi)(1+m\xi+m\xi^2)} = \mathrm{A}[1+(m-1)\xi-m\xi^3],$$

A est la charge d'aplatissement complet.

m est un coefficient spécifique, que j'appellerai *module*, dont dépendent les curieuses propriétés des rondelles que nous allons mettre en relief plus loin.

Insistons sur ce fait que le module n'est fonction que du rapport de la flèche initiale à l'épaisseur.

La formule (4) est celle que je me proposais de démontrer. Le chemin que nous avons suivi pour l'obtenir est, il faut le reconnaître, assez pénible, et il est bon de rappeler que nous avons élagué une foule de termes secondaires qui en restreignent les limites d'application. Mais, en somme, on peut s'en servir tant que le rapport $\frac{D}{d}$ ne s'élève pas au-dessus de 5, et tant que l'épaisseur e n'est pas plus grande que le dixième du diamètre D. Toutes les rondelles du commerce satisfont à ces conditions.

Cette formule est assez compliquée en apparence. Au fond, elle se prête facilement au calcul. Je donne, Pl. III, un abaque (*) (construit par M. Ch. Lallemand, d'après la méthode remarquable qu'il a imaginée) permettant de trouver très rapidement, avec une approximation de 1/50e, la charge que supporte une rondelle

(*) *Manière de se servir de l'abaque.* — Appliquer sur le dessin un transparent ou indicateur (en papier calque, verre, gélatine ou celluloïd) sur lequel on a tracé les trois diamètres d'un hexagone numérotés 1, 2, 3 et orientés comme dans la *fig.* 1, Pl. III. — 1° Faire passer le diamètre 1 de l'indicateur par le point de l'échelle I situé à la rencontre de l'horizontale ayant pour cote le diamètre d du trou central et de la courbe répondant au diamètre D de la rondelle. 2° Prendre en même temps avec le diamètre 2 le point répondant, sur l'échelle II, aux valeurs données pour la flèche initiale (f) de la rondelle et son épaisseur (e). 3° Faire glisser le diamètre 3 de l'indicateur parallèlement aux *lignes-guide* tracées sur le dessin jusqu'à ce que le diamètre 1 vienne passer par le point de l'échelle III situé à la rencontre de l'horizontale cotée (ξ) et de la courbe cotée (m). [Le module m de la rondelle est donné par l'abaque auxiliaire.] — Lire enfin, sur l'échelle IV, avec le diamètre 2, la charge P.

Note relative à l'échelle III. — En pratique, m varie de 0 à 2. — Les courbes $m = 3$, $m = 4$, $m = 5$, n'ont été tracées que pour l'étude de la formule. — Quand le point considéré de l'échelle III est situé sur la courbe pointillée le nombre lu sur l'échelle IV exprime un effort de traction.

donnée sous une flexion quelconque (*). Cet abaque a été fait en admettant un coefficient d'élasticité égal à 20.000 kilogrammes par millimètre carré.

On peut se demander s'il ne serait pas possible de trouver une formule tout aussi exacte que (4) et plus simple. La réponse est négative. Il est indispensable, en effet, que cette formule renferme les quatre paramètres qui définissent la forme des rondelles; il faut aussi qu'elle rende compte des phénomènes complexes que je vais bientôt analyser; et, pour cela, il est nécessaire qu'elle contienne la variable de déformation à la troisième puissance au moins. Il n'y a donc pas à chercher une expression plus simple.

Si, au lieu de ξ, on voulait prendre, pour variable indépendante, le raccourcissement ζ de la flèche, il suffirait de remplacer ξ par sa valeur tirée de l'égalité

$$\zeta = f_0(1-\xi),$$

et, on aurait alors, en remplaçant aussi $\frac{2e}{D-d}$ par l'angle i que fait la diagonale de la méridienne avec les grands côtés,

$$(5) \qquad P = \frac{\pi E}{6} \operatorname{Log} \lambda e i^2 \zeta \left(1 + 2m - \zeta \frac{3f_0 - \zeta}{2e^2}\right).$$

Mais, pour la discussion que nous allons faire, cette forme est moins avantageuse que la première.

Avant de commencer notre discussion, remarquons que l'on a :

$$(6) \qquad -\frac{dP}{d\xi} = A(1 - m + 3m\xi^2),$$

dérivée qui s'annule pour :

$$(7) \qquad \xi = \pm\sqrt{\frac{m-1}{3m}},$$

(*) Pour consulter cet abaque, on peut se procurer un indicateur hexagonal en celluloïd, chez *Guyard et Canary*, 18, rue de la Cerisaie, Paris.

et que la *flexibilité*, c'est-à-dire le rapport $\frac{d\zeta}{dP}$ du raccourcissement de la flèche à l'accroissement de la charge, est égale à :

$$(8) \qquad \frac{d\zeta}{dP} = \frac{6l^2}{\pi E e\left(e^2 + f_0^2 - 3f_0\zeta + \frac{3}{2}\zeta^2\right)\mathrm{Log}\,\lambda}.$$

Discussion. — Sur deux axes de coordonnées rectangulaires OP et Oξ (*fig.* 3, Pl. I), portons, en abscisse, la charge P, et, en ordonnée, le paramètre ξ; nous obtenons, d'après la formule (4), une courbe du troisième degré [parabole cubique (*)], qui part du point fixe B de l'axe des ξ, et ondule autour de la droite BAC. Cette courbe coupe l'axe des charges en un point A, tel que OA égale la charge A d'aplatissement, et elle a, en ce point, une inflexion. On voit facilement, par la formule (6), que la tangente au point d'inflexion et la tangente en B se coupent en un point T dont les coordonnées sont : abscisse $= \frac{1+2m}{3}$. OA, et ordonnée $= \frac{2}{3}$. OB. La forme de la courbe ne dépend que de m, et on distingue trois cas :

1° Si le module m est compris entre zéro et 1, ce qui est le cas des rondelles du commerce, la courbe ne présente ni maximum ni minimum; la charge croît constamment quand ξ décroît. La flexibilité, minimum au départ, augmente avec ζ, mais sans devenir infinie.

2° Si m est compris entre 1 et 4, la courbe présente un maximum M, pour $\xi = \sqrt{\frac{m-1}{3m}}$, et un minimum positif μ, pour $\xi = -\sqrt{\frac{m-1}{3m}}$:

(*) C'est aussi la courbe *élastique* que prend une poutre prismatique encastrée et chargée à son extrémité.

$$(9) \qquad \begin{cases} M = A\left[1 + \frac{2}{3}(m-1)\sqrt{\frac{m-1}{3m}}\right], \\ \mu = A\left[1 + \frac{2}{3}(m-1)\sqrt{\frac{m-4}{3m}}\right] \text{ (*)}. \end{cases}$$

Donc, si on presse, par une force graduellement croissante, une rondelle dont le module est supérieur à l'unité, on la voit s'aplatir brusquement et se retourner dès que la charge atteint le maximum qu'elle peut supporter. Mais, si le module est plus petit que 4, lorsqu'on supprime l'action de la force, la rondelle revient d'elle-même à sa forme initiale.

3° Si m est plus grand que 4, il y a, comme précédemment, un maximum et un minimum; mais celui-ci est négatif. La courbe recoupe l'axe ξ en deux points, qui correspondent évidemment à des positions d'équilibre naturel.

Pour l'une de ces positions, donnée par

$$\xi_1 = -\frac{1}{2} - \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{1}{m}},$$

l'équilibre est *stable*, tandis que pour l'autre, donnée par $\xi_1 = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{1}{m}}$, l'équilibre est *instable*.

Donc, une rondelle dont le module est plus grand que 4 peut se tenir renversée d'elle-même. Dans cette position, elle a une flèche f_1 plus petite qu'auparavant.

$$(10) \qquad f_1 = f_0\left(\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{1}{m}}\right).$$

(*) Les points maximum et minimum se trouvent, quand m varie, sur une courbe du 3e degré

$$P = A\left(1 + \frac{2\xi^3}{1 - 3\xi^2}\right),$$

qui a pour asymptotes les droites

$$\xi = \pm\frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Pour faire revenir cette rondelle à sa forme primitive, il faut presser sur elle avec une force μ :

$$(11) \qquad \mu = A\left[-1 + \frac{2}{3}(m-1)\sqrt{\frac{m-1}{3m}}\right].$$

En résumé, nous voyons que les remarquables propriétés que je viens de signaler, ne dépendent que du module, c'est-à-dire du rapport de la flèche à l'épaisseur. On avait cru remarquer, dans la pratique (*), qu'elles dépendaient du rapport de l'épaisseur au rayon matière. Les expériences vont me donner raison.

2° VÉRIFICATION DE LA FORMULE.

Ecarts probables. — Avant de comparer la formule aux résultats de l'expérience, je dois faire remarquer qu'il ne faut pas s'attendre à une vérification absolument rigoureuse. Les expériences présentent, en effet, une certaine incertitude à cause des erreurs qu'on peut commettre sur la mesure des flèches, et à cause des différences qui existent dans les dimensions des rondelles.

Ces expériences sont faites, à l'usine d'Assailly, de la manière suivante. On presse quelques couples de rondelles, cinq en général, entre le plateau d'une forte bascule, d'une part, et un grand levier en fer, sensiblement horizontal, d'autre part. Le levier, qu'on peut abaisser au moyen d'une vis de pression, sert à donner la charge. Celle-ci est déterminée par des poids convenables placés sur le petit plateau de la bascule. Lorsqu'on a amené le fléau de la bascule à être en équilibre, de manière que les index soient bien en face l'un de l'autre, on est assuré que les rondelles supportent la charge marquée

(*) Morandiere, *loc. cit.*

par les poids, à quelques kilogrammes près. A ce moment, on mesure la hauteur du ressort au moyen d'un compas d'épaisseur. Cette mesure se fait avec une erreur généralement moindre que 1/2 millimètre, mais elle peut cependant atteindre 1 millimètre. On doit donc admettre une erreur possible de $0^{mm},1$, par rondelle, sur la mesure des flèches sous charge.

Pour s'expliquer les différences qu'il y a entre les rondelles d'une même série, il faut connaître le mode de fabrication. On commence par découper un disque annulaire dans une tôle d'acier dure, à 5 millièmes de carbone environ, ayant une épaisseur légèrement supérieure à celle qu'on veut donner à la rondelle, et avec les mêmes diamètres externe et interne; puis, après l'avoir porté à la température du rouge, on l'emboutit au marteau-pilon de manière à lui donner une flèche un peu plus grande que celle qui devra finalement exister. Ensuite, on réchauffe à 900 degrés, et on trempe à l'eau froide. Cette trempe a généralement pour effet de tordre un peu la rondelle, de déformer sa conicité. Il se produit des efforts élastiques intérieurs, qu'on fait disparaître, en partie, par un recuit à 300 degrés. Enfin, on essaye la rondelle en la frappant à plusieurs reprises avec le marteau-pilon. La flèche diminue alors jusqu'à la valeur qui correspond à la limite d'élasticité, et la méridienne, qui était primitivement rectangulaire, se courbe légèrement en S.

On comprend que cette série d'opérations laisse nécessairement les rondelles dans un état élastique et avec des flèches et des épaisseurs légèrement variables d'un échantillon à l'autre.

Pour l'épaisseur, la différence possible atteint $0^{mm},2$. Elle résulte de ce que, au laminage, il faut admettre une tolérance de $0^{mm},1$, et de ce que le chauffage pour la trempe produit une oxydation qui, dans certains cas, peut atteindre $0^{mm},15$.

La flèche finale, après l'essai au pilon, dépend, dans une mesure inconnue, de la dureté du métal, c'est-à-dire de sa teneur en matières durcissantes, ainsi que du degré de trempe et de recuit. C'est ici surtout que les variations peuvent être considérables ; les cahiers des charges actuellement suivis admettent une tolérance de 1/10 dans la flèche.

Enfin, les tensions intérieures, quoique suivant en gros une certaine loi, ne peuvent être soumises au calcul. Elles ont pour effet de donner au coefficient d'élasticité une valeur apparente parfois assez éloignée de 20.000 kilogrammes par millimètre carré. On sait d'ailleurs que, même pour un métal parfaitement homogène, ce coefficient d'élasticité varie entre des limites éloignées l'une de l'autre de 5 à 6 p. 100.

Des chiffres qui précèdent on peut déduire, d'une manière assez approximative, l'écart probable entre les courbes théoriques et celles qui traduisent les expériences.

Je remarque d'abord que les flèches des rondelles du commerce sont comprises entre 1 et 6,5 millimètres et que les épaisseurs varient de 1,5 à 20 millimètres.

Les *erreurs possibles* sont donc les suivantes :

Sur la flèche.	f_0	$\frac{1}{10}$	= 10 p. 100
Sur l'épaisseur.	e	$\frac{0,2}{1,5 \text{ à } 20}$	= 1 à 14 id.
Sur le rapport	ξ	$\frac{0,1}{1 \text{ à } 6,5}$	= 1 à 10 id.
Sur le coefficient. . . .	E	$\frac{6}{2}$ p. 100	= 3 id.

Pour préciser davantage, prenons le cas moyen d'une rondelle ayant 4 millimètres de flèche et 6 millimètres d'épaisseur, et admettons, ce qui doit être peu éloigné de la vérité, que les *erreurs moyennes* sont

égales au quart des erreurs maxima possibles. Nous aurons pour *erreurs probables*, lesquelles sont égales aux 2/3 des erreurs moyennes, les valeurs ci-dessous :

Erreur probable sur	f_0	$\frac{1}{6}$ de 10 p. 100	= 17 p. 1.000
Id.	e	$\frac{1}{6}$ de 3 id.	= 5 id.
Id.	ξ	$\frac{1}{6}$ de 3 id.	= 5 id.
Id.	E	$\frac{1}{6}$ de 3 id.	= 5 id.

On a maintenant, en différentiant les équations (2) et (4), après avoir pris les logarithmes, et négligeant les erreurs commises sur l'évaluation des diamètres D et d,

$$(12)\quad \begin{cases} \frac{dA}{A} = \frac{dE}{E} + \frac{df_0}{f_0} + 3\frac{de}{e}, \\ \frac{dm}{m} = 2\left(\frac{df_0}{f_0} - \frac{de}{e}\right), \\ \frac{dP}{P} = \frac{dA}{A} + \frac{m\xi}{1+m\xi+m\xi^2}\left[(1+\xi)\frac{dm}{m} + (1+2\xi)\frac{d\xi}{\xi}\right] \\ \qquad\qquad - \frac{\xi}{1-\xi}\frac{d\xi}{\xi} \end{cases}$$

équations qui montrent que, dans le cas choisi,

1° l'erreur probable de la charge d'aplatissement est égale à

$$[A] = \sqrt{\left(\frac{5}{1.000}\right)^2 + \left(\frac{17}{1.000}\right)^2 + \left(\frac{15}{1.000}\right)^2} = 23 \text{ p. } 1.000,$$

2° l'erreur du module est égale à

$$[m] = 2\sqrt{\left(\frac{17}{1.000}\right)^2 + \left(\frac{5}{1.000}\right)^2} = 35 \text{ p. } 1.000,$$

3° l'erreur probable de la charge P, correspondante à des valeurs de ξ voisines de $\frac{1}{2}$, est d'environ

$$[P] = \sqrt{\left(\frac{23}{1.000}\right)^2 + \left(\frac{1}{5}\frac{35}{1.000}\right)^2 + \left(\frac{5}{1.000}\right)^2} = 25 \text{ p. } 1.000.$$

Ainsi, pour une rondelle moyenne, les erreurs probables atteignent 2 à 3 p. 100 sur les charges, et 3 à 4 p. 100 sur le module. Comme les erreurs possibles peuvent certainement dépasser quatre fois les erreurs probables, on voit qu'il faut s'attendre à des écarts assez fréquents de 10 p. 100 sur les charges et de 15 p. 100 sur les modules, surtout pour les rondelles de petites dimensions.

Points particuliers. — Ces préliminaires posés, voyons si la formule se vérifie. Je commencerai par montrer que c'est bien du module, et de lui seulement, que dépendent les divers aspects que présentent les rondelles.

Si on jette les yeux sur le tableau des rondelles fabriquées à Assailly (tableau annexe B, page 42), on voit qu'elles se classent ainsi :

RAPPORT $\frac{f_0}{e}$	MODULE	NOMBRE de rondelles	OBSERVATIONS
1,5	1,125	2	Marquées *a* et *b* au tableau.
$\sqrt{2}$	1	8	Dont une, marquée *c*, a un module égal à 0,92 voisin de l'unité.
1	0,500	19	
0,75	0,281	62	
0,50	0,125	36	
0,25	0,031	6	
0	0		

Les deux rondelles qui ont un module plus grand que l'unité présentent l'aplatissement brusque (*). Pour *a*,

(*) Voici comment on observe l'aplatissement brusque. Lorsqu'on charge progressivement un certain nombre de couples de rondelles susceptibles de présenter ce phénomène, il arrive un moment où l'une d'elles, plus faible que les autres, s'affaisse brusquement, se retourne, et donne lieu à un claquement énergique. En continuant à charger, on entend successivement autant de claquements qu'il y a de couples, après quoi les rondelles sont emboîtées les unes dans les autres.

on le voit par le tableau annexe C (page 44); pour *b*, un essai spécial a montré que, sur quatre couples, un a supporté une charge maximum de 300 à 325 kilogrammes, et les trois autres 350 kilogrammes. Aucune des autres rondelles ne présente ce phénomène. Toutefois, il y a lieu de faire une exception pour celles dont le module s'approche de l'unité dans les limites d'écart de 15 p. 100, pour *c* notamment. Avec ces rondelles, on a, non pas autant de retournements qu'il y a de couples, mais quelques-uns seulement, probablement pour celles dont le module s'écarte assez de la moyenne pour atteindre l'unité.

Ainsi, $m = 1$ donne bien la limite du phénomène de l'aplatissement brusque.

J'ai vérifié aussi que $m = 4$ donne la limite à partir de laquelle les rondelles se tiennent d'elles-mêmes retournées. On trouvera page 41 le tableau des essais qui ont été exécutés sur des rondelles faites spécialement pour cela. Ces rondelles n'avaient pas subi le pilonnage auquel on les soumet habituellement après le recuit. Elles ont même profil, mais avec des flèches croissantes.

Ces essais, dont j'ai donné le détail, parce que cela va nous être utile, prouvent ce que j'ai avancé, à savoir que, lorsque le module est plus petit que quatre, les rondelles ne peuvent d'elles-mêmes se tenir renversées ; tandis que le contraire a lieu si le module est plus grand que quatre. On peut objecter qu'il n'est pas établi avec une précision suffisante que $m = 4$ est la limite exacte du phénomène, et il est bien possible qu'au lieu d'une limite précise, il y ait une frontière indécise, mais il paraît impossible de décider cette question, vu les divergences notables qu'il y a souvent d'une rondelle à une autre en apparence pareille. On voit, en effet, que, pour les rondelles n° 2 notamment, les charges d'aplatissement brusque se répartissent sur un intervalle très large (300 à

500 kilogrammes pour le n° 2). Une vérification rigoureuse demanderait une similitude plus accusée.

Le tableau précédent permet beaucoup d'autres vérifications.

On remarquera que les charges maxima calculées sont bien comprises dans les intervalles des charges d'aplatissement brusque constatées.

Le calcul (formule 10) indique que les rondelles renversées doivent avoir 3 millimètres de flèche, pour le n° 2, et $4^{mm},5$, pour le n° 3. Ces chiffres concordent bien avec ceux de l'expérience (2,75 à 3, et 4), surtout si on remarque que les rondelles n° 3 avaient perdu 1/2 millimètre de leur flèche après l'essai, et qu'il y aurait lieu, par conséquent, de tenir compte de cette circonstance dans le calcul. J'ajouterai d'ailleurs qu'on observe, sur les rondelles retournées, une déformation nette de la méridienne. Notre formule n'est donc plus applicable; elle ne donne qu'une idée approximative du phénomène.

Le calcul montre encore (formule 11) que, pour faire revenir les rondelles n° 3 à leur forme primitive, il faut exercer sur elles un effort de 225 kilogrammes, ce nombre s'accorde assez bien avec ceux qui sont inscrits dans le tableau.

Comparaison des courbes. — Dans ce qui précède, nous venons d'éprouver la formule sur certains points particuliers. On a une vérification d'ensemble plus décisive par la comparaison des courbes qu'elle donne avec celles qui traduisent les observations. Le tableau annexe C, qui renferme la plupart des observations faites à l'usine d'Assailly, permet à chacun cette comparaison. Elle se trouve toute faite dans les *fig.* 5, 6, Pl. I, et 1, 2, 3, Pl. II, et pour un grand nombre de rondelles prises au hasard dans ce tableau. On a porté en abscisses les charges, exprimées en tonnes, et en ordonnées les flèches

correspondantes, exprimées en millimètres pour une seule rondelle, ou en centimètres pour cinq couples de rondelles. Les courbes continues sont celles que donne la formule (4), où on fait E = 20.000 kilogrammes; les courbes pointillées joignent les points qui résultent des observations.

Les *fig.* 6 Pl. I et 1 Pl. II se rapportent aux rondelles n°s 2, 3, 4, 5, 8, 13, 15 (*), 16, 17, 19, 23, 27, 28, 29, 30, 31 du tableau annexe C.

La *fig.* 2, Pl. II, aux rondelles n°s 32, 34 (**), 36 de ce tableau.

La *fig.* 3, Pl. II, aux rondelles n°s 5, 10 et 11, prises, au hasard, dans le mémoire de M. Morandiere.

Enfin, la *fig.* 5, Pl. I, se rapporte aux rondelles n°s 1, 2 et 3 dont il a déjà été question précédemment, page 23.

Ces graphiques montrent que, à part quelques exceptions, les courbes résultant de la formule s'accordent parfaitement bien, dans la partie moyenne, sur la moitié de leur longueur à peu près, avec les courbes expérimentales. Elles traversent presque toujours leurs sinuosités. Les écarts sont généralement inférieurs à 5 p. 100. On peut notamment remarquer les courbes 2, 17, 19, 29, de la *fig.* 6, Pl. I; les courbes 13, 28, de la *fig.* 1, Pl. II, et celles de la *fig.* 3, Pl. II.

Parmi les exceptions, il y en a qui proviennent manifestement d'une notable erreur d'appréciation sur la flèche initiale. On peut citer, à cet égard, la courbe n° 16 de la *fig.* 6, Pl. I, et celles de la *fig.* 2, Pl. II. Il suffirait de diminuer légèrement les flèches initiales pour que les courbes théoriques soient aussi correctes que les précédentes. D'autres exceptions, au contraire, — 3 et 5,

(*) Cette rondelle n° 15 est celle marquée *a* dans le tableau annexe B.

(**) Ces rondelles n°s 32 et 34 sont celles marquées *b* et *c* dans le tableau annexe B.

fig. 6, Pl. I, 4, 8 et 15, *fig.* 1, Pl. II, — ne peuvent se rattacher à cette cause. J'ai déjà expliqué (page 18) à quoi elles peuvent être attribuées. Elles ne diminuent en rien la confiance qu'inspirent les nombreuses coïncidences.

Mais, s'il est vrai que la formule donne une entière satisfaction dans la partie moyenne des courbes, il n'en est pas de même à leurs extrémités, dans le voisinage des axes de coordonnées. On constate que, toujours, au départ, la flexibilité des ressorts Belleville est plus forte que ne le veut la formule, et, toujours, au voisinage de l'aplatissement, elle est moins grande ; en sorte que, au lieu de croître progressivement, elle reste sensiblement constante. Autrement dit, les courbes expérimentales s'écartent généralement peu de la ligne droite, tandis que, d'après la formule, elles devraient être renflées. Et même, tout près de l'axe des charges, elles se redressent presque parallèlement à cet axe sans arriver jusqu'à lui ; ce qui montre que l'aplatissement reste incomplet ; on ne parvient pas à faire toucher les rondelles par leur surface entière ; il reste entre elles un intervalle, variable d'ailleurs, qui atteint fréquemment 1/20e de la flèche initiale.

Explication des anomalies. — Pourquoi la formule ne suit-elle pas l'expérience au début et à la fin de la déformation ? C'est ce que nous allons examiner.

La divergence du début me paraît due à deux causes principales de natures très différentes. Elle provient parfois d'une appréciation inexacte de la flèche f_0. Les rondelles ont toujours du gauche qui fait que, lorsqu'on les applique les unes contre les autres, elles ne se touchent pas tout le long de leurs bords ; elles « bâillent » légèrement ; d'où une légère exagération de hauteur. Pourtant, il faut dire que, généralement, dans les essais, on élimine cette cause d'erreur en mesurant la hauteur initiale du

ressort après l'avoir chargé d'un faible poids de quelques kilogrammes, suffisant pour mettre les rondelles en parfait contact. Il est donc nécessaire de donner une autre raison de l'exagération de la flexibilité au départ. Elle provient surtout de ce que les manipulations auxquelles on soumet le métal pour fabriquer les rondelles, lui laissent, comme je l'ai déjà dit, des tensions élastiques importantes qui jettent le trouble dans la déformation, tant que celle-ci reste faible. Cette perturbation n'obéissant évidemment à aucune loi déterminée, il est impossible de la soumettre au calcul, et on ne peut que se borner à la constater, et, au besoin, à en trouver expérimentalement les limites ou la valeur moyenne. Je vais montrer, du reste, par un exemple, comment des tensions élastiques initiales amènent une augmentation de flexibilité.

Considérons une rondelle R, dont le module m soit plus grand que 4, et capable, par conséquent, de se tenir d'elle-même renversée : la rondelle n° 2 du tableau A par exemple. Soient f_0 sa flèche initiale, A la charge d'aplatissement que donne la formule (4). Supposons qu'elle se trouve précisément dans la position renversée ; elle constitue alors une rondelle R_1 dont la flèche $f_1 = f_0\xi_1$ est plus petite que f_0, puisque, d'après (10), ξ_1 est plus petit que l'unité. Cette rondelle R_1 est *géométriquement* pareille à une rondelle ordinaire R′ de même méridienne et de même flèche f_1 ; et celle-ci, qu'on peut dire *conjuguée* de R, a pour module $m' = m\xi_1^2$, et pour charge d'aplatissement $A' = A\xi_1$.

A l'œil, on ne distinguerait pas R′ de R_1, bien qu'elles diffèrent considérablement. Les tensions élastiques de R_1 se font équilibre, il est vrai, mais elles sont la cause que la flexibilité de cette rondelle est notablement plus grande que celle de R′. On trouve, en effet, par la formule (6), que la flexibilité au départ de R_1 est égale à

l'inverse de $\frac{A}{f_0}(1-m+3m\xi_1^2)$, tandis que celle de R' est égale à l'inverse de $\frac{A'}{f_1}(1+2m')=\frac{A}{f_0}(1+2m\xi_1^2)$. Et la première est plus grande que la seconde, car ξ_1^2 est plus petit que l'unité. Le rapport de ces flexibilités peut même s'approcher de zéro, si m diffère peu de 4.

Examinons ensuite pourquoi, au voisinage de l'aplatissement, les charges observées sont plus grandes que celles que donne la formule (4). Cette différence, qui commence à se manifester lorsque la flèche est réduite au tiers environ, plus ou moins suivant les cas, est due certainement à la forme sinueuse de la méridienne. Elle n'existerait probablement pas si celle-ci était et demeurait parfaitement rectangulaire. Tant que la flèche reste suffisante, plus grande que le tiers de sa valeur initiale, par exemple, pour fixer les idées, les rondelles portent bien par leurs bords; mais ensuite, quand la flèche devient plus faible, les circonférences de contact s'éloignent peu à peu des bords, où elles se trouvaient primitivement, pour venir finalement, à l'aplatissement, se placer sur le dos des s méridiennes, comme le représente la *fig.* 4, Pl. I. Dans ce cas, la formule (4) n'est plus applicable, puisqu'elle suppose que le bras du levier c des couples constitués par les forces élémentaires p et $-p$ (voir p. 7) réparties régulièrement sur les bords externe et interne, est égal à l, ou du moins en diffère très peu. Il faut, pour la rendre applicable, y replacer c, c'est-à-dire substituer lc à l^2 dans le dénominateur de A. On a alors la formule plus générale

$$(13) \qquad P=\frac{\pi E}{6}\frac{f_0 e^3}{lc}\operatorname{Log}\lambda[1+(m-1)\xi-m\xi^3],$$

où, pour la première partie de la déformation, il faut faire $c=l$, puis le faire décroître, à partir d'une certaine valeur de ξ, généralement plus petite que 1/2, depuis

l jusqu'à une fraction de l qui peut atteindre 1/2. C'est-à-dire que, pour se trouver dans le cas de l'expérience, il faut considérer c, non pas comme une constante, mais comme une fonction de ξ, d'ailleurs arbitraire *a priori*, car chaque rondelle a une forme spéciale de méridienne. Il est donc impossible d'achever le calcul d'une manière générale. Tout ce qu'on pourrait faire serait d'adopter pour c une loi moyenne. Cela n'a du reste aucun intérêt pour les calculs de la pratique, car, pour assurer aux ressorts Belleville un fonctionnement régulier et une durée normale, on ne les fait jamais travailler, en service courant, à plus des deux tiers de leur charge d'aplatissement, et, par conséquent, jamais on ne dépasse, d'une manière sensible, la valeur de ξ à partir de laquelle il conviendrait de faire décroître c.

En résumé, comme conclusion de toute cette discussion, nous voyons que, dans les limites où on fait travailler, dans la pratique, les rondelles du commerce, et à part l'irrégularité de flexibilité au début de la déformation, la formule (4) suit suffisamment bien les résultats de l'expérience, autant du moins que le permettent les dissemblances qui existent entre les rondelles de même fabrication.

On peut accorder à cette formule assez de confiance pour s'en servir utilement dans les calculs d'avant-projets.

3° APPLICATIONS

L'accord de la formule (4) avec l'expérience justifie l'hypothèse que nous avons faite au début, à savoir que la méridienne ne se déforme pas d'une manière sensible tant qu'on reste dans certaines limites. Je vais suivre les conséquences de cette hypothèse en l'appliquant même au delà des limites que je viens de rappeler. Si nos con-

clusions ne sont pas rigoureuses, elles donnent du moins une idée approximative des choses.

Fibre neutre principale. — Je dis d'abord qu'il existe un point de la méridienne qui reste à une distance invariable de l'axe de la rondelle, et que, par conséquent, il y a une fibre circulaire toujours neutre.

Revenons à la *fig.* 2 et aux notations de la page 8. Soit X un point de l'axe MN de la méridienne situé à la distance de x du point O. La relation (c), où on fait $y=0$, montre que la dilatation Δ_x de la fibre circulaire engendrée par le point X est donnée par la formule :

$$\Delta_x = \frac{(x-\delta)\cos\alpha}{x\cos\alpha_0} - 1 = u - \frac{\delta}{x}\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_0} = u\left(1 - \frac{l}{x}\frac{1+u}{\operatorname{Log}\lambda}\right),$$

car, d'après (1),

$$\delta = u\frac{l}{\operatorname{Log}\lambda}.$$

En négligeant u devant l'unité il reste :

$$\Delta_x = u\left(1 - \frac{l}{x\operatorname{Log}\lambda}\right), \tag{14}$$

formule simple d'où on déduit les conséquences suivantes (*).

En M, sur le pourtour externe, la dilatation est égale à :

$$\Delta_M = u\frac{D-d}{2D}\left(1+\frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right) = \frac{f_0^2 - f^2}{D(D-d)}\left(1+\frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right). \tag{15}$$

En N, sur le pourtour interne, la compression est

(*) Dans les calculs ultérieurs, il m'arrivera souvent de remplacer $\frac{1}{2}\frac{\lambda+1}{\lambda-1} - (\operatorname{Log}\lambda)^{-1}$ par $\frac{1}{12}\operatorname{Log}\lambda$, qui en diffère très peu, ainsi que je l'ai prouvé dans la note de la p. 12.

égale à :

$$-\Delta_N = u\frac{D-d}{2d}\left(1-\frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right) = \frac{f_0^2 - f^2}{d(D-d)}\left(1-\frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right). \tag{15'}$$

Pour $x = \frac{l}{\operatorname{Log}\lambda}$, Δ s'annule. Il existe donc, comme je l'ai annoncé, sur l'axe de la méridienne, un point I où il n'y a jamais ni compression ni dilatation. Ce point I se trouve du côté de l'axe de la rondelle par rapport au centre Ω de la méridienne, et à une distance de ce point égale à $\frac{l}{12}\operatorname{Log}\lambda$. C'est lui qui marque la fibre neutre principale.

Ce résultat n'est, il est vrai, qu'une première approximation, obtenue en négligeant des termes secondaires, très petits d'ailleurs (*). Il faut remarquer aussi qu'il est mis en défaut, au début de la déformation, par l'existence des tensions élastiques initiales, et au voisinage de l'aplatissement complet, par les déformations importantes de la méridienne. Je m'y bornerai cependant, puisque c'est la partie principale des phénomènes qui nous intéresse plutôt que le détail.

(*) Pour se rendre compte de l'importance des termes négligés, il faut pousser l'approximation plus loin.

En reprenant l'équation (a) de la p. 8 et les calculs subséquents, on arrive, pour δ et Δ_x, aux expressions suivantes, exactes jusqu'au 2e ordre de petitesse :

$$\delta = \frac{ul}{\operatorname{Log}\lambda}\left(1 - u + \frac{t_0\varepsilon}{t_0+t}\right),$$

$$\Delta_x = u\left[1 - \frac{l}{x\operatorname{Log}\lambda}\left(1+\frac{t_0\varepsilon}{t_0+t}\right)\right],$$

où u, t et t_0 représentent les mêmes choses qu'à la p. 10 et où ε remplace la quantité $\frac{2e^2}{3Dd}$, généralement inférieure à 1/200.

L'expression (14) de Δ_x est donc suffisamment exacte pour des calculs pratiques.

Cônes d'égale fatigue. — Je passe à la recherche des fibres circulaires qui sont soumises aux mêmes efforts de tension ou de compression. Ces genres d'efforts ne sont pas, assurément, les seuls qui fatiguent le métal ; chaque élément méridien, notamment, supporte des forces de glissement dont il y aurait, en toute rigueur, à tenir compte, attendu que, comme l'a montré M. le capitaine Duguet (*), la rupture dépend à la fois des forces normales et des forces de glissement. Toutefois, pour ne pas développer outre mesure mon analyse, je ne considérerai que les efforts normaux aux plans méridiens. Ce sont, du reste, les plus importants, et c'est d'eux surtout que proviennent les déformations permanentes et les ruptures.

Puisque, pendant le fonctionnement, la méridienne se conserve et que, d'après ce qui vient d'être démontré, un de ses points, désigné précédemment par I, reste à la même distance de l'axe, la déformation se résume en une rotation de la méridienne autour de ce point I. Cette remarque permet de trouver simplement le lieu des points qui subissent le même effort.

Soient ρ et ω (*fig.* 4, Pl. II) les coordonnées polaires d'un point quelconque H de la méridienne, I étant le pôle, et IJ, perpendiculaire à l'axe de la rondelle avant la déformation, l'axe polaire. Désignons par b la longueur IJ, qu'on peut prendre approximativement égale à $\frac{l}{\text{Log}\lambda}$. Au début, le rayon r_0 de la fibre circulaire qui passe par H est égal à $b - \rho\cos\omega$; puis, lorsque la méridienne a tourné de l'angle θ (**) autour de I, il est devenu $b - \rho\cos(\omega - \theta)$. La dilatation Δ_H de cette fibre est donc égale à

$$\Delta_H = \frac{-\rho\cos\omega + \rho\cos(\omega - \theta)}{b - \rho\cos\omega}.$$

Pour des valeurs déterminées de Δ et de θ, cette équation représente une droite, et, comme Δ y entre au premier degré, les différentes droites qu'on obtient en faisant varier Δ — et laissant θ constant — passent par un point fixe.

$\Delta = 0$ entraîne la condition $\omega = \frac{\theta}{2}$; de là ce théorème :

Il y a toujours une droite de points neutres dans la méridienne. Elle passe par le point neutre principal I, et est à chaque instant bissectrice de l'angle formé par la position initiale IJ_0 de IJ et par sa position IJ à l'instant considéré.

Ainsi la droite neutre n'est fixe ni dans la méridienne, ni dans l'espace. Au début de la déformation, elle est perpendiculaire sur l'axe de la rondelle ; à l'aplatissement complet, elle fait en dessous (*) de cette perpendiculaire un angle égal à la moitié, $\frac{\alpha_0}{2}$, de l'angle initial à la base.

Le point S où elle coupe l'axe est le point fixe par lequel passent les différentes droites Δ. Pour le faire voir, je vais changer d'axe polaire et prendre IS, au lieu de IJ. Si φ est le nouvel angle polaire, il faut remplacer dans l'équation précédente ω par $\varphi + \frac{\theta}{2}$. On a alors, pour nouvelle équation,

$$-\Delta_H = \frac{2\rho\sin\frac{\theta}{2}\sin\varphi}{b - \rho\cos\left(\varphi + \frac{\theta}{2}\right)}. \qquad (16)$$

(*) Duguet, *Limite d'élasticité et résistance à la rupture* (deuxième partie).

(**) θ est aussi égal à la diminution de l'angle à la base

$$\theta = \alpha_0 - \alpha.$$

(*) Je suppose la rondelle placée horizontalement, la base à la partie inférieure.

On aperçoit immédiatement que le point fixe a pour coordonnées : $\varphi=0$, $\rho_0=\frac{b}{\cos\frac{\theta}{2}}$. C'est bien le point S.

Appelons β l'angle que fait la droite Δ_H avec IS ; ρ et φ étant les coordonnées d'un point quelconque de la droite Δ, on a :

$$\operatorname{tg}\beta=\frac{\rho\sin\varphi}{\rho_0-\rho\cos\varphi},$$

et, comme l'équation (16) peut se mettre sous la forme

$$-\Delta=\frac{2\rho\sin\varphi\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}}{\rho_0-\rho\cos\varphi+\rho\sin\varphi\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}},$$

on conclut que

$$-\Delta=\frac{2\operatorname{tg}\beta\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}}{1+\operatorname{tg}\beta\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}},\quad\text{et}\quad\operatorname{tg}\beta\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}=\frac{-\Delta}{2+\Delta}.$$

Or, Δ est très petit; on peut le négliger devant 2; il reste alors

$$-\Delta=2\operatorname{tg}\beta\operatorname{tg}\frac{\theta}{2},\qquad(17)$$

ou même, vu que β et θ sont généralement de très petits angles,

$$-\Delta=\beta\theta.\qquad(17')$$

Pour l'aplatissement complet, on aurait $\Delta=-\beta\alpha_0$.

Ce qui précède se résume dans le théorème suivant.

Pendant le fonctionnement d'une rondelle Belleville, une seule fibre reste constamment neutre; les surfaces d'égale fatigue (*) *sont des cônes ayant même sommet sur l'axe de la rondelle. Le cône neutre se réduit à un plan*

(*) Engendrées par les droites Δ en tournant autour de l'axe de la rondelle.

lorsque la déformation commence; puis, à mesure que la rondelle s'affaisse, son angle au sommet décroît d'une quantité égale à la diminution de l'angle à la base de la rondelle.

A l'intérieur du cône neutre, il y a compression de la matière élastique ; à l'extérieur, au contraire, il y a dilatation. La compression ou la dilatation sur un cône est numériquement égale au produit de la diminution de l'angle à la base par l'angle que la génératrice de ce cône fait avec celle du cône neutre, ces génératrices étant prises dans le même plan méridien (*).

Ce théorème important permet de trouver, par une construction graphique très simple, la dilatation — ou la compression — qui existe en un point quelconque d'une rondelle, pour un angle à la base quelconque. Pour avoir ensuite l'effort élastique en ce point, il suffit de multiplier la dilatation trouvée par le coefficient d'élasticité : E = 20.000 kilogrammes par millimètre carré.

L'effort de compression maximum se produit toujours à l'angle supérieur interne de la méridienne; l'effort de tension maximum se produit tantôt à l'angle inférieur externe, tantôt à l'angle inférieur interne, suivant les cas.

Calculons les valeurs les plus grandes K et τ dont ces efforts sont susceptibles, c'est-à-dire lorsque la rondelle est complètement aplatie (*fig.* 5, Pl. II). Menons les droites AS et CS. D'après ce qui précède

$$K=2E\operatorname{tg}\frac{\alpha_0}{2}\operatorname{tg}\widehat{ASI},$$

et

$$\tau=2E\operatorname{tg}\frac{\alpha_0}{2}\operatorname{tg}\widehat{BSI}.$$

(*) Je suppose, bien entendu, les angles évalués en parties décimales du rayon.

Ensuite l'on a approximativement :

$$\operatorname{tg}\widehat{ASI} = \frac{AT}{TS} = \frac{e}{d} + \left(\frac{l}{\operatorname{Log}\lambda} - a\right)\frac{\operatorname{tg}\frac{\alpha_0}{2}}{a} = \frac{e}{d} + \frac{l}{d}\operatorname{tg}\frac{\alpha_0}{2}\left(1 - \frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right),$$

$$\operatorname{tg}\widehat{BSI} = \frac{BT}{TS} = \frac{e}{d} - \frac{l}{d}\operatorname{tg}\frac{\alpha_0}{2}\left(1 - \frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right).$$

Portons ces valeurs dans les équations précédentes, remplaçons $l\operatorname{tg}\frac{\alpha_0}{2}$ par sa valeur approchée $\frac{f_0}{2}$, et posons

$$\frac{e}{f_0} = \mu,$$

il vient :

$$(18) \qquad K = \frac{E f_0^2}{d(D-d)}\left(2\mu + 1 - \frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right),$$

$$(19) \qquad \tau = \frac{E f_0^2}{d(D-d)}\left(2\mu - 1 + \frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right);$$

Mais le maximum de tension pourrait être à l'angle externe C, au lieu de se trouver à l'angle interne B. Dans ce cas, qui se produirait si

$$(20) \qquad \mu \operatorname{Log}\lambda < 1,$$

il faudrait remplacer l'équation (19) par la suivante :

$$(19') \qquad \tau' = \frac{E f_0^2}{D(D-d)}\left(2\mu + 1 + \frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right).$$

Maximum d'utilisation du métal. — Le travail total T absorbé par une rondelle complètement aplatie, travail qu'elle est susceptible de rendre en revenant à sa forme primitive, est donné par la formule :

$$\tau = \int_0^{f_0} P\,df = f_0 \int_0^1 P\,d\xi.$$

Après avoir remplacé P par sa valeur (4), on obtient finalement, l'intégration faite :

$$(21) \quad T = \frac{A f_0}{2}\left(1 + \frac{m}{2}\right) = \pi E \frac{\operatorname{Log}\lambda}{12}\frac{f_0^2 e}{l^2}\left(e^2 + \frac{f_0^2}{4}\right).$$

Ce résultat théorique est généralement un peu au-

dessous de la vérité, puisque, près de l'aplatissement, les charges observées sont un peu plus grandes que celles de la formule (4). Toutefois, la différence est faible. Elle dépasse rarement 10 p. 100, et est en partie compensée par l'impossibilité d'aller jusqu'à l'aplatissement complet. Aussi la négligerai-je, avec d'autant plus de raison, d'ailleurs, qu'elle est essentiellement variable d'une rondelle à l'autre.

Le poids ϖ de la rondelle, si on appelle q la densité du métal, est donné par

$$\varpi = q\pi e l \frac{D+d}{2}.$$

Le travail emmagasiné par unité de poids, ou *coefficient d'utilisation*, est alors égal à

$$(22) \quad \frac{T}{\varpi} = \frac{E}{q}\frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\frac{f_0^2\left(e^2 + \frac{f_0^2}{4}\right)}{l^3(D+d)} = \frac{E}{q}\frac{\operatorname{Log}\lambda}{24}\frac{f_0^4(4\mu^2+1)}{l^3(D+d)}.$$

Si on élimine e et f_0 entre cette égalité et (18), on obtient l'expression suivante du coefficient d'utilisation en fonction des rapports λ et μ, et du plus grand effort de compression K :

$$(23) \qquad \frac{T}{\varpi} = \frac{K^2}{3qE}\frac{\operatorname{Log}\lambda}{\lambda^2 - 1}\frac{4\mu^2+1}{\left(2\mu + 1 - \frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right)^2}.$$

De même, en fonction de τ et τ' :

$$(24) \qquad \frac{T}{\varpi} = \frac{\tau^2}{3qE}\frac{\operatorname{Log}\lambda}{\lambda^2 - 1}\frac{4\mu^2+1}{\left(2\mu - 1 + \frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right)^2},$$

$$(25) \qquad \frac{T}{\varpi} = \frac{\tau'^2}{3qE}\frac{\lambda^2\operatorname{Log}\lambda}{\lambda^2 - 1}\frac{4\mu^2+1}{\left(2\mu + 1 + \frac{\operatorname{Log}\lambda}{6}\right)^2}.$$

Ces formules (*) permettent de rechercher les valeurs

(*) Avec le kilogramme et le millimètre pour unités, elles représentent des millièmes de kilogrammètres par milligramme. Si on voulait leur faire représenter des kilogrammètres par kilogramme

de λ et de μ, qui correspondent à l'utilisation maximum qu'on peut obtenir pour des valeurs de K et de τ assignées d'avance. Leur discussion est beaucoup facilitée par ce fait que les variables λ et μ sont pour ainsi dire séparées, puisque la fraction $\frac{\text{Log}\lambda}{6}$ n'influe que fort peu sur les valeurs des fonctions de μ.

La *fig.* 6, Pl. II, renferme les courbes (1) et (2) des fonctions

$$(1) \qquad y = \frac{\text{Log}\lambda}{\lambda^2 - 1} \qquad \text{et} \qquad (2) \qquad y = \frac{\lambda^2 \text{Log}\lambda}{\lambda^2 - 1},$$

pour des valeurs de λ comprises entre 1 et 5. Les ordonnées de la courbe (1) ont été prises avec une unité plus grande que celle des ordonnées de la courbe (2), afin de mieux en faire ressortir la forme.

La *fig.* 7, Pl. II, renferme les courbes (1), (2) et (3) des fonctions

$$(1) \quad y = \frac{4\mu^2 + 1}{\left(2\mu - 1 + \frac{1}{6}\right)^2}, \qquad (2) \quad y = \frac{4\mu^2 + 1}{\left(2\mu + 1 - \frac{1}{6}\right)^2},$$

$$(3) \quad y = \frac{4\mu^2 + 1}{\left(2\mu + 1 + \frac{1}{6}\right)^2},$$

calculées de $\mu = 0$ à $\mu = 5$. Ces fonctions correspondent au cas moyen où $\text{Log}\lambda = 1$, c'est-à-dire où $\lambda = 2{,}78$.

Avant de tirer de ces courbes la conclusion utile, il importe de remarquer que, dans les applications, on évitera de faire des rondelles susceptibles de l'aplatissement brusque. On doit donc supposer $m > 1$, c'est-à-dire :

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{2m}} > \frac{\sqrt{2}}{2}.$$

de métal, il faudrait introduire le coefficient 1.000 dans leurs numérateurs.

Cette supposition faite, examinons successivement les deux cas :

$$\mu \text{Log}\lambda < 1,$$

et

$$\mu \text{Log}\lambda > 1.$$

Dans le premier cas, ce sont les formules (23) et (25) qui sont applicables. Les courbes (2) et (3) de la *fig.* 7, qui se suivent à peu près parallèlement, montrent alors que, à égalité de λ et à égalité d'efforts maxima, K et τ', il y a avantage, pour augmenter le coefficient d'utilisation, de faire μ aussi grand que possible. On devra donc faire en sorte que

$$(26) \qquad \mu \text{Log}\lambda = 1.$$

Si on est dans le deuxième cas, ce sont les formules (23) et (24) qu'il faut appliquer. Et la courbe (1), (*fig.* 6), montre alors que, à égalité de μ et à égalité de K et de τ, il y a avantage à faire λ aussi petit que possible ; on devra donc pour ce cas, comme pour l'autre, satisfaire à l'égalité (26).

C'est-à-dire, en résumé, que l'utilisation maximum exige la relation

$$(26') \qquad \frac{D}{d} = e^{\sqrt{2m}},$$

où e représente la base des logarithmes népériens, et m le module de la rondelle.

Comme ce module ne doit pas pratiquement dépasser l'unité, on voit qu'il faut s'abstenir de faire des rondelles dont le rapport des diamètres dépasse $e^{\sqrt{2}} = 4{,}11$. Cette conclusion est d'accord avec celle de M. Morandière (*) qui recommande de donner à ce rapport une valeur voisine de $\frac{11}{3}$.

(*) *Loc. cit.*

Pour achever la détermination des valeurs de λ et de μ qu'il conviendrait d'adopter, il faudrait connaître K et τ, c'est-à-dire les limites d'élasticité à la compression et à la tension, ou tout au moins leur rapport. Or, on sait qu'à cet égard, les avis sont très partagés.

Les uns veulent que ce rapport soit voisin de l'unité et d'autres qu'il soit voisin de 3/2. J'en resterai donc à la formule (26), en faisant remarquer, d'ailleurs, qu'elle ne s'accorde pas tout à fait avec ce que l'on admet habituellement dans la pratique industrielle.

M. Morandière pense qu'il convient de donner à l'épaisseur une valeur égale au $\frac{1}{8}$ du rayon-matière, et à la flèche une valeur égale à $\frac{1}{10}$ de ce rayon. Il recommande par conséquent le rapport $\mu = \frac{10}{8} = 1{,}25$, auquel correspond d'après la formule (26) $\lambda = 2{,}28$.

D'autre part, le tableau annexe B montre que la plupart des rondelles du commerce ont un rapport μ voisin de 1,5, auquel correspond $\lambda = 1{,}95$, tandis que les λ du tableau ont une valeur moyenne peu différente de 3.

Il faut en conclure : ou bien qu'il serait bon de faire des rondelles ayant des trous relativement un peu plus grands que dans celles qu'on trouve aujourd'hui, ou bien que la relation (26) ne traduit pas les faits, même approximativement, ce qui pourrait bien être, attendu qu'elle suppose l'indéformabilité de la méridienne jusqu'à l'aplatissement, et ceci ne se réalise pas tout à fait.

Malgré cette discordance, il m'a paru bon de donner les considérations qui précèdent, en attendant que de nouvelles expériences et une analyse plus complète viennent éclaircir davantage cette question.

TABLEAU A.

Essais de rondelles à grand module.

Numéro d'ordre		1	2	3
Diamètre et épaisseur	$D \times e$	$100 \times 1{,}5^{mm}$	$100 \times 1{,}5$	$100 \times 1{,}5$
Diamètre du trou	d	50	50	50
Flèche par rondelle	f_0	4^{mm}	$4{,}5^{mm}$	$5{,}5^{mm}$
Module	m	3,55	4,5	6,8
Charge d'aplatiss^t. calculée.	A	157^{kg}	176^{kg}	215^{kg}
Charge maxima calculée.	M	282	443	660
Nombre de couples essayés ensemble		4	5	5
		HAUTEURS SOUS CHARGE		
0 kilogrammes		millim. 43,5	millim. 60	millim. 71,0
50 —		42,5	58	69,5
100 —		40,5	56,5	68,5
150 —		38,5	54,5	67,5
200 —		36,5	53	66,5
250 —		Toutes les rondelles se retournent.	51,5	65,5
300 —			49,5 N° 7 se retourne.	64,5
350 —		»	»	63,5
400 —		»	N° 5 se retourne	62,5
450 —		»	N° 4 id.	61,5
500 —		»	»	59,5
550 —		»	Tout s'aplatit.	58,5
600 —		»	»	N° 7 se retourne.
650 —		»	»	N°s 4 et 1 se retournent.

NOTA. — 1° Quand on enlève la charge, les rondelles n° 1 se redressent d'elles-mêmes, les rondelles n°s 2 et 3 restent renversées.

2° Les rondelles n° 2 renversées ont une flèche de 2,75 à 3 millim.

Les rondelles n° 3 renversées ont une flèche de 4 millim.

3° Pour faire revenir les rondelles n° 2, il faut exercer sur elles une charge de 150 kilogrammes (pour deux rondelles différentes). Pour faire revenir les rondelles n° 3, il faut une charge de 50, 150 et 250 kilogrammes (pour trois rondelles différentes).

4° Après l'essai, les rondelles n°s 1 et 2 n'avaient rien perdu de leur flèche, mais celle des rondelles n° 3 avait diminué de 0,5 millim. environ, ce qui indique que la limite d'élasticité avait été notablement dépassée.

TABLEAU **B.**

Types des rondelles de l'usine d'Assailly (Album de 1884).

	D	*e*	*d*	f_0	CHARGE d'aplatissement	POIDS d'une rondelle	D	*e*	*d*	f_0	CHARGE d'aplatissement	POIDS d'une rondelle
	300	20	100	5	60.000	10,070	160	7,2	48	4	8.200	1,050
	280	17	86	5,3	40.000	7,580	160	7,2	60	4	8.000	0,994
	280	17	80	5,3	40.000	7,687	160	7	56	4	7.500	0,987
	280	16,5	80	5,4	35.000	7,460	160	6,8	71	4	7.000	0,877
	280	16	80	5,5	32.000	7,240	160	6,5	52	4,5	6.500	0,935
	280	14	86	5,8	25.000	6,240	160	6,1	71	4,2	5.000	0,787
	280	12	86	6,0	20.000	5,350	160	5,9	60	4,5	5.000	0,815
	280	10	86	6,8	16.000	4,460	150	7	56	3,8	7.500	0,851
	250	15	70	5,0	23.000	5,426	150	6,5	38	4	6.600	0,859
	250	14,7	70	5,0	22.000	5,317	150	6,5	50	3,8	6.500	0,816
	250	10	90	6,0	14.000	3,415	150	6,2	61	3,8	6.000	0,737
	250	8	90	6,5	9.000	2,735	150	6	50	4	6.000	0,754
	220	11	60	5,4	22.000	3,094	150	6	61	4	5.000	0,649
	220	10,5	60	5,5	18.000	2,954	140	7	36	3	6.500	0,804
	204	10	90	4,6	15.000	2,105	140	6,2	41	4	8.500	0,703
	204	9,3	56	5,2	13.000	2,247	140	6	45	4	8.000	0,662
	204	9	90	4,8	10.000	1,894	140	6	60	3,5	4.500	0,602
	204	8	50	6,0	8.000	1,965	140	5	41	4	3.900	0,542
	204	7	56	6,2	6.000	1,695	140	5	36	4	4.400	0,575
	200	10	54	5	15.000	2,329	140	5	45	4	3.500	0,551
	180	10	60	3,8	13.000	1,765	140	4,8	60	4	3.000	0,487
	180	9	50	4,0	10.000	1,635	140	3,7	60	4,2	2.000	0,377
	180	8	60	4,7	8.000	1,395	130	12	36	2,1	22.000	1,175
	180	6	50	6,3	5.000	1,060	130	11	36	2,3	20.000	1,075
	170	10	36	3,5	18.000	1,735	130	10	36	2,5	18.000	0,975
	170	9	36	4,0	12.000	1,560	130	6,2	40	3	6.000	0,600
	170	6,5	68	5	5.800	0,990	130	5,4	36	3,1	4.000	0,529
a	170	4	60	6	1.300	0,619	130	5	47	3,3	3.000	0,461
	165	8	45	4,2	9.000	1,266	130	5	39	3,3	3.200	0,483
	165	7,5	42	4,2	8.500	1,199	130	5	26	3,5	6.000	0,510
	164	10	36	3,5	18.000	1,610	130	3,5	56	4	1.500	0,302
	164	9,5	36	3,7	15 000	1,530	130	3	53	4	1.400	0,265
	164	9	36	4	13.000	1,450	120	6	40	2,8	5.500	0,482
	164	8,75	80	4	11.000	1,125	120	5	36	3,3	3.000	0,411
	161	8	45	4,2	9.000	1,249	120	5	42	3,3	3.000	0,397
	164	6	46	5,3	6.000	0,918	120	5	39	3,3	3.000	0,404
	164	7	42	3,9	8.000	1,100	120	5	37	3,3	3.000	0,409

Suite du Tableau **B.**

	D	*e*	*d*	f_0	CHARGE d'aplatissement	POIDS d'une rondelle	D	*e*	*d*	f_0	CHARGE d'aplatissement	POIDS d'une rondelle	
	120	5	45	3,3	3.000	0,388	90	5,2	25	1,8	4.200	0,244	
	120	4	40	3,5	2.100	0,321	90	5	25	1,8	3.900	0,235	
	120	3,8	45	3,5	1.500	0,295	90	4,5	26	2,2	4.500	0,210	
	120	3,8	37	3,5	2.000	0,311	90	4	27	2,3	2.300	0,185	
	120	3	30	4	1.100	0,254	90	4	26	2,3	2.600	0,187	
	115	6	48	2,6	4.500	0,411	90	4	32	2,3	2,200	0,178	
	115	5	45	2,8	3.500	0,351	90	3	26	2,8	1.800	0,140	
	110	6,5	52,5	1,5	8.000	0,380	90	2,5	26	3,4	700	0,116	*c*
	110	4	41	2,8	2.000	0,262	80	7	26	1	7.500	0,250	
	100	10	36	1,3	11,000	0,545	80	5,5	25	1,5	5.000	0,200	
	100	8	36	1,8	9.000	0,435	80	5	27	1,5	4 500	0,178	
	100	6	40	2,2	6.500	0,317	80	4,3	27	1,8	2.500	0,154	
	100	6	36	2,2	7.000	0,325	80	3,7	36	2	2.000	0,120	
	100	5	30	2,5	5.000	0,285	80	2,5	20	2,2	1.000	0,098	
	100	5	31	2,5	5.000	0,284	80	2,5	34	2	900	0,084	
	100	5	36	2,5	5.000	0,270	80	2,5	30	2	950	0,088	
	100	4,8	27	2,5	3.600	0,284	80	2,5	10	2,4	1.000	0,099	
	100	4,8	36	2,5	3.500	0,260	70	5	26	1,3	4.000	0,130	
	100	4,7	46	2,5	3.000	0,233	70	3,8	27	2	1.000	0,098	
	100	4,5	30	2,8	3.000	0,257	70	3	25	2,1	1.200	0,080	
	100	4,5	26	2,8	3.100	0,260	66	3	33	1,4	1.000	0,062	
	100	4	30	3	2.600	0,228	66	2	33	1,5	500	0,041	
	100	4	40	2,8	2.500	0,211	60	2,5	20	1,5	1.000	0,051	
	100	4	22	3	2.600	0,239	55	3	24	1,4	600	0,046	
	100	3,95	27	3	2.500	0,230	55	2	16	1,5	540	0,034	
	100	3,8	36	3	2.500	0,208	50	2,2	20	1,3	800	0,029	
	100	3	26	3,2	1.100	0,175	32	3	10	0,8	1.800	0,017	
	100	2,9	27	3,2	1.000	0,169	32	2	10	1,2	600	0,011	
b	100	2	20	3	700	0,120	28	1,5	12	1	300	0,006	
	90	5,5	25	1,8	4.500	0,258							

TABLEAU

NUMÉROS d'ordre	MODULE calculé	CHARGE d'aplatiss^t calculée	SECTION	DIAMÈTRE du trou	FLÈCHE par rondelle	HAUTEUR D'UN COUPLE							
						0T	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
1	0,845	»	150 × 14	48	5,4	18,4	17,0	15,5	13	10,2	9,2	8,0	—
2	0,1	25t	275 × 14	84	6,33	40,66	»	»	»	39,66	»	»	»
3	0,264	9,5	280 × 10	89	7,25	34,5	»	»	»	31,5	»	»	»
4	0,172	10,4	250 × 10	90	6,20	32,4	»	31,4	»	30,4	29,9	29,8	»
5	0,355	7,6	250 × 8	90	6,75	29,5	»	28,2	»	27,0	26,0	25,6	»
6	0,162	»	204 × 9	56	5,5	29,0	»	27,5	»	26,5	»	25,5	»
7	0,33	8,3	204 × 8	59	6,5	29,0	»	27,8	»	26,7	»	25,7	»
8	0,076	12,5	180 × 10	60	3,9	27,8	»	27,0	»	26,6	»	26,0	»
9	0,109	»	180 × 9	50	4,2	26,4	»	25,6	»	24,6	»	24,0	»
10	0,18	»	180 × 8	60	4,8	25,6	»	24,2	»	23,0	»	22,0	»
11	0,275	»	180 × 7	50	5,2	24,4	»	22,6	»	20,6	»	18,8	»
12	0,569	»	180 × 6	50	6,4	24,8	»	22,6	»	20,5	»	14,8	»
13	0,381	5.55	170 × 6,5	68	5,7	24,4	23,8	23,0	22,4	21,6	20,8	20,0	19,0
14	0,696	»	170 × 5	60	5,9	21,8	20,8	19,4	18,6	17,4	15,8	12,4	11,4
15	1,125	1,38	170 × 4	60	6	20,0	17,0	15,0	11,5 aplati à 1.800 kilogrammes.				
16	0,02	40,00	164 × 15	36	3	36,0	»	35,6	»	35,3	»	»	»
17	0,107	7,3	164 × 8	45	3,7	23,4	»	22,5	»	21,6	»	20,7	»
18	0,36	»	160 × 6	60	5,1	22,2	21,2	20,4	19,8	18,4	17,4	16,0	14,6
19	0,52	2,63	160 × 5	60	5,1	20,2	18,8	17,6	16,0	13,8	12,0	11,4	11,0
20	0,155	»	150 × 7	56	3,9	21,8	»	20,5	»	19,3	»	18,2	»
21	0,238	»	150 × 6,5	33	4,5	22,1	»	20,5	»	19,2	»	18,0	»
22	0,258	»	150 × 6	50	4,3	20,6	»	18,9	»	17,3	»	15,6	»
23	0,003	18,05	100 × 12	36	1,0	26,0	»	»	»	25,6	»	»	»
24	0,004	»	100 × 11	36	1,0	24,0	»	»	»	23,5	»	»	»
25	0,008	»	100 × 10	36	1,3	22,6	»	»	»	22,0	»	»	»
26	0,095	»	100 × 8	36	3,5	23,1	»	»	»	21,8	»	»	»
27	0,055	4,6	100 × 6	40	2,0	16,0	»	15,1	»	14,2	»	13,5	»
28	0,146	3,5	100 × 5	30	2,7	15,4	14,6	14,0	13,5	12,7	12,0	11,4	11,0
29	0,141	2,26	100 × 4,5	30	2,4	13,8	12,9	11,9	11,0	10,1	9,4	9,2	9,0
30	0,164	1.51	100 × 4	30	2,3	12,6	11,3	10,0	8,7	8,0	—	—	—
31	0,245	0,585	100 × 3	25	2,1	10,2	8,0	6,0	—	—	—	—	

						0T	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
32	1,125	0,25	100 × 2	20	3,0	10,0	8,75	7,4	Une rondelle se retourne à 300 ki-				
33	0,5	1,03	90 × 3	26	3,0	12,1	»	»	»	»	10,4	»	»
34	0,925	0,66	90 × 2,5	26	3,4	13,8	11,0	10,6	10,0	8,9	7,7	6,8	6,2
35	0,02	7,8	80 × 7	26	1,4	16,8	»	»	»	»	»	»	»
36	0,52	7,1	80 × 2,55	30	2,6	10,3	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5
37	0,054	»	70 × 5	26	1,65	13,2	»	»	»	»	»	»	»
38	0,348	»	70 × 3	27	2,5	11,0	»	»	»	»	9,0	»	»
39	0,207	»	50 × 2,25	20	1,45	7,4	»	»	»	»	»	5,4	5,2
40	0,035	2,18	32 × 3	10	0,8	7,6	»	»	»	»	7,2	7,0	6,8
41	0,211	1,05	32 × 2	10	1,3	6,6	»	»	»	»	5,4	5,2	5,1

C.

SOUS CHAQUE CHARGE, EXPRIMÉE EN TONNES													
4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	20
—	»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38,66	»	»	»	37,66	»	37,0	»	36,0	»	»	33,8	—	—
29,5	»	»	»	25,5	»	22,5	»	20,5	—	—	—	—	—
28,8	»	»	»	26,5	»	24,5	»	23,0	22,0	21,0	20,4	20,2	—
23,6	»	»	»	19,2	»	16,7	»	16,4	—	—	—	—	—
24,5	»	23,5	»	22,5	21,5	20,5	19,6	19,0	18,6	18,2	18,0	—	—
24,3	»	22,3	»	20,8	18,8	17,7	17,0	16,5	16,0	—	—	—	
25,4	»	25,0	»	24,5	24,0	23,5	»	22,3	21,6	21,0	—	—	—
23,2	»	22,4	»	21,6	20,8	20,0	»	19,2	18,6	—	—	—	
21,0	»	19,6	»	18,6	17,6	16,8	—	—	—	—			
16,4	»	14,8	»	14,6	—	—	—	—					
13,2	»	12,8	—	—	—	—							
18,0	17,0				—	—							
11,2	—	—	—	—	—	—							
35,0	»	»	»	34,8	»	34,5		34,2	33,8	33,5	»	33,2	32,8
19,8	»	19,0	»	18,1	17,3	16,8	16,4	16,2	—	—	—		
13,6	13,0	12,8	12,6	—	—	—							
10,8	10,6	—	—	—	—	—							
17,0	»	16,0	»	15,2	14,8	14,3	—	—					
16,5	»	15,1	»	14,3	14,1	—	—	—					
14,2	»	13,1	»	12,0	—	—	—	—					
25,3	»	»	»	»	»	»		25,1	»	25,0	—	—	
23,5	»	»	»	23,4	23,2	23,1	23,0	22,9	22,8	22,6	»	22,6	—
21,5	»	»	»	21,1	»	20,8	»	20,6	20,6	20,5	»	20,5	—
21,3	»	»	»	20,8	»	20,3	»	19,8	—	—	»		
12,9	»	12,4	»	12,0	—								
10,6	10,3	10,0	—	—									
—	—												

0,8	0,9	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6,5	7,5	8,5
logrammes, les autres à 350 kilogrammes.													
»	»	8,4	7,5	7,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,8	Une rondelle se retourne à 550 kilogrammes.												
»	»	»	»	»	»	»	15,3	15,3	15,1	14,9	14,8	14,6	14,3
6,0	5,75	5,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
»	»	»	»	»	»	10,8	10,4	10,2	10,0	—	—	—	—
8,0	»	7,6	6,3	—	—	—	—	—	—				
5,0	4,8	—	—	—	—	—							
6,7	6,6	—	—	—	—								
4,9	»	4,5	—	—	—	—							

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
1° Établissement de la formule	7
Mise en équations	7
Développement des équations	9
Intégration par rapport à y	10
Intégration par rapport à x	10
Épaisseur uniforme	12
Discussion	16
2° Vérification de la formule	18
Écarts probables	18
Points particuliers	22
Comparaison des courbes	24
Explication des anomalies	26
3° Applications	29
Fibre neutre principale	30
Cônes d'égale fatigue	32
Maximum d'utilisation du métal	36
Tableau A. — Essais de rondelles à grand module	41
Tableau B. — Types de rondelles	42
Tableau C. — Essais de rondelles	44

STATISTIQUE
de l'Industrie minérale de la France.

TABLEAUX COMPARATIFS DE LA PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, DES FONTES, FERS ET ACIERS, EN 1888 ET EN 1889 (*).

I. — Combustibles minéraux.

PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT.

DÉPARTEMENTS	NATURE DU COMBUSTIBLE.	PRODUITS 1888	PRODUITS 1889
		tonnes	tonnes
Allier	Houille	851.311	843.095
Alpes (Basses-)	Lignite	21.530	24.414
Alpes (Hautes-)	Anthracite	6.837	7.000
Ardèche	Houille et anthracite	36.393	40.915
	Lignite	2.007	618
Aude	Idem	149	»
Aveyron	Houille	809.963	848.990
	Lignite	3.437	2.420
Bouches-du-Rhône	Idem	364.852	382.398
Cantal	Houille	34.618	50.247
	Lignite	180	215
Corrèze	Houille	2.809	2.751
Côte-d'Or	Houille et anthracite	11.139	7.900
Creuse	Houille	172.566	199.138
Dordogne	Idem	68	26
	Lignite	430	96
Drôme	Idem	271	234
Gard	Houille	1.814.215	1.957.249
	Lignite	17.391	19.262
Hérault	Houille et anthracite	217.431	304.556
	Lignite	231	425
Isère	Anthracite	137.618	137.630
	Lignite	998	1.000
Jura	Idem	300	60
Landes	Idem	663	»
Loire	Houille et anthracite	3.139.635	3.378.138
Loire (Haute-)	Houille	190.859	242.749
Loire-Inférieure	Anthracite	11.025	8.696
Lot	Houille	2.875	1.675
Maine-et-Loire	Anthracite	31.782	38.519
Mayenne	Idem	49.687	45.504
Nièvre	Houille	178.936	176.632
Nord	Houille et anthracite	4.416.185	4.809.065
Pas-de-Calais	Houille	7.877.213	8.646.919
Puy-de-Dôme	Houille et anthracite	193.883	190.913
Pyrénées-Orientales	Lignite	1.992	1.912
Rhône	Houille	33.656	42.620
	Idem	202.836	221.740
Saône (Haute-)	Lignite	8.664	10.089
Saône-et-Loire	Houille et anthracite	1.359.798	1.491.279
Sarthe	Anthracite	11.515	10.416
Savoie	Idem	10.951	12.570
Savoie (Haute-)	Idem	50	125
Sèvres (Deux-)	Houille	16.260	17.621
Tarn	Idem	334.500	382.970
Var	Idem	589	1.760
	Lignite	494	40
Vaucluse	Idem	6.769	5.334
Vendée	Houille	14.806	19.998
Vosges	Lignite	507	957
Récapitulation	Houille et anthracite	22.172.029	24.139.406
	Lignite	430.865	449.474
Totaux		22.602.894	24.588.880
Augmentation			1.985.986

(*) Ces tableaux ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal officiel* du 13 février 1890. Les chiffres concernant l'année 1889 sont extraits des états *semestriels* fournis par les Ingénieurs des mines et, par suite, *provisoires;* tandis que la statistique de 1888, résultant du dépouillement des états *annuels*, contient des chiffres *définitifs*.

GROUPES GÉOGRAPHIQUES DE BASSINS.	PRODUITS 1888	PRODUITS 1889	BASSINS ÉLÉMENTAIRES (*).	DÉPARTEMENTS OU LES BASSINS SONT SITUÉS.	PRODUITS 1888	PRODUITS 1889
	tonnes	tonnes			tonnes	tonnes
I. — Houille et Anthracite.						
Nord et Pas-de-Calais. .	12.293.398	13.455.984	Valenciennes	Pas-de-Calais, Nord	12.293.398	13.454.850
			Le Boulonnais (Hardinghen)	Pas-de-Calais	»	1.134
Loire	3.184.808	3.431.788	Saint-Etienne (et Rive-de-Gier)	Loire, Rhône	3.137.733	3.376.514
			Sainte-Foy-l'Argentière	Rhône	33.656	42.620
			Communay	Isère	11.497	11.030
			Le Roannais (Roanne)	Loire, *Rhône*	1.922	1.624
Gard	1.850.608	1.998.164	Alais	Gard, Ardèche	1.822.617	1.965.457
			Aubenas	Ardèche	23.300	28.914
			Le Vigan	Gard	4.691	3.793
Bourgogne et Nivernais.	1.593.571	1.718.246	Creusot et Blanzy	Saône-et-Loire	1.204.127	1.334.230
			Decize	Nièvre	178.936	176.632
			Epinac et Aubigny-la-Ronce	Saône-et-Loire, Côte-d'Or	121.118	117.902
			La Chapelle-sous-Dun	Saône-et-Loire	41.381	43.747
			Bert	Allier	43.698	42.435
			Sincey, *Forges*	Côte-d'Or, *Saône-et-Loire*	4.311	3.300
Tarn et Aveyron	1.147.338	1.233.635	Aubin	Aveyron	793.977	834.437
			Carmaux	Tarn	334.500	382.970
			Rodez	Aveyron	15.986	14.553
			Saint-Perdoux	Lot	2.875	1.675
Bourbonnais	951.061	945.953	Commentry (et Doyet)	Allier	777.254	769.558
			Saint-Eloy	Puy-de-Dôme	143.448	145.293
			L'Aumance (Buxière-la-Grue)	Allier	30.359	31.102
			La Queune (Fins et Noyant)	*Allier*	»	»
Auvergne	275.912	338.616	Brassac	Haute-Loire, Puy-de-Dôme	206.750	248.025
			Champagnac et Bourg-Lastic	Cantal, Puy-de-Dôme	61.945	78.667
			Langeac	Haute-Loire	7.217	11.924
Hérault	217.431	304.556	Graissessac, *Roujan*	Hérault	217.431	304.556
Vosges méridionales . .	202.836	221.740	Ronchamp	Haute-Saône	202.836	221.740
			Ahun	Creuse	163.892	190.022
Creuse et Corrèze	175.443	201.915	Bourganeuf	Creuse	8.674	9.116
			Cublize (Terrasson), Meymac et Argental	Corrèze, Dordogne	2.877	2.777
Alpes occidentales	143.959	146.295	Le Drac (La Mure)	Isère	125.633	126.000
			Maurienne-Tarentaise et Briançon	Hautes-Alpes, Savoie	17.788	19.570
			Oisans et *le Grésivaudan*	Isère	488	600
			Chablais et Faucigny	Haute-Savoie	50	125
Ouest	135.075	140.754	Le Maine	Mayenne, Sarthe	61.202	55.920
			Basse-Loire	Loire-Inférieure, Maine-et-Loire	42.807	47.215
			Vouvant et Chantonnay	Deux-Sèvres, Vendée	31.066	37.619
			Saint-Pierre-la-Cour	*Mayenne*	»	»
			Le Cotentin	*Manche*	»	»
Maures	589	1.760	Les Maures (Fréjus)	Alpes-Maritimes, *Var*	589	1.760
Pyrénées	»	»	*Ibantelly, Durban et Ségure*	*Basses-Pyrénées, Aude*	»	»
Totaux pour les houilles.	22.172.029	24.139.406			22.172.029	24.139.406
II. — Lignite.						
Provence	386.876	406.852	Fuveau (Aix)	Bouches-du-Rhône, *Var*	365.092	382.438
			Manosque	Basses-Alpes, *Vaucluse*	21.530	24.414
			La Cadière	Var	254	»
Comtat	25.366	24.310	Bagnols, Orange, *Banc-Rouge, Vaganas*	Gard, Vaucluse, *Ardèche*	20.715	20.778
			Barjac et *Célas*	Gard	1.627	1.892
			Méthamis	Vaucluse	3.024	1.640
			Montoulieu	*Hérault*	»	»
Vosges méridionales . .	9.171	11.046	Gouhenans, *Gémonval*	Haute-Saône	8.664	10.089
			Norroy	Vosges	507	957
Sud-Ouest	7.883	5.972	Millau et Trévezel	Aveyron, Gard	4.238	3.324
			Estavar, Larquier, *Orignac, Saint-Lon*	Pyrénées-Orientales, *Landes, Hautes-Pyrénées*	2.655	1.912
			La Caunette	Hérault, *Aude*	380	425
			Murat	Cantal	180	215
			Simeyrols et la Chapelle-Péchaud	Dordogne	430	96
Haut-Rhône	1.569	1.294	La-Tour-du-Pin	Isère	998	1.000
			Hauterives, *Montélimar*	Drôme	271	234
			Vercia, *Douvres*	Jura, *Ain*	300	60
			Entrevernes et Chambéry	*Haute-Savoie, Savoie*	»	»
Totaux pour les lignites.	430.865	449.474			430.865	449.474
Totaux généraux. .	22.602.894	24.588.880			22.602.894	24.588.880

(*) Les bassins dont les mines n'ont pas été exploitées dans l'année et les départements correspondants ont leurs noms en *italiques*.

II. — Industrie sidérurgique.

PRODUCTION DES FONTES.

DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION de LA FONTE suivant la nature du combustible.	1888 FONTES d'affinage.	1888 FONTES de moulage ou moulée en 1re fusion.	1888 PRODUCTION totale.	1889 FONTES d'affinage.	1889 FONTES de moulage ou moulée en 1re fusion.	1889 PRODUCTION totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Au coke	18.090	8.361	26.451	23.539	9.655	33.194
Ardèche	Au coke	27.719	10.214	37.933	23.891	5.320	29.342
	Mixte	»	»	»	131	»	
Ardennes	Au coke	20.475	»	20.475	20.770	»	20.770
Ariège	Au coke	6.341	1.023	7.364	3.153	41	3.194
Aveyron	Au coke	6.467	»	6.467	11.988	»	11.988
Bouches-du-Rhône	Au coke	14.414	»	14.414	14.933	839	15.772
Charente	Au bois	11	286	297	»	»	»
Cher	Au coke	»	7.500	14.525	»	7.681	10.351
	Au bois	800	»		»	»	
	Mixte	»	6.225		»	2.670	
Dordogne	Au bois	225	»	225	450	»	450
Gard	Au coke	48.625	4.738	53.363	44.605	4.366	48.971
Gironde	Au bois	450	»	450	»	»	»
Isère	Au coke	13.073	2	13.375	22.963	32	23.048
	Au bois	228	72		41	12	
Landes	Au coke	45.216	8.560	59.396	48.204	3.800	56.331
	Au bois	5.052	568		2.415	1.912	
Loire	Au coke	34.078	2.298	36.376	32.473	20	32.493
Loire-Inférieure	Au coke	2.826	10.057	12.883	18.543	9.246	27.789
Lot-et-Garonne	Au coke	»	14.357	14.357	»	13.590	13.590
Marne (Haute-)	Au coke	16.802	26.509	45.340	23.417	31.311	57.843
	Au bois	»	»		1.165	125	
	Mixte	»	2.029		658.430	1.825	
Meurthe-et-Moselle	Au coke	668.059	242.950	911.009	3.408	282.289	940.719
Meuse	Au coke	»	2.948	3.090	»	183	3.591
	Mixte	»	142		»	»	
Nord	Au coke	206.120	25.683	231.803	178.306	38.408	216.714
Pas-de-Calais	Au coke	85.391	»	85.391	84.315	»	84.315
Pyrénées-Orientales	Au coke	350	»	3.816	»	»	3.095
	Au bois	3.391	»		3.095	»	
	Mixte	75	»		»	»	
Rhône	Au coke	10.400	2.300	12.700	8.340	1.780	10.120
Saône-et-Loire	Au bois	1.678	62	1.740	280	31	311
	Au coke	70.109	»	70.109	75.654	»	75.654
Tarn	Au coke	»	»	»	2.235	600	2.835

RÉCAPITULATION.

Fonte	Au coke	1.294.535	367.500	1.662.055	1.299.167	409.161	1.708.328
	Au bois	11.835	988	12.823	6.281	2.080	8.361
	Mixte	75	8.396	8.471	1.296	4.495	5.791
Totaux		1.306.465	376.884	1.683.349	1.306.744	415.736	1.722.480
Augmentations					279	38.852	39.131

PRODUCTION DES FERS.

DÉPARTEMENTS.	MODE DE FABRICATION DU FER.	1888 RAILS.	1888 FERS marchands et spéciaux.	1888 TÔLES.	1888 PRODUCTION totale.	1889 RAILS.	1889 FERS marchands et spéciaux.	1889 TÔLES.	1889 PRODUCTION totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Puddlage	»	»	371	371	»	»	341	341
Allier	Puddlage	334	24.412	6.885	31.631	197	19.368	7.888	27.453
Ardennes	Puddlage	»	43.338	10.095	67.851	»	43.801	9.273	68.369
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	9.278	5.140		»	10.695	4.600	
Ariège	Puddlage	»	4.234	»	5.330	»	4.811	»	5.664
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.096	»		»	853	»	
Aube	Puddlage	»	4.529	»	5.476	»	3.849	»	5.091
	Affinage au charbon de bois	»	467	»		»	403	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	480	»		»	839	»	
Aveyron	Puddlage	99	3.800	1.194	10.207	»	9.934	»	14.407
	Réchauffage de vieux fers et riblons	100	3.820	1.194		»	4.473	»	
Bouches-du-Rhône	Puddlage	»	291	»	1.457	»	1.000	»	1.395
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.166	»		»	395	»	
Charente	Affinage au charbon de bois	»	8	»	223	»	»	»	»
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	215	»		»	»	»	
Cher	Affinage au charbon de bois	»	627	»	627	»	»	»	»
Côte-d'Or	Puddlage	»	4.550	600	7.870	»	3.088	556	6.880
	Affinage au charbon de bois	»	400	»		»	1.131	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	2.320	»		»	2.105	»	
Côtes-du-Nord	Puddlage	»	545	»	3.945	»	350	»	3.550
	Réchauffage de vieux fers	»	3.400	»		»	3.200	»	

PRODUCTION DES FERS (*suite*).

DÉPARTEMENTS.	MODE DE FABRICATION DU FER.	1888 RAILS.	1888 FERS marchands et spéciaux	1888 TÔLES.	1888 PRODUCTION totale.	1889 RAILS.	1889 FERS marchands et spéciaux	1889 TÔLES.	1889 PRODUCTION totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Dordogne	Puddlage	»	1.100	»	2.415	»	700	»	2.990
	Affinage au charbon de bois	»	1.145	»		»	450	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	170	»		»	1.840	»	
Doubs	Puddlage	»	137	758	14.533	»	132	»	4.771
	Affinage au charbon de bois	»	5.307	412		»	1.950	853	
	Réchauffage de vieux fers	»	3.100	4.819		»	105	1.731	
Eure	Réchauffage de vieux fers	»	2.900	»	2.900	»	5.100	»	5.100
Gard	Puddlage	43	11.421	»	14.089	121	12.055	»	13.334
	Réchauffage de vieux fers et riblons	59	2.566	»		»	1.158	»	
Garonne (Haute-)	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.286	»	1.286	»	1.378	»	1.378
Gironde	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	180	»	180	»	75	»	75
Ille-et-Vilaine	Réchauffage de vieux fers	»	130	»	130	»	83	»	83
Isère	Puddlage	»	1.136	»	4.006	»	103	»	2.682
	Réchauffage de vieux fers	»	2.870	»		»	2.579	»	
Jura	Puddlage	»	7.528	2.181	12.358	»	10.006	5.097	15.676
	Affinage au charbon de bois	»	40	49		»	573	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	1.858	702		»	»	»	
Landes	Affinage au charbon de bois	»	1.846	»	5.053	»	2.181	»	6.691
	Réchauffage de vieux fers	»	3.207	»		»	4.510	»	
Loir-et-Cher	Réchauffage de vieux fers	»	43	»	43	»	31	»	31
Loire	Puddlage	»	23.902	8.157	36.523	»	23.817	8.719	36.724
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	4.464	»		»	4.188	»	
Loire-Inférieure	Puddlage	»	4.066	1.071	11.196	»	5.389	1.246	11.580
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	6.039	»		»	4.945	»	
Lot-et-Garonne	Affinage au charbon de bois	»	140	»	140	»	220	»	220
Marne (Haute-)	Puddlage	»	48.890	4.600	65.777	»	40.388	4.156	59.366
	Affinage au charbon de bois	»	»	45		»	»	»	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	12.242	»		»	14.717	105	
Meurthe-et-Moselle	Puddlage	90	33.052	8.026	42.368	1	31.834	7.200	40.735
	Réchauffage de vieux fers	»	1.200	»		»	1.700	»	
Meuse	Puddlage	»	7.022	»	7.022	»	8.757	»	8.757
Nièvre	Puddlage	»	5.278	»	6.672	231	3.338	»	6.310
	Affinage au charbon de bois	»	926	173		»	589	70	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	295	»		»	2.082	»	
Nord	Puddlage	102	234.153	41.963	307.555	»	228.413	44.203	310.494
	Réchauffage de vieux fers	»	23.813	7.524		»	31.518	6.360	
Oise	Puddlage	»	10.070	1.301	13.027	»	15.030	808	17.954
	Affinage au charbon de bois	»	»	598		»	»	792	
	Réchauffage de vieux fers	»	1.058	»		»	1.324	»	
Orne	Réchauffage de vieux fers	»	200	»	200	»	250	»	250
Pas-de-Calais	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	430	»	430	»	521	»	521
Pyrénées-Orientales	Affinage au charbon de bois (foyers catalans)	»	182	»	182	»	177	»	177
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Affinage au charbon de bois	»	170	»	170	»	160	»	160
Rhône	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	»	»	»	»	20	»	20
Saône (Haute-)	Puddlage	»	»	»	1.075	»	»	924	1.154
	Affinage au charbon de bois	»	125	907		»	11	184	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	»	43		»	»	35	
Saône-et-Loire	Puddlage	»	63.575	7.371	71.044	»	57.915	11.626	69.541
	Affinage au charbon de bois	»	»	98		»	»	»	
Sarthe	Affinage au charbon de bois	»	37	»	37	»	33	»	33
Savoie	Affinage au charbon de bois	»	9	»	9	»	15	»	15
Savoie (Haute-)	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.106	775	1.881	»	1.010	854	1.864
Seine	Puddlage	»	826	»	53.595	»	»	»	34.261
	Réchauffage de vieux fers	»	52.769	»		»	34.261	»	
Seine-Inférieure	Réchauffage de vieux fers	»	336	»	336	»	250	»	250
Seine-et-Oise	Réchauffage de vieux fers	»	2.572	»	2.572	»	2.500	»	2.500
Somme	Puddlage	»	607	»	2.061	»	797	»	2.561
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.454	»		»	1.764	»	
Tarn	Puddlage	»	673	»	1.105	»	1.284	»	1.816
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	432	»		»	532	»	
Vosges	Affinage au charbon de bois	»	»	»	»	»	»	120	120
Yonne	Réchauffage de vieux fers	»	15	»	15	»	14	»	14

RÉCAPITULATION.

Fer	Puddlé	668	539.135	94.616	634.419	550	526.159	102.037	628.746
	Affiné au charbon de bois	»	11.429	2.282	13.711	»	7.893	2.019	9.912
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	159	148.530	20.154	168.843	»	141.015	13.685	154.700
	Totaux	827	699.094	117.052	816.973	550	675.067	117.741	793.358
	Augmentation					»	»	689	»
	Diminutions					277	24.027	»	23.615

OBSERVATION. — Les fers bruts ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués ne figurent pas sur le tableau, afin d'éviter un double emploi.

DÉPARTEMENTS.	MODE DE FABRICATION DE L'ACIER.	1888 RAILS.	1888 Aciers marchands.	1888 TÔLES.	1888 Production totale.	1889 RAILS.	1889 Aciers marchands.	1889 TÔLES.	1889 Production totale.
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Fusion au foyer Bessemer	»	»	644	644	»	»	702	702
Allier	Fusion au foyer Bessemer	25	»	»		»	»	»	
	Fusion au four Siemens-Martin	»	6.440	»		70	8.400	»	
	Puddlage	»	981	2.714	10.360	»	1.101	4.202	14.198
	Cémentation	»	20	»		»	15	»	
	Fusion au creuset	»	180	»		»	410	»	
Ardennes	Fusion au foyer Bessemer	»	8.670	9.644		»	8.353	10.924	
	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	3.300		»	»	2.977	
	Cémentation	»	7	»	22.038	»	8	»	23.387
	Fusion au creuset	»	417	»		»	254	»	
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	76	795	
Ariège	Fusion au four Siemens-Martin	»	1.357	»		»	3.746	»	
	Puddlage	»	1.360	»	2.931	»	695	»	4.576
	Cémentation	»	113	»		»	94	»	
	Fusion au creuset	»	101	»		»	41	»	
Aube	Fusion au foyer Bessemer	»	2.950	»	2.950	»	3.048	»	3.048
Charente	Réchauffage de vieil acier	»	»	»	»	»	168	»	168
Côte-d'Or	Fusion au foyer Bessemer	»	70	»		30	2.035	»	
	Fusion au four Siemens-Martin	»	100	135		30	59	23	
	Affinage au charbon de bois	»	169	»	604	»	327	»	2.774
	Cémentation	»	»	»		»	93	»	
	Fusion au creuset	»	90	»		»	73	»	
Côtes-du-Nord	Réchauffage de vieil acier	»	»	40		»	»	104	
Doubs	Réchauffage de vieil acier	»	15	»	15	»	18	»	18
	Fusion au foyer Bessemer	»	1.748	»	1.748	»	7.331	»	8.766
	Puddlage, affinage au charbon de bois	»	»	»		»	»	1.435	
Gard	Fusion au foyer Bessemer	18.347	924	»		17.418	171	»	
	Fusion au four Siemens-Martin	5.254	10.318	»	34.843	1.012	13.530	»	32.247
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	116	»	
Ille-et-Vilaine	Réchauffage de vieil acier	»	»	»	»	»	9	»	9
Isère	Fusion au foyer Bessemer	»	43	»		»	»	»	
	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.666	»		»	2.804	»	
	Puddlage	»	1.294	»	4.751	»	1.811	»	5.367
	Cémentation	»	241	»		»	272	»	
	Fusion au creuset	»	507	»		»	480	»	
Jura	Fusion au foyer Bessemer	»	»	»	5.496	»	6.755	»	15.499
	Fusion au four Siemens-Martin	»	3.672	1.824		»	5.384	3.360	
Landes	Fusion au foyer Bessemer	30.303	2.191	»	34.378	22.871	3.533	»	26.791
	Fusion au four Siemens-Martin	»	1.884	»		»	387	»	
Loire	Fusion au foyer Bessemer	588	7.939	604		»	360	»	
	Fusion au four Siemens-Martin	224	22.244	16.275		2.093	27.128	11.954	
	Puddlage, affinage au charbon de bois	»	3.038	»	68.490	»	3.260	»	64.728
	[illegible]	»	733	»		»	909	»	
Loire-Inférieure	Fusion au four Siemens-Martin	»	4.059	3.716	7.775	»	4.852	6.578	11.430
Marne (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	10.741	831		»	10.937	721	
	Fusion au four Siemens-Martin	»	3.065	»	14.637	»	2.974	»	14.632
Meurthe-et-Moselle	Fusion au foyer Bessemer (procédé Thomas)	21.818	11.850	1.179		28.132	9.538	1.500	
	Fusion au four Siemens-Martin	»	1.635	»	37.873	»	3.120	300	44.703
	Puddlage	»	799	533		»	1.171	942	
	Fusion au creuset	»	59	»		»	»	»	
Meuse	Fusion au foyer Bessemer (procédé Thomas)	»	2.000	»	7.150	»	4.850	»	8.819
	Fusion au four Siemens-Martin	»	5.150	»		»	3.969	»	
Morbihan	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	10.000	10.000	»	»	11.950	11.950
Nièvre	Fusion au four Siemens-Martin	»	9.541	216		178	7.689	670	
	Puddlage	»	1.140	181	11.112	»	717	97	9.388
	Fusion au creuset	»	27	7		»	37	»	
Nord	Fusion au foyer Bessemer	39.730	27.539	5.825		21.650	27.170	7.662	
	Fusion au four Siemens-Martin	3.550	7.447	647	84.988	3.552	6.634	447	67.230
	Fusion au creuset	»	250	»		»	115	»	
Oise	Fusion au four Siemens-Martin	»	11.480	1.573	13.053	»	16.825	1.108	17.933
Pas-de-Calais	Fusion au foyer Bessemer	48.917	2.085	»	51.002	42.717	7.804	»	50.521
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.830	»	2.830	»	3.224	»	3.224
Rhône	Réchauffage de vieil acier	»	364	»	364	»	275	»	275
Saône (Haute-)	Réchauffage du vieil acier	»	»	»	»	»	»	30	30
Saône-et-Loire	Fusion au foyer Bessemer	4.302	9.740	12.284	48.911	5.594	9.777	8.758	47.962
	Fusion au four Siemens-Martin	»	11.367	11.218		»	14.253	9.580	
Savoie	Fusion au foyer Bessemer	»	»	»	81	»	13	»	80
	Fusion au four Siemens-Martin	»	81	»		»	67	»	
Seine	Fusion au foyer Bessemer	»	2.125	»		»	752	»	
	Fusion au four Siemens-Martin	»	51	»	2.176	»	2.173	»	2.942
	Fusion au creuset	»	»	»		»	17	»	
Seine-Inférieure	Réchauffage du vieil acier	»	»	»	»	»	4	»	4
Tarn	Puddlage	»	909	»		»	1.001	»	
	Cémentation	»	228	»	1.934	»	199	»	1.940
	Fusion au creuset	»	797	»		»	740	»	
Vosges	Fusion au foyer Bessemer	»	»	1.660	1.660	»	»	1.680	1.680
Usines secondaires non dénommées (*)	Fusion au foyer Bessemer	»	32.500	»	32.500	»	32.000	»	32.000
RÉCAPITULATION. — Acier.	Fondu au foyer Bessemer	163.901	117.728	28.383	310.012	138.412	134.427	31.947	304.786
	Fondu au four Siemens-Martin	9.157	111.138	53.192	173.487	6.935	127.218	48.947	183.100
	Puddlé et de forge	»	9.690	3.428	13.118	»	10.083	6.676	16.759
	Cémenté	»	1.342	»	1.342	»	1.581	»	1.581
	Fondu au creuset	»	9.280	129	9.409	»	11.688	94	11.782
	Obtenu par réchauffage de vieil acier	»	9.886	40	9.926	»	9.954	1.059	11.013
	Totaux	173.058	259.064	85.172	517.294	145.347	294.951	88.723	529.021
	Diminution					27.711	»	»	»
	Augmentations					»	35.887	3.551	11.727

(*) Les départements dans lesquels des lingots et des barres brutes d'acier ont été expédiés pour être ouvrés dans des usines non dénommées, et dont la production n'est connue que dans l'ensemble et non dans le détail, sont les suivants : Allier, Côtes-du-Nord, Isère, Jura, Loire-Inférieure, Meuse, Morbihan, Nièvre, Nord, Oise, Haut-Rhin, Rhône, Haute-Saône et Haute-Savoie.

NOTES

SUR LE

SERVICE DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION

DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE

Par M. METTRIER, Ingénieur des mines.

Longueur exploitée par l'État belge. — Au 31 décembre 1887, la Belgique possédait 4.445^{km},940 de chemins de fer, sans compter 422 kilomètres de chemins de fer vicinaux; elle occupait dans le monde entier le quinzième rang par la longueur absolue de ses voies ferrées, le premier rang par leur longueur rapportée à la superficie du territoire, et le vingt et unième rang par cette même longueur rapportée à la population.

Ces chemins de fer sont exploités par l'État et par treize compagnies; mais l'État exploite plus de 71 p. 100 de leur longueur totale, et le Grand-Central belge, qui vient ensuite, n'en exploite que 11 p. 100, ainsi qu'il résulte du tableau suivant :

	Sur le territoire belge.
État belge	3.200^{k},348
1. Grand-Central belge	495 ,422
2. Nord belge	166 ,189
3. Flandre occidentale	148 ,958
4. Liégeois-Limbourgeois	119 ,170
5. Chemin de fer de Chimay	59 ,686

6. Anvers à Gand (voie étroite)	49 ,323
7. Gand à Bruges, par Eecloo	47 ,297
8. Malines à Terneuzen	43 ,900
9. Hasselt à Maeseyck	40 ,567
10. Gand à Terneuzen	26 ,318
11. Termonde à Saint-Nicolas	21 ,146
12. Liége à Maestricht	18 ,183
13. Taviers à Embresin (voie étroite)	9 ,433

En 1886, l'État a exploité au total (lignes possédées ou non) 3.173^{km},6, dont 1.329^{km},8 à double voie; et en 1887, 3.200^{km},348 dont 1.333^{km},531 ou 41,67 p. 100 à double voie. Cette étendue est comparable à celle de la plupart des réseaux français, et de quelques réseaux américains; les résultats de l'exploitation de ces divers chemins de fer sont donc susceptibles d'être mis en regard de ceux que fournit l'État belge.

Divisions de la traction. — Au point de vue de la traction, le réseau de l'État belge est partagé en cinq districts : Anvers, Ostende, Bruxelles-Midi, Mons et Bruxelles-Quartier-Léopold. Chacun de ces districts comprend quelques lignes principales, telles que :

1. Anvers à Bruxelles-Nord, et à Liége;
2. Ostende à Bruxelles-Nord, et à Namur par Braine-le-Comte;
3. Bruxelles-Midi à Namur par Charleroy;
4. Mons à Bruxelles-Midi et à Quiévrain;
5. Bruxelles-Quartier-Léopold, à Namur et Arlon.

Les lignes secondaires s'étendent surtout sur les provinces du Brabant, de la Flandre orientale, du Hainaut et de Liége. Elles sont peu nombreuses dans celles de Namur et du Luxembourg, traversées principalement par la grande ligne de Bruxelles à Arlon. C'est la plus longue de toute la Belgique (192^{km}), et les plateaux relativement élevés qu'elle traverse en font aussi la ligne la plus

accidentée du pays; on y rencontre presque continuellement des rampes de 16 millimètres. Son importance n'en est pas moins considérable au point de vue des relations internationales. Elle est desservie par quatre express dans chaque sens, et constitue une voie parallèle à celle du Nord et de l'Est français, pour les parcours entre l'Angleterre d'une part, la Suisse, Munich et Vienne de l'autre. Aussi la traction y a-t-elle soulevé des problèmes spéciaux, dont je m'occuperai plus loin.

Activité de la circulation sur le réseau. — L'activité est plus considérable sur le réseau belge que sur les réseaux français. Tandis que la plupart de nos grandes lignes convergent vers Paris, les lignes belges importantes sont plus enchevêtrées et se rapprochent plutôt d'un type de quadrillage. Anvers, Liége, Charleroy, Mons et Gand entourent Bruxelles d'une ceinture de villes ou de centres importants, entre lesquels la circulation n'est pas moins active qu'avec la capitale. Le trafic se trouve donc plus uniformément réparti que dans le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, par exemple, où il a lieu surtout dans le sens de la longueur. Le commerce de transit de la Belgique est aussi des plus considérables.

Le rapprochement des grands centres, le nombre des trains de voyageurs qui desservent chaque ligne, créent une facilité de communication qu'on ne rencontre pas au même degré en France.

Sur les voies principales, les nombres moyens de locomotives ayant parcouru chaque kilomètre pendant un mois moyen de 1886, sont les suivants :

DISTANCES		VOYAGEURS	MARCHAND.	ENSEMBLE	
44 km.	Anvers à Bruxelles. . . .	1.560	1.590	3.150	Sans tenir compte des trains de route et des manœuvres.
192	Bruxelles à Arlon.	420	2.100 (double traction)	2.520	
6	Châtelineau à Charleroy.	1.200	2.160	3.360	
31	Châtelineau à Namur. . .	900	1.620	2.520	
14	Luttre à Charleroy	930	1.440	2.370	
61	Bruxelles à Mons.	870	1.290	2.160	
70	Louvain à Liége	660	1.200	1.860	

On peut comparer la moyenne de ces sept lignes à la ligne de Paris à Marseille, d'après les chiffres :

	VOYAGEURS	MARCHAND.	ENSEMBLE
Moyenne des sept lignes les plus fréquentées ci-dessus	934	1.643	2.577
Ligne de Paris à Marseille.	1.043	790	1.833

Si donc la circulation des trains de voyageurs est un peu moindre sur les grandes lignes de l'État belge, celle des trains de marchandises est plus du double.

En considérant le mouvement sur l'ensemble des deux réseaux, on obtient, pour le nombre moyen des locomotives ayant parcouru chaque kilomètre pendant un mois :

	VOYAGEURS	MARCHAND.	ENSEMBLE	TRAINS DE ROUTE et manœuvres	TOTAL général
État belge. . . .	462	461	923	250	1.173
P.-L.-M.	375	268	643	Compris dans les précédents.	643

L'activité de l'État belge est donc de plus d'un tiers supérieur à celle du Paris-Lyon-Méditerranée, surtout à cause du mouvement des marchandises. De plus le service des voyageurs y présente beaucoup plus de commodités pour le public; l'écart entre le nombre moyen des trains et leur nombre sur les lignes les plus fréquentées n'étant

que de $\frac{934-462}{462}$ ou 102 p. 100, au lieu de 177 p. 100 pour le Paris-Lyon-Méditerranée, le nombre des trains sur les lignes les moins bien desservies devra de même moins s'écarter que sur le Paris-Lyon-Méditerranée du nombre moyen, qui est lui même plus élevé. Pour les marchandises, ces écarts sont respectivement 250 p. 100 et 200 p. 100; c'est l'État belge qui l'emporte, car la circulation des trains de marchandises sur ses grandes lignes est plus de deux fois celle de ces trains entre Paris et Marseille. Il est bon de remarquer aussi qu'il passe, sur chaque kilomètre de ses voies, autant de machines à voyageurs qu'à marchandises (bien que ces dernières soient plus nombreuses dans la proportion d'environ $\frac{5}{7}$; mais elles effectuent des parcours moindres).

Espacement des relais de machines. — L'espacement des relais de machines est très variable, surtout pour les marchandises. Dans les régions surchargées d'embranchements, il se réduit à 4 kilomètres (Saint-Ghislain-Quaregnon), 5 kilomètres (Mons-Quaregnon, Charleroy-Montigny, Verviers-Pépinster), 7 kilomètres (Charleroy-Monceau), 8 kilomètres (Monceau-Luttre), et les machines font la navette sur les embranchements qui avoisinent leur remise. En général, l'espacement est de 20 à 30 kilomètres, chiffre restreint, mais nécessité par le service des embranchements secondaires.

Les distances suivantes font seules exception :

Gand-Ostende. . . .	68 kilom.	Jemelle-Arlon. . . .	79 kilom.
Gand-Tournay . . .	69 —	Jemelle-Liége. . . .	71 —
Bruxelles-Namur. .	55 —	Jemelle-Bertrix. . .	45 —
Namur-Jemelle. . .	57 —	Bertrix-Arlon. . . .	58 —
Verviers-Gouvy. . .	70 —	Bertrix-Gouvy. . . .	71 —

Quelques machines, remorquant des trains directs,

effectuent de plus longs parcours que ceux qui séparent deux remises consécutives, en allant par exemple de Gand à Mons (84^{km}), de Bruxelles à Liége (100^{km}), à Quiévrain (81^{km}), à Tournay (83^{km}), d'Anvers à Mouscron (125^{km}), à Luttre (85^{km}), à Chatelineau (106^{km}). Les espacements des relais des machines à voyageurs sont plus considérables que ceux des machines à marchandises; sur 44 relais, 6 sont affectés uniquement à ces dernières. Contrairement à ce qui a lieu pour les trains de marchandises, ceux de voyageurs sont conduits à destination par la même machine, malgré les relais intermédiaires. Cependant les express de Bruxelles à Ostende (122^{km}) relaient généralement à Gand, sauf deux d'entre eux. La plus longue course des machines à voyageurs est celle de Bruxelles à Arlon (192^{km}), qui est effectué sans relai pour les omnibus comme pour les express.

II. ORGANISATION DU SERVICE DE LA TRACTION.

Caractères généraux de l'organisation. Trains légers et nombreux, de faibles parcours. — Il résulte de la constitution enchevêtrée du réseau de l'État belge, où le mouvement procède beaucoup moins qu'en France par courants parallèles, que les trains ne sauraient en général parcourir de bien grandes distances, sans avoir à se scinder entre des directions divergentes. C'est ce que précisent les chiffres suivants, relatifs à l'exercice 1886 :

	VOYAGEURS	MARCHAND. ET MIXTES dans les trains de route
Parcours kilométrique des trains de l'État. . . .	17.772.749	15.109.435
Nombre annuel de trains.	415.311	402 843
Parcours moyen d'un train.	42^{km},7	37^{km},5

Les trains sont donc nombreux et d'un faible parcours moyen, peu différent pour les voyageurs et pour les marchandises.

Apprécions maintenant leurs charges, par les données ci-dessous :

Composition moyenne des trains.

	VOYAGEURS	MARCHAND. ET MIXTES
Voitures à voyageurs	6,61	0,50
Voitures à bagages et fourgons à marchandises	1,90	1,18
Wagons vitesse et AB	0,09	0,06
Véhicules divers entrant dans la composition des trains de voyageurs	0,16	0,06
Wagons fermés chargés	0,10	3,46
Wagons fermés vides	»	2,48
Wagons ouverts chargés	»	11,68
Wagons ouverts vides	»	5,21
Wagons traîneaux	0,01	0,03
Ensemble	8,87	24,66
Poids moyen à vide du train remorqué	115 tonnes	180 tonnes

Ce matériel mis en mouvement a été utilisé comme il suit :

Pour les voyageurs, sur quarante places offertes en moyenne par voiture, il y en a eu 8,81 d'occupées, soit 21,90 p. 100 [sur l'État français, qui, d'après M. l'inspecteur général Ricour, utilise le mieux en France son matériel à voyageurs, la moyenne correspondante n'est que de 18,75 p. 100 (*Annales des mines*, VIIII, 12, p. 301)]. Observons en passant que les places les mieux utilisées sont les 2es classes (34,73 p. 100) et les 1res (24,25 p. 100) des express, puis les 3es (24,10 p. 100) des ordinaires. Ces chiffres varient très peu d'une année à l'autre. Le poids moyen des trains de voyageurs est donc d'environ 120 tonnes (sans tenders ni machines).

La charge moyenne du matériel affecté aux transports des marchandises est indiquée ci-après :

Capacité moyenne des wagons	9t,98
Charge moyenne des wagons chargés	6t,06
Charge moyenne des wagons chargés et vides réunis	4t,13
Capacité correspondante des wagons à marchandises d'un train	241t,71
Charge moyenne par locomotive remorquant un train	86t,50
Charge moyenne par train	100t,01
Rapport entre le chargement et la capacité	41,37 p. 100.

On peut donc évaluer à 280 tonnes (sans tenders) le poids moyen des trains de marchandises remorqués, et à 24,66 le nombre moyen de leurs wagons. Surtout pour les marchandises, le poids des trains est très inférieur à celui des trains du Paris-Lyon-Méditerranée par exemple, ce qui n'a rien d'étonnant, si l'on songe que le nombre des trains belges est par kilomètre bien supérieur, tandis que la fréquentation du réseau belge (nombre de milliers d'unités de trafic par kilomètre et par an) ne dépasse que de 125 unités celle du Paris-Lyon-Méditerranée, qui est de 710.

Aussi les machines belges sont-elles en général un peu moins puissantes que celles du Paris-Lyon-Méditerranée, ce qui n'implique pas une moins bonne utilisation.

D'excellentes tendances se sont manifestées en 1887. En même temps qu'on augmentait le nombre des trains de voyageurs (parcours total, 18.672.489 kilomètres — parcours moyen, 38km,4), en diminuant un peu le nombre moyen de voitures (8,41 : 0,31 de voitures à bagages en moins), et tout en arrivant à n'abaisser que fort peu (à 21,55 p. 100) les places occupées, on cherchait à concentrer le transport des marchandises. Le parcours total des trains de marchandises et mixtes s'éleva à 15.528.448 kilomètres (parcours moyen 36km,3), la charge moyenne par locomotive à 91t,71, par train à 107t,17, et le rapport entre le chargement et la capacité à 42,88 p. 100.

Facilités offertes à la combinaison des services. — Des

trains nombreux, de parcours restreints et de faibles charges, telles sont donc les conditions du mouvement sur les lignes de l'État belge. Elles facilitent beaucoup, ainsi que l'espacement restreint des relais, la combinaison des équipes nécessaires pour effectuer le service sur une section donnée. On peut y faire remorquer les trains soit par une machine du dépôt initial, soit par une machine du dépôt final, soit par une machine d'un dépôt intermédiaire, qui exécute alors un trajet en forme d'S.

Les graphiques étant chargés, on y trouvera aisément des trains de retour réduisant au minimum le stationnement des locomotives, et ces courts repos sont acceptables à cause de la petite durée des trajets. De plus, grâce à la fréquence des relais, c'est précisément aux stations qui en sont munies que les convois de marchandises peuvent se garer.

Mode de travail du personnel et des machines. — Le travail utile des mécaniciens augmentera en même temps que celui des locomotives. L'un comme l'autre se composera de petites courses, suivies de petits repos. On trouve peu de stationnements de trois et de quatre heures. On peut juger des résultats généraux par les chiffres suivants, calculés sur des services pris au hasard, mais dont la moyenne s'éloigne peu :

Durée moyenne des stationnements entre la remorque de trains différents.

Dépôt d'Anvers : voyageurs (série A).	$2^h\,05^m$
— marchandises (série F).	$1^h\,18^m$
Dépôt de Mons : voyageurs (série B).	$1^h\,46^m$
Dépôt d'Arlon : marchandises (série C).	$1^h\,30^m$

Pour les dépôts rapprochés à 4 ou 6 kilomètres, dans les bassins houillers, la durée moyenne des stationnements des machines à marchandises se réduit à vingt ou trente minutes.

Les distances moyennes parcourues dans la journée sont les suivantes, pour les locomotives des dépôts ci-dessus :

	DISTANCES moyennes parcourues	DURÉES DE SERVICE correspondantes (stationnements compris)
Dépôt d'Anvers : voyageurs (série A). . .	222 kilom.	$13^h\,07^m$
— marchandises (série F).	102	$9^h\,19^m$
Dépôt de Mons : voyageurs (série B). . .	165	$12^h\,25^m$
Dépôt d'Arlon : marchandises (série C).	132	$12^h\,35^m$

On voit que les durées de service sont en général assez fortes. La durée du travail d'un mécanicien est fixée en moyenne à onze heures six minutes, mais on en rencontre qui vont jusqu'à vingt heures, comprenant il est vrai des stationnements de trois ou quatre heures, et suivies d'un jour de lavage ou de repos. Des durées de quinze heures se rencontrent assez fréquemment; elles sont coupées de nombreux stationnements, comme dans le service suivant par exemple :

NUMÉROS des trains	STATIONS de départ	STATIONS d'arrivée	HEURES de départ	HEURES d'arrivée	STATIONNEMENTS	DURÉE totale du service	PARCOURS
1397	Liége	Marloie	$3^h\,46$ s.	$5^h\,46$ s.	$0^h\,38$		
1398	Marloie	Liége	$6^h\,24$ s.	$8^h\,18$ s.	$0^h\,04$	$15^h\,19$	244 kilom.
594	Liége	Vivegnis	$8^h\,22$ s.	$8^h\,37$ s.	$1^h\,30$		
597	Vivegnis	Liége	$10^h\,07$ s.	$10^h\,22$ s.	$0^h\,43$		
596	Liége	Vivegnis	$11^h\,05$ s.	$11^h\,20$ s.	$0^h\,10$	TOTAL des stationnements	
6047 (vide)	Vivegnis	Liége	$11^h\,30$ s.	$11^h\,42$ s.	$0^h\,27$	—	
3221	Liége	Verviers	$12^h\,09$ m.	$12^h\,49$ m.	$1^h\,51$		
Vide	Verviers	Liége	$2^h\,40$ m.	$3^h\,25$ m.	$1^h\,05$	$7^h\,28$	
61	Liége	Verviers	$4^h\,30$ m.	$5^h\,08$ m.	$1^h\,00$		
506	Verviers	Liége	$6^h\,08$ m.	$7^h\,05$ m.			

On remarquera que la machine qui fait ce service, et qui est une locomotive express à quatre roues couplées de 2 mètres de diamètre, traîne successivement : express (numérotés 1 à 299), trains ordinaires de voyageurs et mixtes (300 à 2.699) et convois de marchandises (3.000 à 5.499). Cette multiplicité d'emplois, que permet la légèreté des trains de marchandises, est rarement réalisée, si ce n'est pour les express et voyageurs ordinaires.

Malgré la longueur du service, la fatigue imposée au personnel n'est pas exagérée, grâce à ces repos fréquents dans les relais; c'est là un nouvel avantage de leur rapprochement. On obtient une bonne utilisation des hommes et des machines, tout en ayant rarement de grands parcours d'une traite. Le travail des mécaniciens après leur rentrée aux remises est aussi réduit que possible. Quant aux locomotives, on augmente leur travail en les faisant parfois repartir, comme nous le verrons, avec une nouvelle équipe, peu de temps après que la première les a quittées.

Double traction. — Pour éviter de décomposer les trains de marchandises sur les lignes accidentées, on les y remorque presque tous par double traction. Ces lignes appartiennent pour la plus grande partie aux environs de Liége (Chénée à Fléron, Pépinster à Trois-Ponts, Landen à Statte), et au district du Luxemboug (Bruxelles-Scharbeck à Arlon, Tamines à Landen, Virton à Marbehan).

La machine d'allège est placée en queue du train et lui est accrochée; la charge maximum du train est alors égale à la charge que pourrait remorquer, sur la section à parcourir, la première locomotive, majorée des $\frac{8}{10}$ de la charge que pourrait remorquer seule la machine d'allège

sur la même section, sans pouvoir, toutefois, dépasser le maximum de 60 véhicules.

A la descente des fortes pentes (au-dessus de 10 millimètres), la machine d'allège est mise en tête et doit fonctionner comme frein par tous les moyens dont elle est pourvue.

S'il se présente une succession de rampes et de pentes sans que la locomotive d'allège puisse être changée de place aux points où le profil se modifie, on place cette machine en tête dès le début, du moment que les pentes sont assez longues et dépassent 10 millimètres.

Quand les deux machines sont en tête, la charge du train peut être égale à la somme des charges que pourrait remorquer sur la section chacune des locomotives prises séparément.

Le mécanicien de tête est responsable de la conduite du train; c'est à lui que s'adresse le signal donné par le chef-garde. C'est lui qui à l'arrêt ferme son modérateur et serre ses freins le premier. Au contraire, à la mise en marche, après avoir sifflé, il n'ouvre son modérateur qu'après avoir entendu le coup de sifflet du machiniste de queue, qui en même temps ouvre le sien. Le train vient donc toujours se comprimer sur la machine de tête.

Les trains de voyageurs ne sont allégés que très exceptionnellement; s'il en est ainsi, les deux machines sont mises en tête.

Le service spécial des plans inclinés de Liége ne tardera pas à disparaître, la voie devant être prochainement rectifiée, à partir d'Ans, par le Val-Benoît.

Personnel du service de la traction. — En dehors des bureaux centraux, il existe à la tête de chaque district un ingénieur en chef de la traction. Les remises sont placées sous la direction d'un ingénieur, ou d'un chef ou sous-chef de section; à chacune sont attachés un ou deux

machinistes instructeurs, et un chef d'atelier, qui fait aux mécaniciens des cours théoriques.

III. SERVICE DES MÉCANICIENS.

Prescriptions générales du service. — Nous avons vu plus haut que la durée journalière du service des mécaniciens était en moyenne d'un peu plus de onze heures. Les principaux points sur lesquels ils doivent pendant ce temps porter leur attention sont, comme en France, les suivants :

Entretien en parfait état de toutes les parties de la machine;

Visite minutieuse et fréquente pendant les heures de service;

Observance immédiate de tous les signaux;

Attention constante sur la route;

Ralentissement aux points dangereux;

Observation des prescriptions spéciales relatives aux lignes à simple voie;

Conduite régulière des trains dans les délais voulus.

Avant de passer machinistes de route, les mécaniciens subissent un examen pratique sous la surveillance d'un machiniste instructeur.

La priorité pour l'avancement est accordée à ceux qui sont d'une conduite éprouvée, qui ont le plus d'instruction et qui, en service et à l'atelier, sont reconnus les plus aptes dans la réparation des machines.

Les mécaniciens sont placés : dans les remises et ateliers, sous les ordres des fonctionnaires qui dirigent les ateliers ou de leurs délégués; en route, sous la direction des chefs-gardes (et ils ont les serre-freins sous leurs ordres immédiats); dans les stations, sous l'autorité des chefs ou sous-chefs de station.

Il doit toujours y avoir au moins 10 centimètres d'eau au-dessus du ciel du foyer; en rampe, la hauteur d'eau est augmentée de quelques centimètres pour ne jamais découvrir l'extrémité des tubes supérieurs.

Les locomotives circulant à vide ou peu chargées, marchent sans détente, et la vitesse est régularisée par le modérateur; il en est de même lorsqu'une grande vitesse doit être donnée. Le tuyau de décharge est toujours maintenu le plus ouvert possible pour diminuer la contre-pression. Les purgeurs sont ouverts quand le modérateur est fermé; de même le robinet souffleur, tant aux points d'arrêt qu'aux endroits de ralentissement. On s'abstient autant que possible de charger le foyer pendant les arrêts ou lorsqu'ils sont proches.

Le mécanicien doit arriver au terme du voyage avec beaucoup d'eau dans la chaudière et peu de combustible sur la grille, de façon à préparer la machine au stationnement et à pouvoir retourner facilement le feu pour enlever les mâchefers; il doit conserver assez de pression, pour pouvoir arrêter en cas de besoin, et assez de feu, pour faire les manœuvres commandées.

Le mécanicien consigne chaque jour dans un registre spécial ses observations sur l'état et la marche de la machine et du tender, la manœuvre des freins du train, et toutes autres particularités.

En fait, de même qu'en Amérique, le travail du dépôt est le plus restreint possible, pour augmenter le service sur la ligne. Ce n'est que les jours où le mécanicien ne roule pas, qu'il exécute, avec l'aide de son chauffeur, les menues réparations, et dirige le lavage de la chaudière. Celui-ci a lieu en moyenne après 5 à 7 séries.

Dans le service des manœuvres, les mécaniciens ne se mettent en marche que sur un ordre verbal du chef ou sous-chef de station, ou sur le signal réglementaire d'un ouvrier manœuvre; ils sont toujours accompagnés

d'un aide au frein, qui se tient prêt à enrayer. Les manœuvres sont commandées au moyen d'un cornet spécial, dont 2 coups indiquent la marche en avant, 3 coups la marche en arrière, 1 coup prolongé le ralentissement, 3 coups brefs et répétés l'arrêt.

Allocation de combustible aux mécaniciens de route. — La prime totale de combustible des locomotives comprend cinq éléments :

1° L'allocation pour allumage, fixée d'après l'expérience à 125 kilogrammes de charbon lorsque l'allumage se fait au charbon incandescent, et à 65 kilogrammes lorsqu'on emploie le bois concurremment avec le charbon.

2° L'allocation par heure de feu, fixée à 25 kilogrammes. Comme on compte trois heures de feu pour l'allumage d'une locomotive, l'allocation spéciale à l'allumage doit être augmentée de 75 kilogrammes.

3° L'allocation de parcours : la résistance que le mécanisme des locomotives oppose au roulement a été évaluée par des expériences nombreuses, aux chiffres suivants :

$1^{kg},8$	de charbon	par	kilomètre	pour les machines à roues libres.
$2^{kg},5$	—	—	—	à 4 roues couplées.
$3^{kg},3$	—	—	—	à 6 roues couplées.
$3^{kg},7$	—	—	—	à 8 roues couplées.

Cette allocation est accordée par type de locomotive indépendamment de l'espèce de train.

4° Afin d'engager les machinistes à faire usage de la contre-vapeur, sur les pentes continues, il a été créé une prime spéciale pour la contre-vapeur, laquelle a été fixée expérimentalement à $2^{kg},5$ par kilomètre de parcours et pour toute espèce de machine sur les profils présentant des inclinaisons supérieures à 4 millimètres.

5° La plus importante des allocations est celle qui résulte de la traction du poids total du train.

Pour calculer avec facilité l'allocation de combustible qui revient de ce chef aux mécaniciens, on a établi des barèmes d'allocation par unité de charge de station en station, de façon que les agents du service de la traction n'ont plus qu'à faire des additions et des multiplications. A cet effet, on a recours aux formules de l'Est français pour exprimer la résistance des véhicules.

Soient donc :

i l'inclinaison en millimètres d'une section de longueur l en kilomètres;

72, 60, 30, les vitesses sur palier et en alignement droit, des trains express, ordinaires et de marchandises;

$1{,}83 + 0{,}0843\ V$ la valeur de la résistance par tonne sur palier et en alignement droit, pour la vitesse V;

k, k', k'' les coefficients d'allocation de combustible par unité de charge, déterminés expérimentalement;

On emploiera pour les trois sortes de trains les formules respectives :

$$(1) \qquad k \times \frac{1{,}83\,\Sigma l + \Sigma l\,(0{,}0843\ V + i)}{1{,}83 + 0{,}0843 \times 72},$$

$$(2) \qquad k' \times \frac{1{,}83\,\Sigma l + \Sigma l\,(0{,}0843\ V + i)}{1{,}83 + 0{,}0843 \times 60},$$

$$(3) \qquad k'' \times \frac{1{,}83\,\Sigma l + \Sigma l\,(0{,}0843\ V + i)}{1{,}83 + 0{,}0843 \times 30}.$$

On voit que k, k', k'', sont les allocations qu'il convient d'accorder par unité de charge sur 1 kilomètre de ligne de niveau et en alignement droit. Une longue expérience les a fait fixer à 19, 18 et $10^{kg},500$, en vue d'assurer aux mécaniciens une économie de combustible de 8 p. 100 en moyenne. On a admis pour cette détermination que le combustible a un pouvoir calorifique qui est la moyenne de ceux des charbons couramment employés, c'est-à-dire que chaque kilogramme de charbon vaporise 7 kilogrammes d'eau. Quant aux courbes, on les remplace par des rampes donnant un même surcroît de travail. Les rampes de moins de 200 mètres de longueur sont négligées.

Longueurs virtuelles. — Ce système consiste donc à

transformer toutes les lignes du réseau avec leurs courbes et leurs inclinaisons en lignes de niveau et en alignement droit, offrant la même résistance au roulement; leur longueur, dite virtuelle, est donc représentée pour chaque section par les fractions ci-dessus. Ces longueurs virtuelles sont toutes différentes de celles du profil réel; elles deviennent même nulles quand le profil est en pente continue telle que $-i = 1{,}83 + 0{,}0843\,V$. Elles sont aussi différentes suivant la nature du train qui parcourt la ligne.

Dans le travail de transformation des courbes en rampes, les valeurs suivantes ont été adoptées pour les trains de marchandises :

Rayon de la courbe.	Rampe assimilée.	Rayon de la courbe.	Rampe assimilée.
1.000m	1mm,2	400m	3mm
900	1 ,3	350	3 ,5
800	1 ,5	300	4
700	1 ,7	250	5
600	2 ,0	200	6
500	2 ,4		

Ces éléments ont été réduits de moitié pour les trains de voyageurs ordinaires, et leur influence est considérée comme nulle pour les express.

Les vitesses adoptées ont été les suivantes :

MARCHANDISES		VOYAGEURS ORDINAIRES		VOYAGEURS EXPRESS	
Inclinaisons	Vitesses	Inclinaisons	Vitesses	Inclinaisons	Vitesses
	km.		km.		km.
Pente, palier ou rampe de 0 à 4mm.	30	Pente, palier ou rampe de 0 à 2mm.	70	Pente, palier ou rampe de 0 à 2mm.	78
Rampe de 4 à 8	25	Rampe de 2 à 5	65	Rampe de 2 à 4	75
— 8 à 12	22	— 5 à 8	60	— 4 à 7	70
— 12 à 16	18	— 8 à 12	54	— 7 à 10	63
— 16 à 20	16	— 12 à 16	48	— 10 à 14	60
Au-dessus de 20	14	— 16 à 20	42	— 14 à 18	55
		— 20 à 25	35	— 18 à 22	50
		Au-dessus de 25	25	— 22 à 25	45
				Au-dessus de 25	35

L'unité de charge représente en moyenne 5t,500. En voici le détail :

1 wagon vide pour charges de 10 tonnes et moins compte pour	1 unité de charge.
1 wagon vide pour charges de plus de 10 tonnes	2 unités de charge.
1 wagon de moins de 7t,5 chargé	2 —
1 wagon de 7t,5 à 10 tonnes chargé	3 —
1 wagon de 10 à 15 tonnes chargé	4 —
1 wagon de 15 à 20 tonnes chargé	5 —
1 voiture à voyageurs, chargée ou vide (ancien modèle)	2 —
1 id. id. (surhaussée ou à couloir)	2,5 —
1 wagon-lit ou une voiture hollandaise à trois essieux	3 —
1 fourgon non lesté	2 —
1 fourgon lesté	3 —

Est considéré comme vide tout véhicule dont la charge ne dépasse pas 1.000 kilogrammes. Les locomotives et leurs tenders comptent pour autant d'unités de charge que leur poids contient de fois 5t,500.

Au moyen de toutes les données ci-dessus, il est facile de calculer l'allocation de combustible attribuée à la traction proprement dite.

Rampes moyennes du réseau. — Les chiffres suivants sont intéressants, car ils permettent de se rendre compte de la longueur virtuelle totale et de la pente moyenne du réseau de l'État belge; mais il faut observer que, dans l'établissement de cette moyenne, les lignes fréquentées sont d'un poids plus grand que les autres, puisque les éléments de comparaison consistent dans les unités de trafic effectuées. Les résultats donnent donc une idée plus exacte de l'ensemble des difficultés de la traction.

1886	UNITÉS-KILOMÈTRES effectuées	UNITÉS-KILOMÈTRES virtuelles mises en mouvement	LONGUEURS VIRTUELLES moyennes par 100 km. réels (importance des lignes observée)	RAMPES moyennes (importance des lignes observée)
			km. virt.	4mm
Express	66.905.889	102.772.124	153	
Voyageurs ordinaires	283.470.813	466.499.584	164	4mm
Marchand. et mixtes	902 350.303	1.472.933.349	163	2 1/2 (converties)
Trains de la route	13.513.425	22.834.666	168	2 1/2 comprises.
Manœuvres de gare	177.324.701	213.650.616	120	1
Totaux	1.443.565.131	2.278.690.339		

Utilisation des machines. — Le trafic des marchandises se fait donc surtout sur des lignes très peu accidentées. Leur prix de revient à l'unité-kilomètre réelle croît plus rapidement que pour le transport des voyageurs.

Tandis qu'une rampe continue de 4 millimètres, par exemple, sur 10 kilomètres de longueur, donne pour longueur virtuelle équivalente 15^{km},500 pour les express et 16^{km},500 pour les omnibus, on obtient 19^{km},1 pour les trains de marchandises, ce qui tient à l'importance plus grande du terme en i dans la fraction citée plus haut, par suite des faibles valeurs de V. Pour ces derniers trains en particulier, on devra compter

1 kilom. sur des lignes en rampe de	5	millim.,	pour	2.050	mètres,
—	—	10	—	3.130	—
—	—	15	—	4.208	—
—	—	20	—	5.340	—

au point de vue des résistances à la traction. Comme d'ailleurs la vitesse est de plus en plus réduite sur ces rampes, suivant les proportions indiquées ci-dessus, le travail nécessité en pratique par la remorque d'une tonne de marchandises y sera, en prenant pour unité ce travail sur 1 kilomètre en palier à la vitesse normale de 30 kilomètres :

Sur des lignes en rampe de	5	millim.	1^{unité},7
—	10	millim.	2 ,3
—	15	millim.	2 ,52
—	20	millim.	2 ,85

Supposons que les consommations de combustible et autres matières soient, pour une même machine, proportionnelles au travail à produire, principe qui est ici d'une approximation suffisante : les nombres précédents sont, pour des trains dont la charge utile est à la charge totale — machine comprise — dans un rapport constant, proportionnels aux dépenses de leur traction proprement

dite sur les rampes considérées. Ils montrent quel intérêt il y a, à rendre les résistances les plus uniformes possible pour chaque parcours de train, afin de bien utiliser toute la puissance de la locomotive. Sur une section dont chaque déclivité i s'étend sur une longueur l, et dont la rampe maximum est i_m, le travail demandé à la machine est $\Sigma[lf(i)]$, en désignant par $f(o)$ le travail de traction du train sur 1 kilomètre en palier à la vitesse normale; si cette machine, supposée bien appropriée au profil, travaillait constamment à pleine charge, elle pourrait produire sur cette section le travail $f(i_m)\Sigma l$; son rendement ne sera que $\frac{\Sigma[lf(i)]}{f(i_m)\Sigma l}$, la fonction f ayant pour chaque valeur de i, des valeurs proportionnelles à celles indiquées plus haut. Pour se rendre compte de l'utilisation des machines sur cette ligne, il suffira donc de prendre pour $f(i)$ les nombres ci-dessus : 1; 1,7; 2,3, etc. On doit aussi remarquer qu'à moins de cas spéciaux, les machines seront d'autant moins bien appropriées au profil de la ligne que le tonnage de celle-ci sera moindre. Autrement dit, tandis qu'une locomotive travaillant à pleine charge pourrait remorquer sur la rampe maximum un poids T, la pratique montre que si la ligne est peu importante, elle n'aura la plupart du temps à y remorquer qu'un poids plus faible T'. L'expression totale de son utilisation sera donc $\frac{T'}{T} \times \frac{\Sigma[lf(i)]}{f(i_m)\Sigma l}$: le premier facteur est placé sous l'influence de la fréquentation.

Autres allocations aux mécaniciens de route. — Il est encore accordé aux mécaniciens de route 2 kilogrammes de charbon par manœuvre effectuée dans les stations pour prendre ou déposer des wagons. Chaque manœuvre est en outre comptée pour 1/2 kilomètre de parcours.

Cette allocation, de même que les cinq primes géné-

rales de combustible, est exprimée en charbon menu, demi-gras, servant à l'alimentation des machines à grand foyer. Toutes les allocations sont majorées de 7 p. 100 quand il s'agit de locomotives à foyer profond d'anciens types, brûlant des charbons mélangés. Elles sont pour toutes les machines majorées de 10 p. 100 pendant la période d'hiver (1er octobre — 1er avril).

Allocations du service des manœuvres. — La comptabilité des primes des machines qui font le service des manœuvres dans les stations est tout autre en ce qui concerne les allocations afférentes à la traction des véhicules. On donne par unité-kilomètre $0^{kg},12$ de combustible. Les unités-kilomètres exprimant le travail des machines de gare varient nécessairement suivant les stations, d'après l'importance du trafic. Trimestriellement, on établit pour chaque station du réseau le quantum d'unités-kilomètres remorquées par machine et par heure. Cette base d'allocation est suffisante, sinon rigoureusement exacte, puisque le mouvement d'une gare se modifie dans le courant d'un trimestre. Il n'existe pas de prime de contre-vapeur pour les machinistes de gare. En hiver, leurs allocations sont majorées de 10 p. 100.

Valeur de la prime d'économie. — Le mécanicien reçoit 3 francs par tonne de charbon qu'il économise. Toutefois cette prime ne lui est payée intégralement que si les crédits budgétaires le permettent. Dans le cas contraire, elle est réduite au marc le franc pour ne pas les dépasser, mais ce cas se produit rarement.

Primes de régularité dans la marche des trains. — Pour obtenir la marche la plus régulière possible des trains, des primes de régularité de parcours sont accordées aux mécaniciens, chauffeurs et serre-freins. Elles sont ainsi fixées par kilomètre de parcours régulier :

Pour les mécaniciens	$0^f,004$
Pour les chauffeurs	0 ,0025
Pour les serre-freins.	0 ,0015

La prime n'est acquise que si le train arrive à l'heure officielle aux stations de coïncidence et à la station extrême du parcours. Il est accordé une tolérance de 3 minutes, tant avant qu'après l'heure assignée par le tableau de service, aux convois de voyageurs et mixtes ; et une tolérance de 15 minutes avant et de 30 minutes après, aux convois de marchandises.

Indépendamment de la prime ordinaire de régularité, une prime spéciale est accordée aux mécaniciens et aux chauffeurs qui assurent dans les délais réglementaires, la remorque de certains trains du service direct à grande vitesse. Elle est fixée d'après la longueur des trajets, et correspond à $0^f,01$ par kilomètre. Elle est répartie dans la proportion de 2/3 au mécanicien et 1/3 au chauffeur.

Ces primes, particulières à l'État belge, ne peuvent, pas plus que celles d'économies de combustible et de matières de graissage, dépasser la somme réservée au budget pour leur liquidation.

Primes de parcours des machinistes instructeurs. — Les machinistes instructeurs, en accompagnant les trains et en surveillant les manœuvres, contribuent dans la mesure de leurs fonctions, à assurer le bon entretien des machines, les économies de combustible et de matières de graissage, ainsi que la régularité du service des convois. Aussi leur est-il accordé des primes de parcours établies de la manière suivante :

Pour les trains express	$0^f,003$	par kilomètre de parcours en tournée,
Pour les trains de voyageurs ordinaires . .	0 ,005	
Pour les trains de marchandises et mixtes.	0 ,01	
Pour le service des manœuvres.	0 ,02	

en comptant 5 kilomètres par heure de travail.

Importance des primes ci-dessus. — En 1886, les primes d'économie et de régularité se sont élevées à la somme totale de 555.400 francs. D'un autre côté, il a été payé pour salaires, indemnités, primes, frais de découcher, etc., des mécaniciens et des chauffeurs la somme de 4.796.900 fr. Les primes se sont donc élevées en moyenne à 13 p. 100 des salaires et indemnités.

Primes du personnel de surveillance des ateliers et remises de la traction. — Les agents de surveillance des ateliers et remises de la traction, dont les fonctions sont de nature à exercer une influence appréciable sur la consommation des matières employées pour l'alimentation et la lubrification des locomotives, participent aux primes instituées en vue de réaliser des économies dans l'utilisation de ces matières.

Cette participation est basée pour chaque remise sur la différence entre les allocations totales et les consommations réelles. Les primes sont calculées à raison de 0f,06 par 100 kilogrammes de charbon, et 0f,05 par kilogramme de matières de graissage. Elles peuvent être réduites comme les précédentes par suite des nécessités budgétaires.

L'attribution de ces primes est déterminée d'après les règles suivantes :

I. *Économie de combustible.* — Les primes d'économie de combustible dévolues au personnel de surveillance de chaque remise sont subdivisées en deux parts égales. La première part ou « prime d'entretien » revient intégralement au chef de remise. La seconde part ou « prime de réparation » est acquise aux ateliers centraux ou secondaires qui ont effectué des réparations « grandes, moyennes ou secondaires » aux locomotives appartenant aux diverses remises.

La répartition de la prime de réparation d'une remise

est faite entre tous les ateliers ayant concouru aux réparations des locomotives de cette remise, au prorata du coût des réparations exécutées par chacun d'eux, combiné avec la durée de celles-ci.

La part de la prime de réparation attribuable à chacun des ateliers centraux est elle-même ainsi partagée :

50 pour 100 au chef d'atelier ;
15 pour 100 aux contremaîtres de montage (à subdiviser également entre tous) ;
35 pour 100 aux autres contremaîtres et brigadiers (à subdiviser d'après leur coopération).

La part de la prime attribuée à chacun des ateliers secondaires est partagée par moitié entre le chef de remise et le contremaître, et attribuée en entier au premier s'il n'y a pas de contremaître.

De plus, les machinistes instructeurs attachés aux remises bénéficient d'une prime d'économie de combustible correspondant pour chaque poste de ces agents à 40 p. 100 des primes d'entretien à allouer aux chefs de remise dont relèvent les machines soumises à leur surveillance. Cette prime est répartie d'une manière égale entre les machinistes instructeurs d'un même poste.

II. *Économie de matières de graissage.* — Les chefs de remise reçoivent l'intégralité des primes obtenues dans l'emploi de ces matières.

Les contremaîtres de cours, spécialement chargés de l'examen et de la réparation des appareils de graissage des locomotives, des mèches, etc., reçoivent une prime équivalant pour chaque remise à 65 p. 100 de la prime de graissage allouée à leurs chefs de remise.

Indemnité spéciale aux mécaniciens de gare. — Les chefs de service peuvent allouer directement aux mécaniciens de gare qui se sont distingués dans les manœuvres par leur prudence, de manière à éviter les acci-

dents, une indemnité de 10 à 20 francs par trimestre, mandatée sur les caisses des stations, et fixée selon la difficulté du service.

Autres indemnités spéciales. —Notons en même temps, comme allouées par le service du matériel et de la traction, les deux sortes d'indemnités spéciales suivantes :

1° Aux ouvriers préposés à la visite du matériel de traction et de transport, avant le départ et pendant le stationnement des trains, pour la découverte de toute défectuosité de nature à compromettre la sécurité du service et à motiver par conséquent le retrait du matériel :

Pour les trains de voyageurs	5 francs.
Pour les trains de marchandises	3 francs.

2° Aux ouvriers chargés de la visite et de l'entretien du matériel dans les ateliers, pour la découverte de tout défaut motivant le remplacement immédiat d'un essieu lorsque ce défaut est peu apparent : 2 francs. Mais ces deux sortes d'allocations ne sont dues que s'il s'agit de circonstances dénotant de la part de l'agent une vigilance exceptionnelle, et non de faits que l'exécution régulière de son service ordinaire le met à même de constater.

Mode de paiement des rémunérations dues aux ouvriers. — L'article 5 de la loi du 16 août 1887 porte que les salaires ne dépassant pas 5 francs par jour doivent être payés au moins deux fois par mois, à seize jours d'intervalle au plus, aux ouvriers (non agricoles) qui ne sont pas logés et nourris chez leurs patrons. En conséquence, tous les ouvriers du chemin de fer sont payés deux fois par mois, conformément aux dispositions suivantes (Serv. gén., n° 146, 1887) :

I. Le premier paiement comprend la période du 1er au 15, le second celle du 16 au dernier jour du mois inclus.

II. Il est dressé pour chaque paiement un état d'émargement; l'ancien état-minute complété (§ IV) continue à comprendre le mois entier.

III. Le premier paiement est fait sous forme d'acompte à valoir sur le salaire net du mois entier. Cet acompte est égal au produit brut du nombre d'heures ou de journées de travail—quarts ou heures supplémentaires compris, s'il y a lieu — par le prix de l'unité, sauf réduction dudit produit au multiple immédiatement inférieur de 5 francs. Un salaire de 34f,95 doit être liquidé à 30 francs.

Pour les agents dont le salaire est exprimé par un taux mensuel, le produit correspondant au nombre de journées de travail est pris dans des barèmes *ad hoc*, sauf la réduction prévue à l'alinéa précédent.

Sont réglées pour le mois entier, dans l'état à dresser pour le second paiement, les retenues de toute nature au profit : de la caisse de retraite et de secours des ouvriers, de celle des veuves et orphelins, de la caisse de prévoyance et de la masse d'habillement.

Les prélèvements du chef de saisies-arrêts et délégations sont calculées et opérées : pour la première quinzaine, sur le montant de l'acompte; pour la deuxième quinzaine, sur la différence entre le salaire brut dû pour le mois entier et l'acompte de première quinzaine.

Sont également réglés à l'occasion du second paiement, les rectifications des erreurs relevées dans les états des mois précédents, les indemnités de toute nature liquidées par la voie des états de salaires, les excédents pour travail à la tâche ou à forfait.

IV. Le nombre d'heures ou de journées de travail se rapportant à la première quinzaine, de même que les salaires bruts correspondants, ceux-ci réduits comme il est dit au § III, sont arrêtés à l'expiration de la journée du

15, et consignés immédiatement dans les colonnes introduites à cette fin dans l'état-minute général du mois, taux journalier et par heure. Pour les salaires à taux mensuel, on se borne à inscrire dans la colonne nouvelle introduite à cette fin dans l'état-minute, le montant de l'acompte à payer.

V. Il est dressé ensuite, par station de paiement et par imputation, tant pour les salaires mensuels que pour ceux à la journée ou à l'heure, des états d'émargement des sommes à payer, suivis chacun d'une récapitulation et d'un état de paiement. Ces états, qui doivent porter le même numéro d'ordre que l'état-minute mensuel et les états d'émargement de la seconde quinzaine, sont adressés le 16 aux chefs de service compétents, qui, après visa « Bon pour payer », les transmettent aux comptables-payeurs, au moins 48 heures avant la date fixée pour le paiement.

VI. Dès réception de ces états, les comptables s'assurent de l'exactitude des additions et reports, ils redressent éventuellement d'office et à l'encre bleue les totaux fautifs et signalent les erreurs constatées au chef immédiat en cause, lequel rectifie en conséquence l'état-minute du mois.

VII. Les paiements sont effectués successivement à partir du 19, et les dates en sont fixées par les chefs de service, de manière à se rapprocher autant que possible de l'expiration des quinzaines, et, en tout cas, à ne laisser entre la remise de l'acompte et la liquidation du solde qu'un intervalle de 16 jours au plus (art. 5 de la loi).

VIII. Les ouvriers absents le jour du paiement sont signalés sur l'état par l'inscription du mot « absent » dans la colonne « émargement ». Ils sont ensuite reportés dans le tableau qui termine l'état pour être payés, à bureau ouvert, par le comptable jusqu'à l'avant-dernier jour du mois.

... X. Les états d'acompte sont définitivement clôturés l'avant-dernier jour du mois. Après clôture, le comptable avise sans retard le chef immédiat des acomptes restés impayés. Celui-ci biffe à l'encre rouge le chiffre correspondant figurant à l'état-minute du mois, rectifie en conséquence les totaux ainsi que les reports et inscrit dans la colonne d'observations la mention : « acompte resté impayé », celui-ci devant être liquidé en même temps que le solde de seconde quinzaine.

... XIII. Lorsqu'un ouvrier a touché l'acompte de première quinzaine, mais ne se présente pas pour recevoir le solde de fin de mois, il y a lieu de ne défalquer de l'état pour être reporté sur extrait, que le montant net restant dû. Les retenues, au profit de la masse d'habillement et de la caisse des ouvriers, de celle des veuves et des orphelins, et, s'il y a lieu, de la caisse de prévoyance, sont en conséquence considérées comme acquises à ces institutions pour être liquidées en toute hypothèse. Il en sera de même lorsque le salaire du mois entier restera impayé.

XIV. L'état relatif à l'acompte de première quinzaine, de même que les états extraits dont le montant aura été repris, sont conservés par le comptable-payeur, comme valeur en caisse pour être annexés à l'état de fin de mois et être transmis avec celui-ci au comptable-liquidateur contre reprise du montant net payé pour le mois entier.

XV. Les états d'émargement de seconde quinzaine ou de solde sont arrêtés d'après les résultats de clôture des états-minutes du mois et adressés en même temps que ceux-ci aux chefs de service compétents. On a donc adjoint aux anciens modèles d'émargement deux colonnes destinées à recevoir l'inscription, l'une du montant de l'acompte de première quinzaine, l'autre du reste net à payer.

... XVII. Les deux paiements, acompte et solde, sont

ultérieurement mandatés et régularisés comme s'il n'y avait eu qu'un paiement unique pour le mois entier.

XVIII. Le régime adopté pour les salaires est appliqué au paiement des secours du chef d'incapacités de travail résultant de maladies, etc.

Il m'a paru intéressant d'entrer dans ces détails au sujet du mode de paiement des salaires : c'est un sujet qui est en Belgique tout d'actualité, par suite des récentes enquêtes. Je vais maintenant dire quelques mots des mesures nouvelles prises en vue d'augmenter le rendement des mécaniciens et des locomotives.

Service des mécaniciens dans leurs remises. — Il suffit aux mécaniciens d'arriver à leurs remises une demi-heure avant le départ du premier train qu'ils doivent conduire. Ils y trouvent en effet leur machine allumée.

Des manœuvres spéciaux sont préposés à ce soin, ainsi qu'au nettoyage des machines. En enlevant aux mécaniciens ces travaux accessoires, on peut augmenter en conséquence leur travail de route qui est un travail immédiatement productif.

On peut se rendre compte par les chiffres suivants de l'importance relative du travail préparatoire de mise en marche des locomotives :

EXERCICE 1886	MISE EN MARCHE des locomotives	MARCHE des locomotives
Heures d'allumage (3 heures par opération). . .	917.904	»
Heures de service.	»	4 663.890
Moyenne par locomotive allumée.	3h	14h,24
Dépenses :		
1° Huiles, graisses, combustibles.	205.392f,45	3.224.526f,57
2° Consommation d'eau par abonnement, nettoyage des locomotives par l'industrie privée, chargement et déchargement des combustibles par l'industrie privée.	508.207f,32	195.380f,05
3° Salaires, indemnités, primes	189.442f,38	4.796.879f,63
4° Renouvellement des objets de matériel en service de traction proprement dit.	911f,04	31.120f,40
Dépenses totales	903.953f,19	8.247.906f,65
Dépenses par heure.	0f,98	1f,77
Salaires par heure (primes déduites pour la marche).	0f,20	0f,90

Comparons d'après ces données les dépenses de main-d'œuvre, dans les deux cas où l'équipe consacre elle-même 3 heures à l'allumage de sa machine, et où elle la trouve toute allumée, en supposant d'un côté que son salaire annuel n'ait pas varié, et de l'autre que les 3 heures consacrées à l'allumage remplacent 1 heure de travail de route.

L'équipe (ou la succession d'équipes) attachée à une locomotive fournit actuellement, comme le montre le tableau, un travail moyen de 14h,24 chaque fois que cette locomotive est allumée. Ce travail serait dans l'autre cas de 16h,24, dont 3 pour l'allumage, et le salaire par heure serait $0{,}90 \times \frac{14^h,24}{16^h,24}$, occasionnant une dépense par heure de travail utile de $0{,}90 \times \frac{14^h,24}{16^h,24} \times \frac{16^h,24}{13^h,24} = 0{,}90\,\frac{14^h,24}{13^h,24}$. Il est, au contraire, par heure de marche, avec l'emploi de manœuvres à 0f,20 l'heure, $0{,}90 + 0{,}20 \times \frac{3^h}{14^h,24}$. L'économie proportionnelle réalisée par l'emploi de ce dernier système est donc $\frac{\frac{0{,}90}{13{,}24} - \frac{0{,}60}{14{,}24}}{0{,}90\,\frac{14{,}24}{13{,}24}} = 2{,}64$ p. 100, ce qui n'est pas négligeable quand on l'applique à plus de 4 millions 1/2 d'heures, en même temps que de salaires.

Cette économie s'élève de suite à plus de 10 p. 100, si l'on suppose que les 3 heures de travail d'allumage aient été remplacées par 2 heures de travail de marche, au lieu d'une heure.

Nous venons de dégager l'influence de la main-d'œuvre, et l'économie qu'on peut réaliser de ce chef par heure de travail utile des locomotives. Mais il faut observer que si, dans un cas, ce travail utile est de 13h,24m consécutives, dans l'autre de 14h,24m, le nombre des al-

lumages pourra être réduit dans le second cas de $\frac{1^h}{13^h,24}$ ou 7,4 p. 100, ce qui constitue une nouvelle économie; en supposant, bien entendu, que les conditions du travail des machines, kilomètres à parcourir, parcours par heure de marche, restent les mêmes.

Services à double équipe. — Les locomotives de chaque remise sont partagées, d'après leurs types et leur adaptation aux trains à remorquer, en séries, dont chacune comprend autant de services que de locomotives. La série B de Bruxelles-Nord, par exemple, est constituée par douze locomotives du type 1, à quatre roues couplées de 2 mètres, pour voyageurs ordinaires et express. Chaque machine fait successivement douze services différents, dont un jour de repos et deux jours de lavage. Elle est toujours conduite par le même mécanicien et le même chauffeur, en sorte que toutes les équipes sont appelées à prendre une part égale de concours dans l'accomplissement du travail et dans le gain des primes.

Mais il en résulte que chaque machine reste inoccupée pendant plus de 12 heures 1/2 par jour, en moyenne (sans tenir compte des deux jours de lavage, qui sont de toute nécessité).

Telle fut la situation générale de toutes les machines de l'État belge jusqu'au mois de mai 1886. A cette époque, des essais furent entrepris dans l'ordre d'idées indiqué par le Congrès des chemins de fer réuni à Bruxelles en 1885 pour augmenter l'utilisation des locomotives en affectant à celles-ci plusieurs personnels.

Trains de marchandises. — La ligne du Luxembourg, de Bruxelles (Scharbeek) à Arlon, se prêtait particulièrement bien au roulement à double équipe. Il existe en effet

sur cette ligne pour les trains de marchandises, quatre remises aux locomotives qui la divisent en section d'à peu près égale longueur. Ce sont celles de Scharbeek, Namur, Jemelle et Arlon, distantes de 55, 57 et 79 kilomètres.

Sur chacune de ces sections, le service des locomotives est d'une durée moyenne de 10 heures. On dispose donc entre la rentrée et le départ de la locomotive d'un stationnement suffisant pour la réapprovisionner d'eau et de charbon, la remettre en pression, la visiter, la nettoyer, etc., toutes conditions qu'il est nécessaire de pouvoir réaliser pour une bonne organisation du service à double équipe.

En outre, ces stationnements sont généralement suffisants, pour qu'en cas de retard dans le départ ou l'arrivée des trains, il n'en résulte pas de désorganisation trop rapide du service.

Enfin, les trains de marchandises se présentent dans des conditions telles que les trains de jour trouvent leurs correspondants dans les trains de nuit.

Au 1er janvier 1887, le service à double équipe de la ligne de Scharbeek à Arlon s'étendait déjà à cent vingt machinistes environ; d'après le livret de service du 1er juillet 1888, il s'étend maintenant à plus de cent trente.

Sur la section de Namur à Jemelle, sur vingt-deux trains de marchandises qui circulent chaque jour dans chaque sens, dix-neuf sont assurés par le service à double équipe. Le service de chaque équipe se compose uniquement d'un voyage aller et retour, à partir de Jemelle ou de Namur. Tous les trains remorqués par ce système le sont en double traction, sauf deux dans chaque sens, se succédant à peu d'intervalle. Le graphique (Pl. IV, *fig.* 1) rend compte de leur marche. Les trains remorqués en simple traction y sont marqués en pointillé.

D'après ce qui vient d'être dit, il faut dix-huit machines et trente-six équipes pour faire ce service. Le service de l'équipe n'a rien de pénible, il n'est en moyenne que de 8^h 1/2, et le stationnement moyen aux changements d'équipe est de 3^h 1/2.

Le service à simple équipe est resté appliqué à six trains de la ligne; l'équipe n'y fait aussi dans sa journée qu'un voyage aller et retour. Il est évident que s'il était autrefois appliqué à tous les trains dans ces conditions, on a réalisé par la double équipe une économie de dix-huit machines, sans augmenter le nombre des mécaniciens. Mais on peut chercher à l'y appliquer avec une moyenne de travail de 11 heures, jours de repos compris, soit environ 12^h 3/4 de travail par journée réellement occupée, en supposant un jour de repos par semaine. Le mécanicien effectuera alternativement quatre et deux trajets pour éviter les découchers. En cherchant à combiner ces conditions avec l'horaire, on arrive à faire accomplir les soixante-douze trajets représentés au graphique par vingt-six équipes et vingt-six locomotives, dont dix font quatre trajets, et seize font deux trajets. On emploierait donc ainsi, par rapport à la double équipe telle qu'elle est pratiquée, dix équipes de moins et huit machines de plus; mais la comparaison ne doit pas être appliquée à ces deux cas, puisque la durée du travail y est fort inégale. Pour l'égaliser, il faudrait faire accomplir en moyenne trois voyages au lieu de deux à chaque poste de la double équipe. On peut se convaincre que, d'après le graphique, quatorze locomotives et vingt-huit équipes seraient alors nécessaires, soit douze machines de moins et deux équipes de plus qu'avec la simple équipe.

Supposons, ce qui n'est pas loin de la vérité (d'après M. Baudry, *Annales*, VIII, 12, p. 34, t. 3), que la dépense d'un mécanicien compense pour un même service,

l'économie d'une machine. On voit qu'en réumé, en faisant effectuer en moyenne deux trajets au mécanicien, on économise par l'emploi de la double équipe dix-huit unités; et pour trois trajets, dix unités seulement. Chacune de ces unités vaut 5.000 à 6.000 francs par an.

J'ai tenu à envisager le cas de trois trajets, bien qu'il ne se rencontre pas dans la pratique de l'État belge; le cas de deux trajets seulement est en effet par trop analogue à celui d'une machine de gare effectuant vingt-quatre heures de manœuvres sous la conduite de deux postes de 12 heures, ou à celui d'un service de navette sur un petit embranchement sans issue. Il ne fait, pour ainsi dire, pas entrer en jeu les difficultés qu'on éprouve, pour chaque sorte d'équipe, à concilier avec l'horaire la meilleure utilisation du personnel.

L'économie relative d'unités est dans le cas de deux trajets $\frac{18}{2\times 36}$ ou 25 p. 100 de la dépense totale, machines et conducteurs; et dans le cas de trois trajets $\frac{10}{2\times 26}$ ou 19 p. 100. Cette décroissance est bien naturelle : plus on tire un bon parti des outils qu'on emploie, moins on a d'intérêt à les perfectionner.

Le parcours moyen mensuel des locomotives à marchandises de la ligne du Luxembourg, qui n'était que d'environ 3.000 kilomètres, s'est élevé, pour le matériel de traction faisant partie du service à double équipe, à 5.800 kilomètres, soit près du double.

On a pu retirer du service environ 60 locomotives appartenant pour la plupart à des types surannés; elles provenaient d'anciennes compagnies exploitantes et ne répondaient plus qu'imparfaitement aux conditions actuelles du trafic.

On craignait que des difficultés ne surgissent, quant au partage des primes de combustible et de matières de

graissage, et que l'entretien des machines ne se ressentit du roulement à double équipe. Le soin judicieux qu'on a mis à associer les mécaniciens a écarté ces inconvénients, et ce roulement donne d'excellents résultats sur la ligne de Scharbeek à Arlon. Les répartitions des primes au prorata du travail, effectué par chacun des mécaniciens, n'a donné lieu à aucune réclamation, et l'entretien courant des locomotives n'a pas diminué.

La question de savoir si l'introduction du système de la double équipe a amené une augmentation dans la consommation de combustible, n'a pu être jusqu'à présent résolue. Cette introduction a coïncidé en effet avec une augmentation dans la vitesse des trains, et la part de chaque cause n'a pas encore été déterminée dans l'accroissement constaté des dépenses de combustible. Mais la part afférente à la double équipe paraît peu sensible.

On a tenté d'organiser un service à double équipe sur d'autres lignes du réseau, mais on y a rencontré plus de difficultés que sur celle du Luxembourg, les conditions énumérées plus haut ne s'y trouvant généralement pas réunies. En revanche, si les itinéraires y permettaient l'établissement de ce mode de roulement, on pourrait parfois le faire dans des conditions plus avantageuses à l'utilisation du personnel que sur la section citée de Namur à Jemelle. Nous avons vu qu'il était difficile d'y obtenir pour les mécaniciens une moyenne journalière de trois trajets, et qu'avec deux trajets le service n'est que de 8^h 1/2, sans compter les jours de lavage et de repos dans le calcul de cette durée. Les repos paraissent donc excessifs, mais leur proportion est la même avec la simple équipe : la faute en est à la durée des trajets. Sur la section de Jemelle à Arlon, le parcours se compose aussi toujours de deux trajets ; la durée moyenne du service d'une équipe est de 11^h 40 dans le roulement simple, de 11^h 15 dans le roulement double. C'est pourquoi, afin

d'égaliser le service, quelques-unes des locomotives de Jemelle conduites par deux équipes, vont-elles à Namur avec la première et à Arlon avec la seconde. Le parcours journalier du mécanicien se trouve ainsi élevé d'une moyenne de 115 kilomètres à une moyenne de 136.

Le service à double équipe ne fonctionne pour les marchandises, en dehors de la ligne du Luxembourg, que dans des cas tout à fait spéciaux, par exemple pour effectuer quelques manœuvres autour de Gand. Il existait aussi, au départ d'Anvers-Bassins, deux trains isolés allant l'un à Bascoup, l'autre à Turnhout (frontière néerlandaise, vers Arnheim). Chacun de ces trains, avec le train de retour, a été rattaché à un convoi allant d'Anvers à Bruxelles, de façon à former deux services à double équipe, d'après le tableau suivant :

DIRECTION DU TRAJET	HEURE du départ	HEURE du retour	STATIONNEMENT entre équipes	DURÉE du service
Anvers-Bruxelles.	7^h,30 s.	4^h,07 m.	4^h,08	8^h,37
Anvers-Turnhout.	8^h,15 m.	8^h,05 s.		11^h,50
Anvers-Bruxelles.	11^h,35 s.	9^h,20 m.	3^h,55	9^h,45
Anvers-Bascoup	1^h,15 s.	3^h,40 m.		14^h,25

En général, c'est donc toujours une durée de 3 à 4 heures qui est appliquée aux stationnements des changements d'équipes.

Trains de voyageurs. — L'application du service à double équipe aux voyageurs est rendue très difficile sur les lignes belges par ce fait, que le mouvement de ces trains a lieu principalement le jour. Sur la ligne du Luxembourg, il n'existe aucun train de voyageurs entre 10 heures du soir et 6 heures du matin. Aussi a-t-on été obligé, soit de réduire beaucoup la durée du travail de route et des stationnements entre équipes, soit de réunir

dans un même service des trains de voyageurs ordinaires et de marchandises. Voici un exemple, le seul d'ailleurs ne comprenant pas d'express, de chacun de ces cas :

DIRECTION DU TRAJET	HEURE du départ	HEURE du retour	STATIONNEMENT entre équipes	DURÉE du service
Gand-Luttre.	3h,30 m.	1h,05 s.	1h,17	7h,15
Gand-Charleroy.	2h,22 s.	10h s.		7h,38
Gand-Dunkerque.	7h,47 m.	7h,03 s.	1h,14	11h,16
Gand-Louvain (marchand.).	8h,17 s.	5h,31 m.		9h,14

On voit que dans ces deux cas, les parcours des deux équipes ne s'effectuent pas sur la même direction. Nous en avons déjà rencontré un exemple pour le service de Jemelle à Namur et à Arlon. C'est un cas très fréquent pour les services à simple équipe, dont la combinaison se trouve facilitée par le grand nombre de trains appelés de cette façon à y concourir.

De même les services à double équipe de la gare de Bruxelles-N., qui sont ceux dont il me reste à parler, rayonnent dans les deux directions de Bruxelles à Anvers, directement, et par Gand et Malines. Ils comprennent tous des express, qui se rencontrent la nuit en plus grand nombre que les trains ordinaires. Une équipe fait le service de nuit, l'autre le service de jour. L'intervalle entre les deux équipes n'est en moyenne que de 1h 1/2; mais il y a toujours, dans celle de nuit, un stationnement d'environ 3h 1/2, les trains étant complètement interrompus au milieu de la nuit. Vingt trains seulement sont remorqués par ce système.

Son application aux convois de voyageurs est donc des plus restreintes, et les résultats obtenus paraissent insignifiants.

Il serait difficile, pour le service à double équipe qui

vient d'être décrit, d'effectuer une comparaison analogue à celle que j'ai faite pour la section de Namur à Jemelle; si on veut en effet le faire accomplir par un roulement à simple équipe, rien ne prouve que, pour obtenir une bonne utilisation du personnel, il ne faille pas en même temps remanier les services à simple équipe actuellement existants, qui concourent avec le précédent à desservir les trains de Bruxelles à Anvers et à Gand.

On voit donc, en somme, que la conduite des machines à tour de rôle par deux personnels n'est appliquée sérieusement qu'aux trains de marchandises de la ligne du Luxembourg, où l'on réalise par ce système une notable économie. Si on ne l'applique pas ailleurs, ce n'est pas faute d'études; il faut donc en conclure qu'on n'y rencontrerait aucun avantage.

Ce serait même souvent impraticable. Sur les lignes secondaires tout d'abord, où, vu le petit nombre des convois, il serait généralement impossible de rencontrer réunies les conditions multiples que réclame l'installation d'un service à double équipe. Sur les lignes principales, les trains de voyageurs circulent en Belgique principalement le jour, et ceux de marchandises la nuit. Pour chacun de ces services, il y a donc une inégale répartition du travail entre le jour et la nuit, et les équipes de jour ne sauraient être dans la même proportion que celles de nuit. Il restera par suite un certain nombre de trains, de la catégorie la plus nombreuse, ne pouvant pas être desservis par le système de roulement, qui consiste à associer deux à deux les équipes. Ce système s'appliquerait donc d'une façon défectueuse.

IV. CARACTÈRES PRINCIPAUX DES MACHINES.

Je n'entreprendrai pas une description, même sommaire, des machines de l'État belge; elle a été faite dans

la *Revue générale des chemins de fer*, à la suite du Congrès de Bruxelles. Je me bornerai donc à en signaler les principaux types et les caractères généraux.

Les types destinés à rester, comme correspondant bien au besoins du service, sont les suivants :

Pour les machines à voyageurs :

1° Les locomotives (type 1) à quatre roues couplées de 2 mètres et à deux roues porteuses, servant à la remorque des trains ordinaires, sur les lignes dites de niveau, où n'existent pas de rampes supérieures à 5 millimètres, et avec quelques modifications peu importantes, à celle des express, sur les lignes à rampes moyennes ;

2° Les locomotives (type 2) à six roues accouplées de 1^{m},70, qui font le service des trains ordinaires sur les lignes accidentées, et des lourds trains de banlieue à faible vitesse ;

3° Les locomotives (hors type) pour les express sur lignes de niveau ;

4° Les locomotives (type 6) express-fortes rampes, à six roues couplées de 1^{m},70, construites spécialement pour les trains internationaux de la ligne du Luxembourg, et remarquables à tous égards.

Les types 4 et 5 sont des machines-tenders remorquant des trains légers ou desservant des lignes en cul-de-sac.

Pour les machines à marchandises, qui sont toutes à six roues accouplées :

1° Les locomotives à roues de 1^{m},45, et celles à roues de 1^{m},30, identiques aux machines à voyageurs du type 2, sauf pour le diamètre des roues. Les premières font le service des lignes de niveau, notamment celui des trains mixtes dont elles peuvent donner la vitesse ; les secondes remorquent les trains sur les lignes accidentées, mais avec une faible vitesse (types 28 et 29).

2° Les locomotives pour fortes rampes à roues

de 1^{m},30, environ deux fois plus puissantes que les précédentes (type 25). Leur chaudière et celle du type 6 sont construites d'après les principes analogues, et les foyers ont reçu des dimensions considérables, et qui n'ont jusqu'à présent, croyons-nous, été atteintes nulle part. C'est pourquoi nous étudierons en détail les résultats obtenus par les modifications introduites pour ces machines à l'appareil ordinaire de vaporisation des locomotives. Ces résultats ont été déterminés, pour le type 25, de la façon la plus précise, par les expériences qu'a effectuées le Comité de l'industrie, institué en 1885 à l'occasion de l'Exposition universelle d'Anvers.

3° Machine-tender de gare, à six roues accouplées de 1^{m},20 (type 51) employée pour les manœuvres.

Je crois utile de résumer dans le tableau suivant les principales conditions d'établissement de ces machines, en plaçant en regard celles des machines analogues du P.-L.-M et du Pennsylvania-Railroad.

LOCOMOTIVES A VOYAGEURS

		ÉTAT BELGE					P.-L.-M.	Pennsylvania railroad
		Type 1	Type 1 Express	Type 2	Express hors type	Type 6	Machines 111-400	Classe A
Pistons	Diamètre	0,430	0,460	0,450	0,500	0,500	0,500	0,432
	Course	0,560	0,610	0,600	0,600	0,600	0,620	0,610
Système de la coulisse		Steph.	Walsch.	Steph.	Walsch.	Walsch.	»	Steph.
Essieux	Nombre d'essieux accouplés	2	2	3	2	3	2	2
	Diamètre des roues motrices	2,000	1,800	1,700	2,100	1,700	2,000	1,727
	Nombre d'essieux porteurs	1	1	0	2	1	2	2
	Entr'axe extrême des roues	4,630	5,150	4,000	6,560	6,650	5,800	6,848
	Entr'axe entre chaque roue	2,310	2,650	2,000	2,100	2,350	2,100	2,438
		2,320	2,500	2,000	2,160	1,900		
					2,300	2,400		
Surface de grille		2^{m2},7927	3,400	2,7667	4,820	5,830	2,24	1,50
Surface de chauffe	Foyer	10^{m2},640	12,050	10,920	12,500	15,000	10,50	12,22
	Tubes (extérieure)	79,904	97,950	98,463	112,175	131,220	132,21	76,01
	Totale	90,544	110,000	109,383	124,675	146,220	142,71	83,23
Chaudière	Longueur de la boîte à feu extérieure	2,910	3,210	2,910	3,110	3,081	»	»
	Largeur (en bas)	1,286	1,290	1,290	2,374	2,784	»	»
	Diamètre du corps cylindrique	1,286	1,300	1,300	1,300	1,400	1,261	1,270
	Epaisseur de la tôle	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	»	»
	Pression maxima effective	8^{k5}	9,5	8	10	10	10	8,79
Valeur de la fonction $10^4 \times 0,65 \times \frac{p d^2 l}{D}$ = effort moyen de traction, en kilogrammes, à la circonférence des roues motrices		2690	4390	3670	4640	5730	5030	5680
Tubes	Longueur	3,100	3,510	3,510	3,850	4,050	4,945	3,341
	Nombre	208	225	226	242	236	185	142
	Diamètre extérieur	0,045	0,045	0,045	0,045	0,050	0,050	0,057
Section de passage des gaz dans les tubes		0,262	0,282	0,284	0,304	0,381	0,310	0,290
Cheminée	Diamètre en bas	0,465	0,490	0,465	0,67 × 1,16	1,24 × 0,715	»	»
	Diamètre en haut	0,533	0,555	0,535	0,525 × 0,625	0,568 × 0,538	»	»
Poids	Machine à vide T.	31,050	38,400	35,800	45,500	44,800	46,000	31,298
	Répartition en marche entre les divers essieux — Avant	9,100	»	12,800	11,500	12,200	12,600	13,540
	Répartition en marche entre les divers essieux — Milieu	13,400	»	14,400	26,350	27,600	14,600 / 13,950	11,195
	Répartition en marche entre les divers essieux — Arrière	13,000	»	12,300	11,350	13,300	13,950	10,509
	Poids total de la machine pleine	35,500	42,900	39,500	49,200	53,100	50,500	35,244

LOCOMOTIVES A MARCHANDISES

		ÉTAT BELGE				P.-L.-M.	Pennsylvania railroad
		Type 28	Type 29	Type 25	Type 51	Type 3000	Classe E
Pistons	Diamètre	0,450	0,450	0,500	0,380	0,540	0,457
	Course	0,600	0,600	0,600	0,460	0,650	0,559
Système de la coulisse		Steph.	Steph.	Walsch.	Walsch.	»	Steph.
Essieux	Nombre d'essieux accouplés	3	3	3	3	3	3
	Diamètre des roues motrices	1,450	1,300	1,300	1,200	1,500	1,270
	Nombre d'essieux porteurs	0	0	0	0	1	2
	Entr'axe extrême des roues	4,000	4,000	4,200	3,100	5,730	7,213
	Entr'axe entre chaque roue	2,000	2,000	2,000	1,640	3,530	3,784
		2,000	2,000	2,200	1,460		
Surface de grille		2,7667	2,7667	5,149	1,450	2,22	1,52
Surface de chauffe	Foyer	10,920	10,920	11,331	5,2944	10,44	10,33
	Tubes (extérieure)	98,463	98,463	109,355	56,1285	145,22	82,13
	Totale	109,383	109,383	120,686	61,4229	155,66	92,46
Chaudière	Longueur de la boîte à feu extérieure	2,910	2,910	2,921	1,599	»	»
	Largeur (en bas)	1,290	1,290	2,048	1,288	»	»
	Diamètre du corps cylindrique	1,300	1,300	1,400	1,140	1,400	1,301
	Epaisseur de la tôle	0,013	0,013	0,014	0,0115	»	»
	Pression maxima effective	8	9	10	8	9	8,79
Valeur de la fonction $10^4 \times 0,65 \times \frac{p d^2 l}{D}$ = effort moyen de traction, en kilogrammes, à la circonférence des roues motrices		4300	5380	7500	2700	7330	5260
Tubes	Longueur	3,510	3,510	3,510	2,750	5,025	3,729
	Nombre	226	226	251	165	200	123
	Diamètre extérieur	0,045	0,045	0,045	0,045	0,050	0,063
Section de passage des gaz dans les tubes		0,284	0,284	0,3155	0,207	0,33	0,31
Cheminée	Diamètre en bas	0,465	0,465	1,3 × 0,768	0,340	»	»
	Diamètre en haut	0,535	0,535	0,58 × 0,55	0,400	»	»
Poids	Machine à vide T.	32,100	31,800	39,800	24,300	45,000	34,382
	Répartition en marche entre les divers essieux — Avant	11,200	11,100	14,600	10,020	13,900	10,296
	Répartition en marche entre les divers essieux — Milieu	12,800	12,300	14,800	10,860	13,900 / 13,900	8,936 / 10,569
	Répartition en marche entre les divers essieux — Arrière	11,100	11,400	13,800	9,740	9,100	8,664
	Poids total de la machine pleine	35,100	34,800	43,200	30,620	50,800	38,465
	Total utile pour l'adhérence	35,100	34,800	43,200	30,620	41,700	28,169

Le nombre des types de locomotives définitivement adoptés par l'administration des chemins de fer de l'État belge est donc très restreint, ce qui est d'un grand avantage. Si le type 25 arrive à absorber le type 29, et si l'on fusionne les types 1, tout le service courant de marche sera effectué par six types de machines dont deux pour les marchandises; deux de ces types sont destinés aux lignes à fortes rampes.

Caractères généraux des machines belges. — Toutes ces machines, construites sous l'inspiration de M. l'administrateur Belpaire, ont de nombreux traits communs, dont les principaux sont les suivants :

Châssis extérieurs aux roues et aux cylindres, et munis d'un longeron central pour les machines à six roues couplées; ce longeron reçoit la plus grande partie des efforts alternatifs des bielles motrices;

Cylindres intérieurs, et inclinés de 1/7 à 1/9, sauf pour les machines à roues de 2 mètres, pour lesquelles ils sont horizontaux, grâce aux roues porteuses;

Distribution Stephenson ou plutôt Walschaert, intérieure, avec tiroirs Allan à double admission, et changement de marche par vis ou par levier, au gré du mécanicien, et souvent à vapeur dans les fortes machines. Les tiges de tiroirs sont guidées par des douilles en bronze, adaptés sur le fond des chapelles de distribution, et les tiroirs sont placés du côté extérieur des cylindres, mais non verticalement;

Échappement de vapeur variable à volonté;

Poulies et colliers d'excentriques en fer forgé, avec larges surfaces de contact, et interposition entre les moitiés des colliers de plaques de cuivre permettant de rappeler l'usure;

Roues à rayons en fer forgé, qu'on tend maintenant à munir de contrepoids allongés suivant la circonférence;

Bandages en acier Bessemer, plus étroits de $0^m,005$ pour les roues du milieu que pour celles d'avant et d'arrière, de façon à faciliter l'inscription de la machine dans les courbes;

Dans le même but, emploi d'essieux porteurs rayonnants dans leurs boîtes à graisses cylindriques, pour les locomotives express;

Foyers du type Belpaire, peu profonds et à grande surface, permettant la consommation de houilles menues demi-grasses. Dans les nouveaux types 6 et 25, le foyer déborde au-dessus des roues d'arrière;

Portes de foyer très larges et au niveau de la grille, facilitant ainsi le nettoyage du feu;

Cheminées des nouveaux types carrées et rétrécies vers le haut;

Chaudières en tôle de fer à trois viroles, réunies entre elles par des couvre-joints;

Emploi de plus en plus général de grands ressorts de $1^m,50$ de longueur, fabriqués sans flèche et prenant sous charge la forme renversée;

Balanciers longitudinaux appliqués toutes les fois qu'il est possible, et complétés fréquemment à l'avant et à l'arrière de la machine par des balanciers transversaux qui tendent à égaliser les charges sur le côté droit et sur le côté gauche;

Appareils Westinghouse sur les locomotives à voyageurs et contre-vapeur sur celles à marchandises.

Les figures 10, Pl. V, 2 et 3, Pl. VI, qui représentent l'ensemble des nouvelles machines types 6 et 25, permettent de se rendre compte de la plupart de ces dispositions.

Machines à voyageurs. — Si nous exceptons les machines express du type 6, dont il sera question plus loin, les machines à voyageurs de l'État belge sont notablement moins puissantes que celles du P.-L.-M. et que les

machines américaines. Leur charge moyenne n'est comme nous l'avons vu que de 120^{T}, au lieu de 136^{T} pour le P.-L.-M. et 128 pour le Pennsylvania-Railroad.

La chaudière est d'une longueur restreinte, à cause de la grande dimension du foyer, long de 2^{m},70 à 3 mètres : le cendrier recouvre le troisième essieu, et le foyer s'approche à moins de 1 mètre de l'essieu du milieu, qui est l'essieu moteur. Aussi les tubes ne dépassent-ils guère 3^{m},50, et laissent perdre une certaine partie de la chaleur des gaz ; mais on sait que la puissance de vaporisation de la chaudière n'en est pas sensiblement diminuée. Ces tubes sont nombreux et de diamètre relativement faible ; c'est peu favorable au tirage, mais, pour une même section offerte au passage des gaz, on augmente par là la surface de chauffe. Il serait difficile d'allonger les tubes, dans des machines qui n'ont que trois essieux ; dans le type 6, où ils atteignent 4 mètres, on a établi un quatrième essieu.

La surface de chauffe des tubes est donc moindre que dans les machines du P.-L.-M., mais elle est supérieure par mètre de longueur. Le rapport de la surface de chauffe directe à la surface indirecte est aussi beaucoup plus fort, tout en étant moindre que dans les machines américaines : c'est le résultat des dimensions du foyer, auquel on donne une grande surface horizontale, pour pouvoir y brûler en couche mince les houilles menues. La place restreinte réservée à la chaudière n'en est donc pas moins fort bien utilisée.

Le tirage est en général énergique, ce qui est nécessité par la résistance due à la nature de la grille et du combustible. Il est pourtant loin d'atteindre les proportions signalées en Amérique, mais il paraît plus vif que dans la plupart des machines françaises. Aussi la détente est-elle un peu moins forte, et l'admission oscille entre 0,25 et 0,35. C'est une faible perte dans l'utilisation de la vapeur, si on la compare avec l'avantage de pouvoir produire cette vapeur au moyen de houilles dont le prix de revient n'est que de 5 à 6 francs. Il y aurait intérêt à employer la vapeur sous une pression supérieure à celle de 8 atmosphères effectives, car pour arriver à une même pression finale dans le cylindre, la vapeur subirait une détente plus forte et serait mieux utilisée. En appliquant le calcul à ces deux cas, on trouve qu'en supposant une admission de 0,30 pour la vapeur à 8 kilogrammes, et par suite (en admettant que la courbe de détente dans le cylindre est une hyperbole équilatère) de 0,237 pour la vapeur à 10 kilogrammes, afin de ramener toujours la pression finale à être la même, et égale par exemple à 1^{atm},5, le kilogramme de vapeur produit 12 p. 100 de travail de plus, dans le second cas. La production de 1 kilogramme de vapeur à 11 atmosphères demande du reste à peine 0,50 p. 100 de chaleur de plus qu'à 9 atmosphères. Déjà, pour les machines d'express, le timbre de la chaudière a été élevé de 8 à 9^{k},500 ; leur démarrage est par là même accéléré.

La charge maxima sur les essieux moteurs est voisine de 14^{T}1/2 ; celle de l'essieu porteur est moindre, tout en étant plus forte pour les locomotives d'express que pour celles des trains ordinaires ; mais sa charge est toujours de plus d'un quart du poids total, comme le recommandent les conventions techniques de l'union des chemins de fer allemands. Le poids adhérent est toujours considérable, il comprend au moins les 5/7 du poids total, et ce poids tout entier pour les machines du type 2, qui entrent pour les 4/9 dans l'effectif total des locomotives à voyageurs.

Vitesse des trains de voyageurs. — Les vitesses qu'ont à développer ces machines sont d'une façon générale moins grandes qu'en France.

La vitesse maxima des trains de voyageurs (express

ou ordinaires) est limitée à 100 kilomètres à l'heure en pleine voie. Le mécanicien ne doit prendre, toutefois, cette vitesse, qu'en ligne droite et dans les courbes d'un rayon d'au moins 2.000 mètres. Il doit ralentir légèrement sa marche avant d'entrer dans les courbes de moins de 2.000 mètres de rayon. Afin d'éviter même tout abus dans l'emploi des grandes vitesses, les chefs-gardes doivent signaler dans leurs rapports toute vitesse dépassant 80 kilomètres, en indiquant si cette vitesse a été prise en vue de regagner le temps perdu.

La vitesse doit être réduite au maximum de 40 kilomètres à l'heure (1 minute 1/2 par borne kilométrique), au passage sur les ponts mobiles, sur les aiguilles, sur les plates-formes, sur les traversées de lignes, et aux endroits difficiles et dangereux, à l'approche desquels sont placés des poteaux portant le mot « ralentissement ».

On voit donc qu'on se préoccupe peu en Belgique d'atteindre les grandes vitesses d'Angleterre et de France; ce qui s'explique par la brièveté des trajets. Il n'y a pas grand intérêt à gagner 5 ou 10 minutes sur un parcours de moins d'une heure.

Voici quelques exemples des vitesses commerciales atteintes :

			Vitesse à l'heure.
Ostende-Liége (Londres-Cologne)	215 kilom.	$3^h,34$	$60^{km},0$
Anvers-Bruxelles (express du mercredi) . .	44 —	$0^h,50$	$52^{km},8$
Bruxelles-Mons (Bruxelles-Paris).	61 —	$1^h,03$	$58^{km},0$
Bruxelles-Arlon (rampes de 16 millim.) . . .	192 —	$3^h,17$	$58^{km},5$
Charleroy-Namur (Paris-Cologne)	37 —	$0^h,45$	$49^{km},3$

Machines à marchandises. — Si l'on met à part la ligne du Luxembourg, desservie par des machines du type 25, le transport des marchandises est effectué par les locomotives des types 28 et 29, et par quelques machines de types anciens et sans intérêt, destinées à disparaître.

Les types 28 et 29 sont identiques entre eux et au type 2, sauf pour le diamètre des roues motrices, qui est de $1^m,30$ dans le type 29, de $1^m,45$ dans le type 28 et de $1^m,70$ dans le type 2. Le premier est plus spécialement destiné aux convois de marchandises, le second aux trains mixtes, le troisième aux trains de voyageurs. C'est là un exemple frappant de l'échange entre l'effort et la vitesse : ces machines qui ont le même appareil évaporatoire, peuvent donner dans l'unité de temps, le même nombre de coups de piston, et leur seule différence consiste dans le mode d'utilisation du travail constant fourni par la cylindrée de vapeur. Leur puissance de traction réduite à la circonférence des roues motrices croît en raison inverse du diamètre de ces roues; cependant la plupart des machines du type 29 tirent de l'élévation de leur timbre à 9 kilogrammes, un léger surcroît de force.

Ces machines atteindraient sans doute leur maximum de perfection, au point de vue de l'utilisation de la chaleur, si la longueur de leurs tubes était augmentée de $0^m,50$ environ; mais elles suffisent, grâce à leur adhérence totale, à la remorque des trains de marchandises, qui, nous l'avons vu, sont relativement légers. Un nombre assez élevé de convois est remorqué en double traction; en 1886, sur 17.523.595 kilomètres parcourus sur le réseau de l'État par les trains de marchandises et mixtes, 2.450.638, soit 14 p. 100, l'ont été de cette façon.

Ces locomotives sont moins puissantes, tant par leur chaudière que par les dimensions de leurs cylindres, que le type 3000 du P.-L.-M. Leur poids adhérent est aussi moindre de près de 7.000 kilogrammes. Le type 29 est analogue aux machines pennsylvaniennes comparées, qui ont des tubes plus longs, mais beaucoup moins nombreux, et des cylindres de moindre capacité : leur puissance de traction provient surtout du diamètre réduit de leurs roues motrices et de leurs faibles détentes.

Vitesses des trains de marchandises. — La vitesse

maxima des trains de marchandises est limitée à 45 kilomètres à l'heure; elle est en moyenne de 30 kilomètres en palier et alignement droit. S'il arrive qu'une machine doit refouler un train, cette vitesse est réduite à 20 kilomètres.

Les machines qui circulent à vide, ne peuvent en aucun cas marcher à plus de 40 kilomètres à l'heure; elles ne peuvent marcher tender en avant que s'il y a nécessité absolue, et, en ce cas, la vitesse ne doit pas dépasser 20 kilomètres à l'heure. Ces machines sont toujours munies d'un ordre de marche délivré par le chef de station.

Charges limites des trains de marchandises. — Pour tirer le meilleur parti des machines, il convient de rapprocher autant que possible la charge des trains de la charge maximum que comportent leurs locomotives; ce maximum ne doit au reste jamais être dépassé. La charge limite de chaque catégorie de machines sur un profil donné est donc une donnée très importante de la composition des trains, surtout des trains de marchandises.

La plupart des compagnies françaises ont adopté, en vue de la détermination des charges normales, la répartition de leurs lignes entre un certain nombre de profils-types : un tableau fait connaître, pour chacun d'eux, la composition des trains suivant la nature de la machine motrice. Cette répartition n'existe pas à l'État belge; une carte indicatrice à tracés rectilignes fait simplement connaître en unités (d'environ 5 tonnes 1/2) la charge limite que peut remorquer dans chaque sens sur la section adjacente, une locomotive à 6 roues couplées de $1^m,45$. L'exemple (Pl. IV, *fig.* 2) est détaché de cette carte. Les chiffres inscrits entre parenthèses sur la carte indiquent le nombre d'unités de charge dont les trains peuvent être composés à la descente, quelle que soit la nature de la machine motrice.

Un tableau de conversion annexé à la carte permet de passer des locomotives à 6 roues couplées de $1^m,45$ à toute autre espèce de machine. Voici un extrait de ce tableau, permettant de comparer la puissance des diverses machines :

Type 25 $1^m,30$	Type 29 $1^m,30$	Type 28 $1^m,45$	Type 2 $1^m,70$	Type 1 2^m	Type 25 $1^m,30$	Type 29 $1^m,30$	Type 28 $1^m,45$	Type 2 $1^m,70$	Type 1 2^m
Unités	Unités	Unités	Unités	Unités	Unités	Unités	Unités	Unités	Unités
33	27	24	20	15	89	80	70	59	45
42	35	30	26	20	101	92	80	68	52
53	46	40	34	26	115	104	90	77	58
64	57	50	42	32	134	120	105	89	68
76	69	60	51	39	147	138	120	102	78

On voit d'après cela, que si on désigne par 1 la puissance de traction du type 1, on aura, pour celle du type 2, environ 1,30; du type 28, 1,55; du type 29, 1,80; du type 25, 1,90. Ces rapports sont à peu près constants quelle que soit la rampe, sauf pour le type 25, destiné aux fortes rampes, et pour lequel il s'élève sur ces dernières jusqu'à 2,20. On observe aussi pour tous les autres, qu'ils augmentent plus ou moins avec la rampe, mais d'une façon bien moins sensible.

La cause de ce rendement surproportionnel des machines employées sur les fortes rampes, est dans la nature même de la fonction qui relie les charges remorquées aux inclinaisons. Appelons :

T l'effort disponible sur les roues motrices, et supposé, bien entendu, compatible avec la condition d'adhérence;

π le poids de la locomotive et de son tender;

P_i la charge brute qu'elle est susceptible de remorquer sur la rampe i; et fixons à 5 kilogrammes par tonne la résistance du matériel roulant; nous aurons entre ces éléments, la relation suivante, hyperbolique par rapport aux variables i et P_i :

$$T = (5 + i)(\pi + P_i).$$

On aura de même, sur rampe égale, pour une autre machine :

$$T' = (5 + i)(\pi' + P'_i).$$

On en déduit pour le rapport des poids remorqués :

$$\frac{P_i}{P'_i} = \frac{T - \pi(5 + i)}{T' - \pi'(5 + i)}.$$

Entre les limites $i = -5$ et $i = \frac{T'}{\pi'} - 5$, pour laquelle P'_i, supposé moindre que P_i, est nul, limites qui sont donc celles que nous avons à considérer, le rapport des charges va constamment en croissant, à la condition que l'on ait $\frac{T}{\pi} > \frac{T'}{\pi'}$. Cette condition est aussi celle qui est nécessaire, pour que ce rapport reste supérieur à 1 dans l'intervalle en question, si on suppose qu'il l'est à l'origine.

Or si l'on calcule la valeur de $\frac{T}{\pi}$ pour chacun des cinq types de machines belges précédemment mentionnés, on trouve que ces valeurs vont en croissant dans le même ordre que l'effort moteur de ces machines, c'est-à-dire du type 1 au type 25. En évaluant les résistance des mécanismes à quinze fois le poids en tonnes des locomotives, suivant la formule adoptée au chemin de fer de Lyon, et en tenant compte dans π du poids des tenders, qui varie en ordre de marche de $21^{T},6$ à $31^{T},5$, on trouve pour ces valeurs les nombres respectifs : 41 — 49 — 65 — 73 — 82. Chaque catégorie est donc nettement séparée des autres au point de vue qui nous occupe, et si toutes les machines marchaient sur une rampe donnée avec la même vitesse, on serait fondé à dire que pour deux machines de types distincts, le rapport $\frac{P_i}{P'_i}$ croîtrait assez rapidement avec la rampe. En comparant les types extrêmes 1 et 25, et en prenant pour unité la valeur de ce rapport sur la rampe o, sa valeur sur rampe de 16 millimètres est représentée

par 1,40; il y a donc une augmentation de 40 p. 100. Le tableau des charges n'indique qu'une augmentation de 9 p. 100. Si l'on compare au contraire des types peu différents par le diamètre de leurs roues motrices, comme le type 25 et le type 28, on trouve que l'augmentation théorique du rapport des charges sur rampe de zéro et sur rampe de 16, concorde, à moins de 1 p. 100 près de la valeur du rapport, avec l'augmentation déduite du tableau des charges limites.

Tous les résultats précédents ont en effet été obtenus avec un effort de traction supposé constant quelle que soit la rampe; en réalité, cet effort, calculé dans le tableau ci-dessus des dimensions des machines, d'après la formule $\frac{0{,}65\, p\, d^2\, l}{D}$, augmente avec la rampe par suite d'une admission plus forte, c'est-à-dire d'une variation du coefficient 0,65. Cet effet est surtout sensible pour les machines à roues couplées de 2 mètres, qui marchent normalement avec une faible admission; en sorte qu'en pratique, pour ces machines, la valeur de T′ dans le dénominateur du rapport $\frac{P_i}{P'_i}$ sera notablement supérieure sur rampe de 16 à ce qu'elle est en palier; l'augmentation du rapport peut donc parfaitement se réduire à 9 p. 100, au lieu d'être de 40 p. 100 comme on le trouve en laissant à T′ une valeur constante.

La diminution relativement moins rapide des charges que peuvent traîner sur rampes les fortes machines, montre l'intérêt qu'on a à employer exclusivement celles-ci sur les sections accidentées. Si par exemple dix machines puissantes font en palier le même service que vingt autres, sur une rampe qui porterait à quarante le nombre nécessaire de ces dernières, le nombre des premières ne sera pas exactement doublé; il ne sera que de dix-huit ou de dix-neuf.

Conditions d'établissement de quelques machines.

	LOCOMOTIVES EXPRESS pour lignes			LOCOMOTIVES à marchandises pour fortes rampes
	de niveau	à rampes moyennes	à fortes rampes	
	Hors type	Type 1 Express	Type 6	Type 25
Charge à remorquer P	150	150	110	230
Poids de la locomotive et du tender en ordre moyen de marche π	80	70	80	70
Rampe maxima admise $\frac{i}{1000}$	5	11	16	16
Longueur minima de cette rampe, en kilomètres	5	continue	continue	continue
Vitesse imposée sur cette rampe $V = 60 n \pi D$	90	70	60	30
Effort tangentiel de traction exigé par ce travail	3.800	4.400	5.000	6.330
Adhérence	3.800	4.500	5.840	6.170
Nombre de tours admis par minute sur rampe n	225	205	200	122
Diamètre des roues motrices déduit de ce nombre D	2,10	1,80	1,70	1,30
Pression absolue dans la chaudière en atmosphères p	10	9,5	10	10
Admission maxima en pour 100 de la course $\frac{l}{q}$	50 %	50 %	50 %	65 %
Capacité de chaque cylindre $\frac{\pi d^2 l}{4}$ adoptée d'après cela	0,117	0,101	0,117	0,117
Vitesse du piston admise par seconde $60 v = 2 n l$	4,5	4,1	4	2,4
Course du piston déduite de cette vitesse	0,60	0,61	0,60	0,60
Volume engendré par les pistons pendant l'admission $\frac{\pi d^2 l}{q}$	0,230	0,202	0,230	0,300
Consommation de vapeur par révolution, en kilogrammes	1,15	1,05	1,15	1,50
Consommation de vapeur par heure, en litres d'eau	15.500	12.915	13.093	11.340
Quantité de charbon demi-gras, vaporisant 8 kilogrammes d'eau, que l'on peut brûler en moyenne par mètre carré de grille et par heure (d'après les essais du type 25), à la vitesse indiquée V	325	»	275	270
Surface de grille déduite de cette quantité	4,80	»	5,900	4,200
Surface de grille réelle	4,820	3,400	5,830	5,149
Vaporisation moyenne des machines à grand foyer par mètre carré de surface de chauffe et par heure (d'après les essais du type 25)	124	»	94	94
Suface de chauffe déduite de cette vaporisation	125	»	138	120
Surface de chauffe réelle S	125	110	146	121
Valeur du rapport $\frac{d^2 l}{S}$	0,0012	0,0011	0,0010	0,0012

V. NATURE, CONSOMMATION ET ESSAI DES COMBUSTIBLES.

Classification des charbons. — Les locomotives de l'État belge sont alimentées de charbons menus demi-gras, contenant 12 à 14 p. 100 de matières volatiles. On emploie aussi des charbons maigres mélangés avec une certaine quantité de demi-gras, pour empêcher leur entraînement par le tirage dans la boîte à fumée.

On classe en cinq catégories, de la façon suivante, les charbons maigres et demi-gras :

CATÉGORIES	EAU vaporisée par kilogram. de charbon	EAU VAPORISÉE par la quantité de charbon brûlée par heure et par mètre carré de grille	DÉPRESSION dans la boîte à fumée en centimètres d'eau.	PRESSION dans la chaudière en atmosph.	QUALITÉS	ÉCART toléré sur l'eau vaporisée par kilogram.
I	4kg,5	1.100kg	6 au minimum	6	Maigres	10 p. 100
II	5 ,5	1.250	6 »	6	Maigres	8 —
III	6 ,3	1.500	12 (8,5 au minimum)	8	Demi-gras	6 —
IV	7 ,0	1.600	12 (8,5 au minimum)	8	Demi-gras	5 —
V	7 ,5	1.700	12	8	Demi-gras	4 —

Les charbons gras que consomme l'administration ne sont pas essayés au point de vue du pouvoir d'évaporation. On détermine au laboratoire leur pouvoir d'agglutination, en chauffant au rouge vif dans un creuset de porcelaine, jusqu'à complète disparition des matières volatiles et dans une atmosphère réductrice, un mélange intime de charbon pulvérisé et de sable. On détermine la quantité de sable que l'on peut ajouter au charbon pour que le mélange donne une masse résistante et qui, sous la pression des doigts, ne se brise qu'en morceaux sans se débiter en poussière. D'après cet essai, on classe les charbons gras en deux types, ceux qui ne peuvent supporter que 50 p. 100 de sable et ceux qui en supportent

60 p. 100. Les uns et les autres doivent tenir au moins 18 p. 100 de matières volatiles et au plus 15 p. 100 de cendres.

Essais des charbons. — Tous les charbons sont essayés au laboratoire afin de déterminer la quantité d'eau qu'ils renferment, leur teneur en cendres, leur teneur en carbone solide, et enfin la quantité de matières volatiles qu'ils contiennent.

Les charbons maigres et demi-gras sont en outre essayés dans deux chaudières de locomotives spécialement disposées, afin de pouvoir déterminer leur pouvoir de vaporisation, la quantité de charbon consommée par heure et par mètre carré de grille, le poids des résidus qu'ils laissent (cendres de la boîte à fumée, du cendrier, mâchefer), et de connaître les diverses particularités auxquelles donne lieu leur combustion.

Dans la chaudière, la vapeur, au lieu de servir de force motrice, sert en partie à produire un tirage artificiel dans la cheminée ; l'excès passe à l'air libre. L'intensité de ce tirage, réglé à volonté, est mesurée par un manomètre à eau directement en communication avec la boîte à fumée. Un manomètre métallique donne la pression de la vapeur en atmosphères. Deux injecteurs Friedmann alimentent chaque chaudière au moyen de l'eau contenue dans un réservoir exactement cubé par centimètre de hauteur ; un flotteur muni d'une tige graduée permet de constater la hauteur de l'eau. La grille est du type Belpaire.

Le feu est allumé avec une quantité de charbon qui n'est pas comprise dans l'échantillon servant à l'essai. Lorsque la chaudière est sous pression, on commence l'expérience en ayant soin de noter l'heure, le niveau d'eau du réservoir et de la chaudière. Le feu est conduit aussi régulièrement que possible, et de façon que le

tirage soit indiqué par une dépression du manomètre qui diffère suivant la nature du combustible.

La dernière pelletée du charbon d'essai étant jetée sur le feu, on clôture l'expérience lorsque la pression est descendue d'une 1/2 atmosphère. On rétablit alors le niveau de l'eau dans la chaudière à la hauteur initiale. La différence du niveau de l'eau dans le réservoir constatée avant et après l'essai, le poids du combustible employé, la surface de grille et la durée de l'essai permettent de calculer tous les éléments recherchés. Il ne reste qu'à peser les cendres de la boîte à fumée et du cendrier, et le mâchefer, pour être renseigné sur le pouvoir de vaporisation du charbon, sa propreté et la façon dont il supporte le tirage. L'essai se pratique en général sur 600 kilogrammes. Voici les résultats que donnent les principaux charbons employés :

PROVENANCE	CATÉGORIES	ESSAI AVEC DÉPRESSION DE 9 CENTIMÈTRES D'EAU						ESSAI AVEC DÉPRESSION DE 12 CENTIMÈTRES D'EAU						ANALYSE				
		Pression	Eau vaporisée par kilogramme	Charbon brûlé par heure et m. carré	RÉSIDUS			Pression	Eau vaporisée par kilogramme	Charbon brûlé par heure et m. carré	RÉSIDUS			Eau	Cendres	C	H
					Boîte à fumée	Cendres	Total				Boîte à fumée	Cendres	Total				
Cronfestu demi-gras.	V	8,07	8,58	216	15	10	115	8,07	7,95	246	20	10	115	0,75	10,20	73,15	15,90
Cronfestu demi-gras.	V	8,07	7,50	228	15	20	135	8,07	7,25	286	30	20	160	1,65	18,05	65,70	14,60
Fralisolles un peu maigre	IV	8,07	6,33	256	15	15	130	8,07	5,91	315	30	10	110	1,05	13,25	72,00	13,90
Fralisolles demi-gras.	IV	8,06	7,91	208	35	15	140	8,07	7,20	300	40	10	140	1,25	21,10	66,30	11,35
Grand Conty un peu maigre. . . .	V	8,06	6,75	273	12	11	162	8,06	5,79	352	16	22	218	0,70	23,20	62,05	14,05
Grand Conty demi-gras.	V	8,08	9,00	224	20	15	75	8,07	8,12	251	25	20	120	1,55	20,65	65,55	12,25
Gosselies-Courcelly.	V	8,07	7,83	232	»	»	»	8,07	7,26	293	»	»	»	0,80	17,30	69,40	12,50
Monceau	»	8,00	6,36	»	13	»	77	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Le dernier de ces essais a été pratiqué sur une locomotive en marche. Il est accompagné des observations suivantes : « Trajet, 48 kilomètres ; — charge, 35 unités. — Mâchefer facile à enlever, mais très compact. Conviendrait pour un parcours de 60 kilomètres ; au delà, pour empêcher le mâchefer, le mélanger avec du charbon plus gras. — Le mâchefer avait à l'arrivée $0^{m},04$ d'épaisseur. »

De semblables essais se font fréquemment sur les locomotives.

Le Gosselies-Courcelles essayé à la chaudière fixe et au laboratoire, a donné en route les résultats suivants :

	TRAJET	STATIONNEMENT	TOTAL	CHARBON brûlé	EAU vaporisée	EAU vaporisée par kilogram.	CHARGE	CENDRÉES dans la boite à fumée	MACHEFER
	h. m.	h. m.	h. m.			kilogr	unités		
Bruxelles à Anvers . .	1,28	»	1,28	500	3.479	6,96	30	13	80
Anvers à Bruxelles. .	1,32	1,04	2,36	500	3.550	7,10	30	14	80

Les résultats sont inférieurs à ceux de la chaudière fixe, mais les déterminations sont beaucoup moins certaines. « Le charbon se tient bien sur le foyer et maintient bien la pression. Il ne passe pas dans les tubes, ne s'amasse pas dans la boîte à fumée. Le mâchefer s'enlève facilement. Serait à mélanger au Cronfestu ou à 20 p. 100 d'autre charbon plus gras. Le feu ne se tirait pas contre la tôle tubulaire. »

Alimentation des locomotives. — Les foyers des locomotives belges consomment en moyenne par heure et par mètre carré de grille 300 kilogrammes de charbon de qualité moyenne, vaporisant 7 kilogrammes d'eau. Les locomotives type 1 pour banlieue sont alimentées à Bruxelles-Nord avec 50 p. 100 de Monceau et 50 p. 100

de Trieu-Kaysen plus gras. Les locomotives type 1 pour express avec 65 p. 100 de Monceau et 35 p. 100 de Cronfestu. Le type 2 avec un quart de Cronfestu et trois quarts de houille plus maigre, ou avec cette dernière seulement. Le charbon demi-gras coûte environ 1 franc de plus que le maigre. Celui-ci exige une plus forte admission pour augmenter le tirage ; dans le même but, il faut étrangler l'échappement. Il est alors à craindre parfois que le feu ne s'emporte aux tubes et ne passe dans la boîte à fumée : ce point est spécialement signalé dans les essais en marche.

Les machines à marchandises sont alimentées avec des mélanges plus gras que les machines à voyageurs, par exemple 70 p. 100 de Cronfestu et 30 p. 100 de Fralisolles. Le charbon de Bascoup peut y brûler seul.

Consommation des combustibles. — Le tableau Pl. IV, *fig.* 3, indique les consommations et les prix des charbons menus et gailleteux pour la période 1878-1886. Environ 92 p. 100 des quantités indiquées ont été consommées par le matériel de traction.

En 1885, 1886 et 1887, le matériel de traction a consommé les quantités suivantes des diverses sortes de charbons :

	QUANTITÉS			PRIX MOYENS			VALEURS		
	1885	1886	1887	1885	1886	1887	1885	1886	1887
	tonnes	tonnes	tonnes	fr.	fr.	fr.	francs	francs	francs
Charbon gailleteux	19.939	19.169	18.599	7,44	6,83	6,83	148.365	130.851	127.[illegible]
Charbons menus gras	45.116	24.900	25.011	7,41	6,65	5,85	334.310	165.690	146.[illegible]
Charbons menus demi-gras	417.396	469.456	519.890	5,48	4,81	4,62	2.287.330	2.259.068	2.401.[illegible]
Charbons menus maigres	110.172	66.369	64.710	5,06	3,34	3,31	557.470	221.672	214.[illegible]
Totaux	592.623	579.895	628.206	5,61	4,78	4,60	3.327.456	2.777.281	2.889.[illegible]

La consommation des menus demi-gras va donc tou-

jours en croissant, l'emploi des autres qualités ne faisant que de se restreindre ; et on est bien loin aujourd'hui du prix moyen de 18f,58, atteint en 1873 pour les charbons qu'on brûlait dans les anciens foyers profonds.

Ces chiffres représentent la valeur d'achat. Elle doit être majorée d'un droit fixe de 0f,25 par tonne, et de 0f,02 par tonne kilométrique pour frais de transport. La distance moyenne de transport étant de 63km,72, le prix d'achat de la tonne doit donc être augmenté de 1f,52, et porté à 6f,29. C'est environ le quart du prix de revient de la tonne de charbon pour le réseau P.-L.-M ; en Amérique, au contraire, le Pennsylvania-Railroad l'a payée, en 1885, 6f,48, transports compris.

Voici les consommations rapportées aux unités de mouvement et de trafic, et comparées avec celles de quelques autres réseaux ; il est toujours tenu compte des prix de transport.

N. B. Le nombre des unités de chaque espèce est inscrit en gros chiffres.	ÉTAT BELGE (1886)		P.-L.-M. (1885)		PENNSYLVANIA RAILROAD (1885)		ENSEMBLE DES RÉSEAUX FRANÇAIS (1885)	
	Quantités	Valeur	Quantités	Valeur	Quantités	Valeur	Quantités	Valeur
Locomotive-kilomètre	**45.360.704**	—	»	—	»	—	»	—
	12k,73	0f,08031	10k,68	0f,27768	28k,90	0f,18727	»	»
Locomotive-train-kilomètre (Locomotive remorquant un train.)	**35.783.000**	—	»	—	»	—	»	—
	16k,12	0f,1017	»	»	»	»	»	»
Train-kilomètre	**34.545.878**	—	**51.949.000**	—	»	—	**197** millions	—
	17k,33	0f,1094	11k,80	0f,307	»	»	»	0f,237
Véhicule-kilomètre	**541.763.262**	—	»	—	»	—	»	—
	1k,070	0f,006733	»	»	»	»	»	»
Tonne-kilométrique brute	**6.695** millions	—	**12.707** millions	—	»	—	»	—
	0k,0872 (1)	0f,0005494	0k,0486	0f,001263	0k,0660	0f,0004276	«	»
Unité de trafic	**2.652** millions	—	**5.606** millions	—	»	—	**18.203** millions	—
	0k,2193	0f,00138	0k,1092	0f,00284	»	»	»	0f,00256
Unité-kilomètre virtuelle	0k,2545	0f,00161	»	»	»	»	»	»

(1) Le combustible consommé dans les manœuvres, par des machines de gare, n'a pas été déduit pour le calcul de ce nombre, tandis qu'il l'a été, sans doute, pour celui des deux nombres comparés, qui représentent simplement la moyenne des trains de voyageurs et de marchandises.

La comptabilité des chemins de fer de l'État belge ne sépare malheureusement pas les consommations du service des voyageurs de celles du service des marchandises. On peut cependant l'effectuer approximativement, de la façon suivante, en rapportant les résultats au kilomètre de machine.

Les relevés de la comptabilité fournissent les données ci-dessous :

	VOYAGEURS	MARCHANDISES
Nombre de kilomètres de machines en 1886	19.116.344	26.244.357
Dépenses totales de traction sans les frais généraux	2.768.000 fr.	6.762.000 fr.
Dépenses par kilomètre de machine	0f,150	0f,257
Dépenses totales de combustible, éclairage et graissage, eau, nettoyage, etc.	4.180.000	
Dépenses totale des salaires des mécaniciens et chauffeurs	5.350.000	

Si l'on prend pour quatre inconnues les dépenses de consommations et celles de salaires pour chacun des deux services séparément, les quatre équations qu'on peut écrire d'après ces données se réduisent à trois distinctes, puisque les dépenses totales de traction sont précisément égales à la somme 4.300.000 + 5.230.000 francs. Pour faire la répartition, je supposerai qu'il en est sur le réseau belge comme sur les réseaux français, où l'on observe très généralement ce fait, que les dépenses de combustibles et autres consommations des locomotives, rapportées au kilomètre de machine, sont proportionnelles à celles de salaires, si l'on compare le service des voyageurs à celui des marchandises. On a eu, par exemple, pour le P.-L.-M., en 1885, par kilomètre de machine :

	VOYAGEURS	MARCHANDISES
Salaires des mécaniciens et des chauffeurs	0f,123	0f,180
Combustible, etc., des locomotives	0f,252	0f,362
Proportion des salaires au combustible	0,48	0,49

D'après cette hypothèse, on aura pour l'État belge, par kilomètre de machine, les résultats suivants, où les dépenses de combustible ont été isolées en les supposant elles-mêmes proportionnelles aux autres dépenses de consommation des locomotives (fait qui se vérifie comme le précédent) :

	VOYAGEURS	MARCHANDISES
Salaires des mécaniciens et chauffeurs	0f,0818	0f,140
Consommation de combustible, graisses, eau, etc.	0f,0682	0f,117
Consommat. de combustible seul (au prix d'achat).	0f,0455	0f,0781
Quantité de combustible consommée par kilomètre de machine.	9k,54	16k,37
Quantité de combustible consommée en 1885 sur le P.-L.-M. par kilomètre de machine.	9k,096	12k,953

Il ne faut pas oublier que les houilles du chemin de fer de Lyon contiennent en moyenne 10 p. 100 de cendres, et celles de l'État belge 18 p. 100. Quoiqu'il en soit, la comparaison de tous les chiffres indiquant dans les précédents tableaux la valeur des combustibles consommés, montre l'immense avantage réalisé par l'État belge au moyen des foyers Belpaire, qui lui permettent de passer des houilles obtenues à bas prix, grâce à sa situation voisine des bassins producteurs. La comparaison des quantités consommées lui est moins favorable ; l'examen des divers tableaux ci-dessus permet d'en attribuer la principale cause à la faible charge moyenne des trains de marchandises. On a en effet, d'après ce qui précède :

		VOYAGEURS	MARCHANDISES
Consommation de charbon par tonne-kilométrique brute. . .	État belge	0k,084	0k,0872
	P.-L.-M.	0k,067	0k,0386

VI. NATURE, CONSOMMATION ET ESSAI DES MATIÈRES DE GRAISSAGE.

Les matières de graissage consistent presque exclusivement en un mélange d'huiles végétales et d'huile minérale russe. Le suif, qui n'est pas sujet aux déperditions ni aux projections hors des graisseurs, vient d'être essayé ; mais les mécaniciens prétendent que le graissage solide augmente très notablement la résistance des machines.

Il paraît intéressant de donner ici quelques renseignements sur les procédés employés pour déterminer la qualité de ces matières.

Huiles végétales. — La méthode de Lefebvre pour la recherche des falsifications des huiles végétales, qui est encore presque généralement employée, n'est plus suffisante pour déjouer les fraudes qui se pratiquent aujourd'hui dans le commerce.

Il est vrai que les huiles se classent assez bien suivant leurs prix, d'après le poids spécifique ; les huiles les plus légères se paient ordinairement le plus cher. Mais on peut facilement compenser la différence de densité par l'addition d'huiles minérales, épurées spécialement pour la falsification des huiles végétales.

En effet, il faut ajouter une quantité relativement faible d'un liquide pesant 0,850 à 0,880 pour racheter un écart de densité variant de 0,915 à 0,921 dans ses limites extrêmes. Par conséquent, si une huile végétale a sa densité normale, il faut en outre qu'elle soit exempte d'huile minérale pour qu'on puisse être assuré de sa pureté. Voici le procédé employé pour cette détermination ; il est dû à M. Roussel, chef des essais du chemin de fer de l'État belge, à Malines :

On chauffe une plaque de porcelaine blanche par la vapeur d'un bain-marie vers 90 degrés. Cette température doit être atteinte, et ne peut être dépassée de plus de 3 ou 4 degrés. On dépose alors sur la plaque une dizaine de gouttes de l'huile à essayer, et on les étend de façon à former une tache de 3 à 4 centimètres de diamètre ; on y laisse tomber une goutte d'acide sulfurique à 66 degrés. La goutte de SO^3 forme avec les huiles végétales pures une tache très foncée, circulaire, nettement circonscrite. Lorsque l'huile renferme de l'huile minérale, cette tache s'étend vivement pour former une grande auréole dont les stries couvrent toute la tache d'huile. Cette réaction ne se produit qu'après une dizaine de secondes ; elle est extrêmement caractéristique même lorsque l'huile végétale ne renferme que 4 à 5 p. 100 d'huile minérale ou de résine.

Il arrive que pour rétablir la densité des huiles végétales, après les avoir falsifiées, on les additionne de 2 à 3 p. 100 d'huile minérale très légère, telle que l'huile lampante de densité 0,800. Aussi est-il indispensable de prendre le point d'inflammabilité de l'huile soumise à l'examen, car il peut arriver que la réaction avec l'acide soit douteuse, par suite de la faible quantité d'huile minérale ajoutée. Il résulte de plusieurs centaines d'expériences qu'il n'existe pas d'huile de colza, de navette, d'arachides ou d'olives émettant des vapeurs inflammables à une température inférieure à 200 degrés. La détermination exacte du point d'inflammabilité est facile au moyen de l'appareil Abel, aujourd'hui bien connu. On trouve que les huiles végétales mélangées des moindres proportions d'huile minérale de 0,790 à 0,810 de densité s'enflamment à moins de 200 degrés.

Huiles minérales pour graissage. — Leur densité est prise à l'oléomètre ou à la balance de précision. La présence

de la paraffine est décelée par la facilité que possèdent les huiles paraffinées de se congeler à 0 degré et même au-dessus ; l'alcool absolu intimement mélangé avec ces huiles à la température du bain-marie dissout une partie de la paraffine et se sépare de l'huile par différence de densité.

La présence des huiles végétales est déterminée par la saponification avec la soude caustique. Une huile minérale pure lessivée par une égale partie de soude caustique à 30° Baumé, et chauffée au bain-marie, se sépare nettement du réactif qui reste clair sans avoir changé de volume.

Pour la détermination de la température à laquelle l'huile dégage des vapeurs inflammables, on se sert du pétrolomètre Abel à couvercle mobile, indiqué plus haut.

La viscosité relative d'une huile est mesurée par le temps exigé pour le passage de 100 centimètres cubes de cette huile à travers un tube à mince ouverture. A cet effet, on se sert d'un tube de 3 centimètres de diamètre terminé inférieurement par un ajutage ne laissant passer qu'un mince filet d'huile. Le tube est gradué de 0 à 100 centimètres cubes. Lorsqu'il est rempli, on laisse écouler l'huile, et au moment où le ménisque supérieur passe devant le trait 100, on met en marche un compte-secondes que l'on arrête à l'instant précis où le ménisque passe devant le zéro. Le nombre de secondes indiqué mesure la viscosité. Il est nécessaire de déterminer cette viscosité à diverses températures, car, fréquemment, des huiles présentent une consistance très épaisse à froid, parce qu'elles renferment en dissolution ou en suspension de la paraffine ou des graisses animales. Cette viscosité disparaît à des températures supérieures aux points de fusion de la paraffine ou des graisses.

Pour produire les différentes températures dans le tube gradué rempli d'huile, on l'entoure d'un tube en

verre d'un diamètre de 8 à 9 centimètres fermé en haut et en bas par un large bouchon en caoutchouc qui laisse passer le tube gradué et un thermomètre. Le grand tube extérieur est rempli d'eau dans laquelle on fait barboter un courant de vapeur d'eau jusqu'à ce que le thermomètre indique la température à laquelle on désire faire l'expérience. Il faut opérer toujours dans les mêmes conditions.

Les matières goudronneuses que renferment plusieurs huiles minérales sont dosées de la manière suivante :

Dans un tube gradué de 8 à 10 millimètres de diamètre et fermé à l'une de ses extrémités, 10 centimètres cubes d'huile sont additionnés d'un égal volume de naphte et vivement agités avec 3 centimètres cubes d'acide sulfurique à 66 degrés. Le goudron mélangé d'acide se dépose au bout de quelques instants, de façon que le volume du dépôt, diminué de 3 centimètres cubes, donne exactement en volume la teneur en matières goudronneuses de l'huile essayée.

La faculté que possède une huile de monter plus ou moins rapidement dans les mèches a également son importance au point de vue du graissage du matériel de transport. On la détermine ainsi : une mèche pour lampe modérateur de $0^m,026$ de largeur et d'une longueur de $0^m,065$ est soutenue par une douille intérieure cylindrique de $0^m,017$ de diamètre ; l'extrémité de la mèche est plongée exactement de 1 centimètre dans l'huile au début de l'expérience, le temps nécessaire à l'huile pour monter au haut de la mèche, en d'autres termes, sa vitesse ascensionnelle par capillarité, est constatée par l'apparition d'une tache grasse sur un papier joseph supporté par le haut de la mèche.

Consommation des matières de graissage. — L'importance et le coût des fournitures de matières de graissage

effectuées en 1886 pour l'approvisionnement général du réseau sont indiquées ci-après :

	QUANTITÉS	PRIX MOYEN par kilogr.	TOTAL
Huile de graissage végétale	511.470 kg.	$0^f,4860$	$248.574^f,42$
Huile minérale russe	634.760	0 ,2130	135.203 ,88
Suif	15.040	0 ,5495	8.264 ,48

Les locomotives ont consommé dans la même année un mélange des deux sortes d'huiles, où l'huile végétale est entrée dans la proportion d'environ 45 p. 100. Les prix de revient et la dépense totale ont été les suivants :

	QUANTITÉS	VALEURS	PRIX par kilogr.
Consommation totale	669.393 kg.	$231.920^f,27$	$0^f,35$
Par locomotive-kilomètre	$0^{kg},0147$	$0^f,0051$	»
Par locomotive-train-kilomètre	0 ,0186	0 ,0064	»
Par train-kilomètre	0 ,0200	0 ,0069	»
Par véhicule-kilomètre	0 ,0012	0 ,00042	»
Par unité-kilomètre	0 ,0005	0 ,00016	»

Ces chiffres sont notablement inférieurs aux chiffres analogues des chemins de fer français. J'y joins des données analogues sur le matériel de transport :

	QUANTITÉS	VALEURS	PRIX par kilogr.
Consommation totale	449.229 kg.	$161.284^f,74$	$0^f,36$
Par train-kilomètre	$0^{kg},0134$	$0^f,048$	»
Par véhicule-kilomètre	0 ,0008	0 ,0003	»
Par unité-kilomètre	0 ,0003	0 ,0001	»

VII. EFFECTIFS ET PARCOURS DES LOCOMOTIVES.

La situation du matériel de traction était la suivante au 1er janvier 1887 :

LOCOMOTIVES	EFFECTIF		EN SERVICE	EN RÉPARATION	PROPORTION en réparation
Voyageurs :					p. 100
A une paire de roues motrices	21				
A 2 paires de roues motrices	281	545	459	86	16
A 3 paires id.	243				
A 3 paires id. (express fortes rampes)	2	2	2	»	»
Marchandises :					
A 3 paires de roues motrices	813	813	700	113	14
A 3 paires de roues motr. (fortes rampes)	65	158	131	27	17
A plus de 3 paires (fortes rampes)	93				
De gare et de manœuvres	274	274	233	41	15
Tenders	1.137		1.092	45	4
Voitures à vapeur	24		23	1	4,2

Relativement à l'effectif total, 30 p. 100 des machines sont employées au service des voyageurs, 55 p. 100 à celui des marchandises et 15 p. 100 à celui des manœuvres.

Voici les parcours moyens annuels de chaque classe de machines :

EFFECTIF moyen des locomotives en 1886	ANNÉE 1886		ANNÉE 1887	
	kilomèt.			kilomèt.
542	35.270	Machines à voyageurs	Type 1	39.086
			Type 2	43.318
			Type 4 (machine-tender)	31.082
			Type 5 (machine-tender)	22.139
820	22.070	Machines à marchandises	Type 28	22.515
			Type 29	27.007
			Type 20	19.873
151	18.086	March. fortes rampes	Type 25 (double équipe)	38.768
			Locomotives-fourgons	34.801
			Voitures à vapeur à 1 classe	32.857
			Id. à 2 classes	22.018
			Id. à 3 classes	27.405
278	19.481	Machines de gare	Type 51	19.667

Tous ces nombres de kilomètres sont rapportés à l'effectif moyen (indiqué dans la première colonne pour 1886), machines en réparation comprises. S'ils sont faibles comparés à d'autres grands réseaux, il faut l'attribuer à l'absence de trains de nuit sur la plupart des lignes, au

rapprochement des relais, à la fréquence des stationnements, au grand nombre de trains qui circulent de jour. Les locomotives sont relativement plus nombreuses qu'en France ; on a en effet, pour l'année 1883 :

	RÉSEAU DE L'ÉTAT BELGE			ENSEMBLE DES RÉSEAUX FRANÇAIS		
	Effectif total	Par kilomètre	Sur 1.000 véhicules	Effectif total	Par kilomètre	Sur 1.000 véhicules
Locomotives	1.584	0,52	34	8.756	0,3	33
Voitures à voyageurs	3.006	1,00	65	19.654	0,67	78
Wagons	41.384	13,79	901	230.922	7,85	889

Les différences seraient beaucoup plus accentuées aujourd'hui, car au 1er janvier 1887, l'État belge possédait sur 1.000 véhicules, 39 locomotives, 61 voitures et 900 wagons.

Les locomotives-kilomètres effectuées en 1886 par les machines de l'État se décomposent ainsi :

	SIMPLE TRACTION	DOUBLE TRACT.	TOTAL
Voyageurs	17.554.741 + 325.656 à l'étranger.	23.605	17.904.002
Marchandises et mixtes	14 663.738 + 355.403 à l'étranger.	2.450.638	17.469.779
Trains de la route	409.219	»	409.219
Manœuvres. Service des gares	5.577.234 + 18.071 à l'étranger.	»	5.595.305
Manœuvres. Service des trains	2.384.634	»	2.384.634
Parcours à vide	1.593.338 + 4.424 à l'étranger.	»	1.597.762
Total	42.886.458	2.474.243	45.360.701

Les voitures à vapeur ont en outre parcouru 197.341 kilomètres. — Total 45.558.042 kilomètres.

Ces parcours peuvent encore se décomposer par rapport aux diverses catégories de locomotives :

1886	LOCOMOTIVES à voyageurs	LOCOMOTIVES à marchandises	LOCOMOTIVES de gare	ENSEMBLE
Remorquant des trains de voyag.	16.828.398	949.374	126.230	17.904.002
— de marchandises et mixtes.	1.212.393	15.936.314	321.072	17.469.779
Voitures à vapeur.	174.810	»	»	174.810
Parcours utile.	18.215.601	16.885.668	447.302	35.548.591
Remorquant des trains de route. .	7.649	397.387	4.183	409.219
Circulation à vide. . . Locomotives.	402.975	1.054.304	140.483	1.597.762
Circulation à vide. . . Voitures à vapeur. .	10.665	»	»	10.665
Manœuvres et réserve. Locomotives.	664.929	2.491.233	4.823.777	7.979.939
Manœuvres et réserve. Voitures à vapeur. .	11.866	»	»	11.866
Parcours pour service	1.098.084	3.942.924	4.968.443	10.009.451
Ensemble.	19.313.685	20.828.612	5.415.745	45.558.042

Voici d'un autre côté les unités-kilomètres (voyageur-kilomètre ou tonne-kilomètre) et les unités-kilomètres brutes effectuées par les locomotives :

NATURE DES TRAINS	UNITÉS-KILOMÈTRES	TONNES-KILOMÈTRES brutes	UNITÉS-KILOM. par locomotive-kilom.	TONNES-BRUTES par locomotive	TONNES-KILOM. brutes par unité-kilom.
Voyageurs.	1.029.776.000	2.147.063.880	56,1	119,3	2,07
Marchandises et mixtes.	1.622.608.250	4.548.448.800	93,2	259,5	2,80
Totaux et moyennes. . .	2.652.384.250	6.695.512.680	74,7	188,6	2,50

Les unités-kilomètres relatives aux trains de route et aux manœuvres ne sont pas comprises dans les chiffres ci-dessus.

Parcours pour service. — Les parcours pour service des machines de toutes classes, se sont élevés aux 2/7 des parcours utiles, et à 28 p. 100 des parcours totaux. Sur le P.-L.-M., le chiffre analogue n'est que de 10 p. 100.

Il faut attribuer cet écart au peu de longueur des lignes et embranchements de l'État belge, ce qui nécessite des formations et remaniements de trains en plus grand nombre.

VIII. DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES LOCOMOTIVES.

Matériaux employés pour les chaudières. — Le corps cylindrique et l'enveloppe extérieure du foyer se font exclusivement en tôle de fer n° 4, sauf dans les parties embouties, pour lesquelles on emploie la tôle n° 5.

La tôle n° 4 doit présenter une résistance à la rupture d'au moins 33 kilogrammes par millimètre carré dans le sens du laminage et 28 kilogrammes dans le sens perpendiculaire au laminage, avec des allongements minimum correspondants de 9 et de 5 p. 100. La tôle n° 5 supporte 35 kilogrammes dans le sens du laminage avec un allongement de 13 p. 100.

Pour apprécier les charges que l'on fait, dans la pratique, supporter à ces tôles, servons-nous de la formule du chemin de fer de Lyon : $R = \frac{Dn}{2(e-2)}$, où D est le diamètre du corps cylindrique en décimètres, e son épaisseur en millimètres et n le timbre en kilogrammes par centimètre carré. L'épaisseur des tôles est de 13 millimètres pour les chaudières timbrées à 8 kilogrammes, et de 14 millimètres pour les chaudières timbrées à 10 kilogrammes. La charge du métal varie donc de $4^k,500$ à 6 kilogrammes par millimètre carré, ce dernier nombre étant près d'être atteint dans les machines les plus récentes. C'est environ 1/3 de moins que les charges auxquelles on fait, en Amérique, travailler les tôles d'acier généralement employées pour la construction des chaudières. Ce fait n'a rien que de très naturel, vu la résis-

tance, la ductibilité et l'homogénéité supérieures des tôles d'acier. Les conditions imposées par l'État belge aux tôles de fer exigent un métal puddlé de la fabrication la plus soignée, et l'emploi de ces tôles dans les chaudières de locomotives paraît avoir atteint une perfection difficile à dépasser.

Détails de construction des chaudières. — Le corps cylindrique se compose de trois viroles d'égal diamètre, placées bout à bout. La ligne de rivure horizontale de chaque virole, située à peu près à la hauteur de l'axe de la chaudière, est munie d'un double couvre-joint d'acier; c'est en effet la ligne la plus dangereuse. Chaque clouure y est formée de deux rangées de rivets alternants. Les viroles sont au contraire réunies par un seul couvre-joint d'acier, réuni à chaque tôle par un rang de rivets : les rivets des deux tôles sont tantôt concordants, tantôt alternants. Les détails de la *fig.* 4, Pl. IV, rendent compte de ces dispositions.

La virole antérieure, qui supporte le dôme de vapeur, est réunie à la plaque à tubes de boîte à fumée par une cornière circulaire de 25 millimètres d'épaisseur : cette cornière porte en effet trois rangs de rivets, dont deux alternants la réunissent à la virole. La plaque tubulaire est elle-même emboutie sur tout son pourtour pour se raccorder avec la boîte à fumée. La prise de vapeur se trouve donc située vers l'avant de la machine, loin de la région où l'ébullition est la plus tumultueuse et l'entraînement de l'eau la plus considérable. De plus l'eau vaporisée dans la région froide des tubes ne peut se rendre directement à la prise de vapeur, à cause d'une tôle horizontale qui recouvre vers leur extrémité les tubes supérieurs, et qui sert en même temps à consolider la plaque tubulaire. On est ainsi assuré que l'eau entraînée est relativement chaude, et a par suite quelque chance de se

vaporiser en se rendant aux cylindres. Le double tiroir vertical dont est munie la prise de vapeur a aussi donné de bons résultats sous le rapport du séchage de la vapeur. Enfin le dôme, qui sert de trou d'homme, est maintenu sur son socle par quarante boulons de 20 millimètres de diamètre. Tandis que l'épaisseur du socle est de 17 millimètres, celle du dôme hémisphérique est sans inconvénient réduite à 10 millimètres.

On ne chanfreine pas les tôles des chaudières, et on leur applique le matage anglais.

Tubes à fumée. — Ces tubes sont généralement en laiton composé de 70 de cuivre et de 30 de zinc, avec une tolérance de 2 p. 100 en plus ou en moins. Dans les machines récentes, on a employé des tubes en fer, avec bouts de cuivre brasés du côté du foyer.

Le diamètre intérieur des tubes varie, suivant les types de machines, de 40 à 45 millimètres. Leur épaisseur est toujours de $2^{mm},5$ d'un bout à l'autre. Ils peuvent être, au gré du fournisseur, avec ou sans soudure, mais ils doivent avoir supporté une pression hydraulique intérieure de 8 atmosphères sans présenter aucune fuite ni fissure. On les soumet ensuite à l'épreuve du mandrin : ils doivent alors s'élargir de 3 millimètres sans présenter aucune fissure.

Les tubes sont disposés par rangées verticales. Introduits dans les tôles tubulaires, ils débordent de 5 à 6 centimètres : on les coupe à longueur, et on mate au marteau leurs bords contre la tôle. On pratique ensuite le dudgeonnage, souvent au moyen d'un appareil qui, grâce à un cône central susceptible d'un mouvement de translation suivant son axe, agit à la façon d'un mandrin universel, et peut être employé pour des tubes de diamètres divers. On termine en enfonçant du côté du foyer seulement, une virole d'acier légèrement conique introduite à l'aide d'une chasse.

Foyers. — Les boites à feu sont exclusivement en cuivre rouge, supportant une charge avant rupture de 22 kilogrammes par millimètre carré, et présentant un allongement d'au moins 22 p. 100. L'épaisseur des tôles est de 12 millimètres dans les anciens types et de 14 dans ceux à fortes pressions ; la tôle tubulaire a toujours 25 millimètres. La section transversale du foyer des anciens types est presque un rectangle, et la largeur de la grille y varie de $1^m,114$ à $1^m,116$; dans les nouvelles machines, où le foyer, débordant au-dessus des roues, atteint une largeur de $1^m,90$ (type 25) et $2^m,614$ (type 6) au niveau de la grille, sa section se rapproche de la forme trapézoïdale (Pl. VI, *fig.* 2).

Il existe entre ses parois verticales et celles de la boite à feu une distance de 60 à 80 millimètres ; et entre les ciels, tous deux plans, du foyer et de son enveloppe, une distance de 450 à 490 millimètres. En dehors des raccords cylindriques des faces planes, ce sont toujours deux parois parallèles qui se trouvent en regard ; rien n'est donc plus naturel que de les rendre solidaires par des entretoises.

Les parois latérales sont réunies par des entretoises pleines, en cuivre, de 22 à 28 milimètres de diamètre, et, espacées suivant un dessin carré, de 10 en 10 centimètres ; le ciel du foyer l'est à la tôle extérieure par des entretoises en fer de même diamètre et de même intervalle que les précédentes, mais boulonnées à leurs deux extrémités.

Les parties des faces verticales de la boite à feu, situées plus haut que le ciel du foyer, échappent seules à ce système de consolidation. De forts tirants boulonnés, répartis en trois rangées horizontales, réunissent les faces latérales opposées ; et d'autres, prenant appui sur la virole d'arrière du corps cylindrique, viennent s'assembler à des cornières fixées à la paroi d'avant (*fig.* 4, Pl. IV).

Ces tirants sont munis à leurs extrémités d'articulations qui facilitent le jeu des dilatations.

La tôle tubulaire est elle-même rattachée au corps cylindrique, dans sa partie basse, au moyen de six griffes.

La paroi horizontale de la boite à feu ne s'élève au-dessus de l'arête supérieure du corps cylindrique, que du double de l'épaisseur des tôles. Ces deux cavités sont réunies par une virole de raccordement, dite selle, en fer n° 5 ; la figure 4 rend compte de sa forme.

La porte du foyer se compose de deux pièces en tôle de fer de 13 millimètres solidement entretoisées, et dont chacune s'ouvre isolément.

La grille Belpaire est seule usitée ; il en existe en général quatre rangées, terminées par une rangée mobile, dite jette-feu, contre la tôle tubulaire. L'inclinaison de la grille est de 8 à 10 degrés, sauf dans le type 6, où elle est réduite à $2°,5$.

Le cendrier, incliné à 30 degrés, avec un ressaut au-dessus du troisième essieu, porte deux ouvertures fixes de 300×1.000, pour l'écoulement des cendrées et l'introduction de l'air, et une ouverture variable de 150×1.000, à l'avant.

Cylindres. — Les cylindres sont fondus avec leur fond postérieur, leur boîte à bourrages, les supports de glissières et les boîtes à vapeur ; on les réalèse sur place, au moyen de petits outils mobiles commandés par cordes et poulies. Les glissières sont latérales et doubles de chaque côté des crosses, avec coulisseaux en fonte mélangée à 2 p. 100 d'étain. Les corps de piston se font maintenant en fonte de toute première qualité et coulée sans aucun défaut ; ils sont du type Ramsbotton.

Mécanisme. — Toutes les pièces du mécanisme sont

en fer forgé, et autant que possible à section rectangulaire. Les tiroirs sont tous à coquille et double admission et en bronze. Leur visite est rendue très facile par deux ouvertures que portent les boîtes de distribution : l'une très petite à l'avant pour la visite courante, et l'autre plus grande et latérale pour la réparation des glaces. Les soupapes de rentrée d'air ne sont jamais appliquées.

Tous les ateliers centraux des chemins de fer de l'État ont été munis depuis quelques années de machines-outils, d'outils et de porte-outils en acier, du système Smith et Coventry; leur emploi réalise de grands avantages au point de vue de l'exécution des travaux. Ces petits outils, en acier très dur, sont délivrés contre une fiche aux ouvriers, pour le temps dont ils en ont besoin; on évite ainsi tout gaspillage. L'emploi de la fraise et du forêt hélicoïdal se répand de plus en plus. Les machines les plus récentes sont spécialement construites pour le travail des fraises et leur affûtage, et pour le parachèvement rapide des pièces de fer et de cuivre au moyen de meules d'émeri.

Le bronze des tiroirs et des coussinets contient : cuivre 83, étain 16, plomb ou zinc 1. Celui des colliers d'excentriques (qu'on fait actuellement plutôt en fer), et de toutes les pièces qui ne sont pas soumises à de fortes pressions, contient : cuivre 89, étain 10, plomb ou zinc 1.

Le levier d'avance de la distribution Walschaert s'articule à une crossette de la tige du piston, crossette en bronze d'aluminium et munie de glissières.

Les fortes machines sont munies d'un appareil de changement de marche à vapeur, analogue au système Stirling, c'est-à-dire composé d'un cylindre à vapeur et d'un cylindre à huile placés horizontalement en tandem sous la plate-forme du mécanicien.

Les soupapes Wilson à charge directe sont les plus usitées; souvent l'une est placée sur le dôme de vapeur.

Le graisseur Bermarck, fermé par une soupape et un ressort, et ne s'ouvrant que par la pression du doigt, est très usité pour le graissage des parties mobiles.

Les manivelles sont confectionnées en fer fin grain de qualité extra, donnant 38 à 40 kilogrammes à la rupture et 20 p. 100 d'allongement. Le bouton doit être venu de forge avec le corps de la manivelle en conservant le nerf et en évitant de fatiguer le fer. Leur service est garanti par l'entrepreneur pour un délai de deux années; s'il n'atteint pas ce délai, le fournisseur doit remplacer la manivelle à ses frais.

Les essieux coudés sont de qualité extra, en fer ou en acier, au choix du fournisseur, qui doit cependant apposer une marque indicative de la nature du métal. Les fusées sont parfaitement cylindriques, et si on y remarque des plats résultant du matage de raies ou de lignes, c'est là une cause de rebut. Leur parcours est garanti jusqu'à concurrence de 150.000 kilomètres, devant s'accomplir en trois ans et demi. Si l'essieu est mis, dans ce délai, hors de service avant l'accomplissement d'un parcours de 75.000 kilomètres, l'entrepreneur doit le remplacer; si le parcours a été supérieur à ce nombre, il doit simplement payer 8 francs par 1.000 kilomètres restant à parcourir.

Les essieux droits se fabriquent en acier Bessemer ou tout autre, pourvu qu'il soit de bonne qualité, et que les lingots, fortement martelés, ne présentent aucun défaut tel que lignes, criques, etc. Ils sont garantis pour quatre ans; toutefois, si l'essieu vient à être mis hors de service dans les deux dernières années de ce délai, l'entrepreneur n'a à payer que moitié de sa valeur. J'indiquerai plus loin le mode d'essai des essieux.

Bandages.—Les bandages pour locomotives ou wagons doivent être en acier tenant au moins 0,30 p. 100 de

carbone, et être fabriqués de lingots fortement martelés sur toutes les faces avant laminage, et non de rondelles coulées simplement laminées. Le fabricant doit examiner soigneusement les lingots avant leur mise en œuvre, et écarter tous ceux qui présenteraient des criques, soufflures ou autres défauts, ainsi que ceux qui proviendraient de coulées jugées défectueuses.

Les bandages pour locomotives sont présentés à l'état brut en une série de 46, dont un sera soumis aux essais; ils doivent être sans défauts. Les bandages pour voitures et wagons, après élimination de ceux qui présenteraient des défauts extérieurs, sont groupés par série de 50 et autant que possible par coulée; le diamètre intérieur indiqué par les plans doit y être rigoureusement observé, mais il est admis une tolérance de 2 millimètres en plus pour le diamètre extérieur; un bandage par série sera prélevé pour les essais, dont il sera question plus loin.

Tous les bandages rebutés au cours des essais sont rendus au fournisseur après apposition d'une marque par la Commission de réception, qui aura droit de se les faire représenter à toute époque jusqu'à complet achèvement du marché. Sur la demande du fournisseur, la Commission peut aussi faire porter les essais du mouton sur les bandages précédemment rebutés pour défauts n'impliquant pas la résistance de la matière employée. Tous les bandages rebutés peuvent être cassés pour juger de la qualité du métal.

Les bandages admis sont remis pour le parachèvement à l'entrepreneur. Ils doivent être tournés à l'intérieur et à l'extérieur, sans présenter ni lignes ni plats et sans qu'il puisse exister de place non touchée par l'outil du tour. De plus, chaque bandage pourra être soumis, après montage sur roue, à des essais au marteau, soit à la main, soit à l'aide d'appareils spéciaux; tout bandage qui ne

résisterait pas à ces essais sera remplacé par l'adjudicataire.

Le service des bandages est garanti pendant une durée de 5 ans pour ceux des locomotives et de 3 ans pour les autres. Dans le cas d'une mise en service dans un délai de plus de 2 années, moitié seulement de la valeur du bandage reste à la charge de l'entrepreneur.

Les petits bandages sont considérés comme hors de service, s'ils n'ont plus 30 millimètres au milieu de leur section, s'ils se rompent, ou si la commission de revision du matériel juge qu'ils sont dans un état de nature à compromettre la sécurité du service; le tout à condition, bien entendu, que ces défauts ne soient pas le résultat d'un cas de force majeure. Les bandages de locomotive sont mis hors de service lorsque l'application de la jauge y constate un creux de 5 millimètres à la portée de roulement, ou lorsque l'épaisseur du bourrelet au tiers de sa hauteur est réduite à 18 millimètres, ou encore lorsque l'épaisseur au milieu de la section du bandage est réduite à 30 millimètres pour l'acier et 35 millimètres pour le fer (anciens bandages) (Pl. IV, *fig.* 5). Dans ces conditions, si les délais du marché sont expirés, les bandages des locomotives et des tenders sont tournés à nouveau par les soins de l'administration.

Le profil initial des bandages de locomotives est le profil allemand, représenté par la figure 6. On y remarquera une succession de deux cônes, l'un incliné au 1/10, l'autre au 1/20. La largeur totale indiquée, 140 millimètres, se rapporte aux roues d'avant et d'arrière. Les bandages des roues motrices n'ont que 135 millimètres de large, et leur écartement, à l'intérieur de la voie, est de 1 centimètre supérieur à celui des autres essieux, pour faciliter l'inscription de la machine dans les courbes. L'épaisseur initiale des bandages est de 63 millimètres.

Les corps de roues se font entièrement en fer forgé de

bonne qualité, et sont garantis pour quatre ans. Les bandages sont placés sur les roues avec un serrage de 1 millimètre par mètre de diamètre. Le calage des roues et des manivelles sur les essieux se fait sous une pression d'au moins 80.000 kilogrammes. On les munit ensuite de clavettes en acier bien dressées, remplissant parfaitement les rainures, et chassées au refus d'un marteau de 7 kilogrammes.

Les manivelles d'une même paire de roues sont placées rigoureusement d'équerre, et les bandages sont fixés sur les corps de roues par des vis qui traversent ces derniers.

Boîtes à huile. — Les boîtes à huile se font en fonte présentant dans sa cassure un grain serré et régulier avec arrachement ; la fonte de moulage doit être à la fois douce et tenace, facile à entamer à la lime et au burin. Elle doit être exempte de gerçures, soufflures, lèvres baveuses, flaches ou autres défauts susceptibles d'altérer la résistance ou la netteté des formes. Il n'est admis sur les épaisseurs indiquées aux plans qu'une tolérance de 1 millimètre en plus ou en moins.

On emploie exclusivement pour le matériel roulant des boîtes à huile d'une seule pièce, étudiées en 1883, qui ont diminué de beaucoup le nombre des bris et des échauffements. Leur graissage se fait tous les huit mois seulement avec un mélange d'huile russe dégroudonnée et d'huile végétale, celle-ci étant au plus dans la proportion de 30 p. 100. Ces boîtes peuvent se visiter facilement sans soulever le véhicule : aussi a-t-on porté à deux ans le délai de levage périodique, qui était auparavant d'un an.

Les essieux porteurs des locomotives à grande vitesse sont munis de boîtes à guides cylindriques, analogues aux boîtes Roy. Le rayon de courbure des guides est calculé de façon que l'essieu reste toujours normal à l'axe de la

voie : on sait que ce rayon est indépendant de la courbure de la voie. On préfère ce système à celui des trucs américains, pour le passage en vitesse dans les courbes, mais on a reconnu nécessaire de prendre quelques précautions pour en assurer le bon fonctionnement, car la pression seule du bandage contre le rail modifie la direction de l'essieu. C'est ainsi que la surélévation à l'entrée en courbe doit être répartie sur une longueur de voie assez grande pour que cette surélévation ne dépasse pas 1 millimètre par mètre de longueur de raccordement parabolique ou autre. Un balancier transversal réunit les centres des balanciers longitudinaux d'avant, d'un côté à l'autre de la machine, de manière à ce qu'il n'y ait de surcharge sur aucune des roues porteuses à l'entrée et à la sortie des courbes ; c'est sur ce balancier que prend appui la traverse d'avant. On a réuni par un semblable balancier les ressorts des roues du troisième essieu de la machine à marchandises pour fortes rampes (*fig.* 10, Pl. V) ; et d'autres ayant été placés de chaque côté de la machine entre les roues motrices et les roues couplées d'avant, on a réalisé ainsi l'application complète des balanciers aux machines d'un nombre impair d'essieux. Ce système a donné d'excellents résultats pour la stabilité, et on place en général autant de balanciers qu'il est possible.

Les coussinets se font en bronze, et fréquemment aussi en métal blanc coulé dans les boîtes ; ce métal contient : Pb 40 — Sb 22,50 — Sn 36,66 — Cu 0,84. La forte proportion de plomb fait que le métal, trop mou, s'use rapidement ; mais on peut se dispenser d'aléser les coussinets. Quand ils sont en bronze, on les fait souvent, après alésage, tourner mécaniquement autour de la fusée de l'essieu, en interposant un peu de sable fin entre les deux corps frottants ; l'intérieur du coussinet prend ainsi, avant d'entrer en service, la forme exacte de la fusée, et cette pratique réduit beaucoup les échauffements.

Ressorts de suspension. — Les anciens ressorts de locomotives se composent de feuilles mesurant $0^m,90$ entre tiges de suspension, avec une flèche de fabrication de $0^m,06$. On met neuf feuilles pour les ressorts de l'essieu moteur, et treize pour les autres ; la flexibilité des premiers est de $13^{mm},6$ par tonne et celle des seconds de $8^{mm},4$.

On leur substitue maintenant des ressorts fabriqués sans flèche, et prenant sous charge la forme renversée (*fig.* 10, Pl. V). Ils mesurent $1^m,50$ entre tiges de suspension, sur $0^m,10 \times 0^m,01$. Ils comprennent de seize à vingt-deux feuilles, et leur flexibilité par tonne, exprimée en millimètres, est représentée par le même chiffre que leur nombre de feuilles. Elle est donc très supérieure à celle des anciens ressorts, par suite de l'augmentation du volume. Il suffit, comme dans les ressorts qui tournent leur concavité vers le haut, que les intervalles d'étagement soient égaux, pour que toutes les feuilles conservent en charge une forme sensiblement circulaire. Il n'existe entre ces deux types de ressorts qu'une différence : dans ceux qui ont la forme renversée, c'est la maîtresse-feuille qui a le plus grand rayon de courbure et qui travaille le moins, à l'inverse de ce qui se passe dans les ressorts habituels. Il n'en résulte aucun inconvénient.

Le longeron central qui existe dans la plupart des machines, est muni, au-dessus de l'essieu moteur, d'une boîte à graisse et d'un ressort un peu moins puissant que les ressorts extérieurs.

Les feuilles des ressorts sont trempées d'une façon uniforme et ajustées après la trempe, de manière à obtenir un contact parfait.

Freins. — Les freins continus automatiques Westinghouse, que l'État belge se préoccupe d'appliquer aux wagons entrant dans la composition des trains de messageries, sont adaptés à toutes les locomotives et voitures

à voyageurs. Leur installation et leur emploi n'ont rien de spécial, si ce n'est que la vitesse doit toujours être telle, à l'entrée des gares terminus, des stations à grand mouvement de voyageurs et de marchandises, ou à l'approche des ponts tournants, que si le frein Westinghouse venait à faire défaut, le point d'arrêt ne soit jamais dépassé.

Toutes les machines à marchandises sont munies de l'appareil à contre-vapeur, dont l'emploi est indispensable à la descente des fortes pentes sur les lignes du Luxembourg.

IX. ESSAIS MÉCANIQUES ET CHIMIQUES DES MATÉRIAUX.

Tôles pour chaudières. — Les tôles doivent pouvoir être pliées à froid d'équerre et à angle vif dans les deux sens, et pliées complètement sur elles-mêmes dans le sens du laminage, sans que l'extérieur présente de gerçures.

La largeur des barreaux soumis aux épreuves par traction est de 50 millimètres, et l'allongement à la rupture est pris sur 200 millimètres.

La résistance à la rupture des tôles de fer peut être inférieure à celle exigée, pourvu que le manque de résistance soit compensé par un excédent d'allongement. La tolérance est de 1 kilogramme dans chaque sens, avec surcroît d'allongement d'au moins 1,5 p. 100.

Les essais de pliage à froid se font sur des bandes de $0^m,05$ à $0^m,07$ de largeur, découpées dans les deux sens des tôles déjà choisies pour les essais de traction. Le pliage se fait sous un angle de 120° et suivant un rayon ainsi déterminé :

ALLONGEMENT lors de l'épreuve par traction	RAYON de raccordement	ALLONGEMENT lors de l'épreuve par traction	RAYON de raccordement
13 pour 100	4 fois l'épaisseur	5 pour 100	11 fois l'épaisseur
9 pour 100	6 fois l'épaisseur	3 pour 100	16 fois l'épaisseur

Il n'est pas tenu compte des criques qui se seraient produites à une distance des bords moindre que l'épaisseur de la tôle.

Les essais de pliage à chaud se font, au rouge cerise, sur des bandes analogues qu'on replie complètement sur elles-mêmes.

Dosage des bronzes et laitons (d'après M. Roussel, chef des essais). — Ce dosage s'effectue en dissolvant 1 à 2 grammes de limaille de la matière à essayer, dans l'acide nitrique de densité 1,4. Comme les laitons ne contiennent généralement pas d'étain, il n'y a pas de résidu. La solution filtrée est additionnée d'une très légère quantité d'acide sulfurique, évaporée à sec au bain de sable et reprise par l'eau froide légèrement acidulée avec de l'acide sulfurique. Après séparation du plomb, le liquide renfermant les sulfates de cuivre et de zinc est versé dans une capsule en platine et soumis à un courant électrolytique relativement faible (trois éléments Daniell) dont la capsule forme le pôle négatif, et une spirale en platine, plongeant dans le bain, le pôle positif. Quand l'opération est terminée, ce qui se remarque lorsque, par l'addition d'eau, la partie de la capsule nouvellement humectée ne rougit plus, on décante la liqueur dans un verre, on lave rapidement la capsule à l'eau, puis à l'alcool, on laisse évaporer l'alcool à une température de 40 à 50°, et on pèse la capsule avec sa couche de cuivre. On trouve le poids du cuivre par différence. Le zinc à l'état de sulfate est précipité par une solution de carbonate de soude, filtré soigneusement, lavé à l'eau bouillante, séché et pesé à l'état d'oxyde.

Analyse des fontes. — Le carbone est dosé par le procédé d'Eggertz, et la coloration de la solution nitrique obtenue, est comparée à celles que donnent des aciers types dosés par les méthodes de Berzélius ou de Regnault. On se sert pour cela du colorimètre Dubosq, qui donne une approximation au 5/1000.

Le silicium et le phosphore sont dosés par les procédés habituels. Le soufre et le manganèse le sont par des méthodes exactes et rapides dues à M. Ghilain, chef du laboratoire de chimie de la Société Cockerill. Pour doser le soufre, on attaque 5 grammes de métal par 30 centimètres cubes d'acide nitrique fumant et 40 centimètres cubes d'acide chlorhydrique. Le tout est abandonné à une douce chaleur, et de temps en temps on ajoute de petites quantités d'acide chlorhydrique jusqu'à dissolution. On évapore ensuite à siccité et on reprend par l'acide chlorhydrique en ajoutant, après dissolution, la quantité d'eau nécessaire pour filtrer. La liqueur qui découle de cette opération est additionnée de chlorure de baryum et portée à l'ébullition, puis abandonnée à une douce chaleur; le soufre se précipite à l'état de sulfate de baryum et est dosé sous cette forme. Pour tenir compte de la petite quantité d'acide sulfurique contenue dans l'acide nitrique fumant, on traite 3 ou 4 grammes de fil de fer de clavecin par la méthode précédente, et d'après la quantité de sulfate de baryum obtenue, on déduit le poids qu'il faut retrancher par centimètre cube d'acide nitrique employé.

Pour le manganèse, on dissout 1 gramme de métal dans un vase d'au moins 350 centimètres cubes de capacité, par 30 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et quelques gouttes d'acide nitrique. On évapore à consistance pâteuse et on reprend par un peu d'acide chlorhydrique et de l'eau chaude. On neutralise par du carbonate d'ammoniaque, et on précipite le fer par un petit cristal d'acétate d'ammoniaque. La liqueur est étendue d'eau de façon à obtenir

un volume de 300 centimètres cubes que l'on mesure dans un matras jaugé. On filtre, et on prend 200 centimètres cubes de la liqueur, dans laquelle on précipite le manganèse par l'eau de brome. On ajoute un peu d'ammoniaque et on porte à l'ébullition pendant quelques secondes. Le précipité est filtré, lavé, desséché et calciné. Le poids d'oxyde salin ne représentant que les 2/3 du poids total, on le multipliera par $3/2 \times 0{,}72 = 1{,}08$, pour obtenir la quantité de manganèse métallique.

Essieux droits. — Les essais de ces essieux se font en rebutant d'abord ceux qui présentent des défauts extérieurs ; puis on choisit un des essieux restants, et, après l'avoir placé sur deux appuis écartés de $0^m,90$ à $0^m,92$, on le soumet à l'épreuve d'un mouton de 1.600 à 2.000 kilogrammes, tombant d'une hauteur déterminée par la formule : $H = \frac{0{,}34\,D^2}{M}$, où D représente le diamètre réel au milieu de la pièce essayée, exprimé en millimètres, et M le poids du mouton. Si, dans cet essai, l'essieu se casse ou présente une crevasse transversale qui s'étende en profondeur au delà de la moitié du diamètre de l'essieu, toute la fourniture sera rebutée, à moins qu'un nouvel essai, portant sur deux essieux, ne réussisse convenablement.

Observons, au sujet de la formule qui sert à déterminer la hauteur de chute H du mouton M, que cette hauteur est telle que la demi-force vive de ce corps soit constante au moment du choc, pour un essieu de diamètre donné. Si on cherche en effet la flèche maximum que prendra l'essieu sous le choc, on est conduit à s'appuyer sur le principe des forces vives ; mais il faut faire préalablement quelques hypothèses.

On supposera d'abord qu'après le choc, le mouton et le centre de l'essieu se mouvront avec la même vitesse, le

contact restant établi, puisque la demi-force vive, c'est-à-dire la masse de l'essieu, est négligeable dans ce mouvement par rapport à celle du mouton. Si, de même, on néglige la masse de l'essieu pendant la durée du choc, il en résulte que, la quantité de mouvement du système des deux corps restant constante, la vitesse du mouton n'aura pas varié durant ce temps, et sera la vitesse initiale de flexion de l'essieu. Soient : v cette vitesse, $2a$ la longueur de l'essieu, f sa flèche au moment t, I son moment d'inertie supposé constant entre les appuis, E son coefficient d'élasticité. On aura, en appliquant le principe des forces vives depuis le commencement de la flexion jusqu'au moment t, et négligeant l'inertie de l'essieu :

$$\frac{M}{2g}\left(\frac{df^2}{dt^2} - v^2\right) = Mf - \frac{3\,EI}{a^3} f^2 ;$$

Le dernier terme $\frac{3\,EI}{a^3} f^2$ représente le travail moléculaire accompli, $\int_0^f \pi\, df$, π étant à chaque moment le poids nécessaire pour produire la flèche f ; or, dans une pièce ainsi posée, on a : $\pi = \frac{6\,EI}{a^3} f$. L'équation des forces vives donne par différenciation :

$$\frac{d^2f}{dt^2} = g - \frac{6\,EI}{a^3 M} gf,$$

dont l'intégrale est, en observant que, à l'origine des temps, $f = 0$ et $\frac{df}{dt} = v$:

$$f = \frac{a^3 M}{6\,EI}\left(1 - \cos\sqrt{\frac{6\,EIg}{a^3 M}}\, t + v\sqrt{\frac{a^3 M}{6\,EIg}} \sin\sqrt{\frac{6\,EIg}{a^3 M}}\, t\right),$$

fonction qui admet pour maximum :

$$\frac{a^3 M}{6\,EI}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{6\,EI\,v^2}{a^3 Mg}}\right),$$

valeur égale à celle de la flèche à l'état statique, sous la surcharge M, multipliée par la quantité entre parenthèses. Avec les données :

$$a=0{,}45,\quad M=2000,\quad D=0{,}18,\quad \frac{v^2}{g}=2H=\frac{0{,}68\,D^2}{M}=11^m{,}016,$$

$$I=\frac{5154}{10^8},\quad E=2\times 10^{10},$$

la valeur de cette quantité entre parenthèses est 611. La flèche à l'état statique $\frac{a^3M}{6EI}$ est $0^m{,}000029$, et, dans les mêmes conditions, la traction élastique du métal $\frac{aMD}{4I}$ est par millimètre carré, de $0^{kg}{,}785$ pour le point le plus fatigué, au milieu de l'essieu. On voit ainsi que les efforts développés par le choc du mouton dépassent de beaucoup la limite d'élasticité, et que si l'on pouvait continuer d'appliquer au delà de cette limite les formules usuelles de la résistance, on trouverait une flèche maximum en charge de $0^m{,}0177$, 612 fois plus grande que la précédente, et une traction élastique de 480 kilogrammes par millimètre carré, dans les fibres extérieures du milieu de l'essieu. Ces valeurs considérables ne sont sans doute pas atteintes, mais ces résultats suffisent à montrer quel surcroît d'effort résulte du choc sous vitesse notable. Il faut remarquer aussi, que si d'un côté la force vive de l'essieu (dont un grand nombre de points se déplacent peu d'ailleurs par rapport au centre) a été négligée, en revanche la vitesse initiale de flexion est, par suite de l'élasticité développée dans le choc, supérieure en réalité à la vitesse de chute du mouton.

On sait que l'effort maximum développé dans une pièce de section circulaire posée sur deux appuis et fléchie en son milieu, est $T=\frac{ED}{2\rho}$, ρ étant le rayon de courbure de la section médiane. La flèche $f=\frac{a^3\pi}{6EI}$, π étant la masse

statique qui produit la flexion. On a aussi : $\frac{E}{\rho}=\frac{a\pi}{2I}$.

En éliminant ρ et π entre ces trois équations, on trouve que l'effort maximum est lié à la flèche par la relation :

$$T=\frac{3ED}{2a^2}f.$$

Si la flèche maximum prise par la pièce n'excédait pas les limites de l'élasticité, et si l'on suppose applicable à l'état dynamique de la mise en charge cette relation établie pour des conditions statiques (ce qui revient encore à négliger l'inertie de l'essieu), on pourrait écrire, pour l'effort maximum développé dans la flexion extrême définie plus haut :

$$T=\frac{3ED}{2a^2}\times\frac{a^3M}{6EI}\left(1+\sqrt{1+\frac{6EIv^2}{a^3Mg}}\right);$$

et comme les deux unités comprises dans les parenthèses sont grandement négligeables à côté de la quantité $\frac{6EIv^2}{a^3Mg}$ et de sa racine carrée, qui est 611, on peut réduire la valeur de T à :

$$\frac{aMD}{4I}\sqrt{\frac{6EIH}{a^3M}},$$

ou enfin à

$$T=\sqrt{\frac{3}{4}\frac{MEHD^2}{aI}}=4\times 10^5\sqrt{\frac{6MH}{\pi aD^2}}.$$

Cet effort idéal peut être pris comme point de comparaison pour les tractions élastiques développées par le choc dans les essieux; et pour que tous les essieux soient éprouvés de même, il suffit de rendre constante la quantité $\frac{MH}{D^2}$. C'est ce que réalise précisément la formule d'essai donnée pour l'État belge, $\frac{MH}{D^2}=0{,}34$ (D en millimètre).

Nous avons vu que la valeur de T est dans ces conditions de 480 kilogrammes ; la rupture des fibres extérieures de la section médiane est donc bien naturelle.

Bandages. — Les essais imposés aux bandages consistent à les soumettre au choc d'un mouton de poids P, tombant d'une hauteur H déterminée par les formules :

PH = 6600 kilogrammètres pour les bandages de locomotives,
PH = 4000 kilogrammèt. pour les bandages de voitures et wagons.

Le nombre des coups de mouton est de 3 ; après le deuxième coup, la réduction du diamètre vertical du bandage ne doit pas être supérieur au 1/7e du diamètre intérieur primitif. Pour subir cet essai, le bandage est placé de façon à ce que le point diamétralement opposé à celui qui reçoit le choc du mouton, porte sur une enclume reposant elle-même sur une chabotte en fonte de 10.000 kilogrammes environ.

Si par suite de l'essai au choc, le diamètre vertical du bandage est réduit de plus de 1/7e après le deuxième coup de mouton, ou si après le troisième coup le bandage se brise ou présente une crevasse, la série dans laquelle il aura été choisi sera rebutée. La Commission pourra néanmoins décider s'il y a lieu d'accorder le double essai portant sur deux bandages ; si ceux-ci résistent au choc, la fourniture peut être acceptée.

Si nous cherchons, comme nous l'avons fait pour les essieux, à nous rendre compte des efforts développés dans les bandages par les essais au choc, nous pourrons écrire, d'après le principe des forces vives, une équation analogue, en admettant les mêmes hypothèses.

Le travail moléculaire doit être évalué en se fondant sur ce qu'à l'état statique, il existe pour une pièce circulaire pressée par une charge π, verticale et directement opposée au point d'appui, la relation suivante entre la

flèche par rapport au centre et la charge, l'inertie du bandage étant bien entendu négligée par rapport à celle de la charge : $\pi = \frac{2EI}{\alpha R^3} f$, α étant une constante numérique égale à 0,2976 (M. Résal, *Cours de mécanique générale*, t. V, p. 90). On aura donc $\int_0^f \pi\, df = \frac{EI}{\alpha R^3} f^2$, et l'équation des forces vives sera :

$$\frac{M}{2g}\left(\frac{df^2}{dt^2} - v^2\right) = Mf - \frac{EI}{\alpha R^3} f^2,$$

qui donne, différentiée :

$$\frac{d^2f}{dt^2} = g - \frac{2EIg}{\alpha MR^3} f,$$

équation analogue à celle établie pour les essieux. On en déduit de même pour la flèche maximum la valeur

$$\frac{\alpha MR^3}{2EI}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{2EI}{\alpha MR^3}\frac{v^2}{g}}\right),$$

où le facteur hors parenthèses est la flèche par rapport au centre à l'état statique.

Appliquons cette formule aux bandages des locomotives belges de $1^m,70$ de diamètre, dont la plus grande épaisseur est de 91 milimètres. Le cercle des centres de gravité est distant de 35 millimètres du cercle intérieur, et le moment d'inertie de chaque section droite par rapport à l'axe horizontal passant par le centre de gravité est d'environ $\frac{4.307}{10^9}$. On a aussi : M = 6.600 kilogrammes, $H = 1, \frac{V^2}{g} = 2$, $E = 2 \times 10^{10}$. On trouve ainsi que la flèche à l'état statique est de $0^m,0069$. Quant aux tractions et compressions élastiques, elles sont données par la formule $T = \frac{eMR}{I}\left(\cos\theta - \frac{2}{\pi}\right)$, e désignant la distance de

la fibre considérée à la fibre neutre, distance positive du côté du boudin, et θ étant l'angle de la section avec l'horizontale du centre de la roue. D'où les résultats maximum :

$\theta = 0$: *Section droite horizontale du bandage.*

Traction à l'extérieur. . . . . $0{,}056\frac{MR}{I}\left(1-\frac{2}{\pi}\right) = 46^{kg},37$

Compression à l'intérieur . . $0{,}035\frac{MR}{I}\left(1-\frac{2}{\pi}\right) = 28^{kg},94$

$\theta = \frac{\pi}{2}$: *Section droite verticale du bandage.*

Traction à l'intérieur . . . . . $0{,}035\frac{2MR}{\pi I} = 16^{kg},53$

Compression à l'extérieur. . . . . $0{,}056\frac{2MR}{\pi I} = 26^{kg},04$

C'est donc à l'extrémité du boudin et à la hauteur du centre de la roue que se produit la plus grande fatigue, déjà très forte à l'état statique.

La quantité $1+\sqrt{1+\frac{4EI}{\alpha MR^3}H}$ a pour valeur 16, ce qui porterait, si les déplacements restaient élastiques, la flèche maximum en charge au 1/8e du rayon primitif, tout en montrant que les fibres extrêmes doivent à peu près inévitablement se rompre. Il n'existait donc qu'une marge très faible entre la flèche qui vient d'être déterminée et celle qui atteindrait le 1/7e du rayon, limite extrême fixée pour la déformation après le deuxième coup de mouton.

Il est à remarquer que le diamètre du bandage n'entre plus, comme cela avait lieu autrefois, dans la définition du poids à donner au mouton. M. Roussel, chef des essais à Malines, ayant en effet soumis aux expériences de flexion des bandages de rayons divers, trouva qu'il fallait des pressions statiques très différentes pour produire une

flèche donnée. Il se peut en effet que pour atteindre une telle flèche, la ligne des centres de gravité arrive dans certains bandages à s'infléchir vers l'intérieur aux environs du sommet, et qu'alors le métal travaille dans des conditions tout autres : d'où la nécessité de toujours rapporter les flèches aux rayons. M. Roussel détermina la pression statique nécessaire pour faire fléchir les bandages du 1/12e de leur diamètre primitif; il chercha ensuite à se rendre compte du travail moléculaire imposé au bandage, en intégrant l'aire de la courbe qui a pour abscisses les flèches et pour ordonnées les pressions, et il trouva que pour la pression capable de produire la flèche du 1/12e, ce travail était sensiblement constant pour tous les bandages. On cherche donc, pour les essais au mouton, à imposer à ceux-ci le même travail moléculaire, en les soumettant au choc d'une masse qui possède une quantité fixe de force vive. Le procédé du choc a sur la pression statique l'avantage de diminuer considérablement le poids nécessaire pour produire une flèche donnée; il est aussi très expéditif.

Dans la limite des déplacements élastiques, la courbe de variation des pressions en fonction des flèches produites est rectiligne, ce dont la théorie rend parfaitement compte, puisqu'elle établit entre ces quantités la relation $\pi = \frac{2EI}{\alpha R^3} f$. Au delà sa courbure augmente de plus en plus. Le travail moléculaire a donc au début pour expression $\int_0^f \pi df = \frac{EI}{\alpha R^3} f^2$, et si la flèche est pour tous les bandages en rapport constant k avec le rayon, $\frac{EIk^2}{\alpha R^3}$. Ce travail variera donc fort peu avec le rayon, et même pas du tout si les moments d'inertie sont en raison directe des rayons. On peut constater qu'il en est à peu près ainsi pour les bandages de locomotives comparés à des

bandages de wagons; mais pour les premiers seuls, il arrive fréquemment que leur profil ne varie pas avec le rayon des roues. En général, les travaux moléculaires accomplis dans des flexions proportionnelles aux rayons sont donc en raison inverse des rayons, tant que ces flexions sont compatibles avec les déplacements élastiques.

Les expériences de M. Roussel indiquent qu'au delà de la limite d'élasticité les choses se passent d'une façon inverse, puisque le travail arrive à être indépendant des rayons pour une flexion du 1/12e du diamètre : c'est là un fait dont il paraît difficile de se rendre compte théoriquement.

Ressorts de suspension et de choc. — Les ressorts de suspension qui reçoivent une flèche de fabrication sont soumis à des flexions vivement réitérées les amenant à la ligne droite : ils ne doivent présenter ni ruptures ni déformations, et doivent conserver leur flèche, avec une tolérance de 2 millimètres. Ils doivent fléchir uniformément, c'est-à-dire subir des déformations proportionnelles aux charges.

Placée sur deux appuis distants de 0,25, une feuille quelconque doit supporter sans rupture le choc d'un mouton de 50 kilogrammes tombant d'une hauteur $H = \frac{S}{6}$, H étant exprimé en centimètres et la section en millimètres carré. Cette hauteur sera donc de $1^m,66$ pour des feuilles de 10×100. En appliquant ici la formule établie pour les essieux soumis au choc, on trouve que la flèche maximum en charge est de $0^m,018$. Cette valeur n'est sans doute pas atteinte en réalité, car la limite d'élasticité se trouve de beaucoup dépassée. On essaie ainsi 2 p. 100 des ressorts.

On emploie fréquemment, comme ressorts de choc,

des ressorts à spirale confectionnés en acier de toute première qualité. Ceux pour wagons pèsent $15^{kg},250$, ceux pour locomotives, $16^{kg},650$. Il ne doit exister aucun frottement entre les spires, quel que soit le degré de compression. Les ressorts pour wagons sont soumis, au moyen d'un mouton à vapeur, à mille flexions réitérées et à fond; ils doivent conserver alors une hauteur comprise entre 225 et 235 millimètres, et porter ensuite une charge de 5.000 kilogrammes pour une hauteur comprise entre 100 et 170 millimètres. Les ressorts pour locomotives doivent supporter au dynamomètre, un effort de 1.800 kilogrammes avec un jeu de 40 millimètres, et un effort de 4.000 kilogrammes avec un jeu de 15 millimètres. Un dixième au moins des ressorts pour locomotives subissent ces derniers essais, et tous les ressorts soumis à des chocs réitérés et à fond doivent en outre reprendre leur hauteur initiale.

Machine d'essais système Kirkaldy. — Les essais de résistance se font à l'Arsenal des Chemins de fer à Malines d'une façon très remarquable, qu'il est intéressant de décrire ici. On emploie une machine Kirkaldy, de la force de 500.000 kilogrammes, construite par la maison Greenwood et Batley, à Leeds. Cette machine est la plus puissante du continent, et n'est égalée, à notre connaissance, que par la machine Emery de l'arsenal de Watertown aux États-Unis (voir *Génie civil*, t. XIII, p. 21). Comme toutes les fortes machines, la pression est produite par un cylindre hydraulique agissant horizontalement dans l'axe de l'éprouvette à essayer. Ce cylindre est relié à deux appareils qui peuvent fonctionner simultanément ou séparément. L'un se compose de trois pompes à refoulement ordinaire, calées sur un même arbre à 120 degrés, de façon à atténuer le plus possible l'effet des points morts. Deux de ces pompes peuvent être dé-

clenchées afin de répartir, pour les grands efforts, toute la puissance sur une seule. Le second appareil est un compresseur Thomasset (voir *fig.* 7, Pl. IV).

Le piston hydraulique est fixé à un plateau en fonte d'où partent quatre tirants de fer portant chacun un pas de vis sur une longueur de $6^m,700$. Sur la partie filetée de chaque tirant se meut un écrou, et les quatre écrous font corps avec un sommier qui transmet la pression aux pièces à essayer. Les écrous sont mobiles à la main, par le moyen d'un engrenage, et le sommier peut s'accommoder d'une longueur quelconque d'éprouvette, chaîne, cordage, jusqu'à plus de $6^m,50$. Le sommier est porté par des roues qui empêchent toute flexion des tirants; l'ensemble forme donc un chariot qui est entraîné par le piston de la presse hydraulique. Lorsque la pression de l'eau n'agit plus, un contrepoids ramène le chariot au commencement de sa course.

La seconde partie de l'appareil, qui sert à mesurer l'effort exercé sur la pièce soumise à l'essai, se compose d'un levier et d'une romaine. On a paré de la façon suivante aux principaux inconvénients des machines où la pression est ainsi mesurée par balance :

1° Les couteaux, en excellent acier, mesurent plus de 0,20 de longueur, et ne se sont pas encore émoussés, ce qui eût pu changer la valeur des moments.

2° Le levier, qui se meut dans le sens horizontal, est toujours maintenu par l'équilibre dans une position normale au banc; son grand bras est relié à une romaine qui est maintenue parallèle à l'axe de la machine en étant très solidement raccordée au bâtis de celle-ci.

3° Tous les leviers composant la balance sont suspendus par des tringles sur des arêtes vives; les frottements sont donc pour ainsi dire nuls et ne viennent pas amoindrir les résultats observés.

4° On peut équilibrer à chaque instant la pression au moyen d'un curseur mû par corde et volant à main, qui parcourt la romaine et est chargé de poids variant avec les efforts que l'on a à mesurer. C'est toujours là le point le plus défectueux des machines à balance, car la pression n'est pas équilibrée automatiquement, et pour opérer avec beaucoup d'exactitude, il convient de faire varier les pressions, c'est-à-dire marcher les pompes, avec une extrême lenteur, quand on approche du point à observer. Le volant à main est placé tout à côté des pointes indicatrices, dont on surveille en le manœuvrant les petits déplacements. La romaine comprend deux fléaux superposés, mais le fléau supérieur n'est utilisé que pour la mesure des très grandes charges. Leur graduation indique simplement le rapport des bras de levier; il suffit donc de tenir compte des poids dont est chargé le curseur. La sensibilité et l'exactitude de cette machine sont remarquables, même sous des pressions très élevées.

Elle peut servir aux essais les plus divers. Les éprouvettes qu'on veut essayer à la traction ont leur tête entourée d'anneaux *m*, *m*, réuni dans un manchon M, formé de deux parties qu'une bague B tient serrées ensemble (Pl. IV, *fig.* 8). Pour les fers en barres, ronds, carrés ou méplats, on ne fait aucune préparation préalable; les extrémités sont simplement prises entre des coins en rapport avec les dimensions des pièces. De même pour les chaînes et les câbles; mais on préserve les parties de ces derniers serrées entre les coins, en les entourant d'une ficelle ou d'un fil métallique, après avoir rempli les interstices des torons par du chanvre ou du fil de fer suivant la nature des câbles (*fig.* 9). Pour les bandages par extension, l'armature consiste en deux pivots verticaux, que le bandage embrasse. On peut aussi essayer des rivures au moyen d'un système analogue : on perce à chaque extrémité de la tôle des trous dans lesquels on

passe des fiches qui exercent la traction comme les précédents pivots (*fig.* 10).

Les essais de compression et de flexion se font en fixant l'éprouvette à la face opposée du chariot, d'une part, et de l'autre à un sommier porté par des petits galets et réuni à la balance par deux tiges qui sont donc obligées de traverser le chariot. Il en est de même pour les essais à l'emboutissage (*fig.* 11), où le chariot est armé d'une masselotte fixée par un tirant, comme le montre le croquis. Pour être certain que la pression est dirigée suivant l'axe, la surface d'appui sur le sommier est sphérique (s, s, s', s'). Dans les essais à la flexion, ce sommier est fixé au bâtis par des boulons, et ne sert qu'à supporter l'extrémité d'une longue tige attachée à la balance et munie d'un couteau qui produit la flexion; deux appuis latéraux en acier trempé sont portés par le chariot et agissent sur les extrémités de la pièce à essayer. La distance de ces appuis peut être portée jusqu'à 7 mètres, en fixant sur le chariot un grand longeron transversal. On mesure la flexion de ce longeron, pour la déduire de celle de la pièce à essayer, en l'évaluant par rapport à un point fixe du chariot. Pour cela, à ce dernier sont fixés des fers à T A et A′, qui portent à leurs extrémités des cadrans enregistrant les déplacements des bouts du longeron par rapport au chariot, c'est-à-dire au centre du longeron (*fig.* 1, Pl. V).

Les essais de cisaillement se font sans le sommier supplémentaire; l'éprouvette est prise par des anneaux superposés et tirés en sens inverse (*fig.* 2). Les éprouvettes qu'on veut essayer à la torsion doivent présenter trois sections carrées, dont une au milieu (*fig.* 3). Chacune de ces sections est emprisonnée dans un manchon. Les manchons extrêmes forment les moyeux de deux poulies sur lesquelles s'enroulent des chaînes de Galle attachées au chariot; ces poulies sont maintenues en place par des

galets fixes. Le manchon du milieu est relié à la balance par une pièce en forme de levier coudé, dirigée de façon à équilibrer parfaitement le couple de torsion. Son bras de levier est de $0^m,305$, et les chaînes permettent d'exercer des efforts de 20.000 kilogrammes, qui suffisent à tordre en hélice des barreaux découpés dans des tôles. Les déformations éprouvées par les deux moitiés des éprouvettes sont symétriques.

Pour la mesure des allongements, la machine possède un cadran multiplicateur à spirale. C'est un disque en bronze qui fait corps avec une petite roue dentée tournant autour d'un axe fixe. Cette roue engrène avec une crémaillère prolongée par une règle fixée au sommet du chariot de la machine Kirkaldy. Une aiguille est maintenue par une vis de pression sur l'axe autour duquel tourne le cadran. Comme celui-ci a un diamètre dix fois plus grand que la roue dentée qui l'entraîne, les déplacements peuvent se lire très facilement au vingtième de millimètre. Dès que par une certaine tension, on n'a plus à tenir compte du jeu des pièces de la machine, le déplacement du chariot correspond à la déformation de l'éprouvette. Dans la rainure en spirale, que porte le plateau en bronze, se trouve un petit index en fer, qui, étant retenu par l'aiguille, indique le nombre de révolutions du cadran.

S'il s'agit d'expériences de précision, on emploie, quand l'éclairement le permet, un cathétomètre horizontal construit par M. Dumoulin-Froment, de Paris; la vis micrométrique qui opère le déplacement relatif des lunettes permet d'apprécier le 1/200 de millimètre. Il est plus facile de se servir d'un petit appareil consistant (*fig.* 4) en un cylindre vertical C, en ébonite, dont l'axe est supporté par une pince P qu'on applique sur un bout de l'éprouvette au moyen de vis de pression. L'autre bout porte une pince semblable P′, terminée par une lame *ab* et qui

appuie sur la poulie et la fait tourner en se déplaçant parallèlement à elle-même. Un petit miroir M permet d'apprécier la rotation du cylindre par la déviation d'un rayon lumineux. Cet appareil, fondé sur la friction, est très exact et sensible.

Citons aussi un appareil de projection électrique grossissant 20 diamètres, et permettant d'étudier les cassures des métaux et les grains les plus fins.

Expériences sur la rupture des métaux. — Le banc d'épreuves Kirkaldy a permis à M. Roussel de faire de nombreuses expériences sur la résistance des métaux. Il a notamment pu vérifier la loi de Saint-Venant, sur la distribution des forces moléculaires autour d'un point matériel. Des essais à l'écrasement, effectués sur des blocs de fonte et de bronze, ont montré la tendance de ces matériaux à se rompre suivant deux cônes qui se pénètrent mutuellement et qui ont leurs génératrices inclinées à 45 degrés (Pl. V, *fig.* 5). Quelques-uns de ces doubles cônes sont extrêmement nets, grâce à l'homogénéité du métal, et à la parfaite égalité des pressions supportées par les deux bases. Ce résultat est on ne peut plus conforme à la théorie.

Les essais à la traction ont confirmé ce fait, que la résistance spécifique d'un même métal à la rupture est à peu près constante quand les sections des éprouvettes sont géométriquement semblables, mais varie s'il n'en est pas ainsi. C'est ce que semble indiquer la tendance, observée dans toutes les éprouvettes, des fibres centrales à se rompre les premières; en effet, s'il en est ainsi, la proportion de ces fibres dépend de la forme de la section, et par suite aussi la solidité du métal. Ayant marqué sur un barreau de tôle des lignes parallèles, et ayant exercé sur ce barreau une traction capable d'en produire la striction mais non la rupture, on vit les lignes s'infléchir

et indiquer un allongement prédominant des fibres extérieures. On peut faire la même remarque après rupture; la section est toujours creusée vers le centre (*fig.* 6). Ce fait est extrêmement remarquable dans les éprouvettes en plomb; bien avant la rupture, il s'y forme une cavité centrale que rien ne fait soupçonner à l'extérieur; après rupture, on y observe un cône vide qui a une longueur deux ou trois fois supérieure au diamètre de la section (*fig.* 7).

On peut s'expliquer aussi, par la rupture des fibres centrales, que les éprouvettes ne se rompent pas sous la pression maximum. Celle-ci produirait seulement la rupture des fibres centrales; la section résistante se trouvant par là réduite, la rupture définitive pourra avoir lieu sous une charge moindre.

Il semble, d'après ce qui précède, qu'on puisse comprendre ainsi les phénomènes de striction. A partir du moment où l'on a dépassé la limite d'élasticité, l'allongement d'une ou de plusieurs parties des éprouvettes (car on en observe qui ont jusqu'à trois strictions simultanées) devient prédominant. Si l'on supposait chaque fibre indépendante des autres (*fig.* 8), il se produirait en elle le phénomène qu'on observe en étirant un fil de verre fondu, c'est-à-dire une forte contraction. Au voisinage du point prédisposé pour la striction, les fibres cesseraient d'être en contact, mais leurs axes resteraient parallèles et leurs allongements égaux dans la même section. A cause de la cohésion qui existe entre les fibres, il ne saurait en être ainsi; l'axe de la fibre centrale (*fig.* 9) reste seul rectiligne, et les axes des autres fibres se courbent, d'abord dans un sens et plus loin dans l'autre, de façon à rester normaux au plan de symétrie de la striction AB, et au plan CD à partir duquel on peut supposer que le phénomène n'a plus d'influence. Une ligne droite tracée initialement en travers du barreau, devien-

dra la trajectoire orthogonale de ces courbes $\alpha\beta$. Or il est facile de se rendre compte qu'au voisinage du plan de striction AB, l'allongement auquel ont été soumises les fibres est d'autant plus grand qu'elles sont plus voisines de la fibre centrale. Si on développe la fibre ab sur la tangente en b, sa longueur a_1b sera moindre que celle des fibres suivantes, puisque la courbe aa_1 est toujours située à l'intérieur de la courbe $\alpha\beta$. Les efforts qui se développent dans les fibres centrales sont donc prédominants, tant qu'on reste assez près du plan de striction pour que le sens de la courbure des fibres n'ait pas changé.

X. DÉPENSES DES SERVICES DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION.

L'administration des chemins de fer de l'État belge a adopté, depuis 1886, un nouveau mode de comptabilité des dépenses de la traction et du matériel, destiné à jeter beaucoup de clarté sur ces matières. Les dépenses sont rattachées d'un côté à leur objet ou catégorie, de l'autre aux services qui les ont effectuées. On peut donc facilement les récapituler à chacun de ces points de vue.

Répartition des dépenses entre les services. — Les services sont au nombre de sept.

1° Les services centraux, comprenant : (*a*) la direction centrale du matériel et de la traction; (*b*) les districts de la traction et le service des voitures (chefs de districts, leurs adjoints et leur personnel de bureau); (*c*) la commission de réception et son service des essais, le service des approvisionnements et son économat, et les dépôts ressortissant à la direction de la traction et du matériel (le magasin central excepté);

2° Les ateliers centraux, au nombre de douze, dont

les principaux sont ceux de Malines, Mons, Gendbrugge, Bruxelles (quartier Léopold) et Jemelle, chargés des travaux d'entretien et des réparations grandes, moyennes et petites du matériel;

3° Les ateliers des lignes, établis dans de grandes remises, et chargés des petites réparations et de l'alimentation des machines qui leur sont attachées;

4° Les remises et les postes de visite et d'entretien du matériel établis dans les stations;

5° Les travaux de renouvellement, de reconstruction et de réparation du matériel de traction et du matériel de transport, confiés à l'industrie privée;

6° Les décomptes avec les administrations étrangères pour avaries au matériel;

7° La part afférente au service de traction et d'entretien du matériel, des décomptes avec les administrations étrangères pour l'usage en commun de stations, bifurcations et voies.

Répartition des dépenses en catégories. — Les dépenses effectuées par chacun de ces services se répartissent en trente-deux catégories, communes aussi aux voies et travaux et à l'exploitation. Ces catégories sont, comme il suit, réparties en sept grandes classes. On remarquera que les dépenses des catégories 9, 28 et 29 ressortissent forcément à deux classes différentes. Les chiffres placés à la suite de chaque catégorie indiquent le montant des dépenses des sept services dans cette catégorie, pour l'exercice 1886. Les ateliers centraux et ceux des lignes y ont généralement la part de beaucoup la plus grosse. Le détail est donné, quand il présente quelque intérêt, par les chiffres entre parenthèses :

(SC, services centraux; AC, ateliers centraux, etc.; RP, remises des stations et postes de visite; AL, ateliers des lignes.)

A. Dépenses à contre-valeur, dont le montant se retrouve à l'actif du bilan.		4.437.048
1. Premier établissement (AC y entrent seuls).		291.329
2. Fabrication d'objets (AC 3.733.055) pour le réapprovisionnement.		3.838.606
3. Compte de tiers (AC 102.034).		307.113
B. Dépenses d'intérêt général et dépenses étrangères aux services de traction et d'entretien du matériel de traction et de transport (AC 368.576)		1.073.633
4. A charge des frais généraux d'exploitation générale (SC 426.522).		609.441
9. Part des frais généraux des lampisteries afférente à l'exploitation (deux tiers du total).		35.312
11. A charge des frais généraux des transports.		8.374
12. A charge des frais généraux des stations.		60.134
28. Entretien du matériel utilisé dans les stations à l'embarquement et au débarquem. des voyageurs et des transports à grande vitesse.		147.396
29. Entretien du matériel utilisé dans les stations à l'embarquement et au débarquement des marchandises transportées à petite vitesse.		183.981
30. Pour le service des voies et travaux		28.996
31. Pour le service des Postes (non remboursées)		»
32. Pour le service des Télégraphes (non remboursées).		»
C. Dépenses de traction (AC 34.397).		9.534.683
17. Mise en train des locomotives (AL 903.953, RP 50.161).		954.336
18. Dépenses communes aux locomotives à voyageurs et à marchandises pendant la marche	(AL : 8.247.574).	8.580.347
19. Pendant la marche des locomotives à voyageurs et mixtes		
20. Pendant la marche des locomotives de marchandises et manœuvres.		
D. Dépenses de freinage.		1.329.855
28 et 29. Salaires des serre-freins de grande et de petite vitesse et dépenses d'entretien et de renouvellement du petit matériel de ces agents (AL 1.158.238)		1.329.855
E. Dépenses d'entretien, de réparation et de renouvellement du matériel de traction.		5 914.440
13. Tenders (AC 330.003, AL 190.030).		520.344
14. Locomotives à voyageurs et mixtes (AC 1.474.048, AL 530.545, Ind. privée 74.507)		2.089.011
15. Locomotives à marchandises et de manœuvres (AC 2,445,582, AL 852.510).		3.305.084
F. Dépenses d'entretien, de réparation et de renouvellement du matériel de transport		9.091.334
16. Wagons traîneaux		28.977
21. Dépenses d'entretien communes aux voitures et wagons (AC 1.177.487, AL 1.217.618).		2.853.736
22. Dépenses d'entretien, de réparations et de renouvellement communes aux voitures des trains de voyageurs (AC 1.371.759, RP 480.130, Ind. privée 1.079.678)		3.232.113
23. Entretien spécial des voitures de 1re classe (AC 423.610)		445.206
24. Entretien spécial des voitures de 2e classe et mixtes (AC 136.083).		143.702

25. Entretien, réparation et renouvellement des wagons fermés (AC 502.243, AL 126.191, Ind. privée 136.704).	790.185
26. Entretien, réparation et renouvellement des wagons ouverts (AC 1.132.760, AL 303.085)	1.531.005
27. Entretien, réparation et renouvellement des bâches (AC 59.323).	66.412
G. Frais généraux de la traction et du matériel (AC 35.769).	2.630.951
7. Frais généraux des ateliers de locomotives des lignes, salaires des agents en service général et consommations diverses (AL 1.109.910)	1.151.544
8. Frais généraux des ateliers de voitures et wagons des lignes, salaires des agents en service général, etc. (AL 226.121)	255.435
10. Frais généraux du service de la traction et du matériel (Direction 412.763, Districts et voitures 477.224, AL 319.492).	1.206.315
9. Part des frais généraux des lampisteries afférente aux services de la traction et du materiel (un tiers du total).	17.656
Total des dépenses des 32 catégories (AC 13.639.866, AL 15.868.494).	34.011.928

Frais généraux des ateliers centraux. — On voit que dans les frais généraux qui viennent d'être indiqués, ne sont pas portés ceux des ateliers centraux, s'élevant à 1.892.914 francs, et se composant des traitements et indemnités des fonctionnaires et employés (320.354), des salaires, indemnités et primes des agents en service général (742.597), des sommes versées à la caisse de retraites et de secours (166.713), des consommations de service général (138.067), des frais de l'entretien des bureaux, des transbordeurs, grues et de l'outillage en général, sauf les moteurs fixes et les machines-outils (327.003), de la valeur du matériel hors d'usage sauf la précédente exception (134.045) et de divers (63.935). Ces frais généraux composent les catégories n° 5 (pour les locomotives) et n° 6 (pour les wagons et voitures) de la nomenclature générale; ils sont répartis pour chaque atelier entre les trente autres catégories, au prorata du montant des dépenses de chaque catégorie.

Classification dans chaque catégorie. — On établit donc dans chaque catégories les distinctions suivantes, pour lesquelles je prends comme exemple les catégories quatorze et quinze, relatives à l'entretien et à la répa-

ration des locomotives de voyageurs et de marchandises, dans l'atelier central de Malines, qui est le plus important :

	14e CATÉGORIE	15e CATÉGORIE
1) Valeur des matières mises en œuvre à l'exclusion de celles dont la consommation est rapportée aux frais généraux	421.418	789.594
2) Main-d'œuvre. Travail des ouvriers	216.742	397.523
2) Main-d'œuvre. Travail des machines-outils	36.922	69.145
3) Frais généraux (traitements, matières et main-d'œuvre)	99.017	184.042
4) Valeur des matières déduites et restituées aux dépôts	158.525	301.618
Différence 1) + 2) + 3) — 4) ou dépense réelle	615.575	1.138.687

Le tantième des frais généraux en fonction de la main-d'œuvre, pour l'ensemble des catégories, varie suivant les ateliers de 0,27 à 0,48; il est, à Malines, de 0,38 pour l'atelier de locomotives, et de 0,33 pour l'atelier de wagons.

Les catégories cinq et six ne figurent donc pas explicitement dans la coordination des dépenses, puisqu'elles sont réparties entre les trente autres.

Il est à regretter que, par suite de l'établissement de la dix-huitième catégorie, les relevées de la comptabilité ne séparent pas nettement les dépenses de traction afférentes au service des voyageurs de celles du service des marchandises; ils séparent seulement, pour les ateliers des lignes et les postes et remises des stations, les matières consommées de la main-d'œuvre, dans chaque catégorie, comme on vient de le voir dans le précédent tableau pour un des ateliers centraux.

Répartition des frais généraux de la traction et du matériel. — Toutes les classes de dépenses A, B, C, D, E, F, effectuées par le service de la traction et du matériel, ne sont pas imputables à ce service. Il importe donc de répartir préalablement entre elles les frais généraux,

compris dans la classe G. Le montant des dépenses de chacune des catégories 7, 8, 9 et 10 est réparti entre les divers comptes de chacun des sept services, qui ont concouru à les occasionner. La septième catégorie, par exemple, qui comprend les frais généraux des ateliers de locomotives des lignes, sera réparties entre les comptes de fabrication, de mise en marche, de marche et d'entretien des locomotives (cat. 2, 17, 18, 19, 20, 13, 14 et 15) des ateliers des lignes et des remises. Les ateliers centraux ne supporteront leur part que des dépenses de la dixième catégorie, relatives à la direction, et aux bureaux des chefs de service de la traction et des voitures. Les répartitions se font au prorata des dépenses.

D'après ces principes, on arrive à la coordination suivante des dépenses :

	DÉPENSES directes y compris les frais généraux des ateliers centraux	FRAIS généraux	TOTAUX	
1° Dépenses à contre-valeur	4.437.048	122.192	4.559.240	5.687.798
2° Dépenses d'intérêt général ou étrangères au service de traction et d'entretien	1.073.633	54.925	1.128.558	
3° Dépenses de traction	9.534.683	1.468.375	11.003.058	28.324.129
4° Dépenses de freinage	1.329.835	73.550	1.403.385	
5° Entretien, réparation et renouvellement du matériel de traction	5.914.440	381.530	6.295.770	
6° Entretien, réparation et renouv. du matériel de transport	9.091.334	530.580	9.621.914	

Compte général d'exploitation. — Le compte général d'exploitation comprend sept sections, qui sont :

a) Dépenses à contre-valeur;
b) Traction et entretien du matériel;
c) Exploitation proprement dite;
d) Voies et travaux;
e) Dépenses non remboursées par le service des Postes;
f) Dépenses non remboursées par le service des Télégraphes;
g) Frais généraux d'exploitation générale.

Chacune de ces sections reçoit des dépenses imputées, soit par le service de traction et d'entretien du matériel, soit par l'exploitation, soit par le service des voies et travaux, soit par les services divers (magasin central, timbre, imprimés, service général, contrôle des recettes et des matières, masse d'habillement, secours, conférences internationales).

C'est ainsi que les dépenses effectuées par le service de traction et entretien du matériel, sont imputées, comme le tableau ci-dessus permet de le comprendre, pour 28.324.129 francs à ce service, pour 4.559.240 fr. à la section *a*), pour 478.030 francs à la section *c*) de l'exploitation, pour 30.270 francs (catégorie 30 plus les frais généraux) à la section *d*), et pour 620.256 francs (catégorie 4 plus les frais généraux) à la section *g*). Les dépenses de contrôle des recettes et matières ne sont imputées qu'à la section *g*).

Les frais généraux d'exploitation générale [section *g*)] sont ensuite partagées entre les six premières sections, de la façon suivante : ceux qui proviennent du contrôle reçoivent pour dénominateur la somme des dépenses en matières, traitements et salaires, et de la recette totale, et pour numérateur : 1° pour les sections *a*), *b*), *d*), *e*), *f*), la somme des traitements, des salaires et des matières; 2° pour la section *c*), la somme des traitements, des salaires et de la recette. L'exploitation arrive ainsi à y participer pour plus des 3/4, comme il est juste. Les autres frais généraux d'exploitation générale sont répartis entre les diverses sections au prorata du montant de leurs dépenses.

Le compte général *des dépenses d'exploitation* ne présente donc que six sections, dont il paraît intéressant d'exposer les dépenses globales, en distinguant la part dans les frais généraux d'exploitation générale :

1886	MONTANT des dépenses	PART dans les frais généraux d'exploitat. générale	TOTAUX	
a) Dépenses à contre-valeur (cat. 1 à 3) . .	6.402.054	202 190	6 604.344	
b) Traction et matériel. . Traction (cat. 17 à 20) . . .	11.070.228	349.616	11.419.905	
b) Traction et matériel. . Freinage (cat. 28 et 29). . .	1.403.386	44.321	1.447.707	
b) Traction et matériel. . Entretien, etc., du matériel de traction (cat. 13 à 15).	6.311.557	199.329	6 500.886	29.652.462
b) Traction et matériel. . Entretien, etc., du matériel de transport (cat. 16 et 21 à 27).	9.570.324	302.247	9.872.571	
b) Traction et matériel. . Bâches.	389 102	12.804	401.391	
c) Exploitation (cat. 28 et 29)	25.695.609	1.557.584	27.253.193	
d) Voies et travaux (cat. 30).	10.301.583	325.341	10.626.924	
e) Postes (cat. 31).	33.908	1.071	34.979	
f) Télégraphes (cat. 32)	245.089	7.740	252.829	
	71.423.002	3.001.730	74.424.732	

Ces détails étaient nécessaires pour bien montrer l'origine des 29.652.462 francs, montant des dépenses de la traction et du matériel.

Le compte général *d'exploitation* diffère du précédent en ce qu'il ne doit comprendre ni les sections *a*), *e*) et *f*), ni une somme de 1.531.565 francs, relative à la part de la circulation des wagons sur les lignes étrangères, dans l'entretien du matériel de transport. Il se trouve donc réduit à 66.001.074 francs, absorbant 56,8 p. 100 des recettes, et se décomposent ainsi :

Traction et matériel	28.120.957 ou 42 pour 100.
Exploitation.	27.253.193 ou 41 pour 100.
Voies et travaux.	10.626.924 ou 17 pour 100.

Comparaison des dépenses de l'exploitation. — Comparons d'abord l'ensemble de ces dépenses avec les résultats obtenus par les réseaux français, qui sont exploités d'une manière très analogue à celui de l'État belge. On sait (*Annales des mines*, t. XII, p. 323) que ces résultats se résument dans la formule

$$p = \left(1^{c},5 + \frac{300}{F}\right)(1 + 0{,}05\,i),$$

p étant le prix de revient de l'unité kilométrique de trafic, F la fréquentation en milliers d'unités de trafic, i la déclivité moyenne du réseau, qui est égale à 8 environ pour le P.-L.-M.; et à 3 environ pour l'État belge. On en déduit :

1886	ÉTAT BELGE	P.-L.-M.
Milliers d'unités de trafic	2.652.384	5.489.475
Fréquentation	835	710
Valeur de p d'après la formule	2c,14	2c,69
Valeur réelle de p	2c,49	2c,51
Différence entre le calcul et la réalité	+0,35	−0,18

Les résultats sont donc assez analogues, au point de vue du prix de revient de l'unité de trafic. Il se peut d'ailleurs que les coefficients de la formule de M. Noblemaire aient besoin d'être un peu augmentés, pour devenir applicables à un réseau aussi enchevêtré que celui de l'État belge, en sorte que la différence + 0,35 de ce dernier ne serait pas exactement comparable à la différence —0,18 du P.-L.-M.

Il apparaît de suite que ces résultats ont été obtenus de manières totalement différentes. Tandis qu'en France, le service de la traction entre pour 1/3 environ dans les dépenses totales, cette proportion est, en Belgique, notablement dépassée. On remarque, en effet, la réduction du compte voies et travaux; le service des voies et travaux a dépensé en réalité près de 16 millions; mais 5 millions 1/2 sont imputés sur ces derniers aux dépenses à contre-valeur et à l'exploitation. Quoiqu'il en soit, le service du matériel et de la traction n'en occupe pas moins dans les dépenses une part prépondérante.

Comparaison des dépenses de la traction et du matériel. — Si l'on compare, pour ce service, les prix de revient du kilomètre de train sur différents réseaux, on obtient le tableau suivant :

	ÉTAT BELGE	NORD	EST	P.-L.-M.	ENSEMBLE des réseaux français
Traction	0,33093	0,421	0,358	0,525	0,440
Entretien et réparation du matériel de traction	0,18867	0,150	0,145	0,181	0,177
Entretien et réparation du matériel de transport (1)	0,24492	0,236	0,229	0,206	0,212
Renouvellement du matériel	Compris dans les précédents	0,029	0,025	»	0,022
Total	0,76452	0,837	0,757	0,912	0,881
Dépenses diverses (freinage)	0,04195 frais génér. d'expl. gén.	0,029	0,056	0,032	»
Frais généraux et d'administration	0,02573	0,018	0,051	0,034	»
Ensemble	0,84061	0,884	0,864	0,978	»
Parcours des trains de l'exploitation	33.452.357	35.239.689	30.901.163	51.946.015	199.762.794

(1) Il est juste, puisqu'on ne considère que les parcours des trains de l'État belge, de ne faire entrer dans les dépenses du matériel de transport que la partie afférente à son parcours dans ces trains. Par un partage proportionnel, ces dépenses se trouvent réduites à 8.742.457 (dont 267.648 pour les frais généraux d'exploitation générale), d'où on déduit le chiffre ci-contre. On a d'ailleurs compris dans ces 8.742.457 francs, 215.440 francs pour avaries faites aux wagons étrangers dans les trains de l'État.

Cette comparaison, qu'il est d'usage d'effectuer, serait donc très favorable à l'État belge, grâce à l'activité de sa circulation, si l'on pouvait affirmer que les trains étaient identiques sur les réseaux mis en parallèle.

Or, nous savons qu'il n'en est rien, puisque le tonnage kilométrique brut de l'État belge a été de 6.695.512.680^{TK}, et celui du P.-L.-M. de 12.707 millions, d'où il résulte que la charge moyenne d'un train a été sur le premier réseau de 200^{T}, et sur le second de 245^{T}.

Si, pour éliminer l'influence de cette différence, nous multiplions par $\frac{245}{200}$ les dépenses de l'État belge, nous trouvons les nombres :

	ÉTAT BELGE	P.-L.-M.	DIFFÉRENCES	DIFFÉRENCES relatives par rapport au P.-L.-M.
Traction	0,403	0,525	— 0,122	— 23 p. 100
Matériel de traction	0,230	0,181	+ 0,049	+ 27 p. 100
Matériel de transport	0,299	0,206	+ 0,093	+ 45 p. 100
Total	0,932	0,912	+ 0,020	+ 2 p. 100

Ces nombres donnent une idée très nette des économies réalisées par l'État belge sur le service de la traction, et du surcroît de dépenses que lui occasionnent l'entretien, le renouvellement et la réparation de son matériel de traction et surtout de son matériel de transport.

Donnons à ce sujet les détails suivants:

(Les nombres entre parenthèses indiquent les effectifs.)	DÉPENSES directes	FRAIS généraux	DÉPENSES totales	PRIX DE REVIENT par locomotive	PRIX DE REVIENT par locomotive-kilomètre	PRIX DE REVIENT par véhicule	PRIX DE REVIENT par véhicule-kilomètre
Locomotives (1.792). Entretien et réparations.	5.323.096	342.008	5.665.104	3.161	0,124	»	»
Renouvellement	71.000	1.045	72.045	40	0,002	»	»
Tenders (1.182) . . . Entretien et réparations.	520.344	38.276	538.660	472	0,016	»	»
Renouvellement	»	»	»	(par tender)			
Ensemble du matériel de traction	5.914.440	381.329	6,295.769	3.346	0,138	»	0,032
Véhicules des trains de voyageurs (4.192):							
Entretien et réparations	4.398.086	229.480	4.627.566	»	»	1.104	0,0278
Renouvellement	455.500	5.929	461.423	»	»	110	0,0028
Véhicules des trains de marchand. (41.414):							
Fermés (6.419) { Entretien et réparations	1.087.702	71.828	1.159.530	»	»	179	0,0123
Fermés (6.419) { Renouvellement	11.620	151	11.771	»	»	1,83	0,000055
Ouverts (34.995) { Entretien et réparations	3.061.753	220.021	3.281.774	»	»	94	0,0104
Ouverts (34.995) { Renouvellement	10.260	133	10.393	»	»	0,29	0,000005
Ensemble du matériel de transport des voyageurs	4.853.586	235.403	5.088.989	»	»	1.214	0,0306
Ensemble du matériel de transport des marchandises	4.171.336	292.134	4.463.470	»	»	107	0,0109
Ensemble du matériel de transport	9.024.922	527.537	9.552.459	»	»	209	0,0166
Bâches (entretien, réparations et renouvellement)	379.797	9.305	389.102	par bâche 34	»	»	»

Il résulte de là que l'entretien et la réparation sont les principaux facteurs de ces dépenses, où le renouvellement n'entre que pour peu de chose.

Les dépenses du matériel de traction paraissent supérieures de 1/10e environ par locomotive et tender à ce qu'elles sont en France. Quant à celles du matériel de transport, on voit que les véhicules réservés aux trains de voyageurs y occupent une place tout à fait prédominante, puisque la dépense annuelle de chaque véhicule a dépassé 1.100 francs, c'est-à-dire le 1/5e ou le 1/6e de sa valeur; elle avait été de 912 francs en 1885. L'État belge semble donc être pour ces véhicules dans une période de réparations tout à fait anormale et surchargée. Mais il paraît rationnel que la dépense annuelle d'un véhicule quelconque soit proportionnelle d'un côté à son parcours kilométrique, de l'autre à son prix de fabrication; car si un wagon plate-forme et une voiture de première classe effectuent dans l'année des trajets égaux, ils auront subi la même fatigue; mais l'entretien et la réparation de la voiture coûteront beaucoup plus cher, en raison de son luxe. Or sur l'État belge, en 1886, les véhicules réservés aux convois de voyageurs ont parcouru, en moyenne, chacun 40.000 kilomètres, et ceux réservés aux trains de marchandises, chacun 9.900 kilomètres. La dépense annuelle d'un wagon est donc, de ce chef, environ quatre fois moindre que celle d'une voiture; et il suffit de supposer que la valeur moyenne d'un véhicule à marchandises est deux fois et demi plus faible que celle d'un véhicule à voyageurs, — ce qui n'est pas sans doute éloigné de la vérité, vu le grand nombre de wagons ouverts qui entrent dans la composition du matériel à marchandises, — pour obtenir comme rapport théorique des dépenses le nombre 10. C'est à peu près celui des dépenses réelles 1.104 et 107 francs. On est donc fondé à estimer la dépense d'entretien et de réparation des wagons tout aussi exagérée que celle des voitures, par rapport à l'ensemble des réseaux français et surtout du chemin de fer de Lyon.

Ces divergences peuvent tenir à l'ancienneté plus grande du matériel de l'État belge, et aussi à ce que les comptes de ce dernier réseau sont grevés des frais généraux, réunis à part dans les réseaux français. Il paraît donc rationnel de ne faire intervenir dans les comparaisons que les dépenses dites directes dans les comptes de l'État belge.

Il est même à noter que ces dépenses directes comprennent les frais généraux des ateliers centraux s'élevant à 1.892.914 francs pour une dépense totale de 13.639.864 francs effectuée par ces ateliers. Comme la comptabilité ne les indique pas séparément pour chacun des comptes : dépenses à contre-valeur, traction, etc..., et qu'une répartition exacte serait longue et difficile, je les répartirai simplement au prorata des montants de ces comptes, montants exposés à la page 160 (sous la rubrique AC). On obtient ainsi les résultats :

COMPTES	DÉPENSES directes et frais généraux des ateliers centraux	FRAIS généraux répartis proportionnellement aux dépenses des ateliers centraux	DÉPENSES directes
Traction	9.534.683	4.742	9.529.941
Matériel de traction	5.914.440	586.803	5.327.637
Matériel de transport	8.645.125	668.198	8.736.521
Bâches	379.797		

Il convient maintenant d'isoler la part des dépenses du matériel de transport afférente à la circulation des véhicules dans les trains de l'État. En distrayant de la somme de 8.736.521 francs, celle de 215.440 francs pour avaries au matériel étranger, il reste 8.521.081 francs. Or, les dépenses du matériel de transport, frais généraux compris,

ont été ainsi réduites de 9.726.121 à 8.259.369 francs. En réduisant de même la somme de 8.521.081 francs, on trouve 7.234.398 francs qui, ajoutée aux 215.440 francs distraits, donne une dépense directe totale de 7.449.838. On peut alors dresser le tableau suivant :

	ÉTAT BELGE			P.-L.-M.		
	DÉPENSES directes, sans aucuns frais généraux, afférentes à la circulation du matériel dans les trains de l'Etat	DÉPENSES directes par kilomètre de train — 33.452.367 kilomètres	DÉPENSES directes, multipliées par $\frac{245}{200}$, pour uniformiser les charges	DÉPENSES directes par kilomètre de train	DIFFÉRENCE entre l'État belge et le P.-L.-M.	DIFFÉRENCE relative rapportée au P.-L.-M.
Traction	9.529.941	0f,284	0f,346	0f,525	—0,179	— 34 %
Entretien, etc., du matériel de traction	5.327.637	0,158	0,192	0,181	+0,011	+ 6 %
Entretien, etc., du matériel de transport	7.449.838	0,222	0,270	0,206	+0,064	+ 31 %
Ensemble	22.307.516	0f,664	0f,808	0f,912	—0,104	— 11 %

On voit que l'État belge réalise une économie de plus de 11 p. 100 sur les dépenses directes des principaux services du matériel et de la traction.

La cause en est uniquement dans l'économie de 34 p. 100 procurée par le service de la traction; l'entretien et la réparation du matériel de transport occupent toujours une part relativement prédominante, et surpassent de près de 1/3 les dépenses analogues du P.-L.-M. L'ancienneté du matériel peut, comme je l'ai dit, en être une cause; faut-il en voir une autre dans la dissémination du travail de réparations, sur le réseau belge, entre un nombre d'ateliers centraux plus considérable que sur le P.-L.-M., chacun d'eux étant par suite moins important?

De plus, les frais généraux de toute nature, provenant des services du matériel et de la traction ou imputables à ces services, se sont élevés à la somme de 4.952.525 fr., soit à 0,148 par kilomètre de train. Cette somme de 0f,148 est trois ou quatre fois plus forte que celle qu'indiquent les compagnies françaises.

Il est probable que les mêmes dépenses ne sont pas, dans les deux cas, portées aux comptes frais généraux. A l'État belge, sur trente-deux catégories de dépenses, neuf (cat. 4 à 12) sont réservées aux frais généraux, et on y fait sans doute rentrer beaucoup de dépenses qui, en France, sont portées comme dépenses directes.

Deux faits n'en résultent pas moins très nettement des comparaisons précédentes. Pour le matériel de transport, l'État belge dépense, par kilomètre de train également chargé, un tiers au moins de plus que le P.-L.M.; mais, pour la traction, en prenant la même unité de comparaison, il dépense de 1/4 à 1/3 en moins. Il est intéressant de jeter un coup d'œil sur les moyens par lesquels est obtenue cette dernière économie.

Économies sur le service de la traction. — Observons d'abord qu'il n'y a entre la France et la Belgique qu'une faible différence dans le prix général de la main-d'œuvre (il serait loin d'en être ainsi, si nous faisions intervenir l'Amérique dans nos comparaisons). Si, par conséquent, une entreprise belge et surtout une entreprise aussi indépendante des circonstances locales que les chemins de fer qui rayonnent sur tout le pays, vient à réaliser une économie de main-d'œuvre de 10 p. 100, sur une entreprise française qui accomplirait le même travail, cette économie devra être attribuée presque en entier aux qualités intrinsèques de l'entreprise, et non aux conditions de la vie sociale.

Il en est tout autrement en ce qui regarde les matières

consommées et spécialement les combustibles; il existe pour leur nature et leur prix entre les compagnies françaises et l'État belge une différence complète. Quand il s'agit de charbons de même nature, pouvant brûler sur la même grille, on conçoit qu'on tienne compte, dans les parallèles établis, des écarts de prix et de teneur en cendres.

Mais l'État belge a pensé qu'il lui serait plus avantageux de ne consommer que des houilles menues et à bas prix, dont il brûle naturellement une quantité spécifique plus grande que celles des compagnies françaises qui emploient un bon charbon. Si on veut apprécier les résultats obtenus par l'une et l'autre méthode, il faut laisser l'une profiter de ses bas prix d'achat, l'autre de la qualité de ses charbons.

La seule unité de comparaison rationnelle est la tonne kilométrique brute; nous l'adopterons donc pour former le tableau suivant, où les dépenses de l'État belge sont celles indiquées à la page 84, augmentées des dépenses des remises et postes de visite et d'entretien établis dans les stations même (348.758 francs) et des dépenses des ateliers centraux (34.397 francs) :

	DÉPENSES de l'Etat belge 6.695 1/2 millions de tonnes brutes kilométriq.	DÉPENSES du P.-L.-M. 12.707 millions de tonnes brutes kilométriq.	DÉPENSES par millier de tonnes-kilom. brutes		DIFFÉRENCES	DIFFÉRENCES relatives par rapport au P.-L.-M.
			État belge	P.-L.-M.		
Salaires, primes, indemnités	5 229.247	9.317.304	0,780	0,733	+0,047	+ 6 %
Combustibles	2.790.778	15.949.656	0,416	1,263	−0,847	− 67
Graissage et éclairage des locomotives	759.524	1.410.786	0,115	0,111	+0,004	+ 4
Alimentation d'eau et divers.	755.134	580.817	0,113	0,038	+0,075	+200
Ensemble	9.534 683	27.258.563	1,424	2,145	−0,721	− 33
Combustibles avec le prix des transports	3.675.600	15.949.656	0,549	1,263	−0,714	− 56
Ensemble	10.419.505	27.258.563	1,557	2,145	−0,588	− 27 %

On voit par là que si l'on rapporte les dépenses de traction à la tonne kilométrique brute, l'État belge ne réalise d'économie que sur l'article combustibles; mais l'économie est considérable, 56 p. 100, bien qu'il consomme par tonne kilométrique brute une quantité de charbon presque double de celle du P.-L.-M. Il y a, au contraire, surcroît pour les deux derniers articles; mais il ne faut pas oublier que, pour l'État belge, l'article graissage et éclairage des locomotives comprend aussi le renouvellement des objets du matériel affectés au service de traction proprement dit (le graissage seul ne s'est élevé qu'à 161.284 francs, soit 0f,024 par millier de tonnes kilométriques brutes); et que l'article alimentation d'eau et divers comprend aussi le nettoyage des locomotives par l'industrie privée, le chargement et le déchargement des charbons par l'industrie privée, etc. Ces deux articles ont d'ailleurs peu d'importance.

Quant aux salaires, le surcroît de 6 p. 100 n'indique pas une moins bonne utilisation de l'équipe par l'État belge. S'il est rationnel de rapporter à la tonne kilométrique brute l'ensemble des dépenses, celles des salaires des mécaniciens et chauffeurs doivent plutôt l'être au kilomètre de train, puisque ces salaires varient peu avec la charge remorquée. Or, on a pour les deux réseaux par kilomètre de train de l'exploitation :

Salaires, primes, etc. { État belge 0f,156
P.-L.-M. 0f,178

Pour conduire un nombre donné de trains, l'État belge dépense donc 12 p. 100 de moins que le P.-L.-M. en salaires; les nombres indiqués pour le P.-L.M. ne comprennent même que les salaires des mécaniciens et chauffeurs, et ceux de l'État belge comprennent en outre les salaires des manœuvres préposés à l'allumage et au nettoyage des machines, des agents du service hydraulique

et, en général, de tous les agents utiles à la mise en marche et à la marche des locomotives. On peut donc dire que l'État belge emploie l'équipe d'une façon plus avantageuse que le P.-L.-M., ce qui tient évidemment aux conditions plus favorables où se trouve placé ce réseau. Ces conditions consistent principalement, comme je l'ai déjà dit, dans l'activité plus grande de la circulation qui donne des horaires plus chargés, et facilite la combinaison des services des mécaniciens et des chauffeurs. Les mesures prises pour augmenter le travail de route de ces agents concourent aussi à l'économie générale.

Mais l'activité de la circulation a, sur l'État belge, sa contre-partie; la faible charge moyenne des trains, imputable surtout aux convois de marchandises. C'est à elle seule qu'il faut attribuer le surcroît de 6 p. 100 constaté dans les salaires de l'État belge par rapport à ceux du P.-L.-M., quand on prend pour unité la tonne kilométrique brute. C'est là un inconvénient inhérent à la constitution même du réseau belge, à la multiplicité des directions du trafic : ces conditions ont été précisées au début de cette étude.

Au sujet des combustibles, une dernière question se pose pour pouvoir apprécier avec justice les économies réalisées sur l'État belge par l'emploi des foyers Belpaire; c'est celle-ci :

Quelle eût été sur le P.-L.-M. la dépense de combustible par millier de tonnes brutes kilométriques, si cette compagnie eût pu se procurer ses charbons au même prix qu'en Belgique, et si elle eût eu à supporter par tonne de charbon la même dépense de transport que l'État belge? Avec ses charbons menus et demi-gras, l'État belge consomme par 1.000 tonnes kilométriques brutes $87^{kg},2$, à $6^{f},29$ la tonne, transport ($1^{f},52$) compris. Le P.-L.-M. use $48^{kg},6$ de charbons plus propres et plus

gros qu'il se procure en France à $22^{f},50$ environ la tonne, sans le prix du transport. Il paierait en Belgique les mêmes charbons à 10 p. 100 de cendres, environ 15 fr., soit avec le transport $16^{f},50$. L'économie en faveur de l'État belge se réduirait alors à $0^{f},802$—$0^{f},549$ ou $0^{f},253$, c'est-à-dire à 31 1/2 p. 100. L'économie serait encore plus grande si les trains étaient également lourds sur les deux réseaux, car alors l'État belge brûlerait une moindre quantité de charbon par tonne kilométrique brute, ne serait-ce qu'en vertu de la diminution du poids de la locomotive et du tender par rapport au reste du train. Quoi qu'il en soit, ces chiffres montrent quelle partie de l'économie réalisée par les foyers Belpaire, on doit attribuer au bas prix des charbons en Belgique et à la faible distance moyenne de leur transport.

Carnets historiques des locomotives. — Une intéressante innovation, relative à un autre genre de statistique, a été introduite en 1888 dans le service du matériel et de la traction. Chaque locomotive a été pourvue d'un carnet relatant tous les faits de son histoire.

On note sur ce carnet, à chaque fin d'année et à chaque changement de dépôt détenteur, les kilomètres parcourus, le combustible et l'huile de graissage consommés, les parcours totaux de la machine, de la tubulure, de l'essieu coudé et des deux cylindres depuis le 31 décembre dernier.

Les mêmes éléments sont notés à chaque réparation; on y ajoute la durée de la réparation, son importance et son coût en matières, main-d'œuvre et frais généraux, ainsi que toutes les particularités (changement d'épaisseur, soufflures, état des tables de tiroirs, etc.) que pourraient présenter les différentes parties de la machine, lors de la visite qui précède la réparation.

Une troisième partie a trait à l'état descriptif des par-

ties de la locomotive. Pour la chaudière, on indique la nature des matières et les cotes principales; un soin particulier est donné aux mentions des soupapes de sûreté : on indique leur nombre, leur forme et leur matière, leur surface, le mode d'application de la charge, la longueur des bras de levier, le poids du disque, l'effort dû au poids du levier sur la soupape, l'effort à appliquer et la charge totale. On note ensuite les dates et durées des réparations, et les changements survenus dans les dimensions principales par suite de ces réparations. Pour le foyer, la tubulure et la boîte à fumée, avec tous leurs accessoires (entretoises, tirants du ciel, rivets du cadre, coins, viroles), le carnet renseigne sur le mode de visite, l'état de conservation de ces parties jusqu'au jour de l'établissement de cette statistique, en spécifiant les parties qui auraient été dégarnies de leurs enveloppes; puis, à partir de sa mise en vigueur, sur les réparations importantes effectuées, leurs dates et leurs prix, les parcours accomplis entre les changements de tubulure et les particularités présentées par les tubes. Pour chacun des cylindres, sont indiqués les noms du fournisseur et du fabricant, les dates de réception, de mise en service et de montage sur la machine, les épaisseurs des parois et les avaries constatées aux différentes visites, la cause des avaries, les réparations effectuées, la date et la cause du retrait de la machine et de la mise hors de service, et le parcours total. Les renseignements relatifs à l'essieu coudé sont très analogues à ceux des cylindres. Rien n'est spécifié pour les bandages ni pour le frein Westinghouse. Enfin, tous les essais effectués avec ou sur la machine doivent être relatés sur le carnet, avec leur objet, leur date, leur durée, leurs résultats.

XI. LES CHAUDIÈRES DES NOUVELLES LOCOMOTIVES A MARCHANDISES POUR FORTES RAMPES.

Modifications apportées aux locomotives à marchandises. — Les locomotives à marchandises du type 29 remorquent, sur les rampes de 12 à 16 millimètres qui entrent pour 30 p. 100 dans le développement total des lignes du Luxembourg, une charge de 225 tonnes à la vitesse moyenne de 15 kilomètres à l'heure. Sous des influences atmosphériques défavorables, cette charge dépasse même la limite de l'adhérence, et dans les meilleures conditions, elle n'est atteinte qu'en travaillant à la limite de vaporisation de la chaudière, c'est-à-dire en activant, autant que possible, le feu, et au prix d'un entraînement considérable de charbon non brûlé.

Or, ces conditions de vitesse et de charge ne suffisant plus au trafic des lignes du Luxembourg, on a recherché un moteur assez puissant pour donner une vitesse supérieure. Ce résultat ne pouvant être atteint qu'en augmentant la production de vapeur, le type 25 est caractérisé par une modification radicale de l'appareil de vaporisation (Pl. IV, *fig.* 4, et Pl. V, *fig.* 10).

La surface de grille a été doublée, c'est-à-dire portée à plus de 5 mètres carrés, de manière qu'on puisse y brûler dans des conditions favorables une quantité beaucoup plus grande de charbon. La section de passage des gaz dans les tubes a été augmentée de 11 p. 100. La boîte à fumée est surmontée d'une cheminée, dont la section, large à la base, est minimum au sommet; la cheminée fait donc en quelque sorte partie de la boîte à fumée qui devient ainsi très grande. Il en résulte que le tirage est très doux, et qu'il ne se produit plus de ces à-coups brusques qui désorganisent le feu et amènent des entraînements de combustible. La dépression dans la boîte

à fumée est rendue impuissante à détruire le feu; mais elle suffit à provoquer l'appel d'air nécessaire. Si on jugeait cet appel insuffisant, on pourrait l'augmenter en serrant l'échappement. On dispose donc d'un appareil fonctionnant plus régulièrement et présentant bien plus d'élasticité que l'ancienne boîte à fumée avec sa cheminée Prüssmann.

Le caractère le plus saillant du nouveau type est l'augmentation considérable de la surface de grille par rapport à la surface de chauffe. La dimension énorme de la grille a été obtenue sur la largeur, en élevant le foyer au-dessus des roues. Il en résulte un foyer beaucoup moins haut et qui constitue en lui-même une nouveauté, en Europe du moins. La surface de chauffe directe n'est que de 3 p. 100 plus grande dans le type 25 que dans le type 29, et la surface indirecte de 11 p. 100 (la surface totale de 10 p. 100). Il ne faut pas en conclure que le rayonnement de la grille est moins bien utilisé dans le nouveau type, car si l'on imagine deux surfaces directes, recouvrant chacune entièrement la même grille à des distances différentes, elles recevront la même quantité de chaleur, quelle que soit leur étendue. La plus rapprochée souffrira le plus, mais la vaporisation totale sera à peu près la même sur les deux. La surface du type 25, plus réduite par rapport à la grille que celle du type 29, donc doit recevoir une plus forte proportion de la chaleur produite.

Essais comparatifs des types 25 *et* 29. — Ces deux types ont été, de la part du Comité de l'industrie institué au sujet de l'exposition d'Anvers en 1885, l'objet d'essais comparatifs, sur la ligne de Namur à Assesse qui, longue de 18 kilomètres, contient deux rampes de 16 millimètres longues ensemble de 11^{km},500 (*fig.* 1, Pl. VI).

Pour un essai, il faut que la chaudière soit à la fin de

l'expérience dans les mêmes conditions qu'au début; lorsque l'essai est court, il faut donc peser deux fois le combustible qui est sur la grille. Cette opération est facile et ne dure que 3 ou 4 minutes, et si l'on a eu soin d'avoir 15 à 20 kilogrammes de charbon bien incandescent au mètre carré, le feu reprend tout de suite et on peut faire de la vapeur immédiatement après. Il était à craindre cependant que dans du combustible aussi fraîchement chargé, on ne rencontrât pas les conditions spéciales qu'il faut réaliser pour préparer un feu destiné à remonter 12 kilomètres de rampe de 16 millimètres. Le mécanicien pensait que le feu devait avoir le temps de s'agglomérer un peu pour résister aux coups de l'échappement, et il croyait ne pas pouvoir se servir de tout son tirage.

L'expérience a paru indiquer que ces craintes étaient exagérées; néanmoins, pour ne pas s'exposer à effectuer le premier voyage dans des conditions moins bonnes, on fit consister l'essai dans une série de six voyages aller et retour. Les observations permettaient d'isoler le résultat des montées de celui des descentes; pour le combustible, les observations partielles sont cependant peu certaines, car la quantité de charbon restant sur la grille n'était pas toujours la même; mais dans l'ensemble, les irrégularités se compensent.

Au moment où la grille était découverte, pendant la pesée de combustible, on observa la pression et le niveau d'eau; ces observations eurent lieu au début et à la fin de l'essai. Après chaque demi-voyage, les niveaux furent ramenés à la hauteur initiale. Le niveau de l'eau dans le tender était observé dans deux tubes de verre placés sur les faces latérales et dans un même plan vertical passant par le centre de figure. On mesurait l'eau employée au mouillage du charbon et la partie perdue de l'eau des injections.

Comme on ne pouvait mesurer la vaporisation sur les 11 kil. 1/2 de rampe, indépendamment de celle sur les 6 kil. 1/2 de palier, on l'a calculée en s'appuyant sur ce principe approximatif, que la consommation de vapeur de la locomotive est, à chaque instant, proportionnelle au travail qu'elle fait. Il fallait donc connaître la résistance du train, pour en conclure le travail de chaque montée, et, par l'observation de la vapeur consommée pendant la montée, on obtiendra la quantité de vapeur consommée et produite par cheval et par heure. Il sera ensuite facile de l'évaluer pour une partie quelconque du trajet.

Pour ne pas avoir à évaluer le travail par la prise simultanée de diagrammes sur les deux cylindres, environ toutes les minutes et pendant tout un trajet d'essai préalable, on a adopté une formule pour exprimer la résistance du train.

Il suffisait même, pour le calcul à faire, d'avoir un chiffre proportionnel à cette résistance. Or, dans les formules qui indiquent la résistance d'un train, la donnée la plus incertaine est celle qui représente l'augmentation de frottement de la machine due au travail qu'elle fait. Ces frottements étant à peu près proportionnels à la charge, on pouvait donc se dispenser de les introduire, et on s'est servi d'une formule donnée, comme convenant au matériel de l'État, par M. Masui, ingénieur en chef, et qui représente les frottements des trains, ceux du tender et de la locomotive considérés comme véhicules, et ceux de la machine à vide. R étant cette résistance en kilogrammes, T le poids du train en tonnes, L celui du tender et de la locomotive, V la vitesse en kilomètres, i la pente en millimètres, on aura

$$R = T(1{,}83 + 0{,}0843\,V + i) + L(5 + 0{,}0843\,V + i)$$
$$= (T + L)(1{,}83 + 0{,}0843\,V + i) + 3{,}17\,L.$$

C'est à peu près la formule de l'Est français.

Vaporisation observée. — Il est impossible de séparer la consommation en stationnement de celle qui se fait dans le trajet suivant, car c'est dans le stationnement qu'on prépare le feu qui doit être brûlé en route; les quantités considérables que l'on charge n'ont pas d'autre but. Néanmoins, le stationnement est en lui-même une cause de consommation; la locomotive se refroidit, et le charbon chargé sur la grille distille ses gaz en pure perte. La production de vapeur trouvée par kilogramme de charbon est donc inférieure à ce qu'elle est réellement en route, surtout pour la montée. Mais il y a une autre erreur, en trop celle-là, provenant de ce qu'on n'a pu faire la correction relative à la petite quantité d'eau entraînée, comme on le verra plus loin.

Voici les résultats trouvés :

	TYPE 29	TYPE 25
Vaporisation par kilogramme de charbon en montant (eau à 0°, vapeur à 5 atmosphères).	6k,56	6k,91
Vaporisation pour tout l'essai (y compris le dernier stationnement à Namur).	6 ,47	6 ,59
Vaporisation par mètre carré et par heure en montant (eau à 0°, vap. à 5 atm), moyenne générale de toutes les montées de Namur à Assesse.	53 ,2	58 ,2
Idem, moyenne générale sur les rampes de 16 millim., en retranchant le premier kilomètre de chaque rampe, où se fait sentir l'influence du lancé, c'est-à-dire en ne considérant que les kilomètres 64 à 69 et 72 à 76. . . .	63 ,1	77 ,2
Vaporisation par mètre carré et par heure pour le trajet le plus rapide sur la même partie de la voie que précédemment	69 ,8	90 ,5

Ces rendements sont très favorables, si l'on considère les vaporisations observées par mètre carré. Il est très remarquable que la vaporisation plus forte du type 25 n'ait pas pour conséquence un rendement inférieur et donne même un rendement meilleur.

Le type 25 donne 51/1000 d'économie de charbon relativement au type 29, tout en produisant en moyenne 94/1000 de vapeur en plus, sur les montées. La production de vapeur sur rampe a dépassé en moyenne de 22

p. 100 celle du type 29, et le maximum a dépassé de 29 p. 100 le maximum du type 29. Le fait que les tubes du type 25 étaient en acier et ceux du type 29 en laiton, ne paraît avoir joué aucun rôle dans la transmission de la chaleur, ce qui est conforme, du reste, à ce que l'on sait.

Au retour, le type 25 a toujours donné une vaporisation moindre que le type 29 (en moyenne $5^{kg},57$, au lieu de 6,54 par kilogramme de charbon); cela tient simplement à ce que, pendant chacun des trajets d'Assesse à Namur, qui durent environ 40 minutes, on a nettoyé les feux, opération qui est toujours une cause de perte et qui a dû agir plus vivement sur le type 25, dont le nettoyage est plus long.

Travail accompli. — On a calculé, suivant la formule indiquée, le travail correspondant à chacun des kilomètres parcourus, en chevaux-heures; mais les forces en chevaux qu'on en déduit ne sont exactes que si la locomotive sort du kilomètre auquel se rapporte le calcul, avec la même vitesse qu'elle y est entrée. C'est ainsi que la machine, parvenue au sommet de la première rampe (kil. 69), se lance sur le palier de Nanine, avant d'atteindre le pied de la seconde rampe (kil. 71); on a donc exclu des moyennes les kil. 69 à 72. Les consommations de $2^{kg},08$ de charbon par cheval-heure pour le type 29, et de 2 kilogrammes pour le type 25, seraient moindres si on les rapportait au cheval indiqué, c'est-à-dire en tenant compte des frottements additionnels de la machine.

Quoiqu'il en soit, la consommation assez faible de 2 kilogrammes confirme qu'il ne peut y avoir eu beaucoup d'eau entraînée.

Voici les principaux résultats observés ou calculés :

	TYPE 29	TYPE 25
Ensemble des montées.	6 voyages	5 voyages
Total des chevaux-heures dépensés aux montées. . . .	1.591,6	1.511,5
Vapeur totale consommée	21.828	21.092
Vapeur consommée par cheval-heure.	$13^{kg},71$	$13^{kg},95$
Charbon par cheval-heure, stationnement à Namur inclus.	$2^{kg},08$	$2^{kg},00$
Marche sur rampe de 16 millimètres (kilom. 64 à 69 et 72 à 76).		
Force moyenne développée en chevaux.	525	680
Charbon par heure	1.046^{kg}	1.318^{kg}
Charbon par heure et par mètre carré de grille.	360	256
Charbon par heure pour le trajet le plus rapide.	1.157	1.576
Charbon par heure et par mètre carré de grille pour le trajet le plus rapide.	398	306
Vitesse (sur les rampes) de ce trajet le plus rapide . . .	27^{km}	33^{km}
Pression moyenne sur la première rampe	$8^{atm},6$	$9^{atm},25$
Pression moyenne sur la deuxième rampe.	$8^{atm},4$	$9^{atm},1$

Vitesses et pressions. — La vitesse acquise par le train est l'élément le plus important des observations. L'examen des diagrammes tracés pour chaque voyage montre que la machine, après s'être lancée sur la voie, à peu près horizontale au départ de Namur, aborde la première rampe avec une vitesse qui a été en moyenne de $40^{km},16$ pour le type 29 et de $41^{km},66$ pour le type 25. Après 1/2 kilomètre de rampe, le lancé n'a plus d'influence, et, à partir de la borne 64, on peut considérer la vitesse comme le résultat de la puissance développée à chaque instant. La vitesse moyenne entre la 64e et la 69e borne a été de $25^{km},9$ pour le type 29, et de $28^{km},9$ pour le type 25. Celui-ci accélère même sa marche en montant, et fait en moyenne $30^{km},6$ au sommet de la rampe, tandis que l'autre ne fait que $24^{km},8$ (*fig.* 1, Pl. VI).

Le type 29 arrive au pied de la seconde rampe avec une vitesse de $52^{km},91$, et le type 25 avec une vitesse de $55^{km},9$. Il faut 2 à 3 kilomètres de rampe pour éteindre l'excès de force vive acquise, et lorsque la vitesse est à son minimum, le mécanicien, qui n'a plus besoin de vapeur que pour 1 ou 2 kilomètres, cesse d'alimenter,

de manière à employer toute l'ardeur de son feu à faire de la vapeur; bientôt après, il augmente son admission, ce qui produit une accélération très notable tout en faisant tomber la pression. La machine n'a donc jamais, sur la seconde rampe, une allure régulière, ce que les diagrammes montrent par la forme fortement concave de la courbe. Lorsque l'on est au-dessus de la rampe, on met les deux injecteurs en train, et la pression continue à tomber. Bientôt après, on est sur la pente et le régulateur est fermé. En somme, on arrive à Assesse avec moins d'eau et moins de pression qu'au départ de Namur.

La vitesse moyenne entre les bornes 72 et 76 a été de $25^{km},6$ avec le type 29 et de $31^{km},8$ avec le type 25. Le type 29 remonte donc, en moyenne, la seconde rampe moins vite que la première. Mais ce fait n'est pas constant, car sur six voyages, la vitesse sur la seconde rampe a été quatre fois supérieure et deux fois inférieure à celle de la première, mais l'examen des diagrammes montre que la situation réelle est celle-ci : la chaudière fait toujours moins facilement sa vapeur sur la deuxième rampe que sur la première.

L'augmentation de vitesse moyenne, que l'on observe quelquefois sur cette rampe, n'est donc due qu'au lancé et au coup de collier final. On est confirmé dans cette idée par ce fait, que le minimum de la vitesse sur la seconde rampe est toujours moindre ($21^{km},91$ en moyenne) que la vitesse moyenne ($25^{km},8$) sur la première rampe. Or ce minimum se rencontre au moment où l'effet du lancé est épuisé et où la machine marche à l'admission ordinaire avant le coup de collier qui accélère sa vitesse aux dépens de la pression. A ce moment, la pression est encore intacte et les feux sont aussi vifs que possible. Le minimum devrait donc être supérieur à la première montée, et s'il ne l'est pas, c'est que le foyer n'est plus

dans des conditions aussi favorables, et que le mâchefer aggloméré commence à gêner le tirage.

Cet effet ne se produit pas avec le type 25, où la combustion, beaucoup moins active, n'encrasse pas autant la grille. Aussi le minimum de la deuxième rampe est-il de $29^{km},4$, alors que la vitesse moyenne de la première est de $28^{km},9$. Toutefois, là aussi le feu paraît se gâter vers la fin; dans le cinquième voyage, le mécanicien, voulant aller plus vite que précédemment, a réussi à donner une vitesse moyenne de 33 kilomètres sur la première rampe. Mais il n'a pu l'obtenir qu'en poussant ses feux, et sur la seconde rampe, l'allure est devenue moins bonne et est tombée à $30^{km},5$ comme minimum. L'encrassage du feu par une trop forte combustion à l'origine s'est bien montrée par la résistance que la grille offrait au tirage : la dépression dans le foyer a été en moyenne de $21^{mm},9$ à ce voyage, tandis qu'elle n'était que de $12^{mm},1$ au second. Il faut assurément faire dans ces chiffres la part d'une combustion plus grande, car on a brûlé par heure et par mètre carré de grille 290 kilogrammes de charbon, au lieu de 254 dans le deuxième voyage; mais en admettant que les dépressions soient proportionnelles aux carrés des combustions qu'elles produisent ($v^2=2gh$), la dépression dans le foyer n'aurait dû être que de $15^{mm},7$ au lieu de $21^{mm},9$; le surplus est dû à la résistance de la grille augmentée par l'agglomération du charbon et du mâchefer.

On peut donc dire, en résumé, au point de vue de la vitesse sur rampe, qu'après 6 à 7 kilomètres de marche sur rampe de 16 millimètres avec une vitesse moyenne de $25^{km},8$ et en remorquant $205^{t},4$ sans que la pression baisse, le type 29 voit son foyer s'encrasser et sa vitesse diminuer un peu; qu'au contraire pour le type 25, remorquant $230^{t},5$, la vitesse (de $30^{km},4$, en moyenne) et la pression augmentent quelque peu pendant la montée,

mais qu'après 12 à 13 kilomètres, le foyer n'est plus dans d'aussi bonnes conditions, et que, pour continuer sur rampe sans nettoyer le feu, il faudrait diminuer la vitesse.

Combustion. — Le combustible était un charbon menu de Gilly, d'un pouvoir calorifique peu élevé; très peu collant, il exigeait peu de travail dans le feu. Avec le type 29, il fallait égaliser le feu une fois toutes les deux charges; avec le type 25, où la combustion est moins vive, une fois toutes les trois charges. Voici les résultats de l'analyse :

COMPOSITION		ANALYSE ÉLÉMENTAIRE	
Eau	1,35	C.	73,26
Cendres	13,28	H.	3,96
Carbone solide	70,25	S.	1,08
Matières volatiles	15,12	Cendres	13,44
		Oxygène et traces d'azote	8,26
Total	100,00	Total	100,00

On n'a pas tenté d'analyser les fumées.

La combustion a paru complète. Les feux étaient bien conduits et la couche bien uniformément répartie. La quantité de charbon chargée chaque fois n'a varié que de 36^{kg},4 à 37^{kg}. Sur la rampe, les charges se sont succédées à un peu plus de deux minutes d'intervalle avec le type 29, et avec 1 1/2 à 1 3/4 d'intervalle avec le type 25. Dans ces conditions, il devait y avoir simultanément sur la grille au moins une dizaine de charges successives, celle du dessous achevant de se brûler, celle du dessus encore fraîche; c'est à ce chargement presque continu qu'il faut attribuer la bonne combustion et la transparence presque continuelle des fumées. Une charge occupait sur la grille du type 29 une hauteur de 0^{m},016, et sur celle du type 25 une hauteur de 0^{m},009, soit un peu plus de moitié de la précédente.

L'ouverture des portes, dont la durée est un élément important, se faisait pour charger et pour égaliser le feu. La porte restait ouverte treize à quatorze secondes pour le chargement des 37 kilogrammes, et 8^{s} 1/2 pour chaque égalisage. Ceux-ci avaient lieu environ toutes les 4^{m} 1/2 avec le type 29, et toutes le cinq minutes avec le type 25.

Tirage. — Le tirage a été étudié en mesurant les dépressions qu'il produit dans le foyer et dans la boîte à fumée au moyen d'un manomètre à alcool communiquant par un tuyau avec les espaces à étudier.

La dépression produite par le tirage d'une locomotive est saccadée, et maxima au moment du coup d'échappement; ce maximum est vraisemblablement d'autant plus prononcé que la boîte à fumée a des dimensions moindres. Aussi la dépression du type 25 est-elle plus uniforme que celle du type 29, ce qui doit faciliter le tirage en produisant un courant plus constant.

Il faudrait un manomètre à masse extrêmement réduite par rapport à sa section pour suivre exactement les variations de la dépression pendant l'intervalle de 1/5e à 1/10e de seconde qui sépare deux échappements successifs; aussi n'a-t-on observé que les dépressions moyennes.

Les résultats consignés dans le tableau suivant ne se rapportent qu'à la marche régulière sur rampe de 16 millimètres, entre les bornes 64 et 69, et les bornes 72 et 76 :

	TYPE 29		TYPE 25		
Numéros des voyages	2e	3e	2e	3e	4e
Vitesse moyenne	25km,2	27,1	29	31,9	30,7
Force en chevaux	492	535	654	722	748
Combustion par heure	1.023kg	1.113	1.308	1.444	1.496
Combustion par heure et par mètre carré de grille	352	382	254	280	290
Combustion par heure et par tube	4k,5	4,9	5,2	5,7	5,96
Production de vapeur par heure	6.745	7.334	9.123	10.071	10.434
Production de vapeur par heure et par mètre carré de chauffe	61	67	75	83	85
Dépression moyenne dans la boîte à fumée	»	99mm,6	»	75mm	»
Dépression moyenne dans le foyer	43mm	»	12,1	»	21,9
Dépression moyenne dans le foyer avec porte ouverte	21,8	»	5,7	»	8,5
Vitesse moyenne de sortie de la fumée : Section de la cheminée, 0m2,224801.	»	33m,839	»	»	»
en haut, 0m2,319000.	»	»	»	33m,254	»

On a supposé, pour calculer les vitesses, que la combustion emploie 10 mètres cubes d'air par kilogramme de charbon, et que les fumées sont ramenées à 100 degrés par leur mélange avec la décharge; ceci est inférieur à la réalité, et par suite les vitesses réelles sont un peu plus grandes que les chiffres ci-dessus.

Voici les conclusions auxquelles ont donné lieu ces observations :

1° La dépression produite dans la boîte à fumée du type 25 est moindre que dans l'ancien type, ce qui était un résultat cherché, puisque le tirage trop fort du type 29 désorganisait parfois les feux. Ce n'est cependant pas la dépression totale qui désorganise le feu, mais la partie de cette dépression qui sert à vaincre la résistance de la grille; et, comme, pour une même combustion totale (en quantité et en qualité), la dépression dans le foyer ne dépend que de la surface de grille, il semble que c'est à l'augmentation de cette surface que l'on doit la plus grande stabilité du feu.

2° La dépression dans le foyer varie à chaque instant. En général, elle présente un maximum immédiatement après une nouvelle charge de charbon, et diminue jusqu'à

la suivante. L'égalisage de la surface du feu suffit pour augmenter la résistance de la grille et par suite la dépression. La dépression subit en outre de grandes variations, qui montrent que l'état de la couche de combustible est éminemment variable.

3° La dépression dans le foyer est incomparablement moindre dans le type 25. Bien que la combustion au mètre carré de grille n'y soit que les 7/10e de ce qu'elle est dans le type 29, et que par suite non seulement le volume d'air nécessaire, mais aussi la hauteur de charbon sur la grille (d'où dépend en partie la résistance) soient réduits dans la même proportion, cela ne suffit pas pour expliquer 12mm,1 de dépression au lieu de 43 millimètres, dans les deuxièmes voyages. La dépression dans le foyer qui était de 21mm,9 au cinquième voyage, aurait dû être de 15mm,7, en la supposant proportionnelle au carré des combustions à produire ($v^2 = 2gh$). Il est probable qu'avec une combustion plus vive, le charbon et le mâchefer s'agglomèrent davantage et résistent beaucoup mieux au passage de l'air, et c'est ce qui se produit dans le type 29.

4° La dépression produite sert à vaincre la résistance des tubes et celle de la grille. En l'absence d'observations simultanées, on peut arriver à partager approximativement la dépense totale entre ces deux éléments pour les troisièmes voyages, en calculant la dépression du foyer du type 29 d'après l'hypothèse de la proportionnalité au carré des quantités brûlées, et celle du type 25 d'après la moyenne du deuxième et du cinquième voyage. On trouve ainsi pour le troisième voyage :

	TYPE 29	TYPE 25
Dépression de la boîte à fumée	99mm,6	75mm,0
Dépression dans le foyer (résistance de la grille)	50 ,6	17 ,5
Dépression qui sert à vaincre la résistance des tubes	49 ,0	57 ,5

Les tubes du type 25 ont donc présenté plus de résistance que ceux du type 29, ce qui tient à ce qu'ils ont servi à la combustion de 1/6e de charbon en plus par heure.

5° Tout en occasionnant une dépression moindre, la décharge du type 25 produit une combustion plus considérable, parce que la résistance de la grille est diminuée dans une proportion beaucoup plus grande encore que le tirage, ce qui tient surtout à sa dimension.

6° De la moindre résistance de la grille résultent deux conséquences importantes : un entraînement moindre de poussier et une perte moindre par rentrée d'air froid au moment de l'ouverture de la porte. Arrivé dans les tubes, le poussier est entraîné dans la boîte à fumée ; ce n'est donc pas la dépression totale mais la partie de cette dépression qui sert à vaincre la résistance de la grille, qui influe sur le transport du poussier. Aussi on en a recueilli dans la boîte à fumée $92^{kg},4$ pour une combustion de 4.268 kilogrammes avec le type 29, et seulement $20^{kg},6$ pour une combustion de 3.921 kilogrammes avec le type 25 ; le charbon provenait du même wagon. Il est de plus probable qu'une proportion plus grande de poussier a été entraînée dans la cheminée du type 29.

7° La section de l'une des portes du foyer (le mécanicien n'en n'ouvrait jamais qu'une) était de $0^{m^2},19$ pour le type 29 et de $0^{m^2},226$ pour le type 25. Cette section n'était pas suffisante pour livrer passage à tout l'air appelé, et il restait dans le foyer une dépression importante, précédemment indiquée. Comme la porte n'est pas restée plus longtemps ouverte avec le nouveau type, pour une même combustion, il résulte de la comparaison des sections de la porte et des dépressions que l'entrée d'air froid y a été beaucoup moindre.

Température des fumées. — Avec le tirage naturel,

une production de $77^{kg},2$ de vapeur au mètre carré aurait pour conséquence une température de 600 à 700 degrés dans les fumées, comme l'a montré l'expérience ; avec $90^{kg},5$ de vaporisation, elle dépasserait 700 degrés.

Dans les locomotives, les fumées se refroidissent beaucoup plus vite, sans doute parce que l'agitation des gaz multiplie leur contact avec les parois. Il eût été intéressant de connaître la température des fumées au moment où elles quittent le faisceau tubulaire, afin de savoir à quelle prix la grande production au mètre carré est obtenue ; et de rechercher si la rapidité plus grande du passage des gaz au travers du faisceau du type 25 n'augmente pas le coefficient de transmission pour la chaleur. A cet effet, un thermomètre à mercure de 1 mètre de longueur, fut descendu dans la boîte à fumée. Son tube capillaire était rempli d'azote, et la longueur était telle que la pression de ce gaz était toujours de beaucoup supérieure à la tension de la vapeur du mercure. Aucune expérience ne donnant la dilatation du mercure au delà de 380 degrés, la graduation du thermomètre ne saurait être certaine passé cette température ; mais en son voisinage, l'erreur ne peut être fort grande. Pour protéger le thermomètre contre le rayonnement des parois de la boîte à fumée, qui sont à une température intermédiaire entre celle des gaz et celle de l'air, on l'avait entouré d'un conduit courbe en tôle et à double paroi de 0,10 de diamètre, ne dérangeant pas les gaz de leur chemin.

Le jour où furent faites les expériences, la machine et le train étaient à peu près dans les mêmes conditions que pour les expériences précédentes ; mais le charbon était mauvais, et le trajet dura 43 minutes, au lieu de 31 à 38 minutes. Le travail à faire étant presque le même, la production totale de vapeur a dû présenter peu de différence, mais la vaporisation par mètre carré et par heure a été beaucoup moindre. On ne peut donc rien en conclure

de précis pour les températures des premiers essais, mais on voit confirmer ce fait reconnu directement alors avec un thermomètre à mercure ordinaire (qu'il avait fallu retirer précipitamment) à savoir que les températures avaient dû dépasser notablement 380 degrés. En effet, aux essais faits avec le long thermomètre, la moyenne des températures sur rampe a été de 358 degrés, la moyenne des maxima de 364 degrés, la moyenne des minima de 351 degrés, et le plus fort maximum de 384°,5. Si l'on ne mettait pas le thermomètre à l'abri du rayonnement des parois, on commettrait une erreur d'au moins 25 degrés, comme l'a montré l'expérience.

La température des fumées est constamment variable; elle suit une période réglée sur les charges successives de charbon, et à chaque charge correspond une ondulation, ce qui tient en partie à l'ouverture de la porte. La variation est de 10 à 15 degrés environ chaque fois.

Eau entraînée. — Les locomotives sont réputées donner de grands entraînements d'eau, et c'est d'autant plus à craindre que la vaporisation est plus active, comme avec le type 25. Pour s'en rendre compte, on a introduit 6 kilogrammes de sel dans la chaudière avant l'essai, afin de mesurer ce qu'il en resterait à la fin.

Cette méthode est inexacte en ce que :

1° L'eau d'une chaudière est rarement bien homogène;

2° Il est difficile de prendre une prise d'eau, à cause de la vaporisation, à moins d'adapter au robinet de prise un serpentin ne laissant sortir que de l'eau refroidie;

3° Une légère erreur dans le dosage du chlore produit une grande erreur en eau entraînée;

4° On reproche au sel de provoquer lui-même des entraînements dans les locomotives.

Les analyses successives de l'eau de la chaudière faites à chaque arrêt ont montré une composition variable,

n'obéissant à aucune loi, parce que l'eau d'alimentation met beaucoup de temps à se mélanger intimement avec le reste, en sorte que les prises d'essai ne représentent pas la moyenne de l'eau de la chaudière. Les analyses ont paru indiquer qu'il y a eu peu d'entraînement.

On peut reconnaître à l'examen de la vapeur d'échappement si la chaudière prime, c'est-à-dire crache abondamment. Or cette vapeur n'a pas paru opaque d'une manière notable dans les essais. L'entraînement ne peut du reste se déceler dans l'échappement, que si les fumées mélangées à cette dernière contiennent plus d'eau qu'elles ne peuvent en réduire en vapeur. En brûlant un charbon à 7.000 calories, avec un excès d'air tel que la température de combustion soit de 1.500 degrés, il produira dans les locomotives au plus 7 kilogrammes de vapeur, tandis que théoriquement les fumées peuvent vaporiser près de 11 kilogrammes d'eau avant de tomber à 100 degrés. Les fumées d'une locomotive peuvent donc théoriquement vaporiser l'eau condensée dans les cylindres, et en outre 40 p. 100 de la vapeur produite. En pratique, cette proportion se réduirait beaucoup à cause de l'irrégularité du régime, mais il est probable que 10 p. 100 d'eau n'empêcheraient pas la vapeur d'échappement d'être transparente au sortir de la cheminée.

Conclusions des essais. — Voici les conclusions de la commission d'expériences :

« Comparativement au type 29, le type 25 a présenté les particularités suivantes :

« 1° Économie de 51/1000 de charbon;

« Augmentation de 94/1000 dans la production de vapeur par mètre carré dans le trajet de Namur à Assesse;

« Augmentation de 22 p. 100 dans la production de vapeur au mètre carré sur rampe;

« Augmentation de 29 p. 100 dans la production maximum de vapeur au mètre carré ;

« Combustion moindre au mètre carré de surface de grille et résistance moindre de la grille ;

« Combustion plus grande par tube, et, par suite, résistance plus grande des tubes au tirage ;

« Tirage moindre, produisant, néanmoins, plus de combustion parce que la résistance de la grille est encore plus diminuée.

« 2° Le type 25 remorque 230 tonnes sur rampe de 16 millimètres à la vitesse moyenne de 30 kilomètres, et maintient cette allure sur 12 kilomètres au moins, sans qu'il soit nécessaire de nettoyer le feu. Arrêtée sur rampe, elle reprend, après 1.300 à 1.400 mètres, sa vitesse de régime. A cette vitesse de 30 kilomètres sur rampe, elle produit en moyenne $77^{kg},2$ de vapeur par mètre carré de chauffe et par heure ; mais elle peut aller à $90^{kg},5$ dans des circonstances favorables.

« 3° De même que dans toutes les locomotives, la production de vapeur et la vitesse sont très variables d'un voyage à l'autre. Une petite différence dans l'état physique du feu change beaucoup la quantité de vapeur produite. Cela résulte de ce que le tirage est à la fois la cause et l'effet de la combustion.

» 4° En faisant $77^{kg},2$ de vapeur au mètre carré, le type 25 donne $6^{kg},93$ de vapeur (eau à 0 degré, vapeur à 5 atmosphères), stationnement compris, par kilogramme d'un charbon contenant $14^{kg},63$ de cendres et d'eau.

« Il y a un peu d'entraînement.

« La température des fumées est notablement supérieure à 380 degrés.

« 5° Le tirage produit par la nouvelle disposition de cheminée paraît moindre que dans l'ancien système. C'était un but à atteindre pour ne pas désorganiser les feux, ce qui dépend beaucoup da la nature du charbon employé.

On n'a pas cherché dans quelle mesure la diminution de tirage est due à la forme de la cheminée et aux dimensions de l'appareil de décharge.

« Le type 29 entraîne beaucoup plus de grésillon que l'autre.

« Pendant le troisième trajet, le tirage avec le type 25 a été de $24^{mm},6$ moindre que celui du type 29 ; mais comme la résistance de la grille a été de $32^{mm},5$ plus petite dans le type 25, il est resté en somme $7^{mm},9$ de plus pour vaincre la résistance des tubes, et c'est ce qui a permis une plus forte combustion par tube.

« 6° La production plus grande de vapeur par mètre carré du type 25, paraît due à l'efficacité plus grande de la surface de chauffe, tant directe qu'indirecte. La surface directe est plus active parce qu'elle est plus rapprochée de la grille ; la surface indirecte, parce qu'elle est léchée par un courant de fumée plus rapide. »

L'administration des Chemins de fer de l'État belge procède en ce moment à des essais analogues sur les chaudières des machines express à voyageurs pour fortes rampes (type 6). Nous en rendrons compte et nous les discuterons dès qu'ils seront parvenus à notre connaissance.

Qu'il me soit permis, en terminant cette étude, d'exprimer tout particulièrement mes remerciements à MM. Dejaer, Ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer de l'État belge ; Huberti, Professeur des cours de chemins de fer à l'Université de Bruxelles ; et Roussel, Chef des essais à Malines, pour le bienveillant accueil que j'ai rencontré auprès d'eux et qui a grandement facilité mes recherches.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages
I. Renseignements généraux	56
II. Organisation du service de la traction	61
III. Service des mécaniciens et chauffeurs	68
IV. Caractères principaux des machines	93
V. Nature, consommation et essai des combustibles	109
VI. Nature, consommation et essai des matières de graissage	119
VII. Effectifs et parcours des locomotives	123
VIII. Détails de construction des locomotives	127
IX. Essais mécaniques et chimiques des matériaux	139
X. Dépenses des services du matériel et de la traction	158
XI. Les chaudières des nouvelles locomotives à marchandises pour fortes rampes	179

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS

NOTE

SUR LES

CHEMINS DE FER DÉPARTEMENTAUX

Par M. NOBLEMAIRE, Ingénieur en chef des Mines, Directeur de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

Nécessité des chemins de fer départementaux. — Pour la plupart des départements de France, c'est un désir, pour quelques-uns, un désir fiévreux, de compléter par un réseau de lignes d'intérêt local à voie étroite, le réseau des grandes voies d'intérêt général, qui étend aujourd'hui ses mailles sur toute la surface de notre territoire. Il n'y a pas lieu d'en être surpris ; il est naturel que, témoins des bienfaits qu'apportent les chemins de fer aux régions qu'ils traversent, de la transformation et du développement dont ils ont été l'actif instrument, les populations trop nombreuses qui en sont encore privées recherchent avec ardeur les moyens d'en jouir à leur tour. C'est moins à enrayer ce mouvement réfléchi (*) qu'à le diriger que doivent tendre les efforts de tous ceux qui ont à cœur d'accroître la richesse publique, de mettre en valeur des

(*) Réfléchi comme tendances, irréfléchi souvent dans ses manifestations, surtout sous l'empire de la première loi de 1865 sur les chemins de fer d'intérêt local. La loi du 11 juin 1880 donne-t-elle la bonne solution du problème? Il n'est pas défendu d'en douter ni d'en souhaiter la prompte réforme dans l'intérêt des finances des départements et de l'État.

ressources inconnues ou provisoirement délaissées, et de donner à notre industrie, à notre agriculture, par la généralisation des transports à bon marché, le moyen de lutter contre des concurrences extérieures, que la diffusion des chemins de fer dans tous les pays, et les progrès, si considérables depuis vingt ans, de la navigation maritime, ont rendues singulièrement redoutables.

Pour arriver à ce résultat, pour que les chemins de fer sillonnent progressivement toutes les parties du territoire, desservent dans un avenir plus ou moins éloigné tous nos chefs-lieux de canton, et les relient aux grandes artères qui ne peuvent pénétrer jusqu'à eux, il faut nécessairement adopter des types nouveaux en relation avec les ressources locales, avec l'importance, modeste en général, du trafic à desservir, recourir à des systèmes économiques de construction et d'exploitation.

Économiques, disons-nous. Ici il faut s'entendre :

Il n'y a pas, à proprement parler, de systèmes économiques, ni de construction ni d'exploitation.

Il y a des lois et des cahiers des charges permettant de construire et d'exploiter économiquement, en réduisant et modérant des exigences, naturelles pour les grandes artères, mais déjà fort exagérées même pour un très grand nombre des lignes comprises dans le réseau d'intérêt général exploité par les grandes compagnie. Sous ce rapport, un pas a été fait et un progrès réalisé par les cahiers des charges de 1881 qui peuvent être encore simplifiés.

Convenance de la voie étroite. — Il y a surtout à proportionner l'importance de l'outil avec celle du trafic qu'il est appelé à desservir et, sous ce rapport, on a terriblement dépassé le but. Que de lignes ont été concédées, en France et en Algérie, avec l'obligation de les construire à la voie de $1^m,45$, qu'il aurait suffi de construire

avec une voie de 1 mètre et même de $0^m,60$. Ce sont des errements dans lesquels il est impossible de persévérer.

Nécessité des petites compagnies. — L'opinion, depuis quelques années, se prononce énergiquement dans ce sens. La dernière Chambre s'en est fait l'écho, en demandant, pour faciliter et hâter la réalisation du trop vaste programme de 1879, la transformation à voie de 1 mètre d'un grand nombre des lignes concédées aux grandes compagnies par les conventions de 1883. Cette solution ne nous paraît pas pratiquement réalisable.

Sans doute, il n'y a théoriquement aucune difficulté à ce qu'une grande compagnie exploite deux réseaux, l'un à voie large, l'autre à voie étroite. Sans doute, bien que cela rompe d'une manière fâcheuse l'uniformité de ses procédés d'exploitation, elle pourrait avoir deux types distincts de matériel, deux types de règlements d'exploitation, localiser sur un réseau à voie étroite un personnel spécial, autrement recruté, obéissant à des règles plus simples. Tout cela ne serait pas sans inconvénients, mais serait possible. Mais elle aura toujours à se défendre contre son titre de grande compagnie, contre l'inévitable tendance de l'État, du public, d'exiger d'elle comme minimum ce qu'on n'oserait jamais demander comme maximum à une compagnie locale, protégée par sa faiblesse même ; l'exploitation économique lui serait forcément rendue impossible.

Les petits chemins de fer aux petites compagnies. Telle est la loi raisonnable et nécessaire ; aux compagnies locales que chacun, refrénant ses ambitions, aide de son mieux à vivre, parce qu'il en connaît les modestes ressources, qui prennent leurs attaches, leurs racines, leurs intérêts, leurs affections dans le cœur même du pays auquel elles apportent la vie, sans risquer pour cela d'y compromettre la leur propre.

Antagonisme prétendu des grandes Compagnies. — Si ces compagnies locales ont de la peine à se former et à prospérer, si le réseau n'a pas pris tous les développements désirés, c'est, dit-on souvent, la faute des grandes compagnies. On reconnaît bien *in petto* leurs services, mais il est si commode de suspecter leurs intentions, de leur prêter des idées d'ambitieux accaparement ou de mesquine jalousie, de les accuser de ne vouloir laisser aucune petite puissance grandir à côté d'elles, qu'il faut un certain effort, même à de bons esprits, pour échapper à ces lieux communs.

Raisonnons un instant. On ne leur conteste du moins ni l'intelligence ni le souci de leurs vrais intérêts. Or, ces intérêts, il s'en faut bien souvent qu'ils soient en opposition avec celui des entreprises dont nous parlons. Si leur prospérité (plus ou moins réelle) a souvent excité des jalousies, si elle a fait parfois trop facilement éclore l'idée de créer des concurrences surtout aux quelques artères maîtresses qui soutiennent seules le poids de trop nombreuses lignes peu productives, de faire à côté d'elles des lignes qui ne peuvent vivre que de ce qu'elles essaieront de leur enlever — et, dans ce cas, on ne saurait s'étonner qu'elles se défendent contre ces tentatives — par contre, dans la grande majorité des cas, leur intérêt est non seulement conciliable, mais plus ou moins intimement lié avec celui de petits réseaux complémentaires du leur, qui le prolongent, à la façon des racines et radicelles amenant la vie au tronc, et qui, par la flexibilité de leurs tracés, de leurs moyens, de leurs méthodes, pénètrent dans les régions où les grandes lignes ne peuvent raisonnablement pénétrer.

Dans ce cas, pourquoi la grande compagnie leur marchanderait-elle son concours ?

Constitution actuelle des chemins de fer départementaux. — Plaçons-nous donc dans l'hypothèse (qui ne s'est pas toujours réalisée jusqu'ici) d'un département abdiquant toute idée d'hostilité contre un grand réseau dont il apprécie les services, mais qui le dessert insuffisamment à son gré, et animé seulement du légitime désir de développer la prospérité des diverses parties de son territoire et de les relier, par les moyens les plus économiques, les plus rapides et les plus sûrs, à la grande artère qui le traverse.

Ce problème qui s'impose, l'a-t on résolu de la meilleure façon par le système de concessions actuellement en honneur dans un grand nombre de départements? Nous ne le pensons pas. Et dès lors, il n'est peut-être pas inutile d'exposer les moyens qui nous sembleraient susceptibles de mieux conduire au but, en faisant un meilleur emploi, dans l'intérêt de tous, des sacrifices que s'imposent les départements et l'État.

Le système actuellement adopté est, avec quelques variantes, le suivant :

Le département ne prend jamais une part directe à la construction ni à l'exploitation des lignes d'intérêt local. S'inspirant de l'exemple de l'État quand il a constitué les grands réseaux d'intérêt général, il fait choix — parfois malheureusement au rabais — d'un concessionnaire qui se charge de la construction d'abord, puis de l'exploitation pendant une période nécessairement longue, variant de 99 à 75 ans.

Le concours qu'il lui donne est parfois une subvention ferme, représentée par une annuité déterminée à servir pendant un certain nombre d'années ; cette annuité, le concessionnaire la transforme en argent comptant, dont il a besoin, en la transférant soit à un établissement de crédit, soit, quand il le peut, et c'est la plus avantageuse des solutions, à la grande compagnie à laquelle il se relie et dont il utilise ainsi le crédit. Une fois la ligne con-

struite, si l'affaire est mauvaise, on peut être assuré que tôt ou tard, malgré toutes les réserves des actes de concession, c'est au département qu'incombera la charge de la remettre à flot ; si elle est bonne, ce qui se peut voir, c'est dans les services rendus au pays que le département trouve la seule rémunération du sacrifice qu'il s'est imposé ; quelque bons que puissent être les résultats et en supposant (ce qui n'est pas toujours le cas) que les actes de concession intéressent beaucoup l'exploitant à les améliorer, les finances départementales n'en prennent pas leur part.

Aussi est-ce sous une autre forme que se donnent le plus souvent les subventions.

Suivant les principes posés par la loi du 11 juin 1880, le département garantit l'intérêt, ordinairement 5 p. 100, du capital de construction, tantôt du capital effectivement dépensé, dans la limite d'un maximum déterminé, tantôt (ce qui s'explique moins) d'un capital fixé d'avance à forfait quelle que doive être la dépense effective, qu'elle dépasse ou qu'elle n'atteigne pas cette somme forfaitaire.

La première ressource affectée à la rémunération des charges du capital est naturellement le bénéfice net de l'exploitation, c'est-à-dire la différence entre les produits bruts (impôts déduits) et les dépenses de l'exploitation. Pour ces dernières, l'on prend en compte, tantôt les dépenses effectives, dans la limite d'un maximum déterminé par une formule du genre de 1.800 fr. $+ \frac{R}{3}$ (1.800 francs par kilomètre de longueur, plus le tiers de la recette), tantôt (ce qui s'explique moins) un chiffre fixé d'avance à forfait d'après une formule analogue, tantôt même (ce qui se comprend moins encore) avec un minimum déterminé, 3.000 francs, par exemple, par kilomètre.

Si le produit net ainsi déterminé est insuffisant (c'est

ordinairement le cas, il n'est pas besoin de le dire) pour payer les charges du capital d'établissement, le département avance la différence en assignant toutefois à sa garantie un maximum de tant par kilomètre.

L'acte de concession prévoit, d'ailleurs, il faut tout prévoir, que ces avances lui seront remboursées sur les excédants disponibles quand le produit net sera devenu supérieur aux charges du capital.

Ajoutons qu'aux termes de la loi de 1880, l'État contribue à la garantie (sauf à participer aux remboursements éventuels), pour une somme au plus égale à la garantie du département.

Ses inconvénients. — Telle est l'économie générale du système. Il n'est pas malaisé de voir par où il pèche.

Le choix du concessionnaire, les conditions de constitution du capital, les conditions de la construction, celles de l'exploitation future sont quatre difficultés que nous considérerons successivement.

Choix du concessionnaire. — La meilleure garantie de l'exécution d'un contrat, si l'affaire est viable, bien entendu, est la qualité même du concessionnaire. Le choisir de gré à gré, si l'on avait le moyen de choisir, serait sans doute la solution la plus sûre ; en subordonner le choix aux chances d'une enchère, au rabais (il ne manque jamais de chercheurs d'affaires pour en offrir), est de toutes la plus dangereuse. Supposons ce premier point convenablement résolu.

Constitution du capital. — La grosse difficulté pour le concessionnaire est la constitution de son capital. On trouve toujours de l'argent, dit-on ; oui, d'autant plus facilement qu'on en a moins besoin, d'autant plus cher qu'on a moins de crédit, quelle que soit, d'ailleurs, la valeur intrinsèque de l'affaire, sur laquelle il est toujours

si difficile au public d'être édifié. De ce chef, en dehors même des commissions données, des frais préparatoires, avant tout commencement d'exécution, une première charge grève à jamais l'affaire d'un poids qu'il serait si essentiel d'alléger.

Le capital se constitue, partie en actions, partie en obligations ; la première, la plus faible possible, c'est de l'argent risqué ; la seconde, la plus forte possible, au contraire, c'est, dit-on, un placement ; ce mot d'obligation, popularisé par les grandes compagnies, la perspective d'un revenu fixe, assuré, garanti par le département et par l'État, cela est de nature à séduire. Est-ce de nature à réduire le risque, si le capital maximum de construction a été dépassé, si les frais effectifs de l'exploitation excèdent les maxima fixés par l'acte de concession ?

C'est là un premier danger, il n'est pas spécial, d'ailleurs, aux affaires de chemins de fer, que cette disproportion entre le capital-actions et le capital-obligations. Il n'y a évidemment rien d'absolu en pareille matière ; mais, grever *a priori* une affaire inconnue, sûrement modeste, d'un gros capital-obligations, d'une charge obligatoire régulièrement exigible tous les six mois, c'est trop souvent la condamner à végéter ou à mourir ; émettre des emprunts, alors que non seulement on n'a pas de produits nets certains pour les gager, mais alors que la ligne n'est pas construite, que le produit net n'existe pas, qu'on ignore s'il existera jamais, c'est une pratique que l'on ne saurait trop sévèrement réprouver.

Et qu'on n'objecte pas la disproportion énorme qui existe dans les grandes compagnies entre le capital-actions et le capital-obligations. D'abord cette disproportion est fâcheuse, même pour elles, puisqu'elle a pour résultat, sinon de compromettre le service des obligations, du moins d'exposer à d'énormes variations le dividende des

actions qui, seul, supporte la conséquence des moindres variations du bénéfice net. Ensuite, si les grandes compagnies sont arrivées peu à peu, sans s'en douter, pour ainsi dire, à cette situation, elles ont du moins construit leurs premières lignes avec leur seul capital-actions, et ce n'est que quand elles ont eu des bénéfices nets, assurés, d'exploitation, qu'elles ont émis, pour construire leurs lignes subséquentes, des obligations dont le bénéfice net des premières permettait d'assurer le service.

Je sais bien que si le département donne une garantie, on peut dire, ou croire, que cette garantie suffit à gager un certain capital d'emprunts. Mais ce n'est pas à cela qu'on le limite en général, et, de plus, dans le cas possible d'insuffisance du maximum assigné soit aux dépenses d'établissement, soit aux frais d'exploitation, que deviendrait ce prétendu gage ?

Les premières affaires doivent être faites exclusivement avec un capital-actions ; telle est la règle dont on ne saurait s'écarter impunément. C'est d'elle qu'un département doit s'inspirer pour tâcher de faire le meilleur et le plus sûr emploi de son argent et des sacrifices qu'il impose aux contribuables.

Construction. — Une fois le capital réalisé, bien ou mal, le concessionnaire construit.

Il lui faut, à tout prix, ne pas atteindre le maximum qu'il a accepté et que l'entraînement des enchères l'a conduit parfois à trop réduire. Mettre en jeu l'intérêt personnel est bien, le trop surexciter est dangereux, c'est une trop grande incitation à mal faire. « Cela durera bien autant que moi », disait un de nos mauvais rois ; c'est une maxime que peuvent être tentés de s'approprier des concessionnaires au rabais, convaincus qu'il faut d'abord aller, qu'on s'en tirera toujours, ne serait-ce qu'en sollicitant des affaires nouvelles, et que pourvu

qu'on ait le moyen de combler un déficit en en créant un autre, tout finira par s'arranger, le département pouvant d'autant moins laisser périr une affaire qu'elle lui aura plus coûté de sacrifices.

Si le capital est fixé à forfait par l'acte de concession, tout ce que le concessionnaire économisera sur ce forfait est un bénéfice acquis, et le plus net; c'est presque une prime à la malfaçon. Or, les malfaçons ou les erreurs de la construction, si elles ne sont pas irréparables, ne peuvent être que chèrement réparées plus tard; elles pèseront nécessairement, et d'un poids lourd, sur l'exploitation, et rendront la garantie du département effective et permanente, si tant est qu'elle suffise.

C'est pour cela que nous croyons nécessaire de changer les errements actuellement suivis quant au mode de construction.

Exploitation. — Nous ne le croyons pas moins nécessaire en ce qui concerne l'exploitation. Ici la situation est plus simple, au moins pour le concessionnaire; le cahier des charges n'est pas trop lourd; les populations, heureuses d'avoir leur chemin de fer, sont peu exigeantes vis-à-vis d'une compagnie locale et prennent gaiement leur parti de ses imperfections; les expéditeurs et destinataires mettent la main à la pâte, aident aux manœuvres, etc.; l'habitude prise, cet âge d'or peut durer longtemps. Si l'entrepreneur est prudent, si sa formule d'exploitation n'a pas été fixée trop bas, surtout si elle est fixée à forfait, il vit, au moins jusqu'à l'époque des grosses réfections, avec la garantie du département et, n'ayant guère l'espoir le plus souvent de s'en débarrasser jamais, il n'a pas d'intérêt à en réduire le montant. C'est pourtant à cela qu'il faut tendre.

Cette question d'exploitation vaut la peine d'être examinée avec quelques détails. Trois systèmes, avons-nous

dit, sont en présence; dans le premier, l'on tient compte à l'exploitant de ses *dépenses effectives* dans la limite d'un maximum déterminé; dans le second, le département fixe *à forfait* le chiffre des frais d'exploitation qu'il alloue pour une recette déterminée; dans le troisième enfin, il complète cette allocation par la fixation d'un *minimum*.

1er *système.* — Le premier système ne tient compte à l'exploitant que des dépenses effectives. Pour leur assigner un maximum raisonnable, on a essayé déjà bien des formules composées de deux termes, l'un constant, l'autre proportionnel à la recette brute, et oscillant dans d'assez larges limites, en faisant varier en sens inverse chacun de ces termes, autour de la formule moyenne

$$D = 1.800^f + \frac{1}{3} R.$$

Leur nombre même montre la difficulté du problème ainsi posé. Si une formule est convenable pour des recettes moyennes, de 3 à 4.000 francs par kilomètre par exemple, elle ne convient ni pour des recettes inférieures, ni pour des recettes supérieures. Prenons, pour le mettre en évidence, les deux formules les plus extrêmes que nous connaissions :

$$D = 2.500^f + \frac{R}{4} \quad \text{et} \quad D = 800^f + \frac{3}{4} R.$$

La première est assurément trop élevée pour les faibles recettes kilométriques, 1.000 à 2.000 francs, et la seconde trop basse. Pour les recettes relativement fortes de 6 à 8.000 francs, la seconde devient à son tour beaucoup trop large; la première donne des résultats plus raisonnables, mais elle a l'inconvénient grave de ne pas intéresser suffisamment l'exploitant à accroître la recette brute, à augmenter la circulation des trains, à engager des dépenses productives susceptibles de donner des re-

cettes supplémentaires dont le quart seulement lui appartiendrait.

Si l'on était sûr que le produit brut d'une ligne dut se maintenir entre 3.000 à 5.000 francs par kilomètre, une formule moyenne telle que $1.800 + \frac{R}{3}$ qui participe aux avantages et aux inconvénients des formules extrêmes, conviendrait assez bien à ces recettes moyennes ; le mal est que l'on n'est sûr de rien en fait de recettes probables.

En résumé, une formule linéaire unique du genre de celle-ci est forcément mauvaise et si l'on tenait à rester dans cet ordre d'idées, il faudrait, pour fixer le maximum à assigner aux dépenses effectives, marier un certain nombre d'entre elles et dire, par exemple :

Jusqu'à 1.000^f de recette kilométrique, le maximum est			R
de 1.000^f à 3.000^f.	id.	id.	$250 + \frac{3}{4}$ R
de 3.000^f à 5.000^f.	id.	id.	$1.000 + \frac{1}{2}$ R
au delà de 5.000^f	id.	id.	2.000 + 0,30 R

A

nous ne le proposons pas cependant, parce que c'est dans une autre direction qu'il faut, suivant nous, chercher la meilleure solution du problème.

2e *système.* — Dans le deuxième système, le département alloue à l'exploitant un chiffre de dépenses fixé *à forfait*, d'après une formule linéaire de ce genre. C'est *a priori* une mauvaise solution :

Si le chiffre est fixé trop bas, l'entrepreneur est en perte, ce qui est inadmissible.

S'il est fixé trop haut, et cela a été parfois le cas, par suite d'erreurs inconscientes, il faut l'espérer, cela permet à l'entrepreneur de rémunérer autre chose que des dépenses d'exploitation, cela lui constitue un bénéfice certain, immédiat, dont le département n'a pas sa part.

Si enfin, par aventure, le chiffre du forfait est fixé

d'une manière équitable, comme il le serait, par exemple, par le groupe des quatre formules précédentes, tout le bénéfice net, c'est-à-dire toute la différence entre les recettes et la dépense forfaitaire, est attribué au département. L'exploitant n'en a pas sa part. C'est un inconvénient inverse du précédent, mais aussi grave, parce que l'essence même du contrat nous paraît devoir être une complète association d'intérêts entre le département et l'exploitant.

Son application en Belgique. — Ce système du forfait est très en honneur en Belgique. La Société nationale des chemins de fer vicinaux est concessionnaire de 33 lignes (694 kilomètres) de chemins de fer à voie étroite. Elle les construit directement, les munit de leur matériel roulant, et, gardant la haute main sur les règlements et sur les tarifs, elle en a donné à bail l'exploitation à quinze entreprises différentes par voie d'adjudication publique, dans laquelle le rabais a porté sur les coefficients des formules d'exploitation. C'est donc ici une application raisonnée et des plus larges du système que nous nous permettons de critiquer, en dehors même du principe parfois bon, souvent dangereux, de l'adjudication publique.

La Société des chemins de fer vicinaux avait d'abord pris comme point de départ de ses adjudications la formule $D = 1.500 + 0{,}30\,R$. Elle a dû rapidement y renoncer devant l'inconvénient de ne pas suffisamment intéresser l'entrepreneur à l'accroissement des recettes au delà d'un certain chiffre et même, dans certains cas, de lui faire considérer, une augmentation de recettes comme contraire à ses intérêts. — Elle y a maintenant substitué deux formules qui s'appliquent, l'une aux lignes dont la recette doit être et demeurer très faible, l'autre à celles qui, dès le début, peuvent espérer des recettes kilométriques supérieures à 5.000 francs.

Pour les premières, elle admet que toute la recette appartient à l'exploitant jusqu'à concurrence de 2.000 fr. par kilomètre, et cela pour l'intéresser à pousser le plus tôt possible la recette brute jusqu'à ce chiffre. Pour une recette supérieure, elle lui alloue 25 à 30 p. 100 de la recette supplémentaire. Elle admet donc, comme base d'adjudication pour des recettes de 2 à 5.000 francs environ, la formule $D = 2.000 + 0{,}30\ (R - 2.000)$.

Pour les secondes, dont la recette probable paraît devoir être immédiatement supérieure à 5.000 francs par kilomètre, elle prend comme base sur laquelle doit porter le rabais des soumissionnaires, le pourcentage d'exploitation, c'est-à-dire le rapport de la dépense à la recette, correspondant à environ 5.000 francs de produit brut (admettons pour fixer les idées 60 p. 100), ce rapport diminuant de 1 p. 100 pour chaque augmentation de 1.000 francs de recette kilométrique

et devenant ainsi.	60 0/0	59	58	57	56	55 0/0
pour des recettes kilométriques de. . .	5.000f	6.000f	7.000f	8.000f	9.000f	10.000f

Ce mode de procéder, nouveau et rationnel en principe se traduit en somme, pour des recettes de 5.000 francs et au-dessus, et pour les chiffres que j'ai pris comme exemple par une formule de dépense $D = 500 + 0{,}50R$.

Le système belge, si on veut l'exprimer d'une manière continue, revient donc en dernière analyse au groupe de formules suivant :

Jusqu'à 2.000f de recette kilométrique, l'allocation est. . .		R	B
de 2.000f à 5.000f	id.	id.	1,500 + 0,30 R	B
au delà de 5.000f	id.	id.	500 + 0,50 R	B

La première formule de ce groupe est admissible ; la seconde croît trop lentement avec la recette, la troisième croît trop vite ; ces deux dernières, par suite, accusent une concavité absolument irrationnelle. Si l'on voulait se maintenir dans cet ordre d'idées, il n'est pas douteux qu'il y aurait convenance à substituer au groupe des trois formules belges, le groupe des quatre formules énoncées plus haut (A).

Enfin, le système belge prête le flanc aux critiques qui s'adressent d'une manière générale à tout système basé sur un forfait d'exploitation ; le bénéfice de l'exploitant est limité à l'économie qu'il peut réaliser sur son forfait, à la différence $D - D'$ entre le forfait et sa dépense réelle, il n'est pas directement intéressé à l'augmentation du *produit net* $R - D'$ et l'idée d'association entre l'entrepreneur et le propriétaire de la ligne, proclamée à juste raison par la Société des chemins de fer vicinaux comme la base de tout règlement rationnel, est insuffisamment réalisée par elle.

Variante. — Dans un de nos départements, on a cru trouver une solution du problème en ne mettant en évidence aucune formule pour fixer la dépense d'exploitation en fonction de la recette. On a dit : Toute la recette appartient à l'entrepreneur jusqu'à 3.000 francs par kilomètre ; au delà, l'excédant de la *recette brute* est partagé par moitié entre l'entrepreneur et le département (qui a construit la ligne à ses frais ou à peu près).

C'est une forme nouvelle mais qui n'échappe pas aux critiques précédemment formulées. Elle prend son origine dans cette appréciation, que nous croyons, en effet, très justifiée, que, pour une recette de 3.000 francs, c'est faire la part suffisamment belle à l'exploitant que de lui allouer une dépense de 3.000 francs, mais ce point de départ que le département s'est donné en s'inspirant de la formule, non exprimée d'ailleurs au traité,

$$D = 1.500 + \frac{R}{2},$$

il y serait arrivé en s'inspirant de bien d'autres formules,

par exemple :

$$D = 1.000 + \frac{2}{3}R \ldots\ldots D = 2.000 + \frac{1}{3}R.$$

Or, nous l'avons dit, toute combinaison basée sur une formule linéaire unique d'exploitation est suspecte, et, de plus, si l'on veut réaliser dans les meilleures conditions possibles, l'idée féconde d'association d'intérêts entre le propriétaire de la ligne et l'exploitant, ce n'est pas sur le partage du produit brut qu'il faut la baser, c'est exclusivement sur le partage du *bénéfice net*, partage qui, seul, intéresse l'entrepreneur à accroître ce bénéfice, c'est-à-dire *à la fois* à augmenter la recette brute et à réduire ses frais d'exploitation.

Parmi les formules que nous avons examinées, les unes l'incitent à augmenter le produit brut, les autres à diminuer les dépenses, aucune ne l'intéresse assez nettement ni assez, à faire les deux à la fois, et c'est en cela qu'un changement de front nous paraît justifié et nécessaire.

3e *système*. — Quant au troisième système, ce n'est que l'un ou l'autre des deux précédents complété par un minimum alloué à l'entrepreneur pour les dépenses d'exploitation. Après tout ce qui précède, nous ne croyons pas nécessaire de le discuter.

C'est pour tous ces motifs qu'il nous semble convenable de modifier, dans deux de leurs points essentiels, les errements jusqu'ici en usage tant pour le principe même de la construction que pour le mode de traiter l'exploitation.

Système proposé pour la construction. — En ce qui concerne la construction, je voudrais que le département, loin de s'en désintéresser en se liant les mains vis-à-vis d'un concessionnaire, la fît lui-même, directement ou indirectement, à ses frais. Une fois la ligne construite et bien établie, il ne lui resterait plus qu'à trouver une société d'exploitation ; cela lui serait facile, il n'aurait, pour ainsi dire, que l'embarras du choix, du moment que cette société n'aurait plus à se préoccuper de constituer un capital d'établissement.

Cette combinaison lui serait-elle onéreuse ? Je crois le contraire.

La ligne tout d'abord serait mieux construite et, par suite, plus sérieusement en état de se prêter à une exploitation économique. Les ingénieurs, les voyers du département peuvent construire aussi bien et mieux que des concessionnaires parfois désignés par le hasard d'une concurrence excessive ; s'ils ne construisent pas en régie, il leur sera facile de trouver des entrepreneurs, des tâcherons qui se chargeront des travaux sur série de prix ou à forfait et qu'ils n'auront qu'à surveiller. En raison des habitudes administratives, des formalités un peu solennelles auxquelles ils sont habitués, on ne manquera pas de prétendre qu'ils construiront plus chèrement qu'un concessionnaire stimulé (trop peut-être) par son intérêt personnel. — Cela n'est pas certain — admettons-le néanmoins ; en matière de travaux publics, plus encore qu'en d'autres matières, parce qu'il s'agit de travaux qui doivent être durables, on en a toujours pour son argent ; l'économie est parfois le pire des calculs et l'on ne saurait trop insister sur ce fait que les réductions exagérées faites sur la construction se répercutent lourdement et pèsent à jamais sur les dépenses de l'exploitation ultérieure, en vue de laquelle la ligne est construite. On l'oublie trop souvent, ou l'on veut l'oublier, mais l'opinion de tous ceux qui ont fait de l'exploitation est bien faite à cet égard.

Au point de vue de la constitution du capital d'établissement, dût-il être un peu plus élevé, est-il possible de

comparer le taux auquel le département trouvera à l'emprunter, avec celui qu'un concessionnaire quelconque devra subir. Le crédit du département est au moins égal au crédit des grandes compagnies auquel la plupart des demandeurs en concession rêvent de recourir. Plus de commissions, d'ailleurs, plus de ce que l'on est convenu d'appeler, par euphémisme, les faux frais de constitution de l'affaire. Tout ce que le département dépensera, il en saura l'emploi exact, il aura la certitude que cela a été employé en travaux. Il n'est pas besoin de demander s'il peut l'avoir aujourd'hui.

Il paraît donc bien certain, en tout état de cause, que la charge du capital (complètement assimilable dans ce cas à un capital exclusivement d'actions) sera moindre si le chemin est construit par le département, que dans tout autre combinaison ; or, tout est là ou presque tout, et c'est dans l'exagération des charges du capital (surtout si les obligations y jouent un rôle important) qu'est l'origine de la stérilité de tant d'affaires destinées à péricliter toujours pour tomber finalement à la charge des départements et de l'État.

Concours des grandes Compagnies. — Dans cet ordre d'idées, et toujours, bien entendu, dans l'hypothèse qu'il s'agit non d'ambitieux réseaux se proposant de faire concurrence aux grandes artères existantes et de vivre de ce qu'ils essaieront de leur enlever, mais de lignes véritablement d'intérêt local, faites pour donner la vie à des régions intéressantes et délaissées, en les reliant aux grandes artères déjà existantes, constituant de vrais affluents de ces artères, il n'est pas possible que le département ne trouve pas dans les grandes Compagnies qui les exploitent et recevront ainsi de nouveaux éléments de trafic, une aide et un concours.

Le grand réseau accepterait, sans doute, de prendre à

sa charge une partie plus ou moins grande des dépenses d'établissement des gares de jonctions et c'est là une dépense ordinairement importante.

Si le département ne veut se charger que d'une partie du travail de construction, de l'acquisition des terrains qu'il peut faire à de meilleures conditions que qui que ce soit, de l'infrastructure de la voie, de la construction des bâtiments, la grande compagnie se mettra, sans doute, à sa disposition pour exécuter, au prix coûtant, les travaux de ballastage et de pose de voie qu'elle peut faire dans de meilleures conditions que les ingénieurs locaux moins familiarisés avec ces sortes de travaux.

Elle pourra fournir au prix de revient les objets ou matières de sa consommation dont le département aura besoin. Voilà pour le premier établissement.

Système proposé pour l'Exploitation.— En ce qui concerne maintenant l'exploitation, propriétaire dès à présent de sa ligne, n'ayant plus à se préoccuper que de traiter avec une société d'exploitation, le département trouvera dans cette situation une liberté d'allures qui a bien son prix. Lié avec son fermier par un traité facilement résiliable au besoin, il pourra, à toute époque, sans les formalités prévues au cahier des charges, c'est vrai, mais plus ou moins faciles d'application, reprendre possession de sa ligne, la confier à un autre exploitant si le premier lui donne des sujets fondés de plainte, au lieu de se trouver rivé à lui pour 99 ans comme dans l'état actuel des choses. Ce n'est pas un des moindres avantages de la combinaison que nous préconisons.

Concours des grandes Compagnies. — Cette exploitation, il n'y a pas lieu de songer, pour les raisons que nous avons exposées au début de cette étude, à la confier à la grande compagnie ; mais celle-ci peut ne pas y rester in-

différente, et de même qu'elle aura donné son concours au département pour l'établissement de la ligne, de même elle peut, sous différentes formes, le donner à la société d'exploitation; elle peut, en allégeant ses charges, l'aider à augmenter le produit net de l'exploitation, ce qui est, nous le répétons, le désidératum le plus important qu'il puisse poursuivre.

La grande compagnie pourra prendre à sa charge une partie des frais supplémentaires d'exploitation de la gare commune aux deux réseaux, et c'est souvent un item important dans les dépenses d'exploitation.

Elle pourra fournir au prix de revient à l'exploitant toutes celles des matières ou objets de consommation qu'elle emploie à son propre usage et le faire ainsi profiter et de leur qualité et de l'économie correspondant à des achats faits sur une grande échelle.

Elle pourrait même, dans certains cas, faire pour la société d'exploitation ce qu'elle fait parfois pour certains de ses correspondants, et lui allouer une petite subvention pour chacun des éléments de trafic *nouveau* qui lui seraient amenés par la nouvelle ligne.

Cette série d'avantages, dont l'ensemble peut finir par prendre une grande importance, ne saurait être consentie, il est à peine besoin de le dire, que si les lignes départementales avaient nettement et conservaient le caractère d'affluents de la grande artère. Des garanties seraient évidemment à prendre et à donner à cet égard. De même que la grande Compagnie s'engagerait à ne pas prendre de mesures de nature à nuire au trafic local auquel la ligne départementale peut légitimement et normalement prétendre, de même celle-ci devrait s'interdire, aussi longtemps du moins qu'elle entendrait conserver son rôle essentiel d'affluent, toutes combinaisons de tarifs ou autres qui pourraient avoir pour résultat de détourner de la grande ligne le trafic qui lui est ou qui doit normalement lui demeurer acquis.

L'application de ces mesures réciproques serait, sans doute, assez facile dans la pratique. En cas de difficultés, rien ne serait plus naturel que de s'en rapporter à l'arbitrage du Ministre des travaux publics.

Si le département, s'inspirant d'autres idées, voulait à un moment quelconque reprendre sa liberté, étendre ou compléter son réseau, la faculté lui en resterait, bien entendu, pleine et entière, la grande compagnie se bornant en ce cas à retirer le concours qu'elle avait donné dans des circonstances ou dans un esprit autres que l'esprit qui viendrait alors à animer le département.

Partage du produit net. — Dans cette combinaison qui oblige le département (avec l'aide de l'État, bien entendu) à une mise de fond immédiate, en échange de la propriété immédiate aussi de ses chemins de fer, il n'est plus question évidemment de garantie d'intérêt ; il s'agit d'exploiter la ligne dans les meilleures conditions, dans l'intérêt de tous et de lui faire rendre le maximum possible de produit net à partager, dans une proportion à déterminer, entre le département et son fermier.

Renonçant alors à rechercher une de ces formules d'exploitation qu'il est si malaisé d'établir sans léser les intérêts d'une des parties en cause, le département autoriserait son fermier à prélever sur la recette brute l'intégralité de ses frais effectifs d'exploitation, en se réservant, bien entendu, d'en contrôler l'exactitude et la nécessité. Il pourrait même, s'il croyait indispensable ce supplément de garantie, les limiter par un maximum dont la formule, beaucoup moins importante alors que dans l'état actuel des choses, devrait être, en tout cas, suffisante pour que l'exploitant pût raisonnablement s'y mouvoir et pourrait, sans doute, sans inconvénient, être représenté par l'expression 2.000 + 0,30 R.

Le bénéfice net de l'exploitation, différence entre la recette et la dépense effective, serait à répartir entre le département et l'entrepreneur de la manière suivante, par exemple :

De 0 à 400^{f} de bénéfice net kilométrique, le fermier en aurait .	50 p. 100
Sur les 1.600^{f} suivants, il toucherait	25 —
Sur tout ce qui dépasserait 2.000^{f}.	10 —

L'exploitant serait ainsi immédiatement et constamment incité à augmenter le produit net, il n'aurait plus la crainte d'engager une dépense utile, à la seule condition qu'elle amène un produit au moins égal, puisqu'en la faisant, il augmenterait le produit net dont une part lui est attribuée.

Le département, de son côté, recevrait dans le bénéfice net une part limitée tout d'abord à 50 p. 100, de manière à inciter l'exploitant à créer le plus tôt possible, un bénéfice net d'exploitation, puis rapidement croissante de manière à rémunérer de mieux en mieux, par une loi raisonnable de progression, le capital qu'il aura consacré à l'établissement de la ligne.

Matériel roulant. — Quant au matériel roulant, il me paraît convenable de le laisser fournir par l'entrepreneur ; s'il était fourni par le département, l'entrepreneur serait trop disposé à le trouver insuffisant comme qualité et comme quantité et moins intéressé à le bien entretenir et à le mieux utiliser. Par suite, il y aura lieu de l'autoriser à ajouter aux frais d'exploitation proprement dits l'intérêt, à 5 p. 100 par exemple, de la valeur de ce matériel.

Fonds de renouvellement. — Il est important enfin de se préoccuper à l'avance du moment des grosses réfections et, pour cela, de stipuler que toute la part du produit net appartenant à l'exploitant sera déposée par lui

dans une caisse publique jusqu'à ce qu'il atteigne une somme déterminée, 2.000 francs, par exemple, par kilomètre. Il ne pourrait être touché à ce fonds de réserve, propriété de l'exploitant, que d'accord avec le département et exclusivement pour les opérations de renouvellement.

Cautionnement. — En cas de résiliation du contrat, c'est sur le reliquat disponible de ce fond de réserve et sur le cautionnement du fermier, que le département retiendrait, s'il y avait lieu, à dire d'experts, les sommes nécessaires pour remettre en état normal d'entretien les parties de voie qui auraient pu n'être pas suffisamment entretenues.

Mais ce n'est pas notre objet que de préciser tous les détails de ce genre.

Lignes à voie de 0^{m},60. — Nous ne terminerons pas cette étude sans insister sur l'importance des services que l'on peut attendre, dans un grand nombre de cas, des chemins de fer à voie très étroite de 0^{m},60 de largeur. Proscrites en France, très à tort à notre avis, pour des motifs d'un ordre éminemment respectable, mais trop spécial, par la circulaire ministérielle du 30 juillet 1888, ces lignes dont l'établissement est exceptionnellement facile et économique, dont l'exploitation peut être assurée à meilleur marché encore que celles des chemins à voie de 1 mètre, nous paraissent pouvoir, dans un très grand nombre de cas, rendre les plus utiles services et pendant une longue série d'années.

Nous nous garderons de formuler une loi générale, de dire, par exemple, qu'il faut affecter

la voie de 1^{m},45 aux chemins de fer d'intérêt général,
celle de 1^{m},00 aux chemins de fer départementaux,
celle de 0^{m},60 aux chemins de fer vicinaux.

La pratique ne s'accommode pas de formules aussi rigides ; c'est l'étude minutieuse de la nature du trafic à desservir qui doit seule déterminer le choix pour les lignes secondaires. Certaines d'entre elles, en raison de leur situation géographique même, et malgré la faiblesse de leur trafic propre, doivent être nécessairement établies à voie de $1^m,45$; pour toutes celles qui ne sont manifestement pas susceptibles de servir au transit, aux transports stratégiques par exemple, il n'y a aucun doute qu'il faille les établir à voie étroite et choisir entre 1 mètre et $0^m,60$, suivant le trafic à desservir. Si l'on est en présence de transports industriels, de très grosses pièces de fer ou de bois, si dans une région agricole le gros trafic probable est celui du bétail, la voie de 1 mètre ou de $0^m,75$ doit être préférée ; dans tous les autres cas, la voie de $0^m,60$ paraît devoir ordinairement suffire ; dans les régions purement agricoles, en particulier, elle présenterait et présenterait seule l'avantage inappréciable que des embranchements de même largeur faciles à poser et à enlever, permettraient aux véhicules de la ligne définitive de pénétrer momentanément à pied d'œuvre jusqu'au centre des exploitations et d'amener les produits depuis leur lieu même d'origine jusqu'à la grande ligne de $1^m,45$ qui les doit transporter aux grands centres de consommation.

Sans parler des chemins de fer militaires de la Tunisie, ni du petit chemin de fer miniature établi par M. Decauville au Champ-de-Mars, et qui, en six mois, a transporté plus de 6 millions de voyageurs, il est intéressant de rappeler aux uns, de faire connaître aux autres, deux exemples qui sont bien de nature à montrer les services parfois considérables que l'on peut attendre d'un instrument en apparence si modeste.

Le premier est un chemin de fer de $0^m,60$ exploité depuis cinquante-sept ans en Angleterre pour desservir les

ardoisières du pays de Galles, le chemin de fer du Festiniog.

Sa longueur est de 23 kilomètres ; il est prolongé par douze embranchements de même largeur desservant des carrières, et d'une longueur totale de 22 kilomètres. — Construit en 1832 comme tramway à traction de chevaux, il a été successivement transformé pour devenir, en 1864, à traction de locomotives. Son capital primitif de construction, de 40.000 francs par kilomètre, atteint aujourd'hui, par suite de cette série de transformations, 165.000 francs par kilomètre.

Ce capital a été constitué exclusivement en actions.

Le poids des rails s'est élevé progressivement de 8 kilogrammes, en 1832, à 15 kilogrammes, en 1847, et à 24 kilogrammes en 1871. — La pente maxima est de $12^{mm},5$ par mètre ; les rayons des courbes, ordinairement de 120 mètres, s'abaissent jusqu'à 35 mètres sans interposition d'alignement droit entre deux courbes de sens contraire. Le matériel roulant se compose de 9 locomotives, 56 voitures à voyageurs et 1.200 wagons.

Les tarifs sont par tonne et kilomètre de $0^f,17$ pour les marchandises ordinaires, $0^f,15$ pour les ardoises ; pour les voyageurs des trois classes, respectivement 0^f11, 0^f08 et $0^f,07$.

En 1888, il a transporté 142.000 voyageurs et 113.000 tonnes de marchandises. Sa recette kilométrique s'est élevée à 29.000 francs, se décomposant en 8.000 francs pour les voyageurs et 21.000 francs pour les marchandises.

Il est difficile de citer un exemple plus topique, et qu'il soit plus nécessaire de faire connaître, du parti que l'on peut tirer d'un instrument aussi simple et aussi économique.

Le second est un chemin de fer de plus récente création, d'Illigori à Darjeeling, dans l'Inde anglaise, qui met

en relation Calcutta avec le premier plateau de 2.000 mètres d'altitude de l'Himalaya.

Ce chemin, de $0^m,61$ de largeur de voie, établi en partie sur route, avec des rampes qui vont jusqu'à 35 millimètres et des rayons de courbure descendant jusqu'à 21 mètres, a 82 kilomètres de longueur. Le poids des rails est de 20 kilogrammes par mètre. Son matériel roulant se compose de 12 machines, 41 voitures et 110 wagons. Le coût d'établissement s'est élevé à 78.000 francs par kilomètre. Les tarifs sont fort élevés en raison du profil exceptionnel de la ligne, 56,28 et 11 centimes par kilomètre pour les trois classes de voyageurs; $0^f,60$ à 1 franc par kilomètre pour les marchandises ordinaires, $0^f,50$ pour les céréales, $0^f,30$ pour la houille.

Il a été transporté, en 1888, 42.800 voyageurs et 24.700 tonnes de marchandises représentant un produit brut kilométrique de 17.940 francs, moyennant une dépense de 9.670 francs, soit 54 p. 100.

Conclusion. — Il est temps de conclure et de rappeler les quatre principes qui nous paraissent résumer cette étude :

1° Les chemins de fer départementaux doivent être construits par les départements et à leurs frais ; c'est pour eux, à la fois, la meilleure garantie d'une bonne construction, qui est l'élément le plus indispensable d'une exploitation économique, le moyen de conserver leur indépendance, et somme toute, le meilleur emploi de leurs sacrifices financiers.

2° L'exploitation doit être confiée par eux à un fermier propriétaire de son matériel roulant et choisi autant que possible, de gré à gré plutôt que déterminé par les hasards d'une adjudication qui, en tous cas, ne saurait sans inconvénients être publique. Le traité doit avoir pour but essentiel d'intéresser directement et toujours le fermier,

à la fois, à accroître le produit brut (*) et à réduire ses frais d'exploitation ; il ne peut être basé pour cela que sur le partage du *bénéfice net* de l'exploitation entre le département et l'entrepreneur.

3° L'importance de l'instrument, c'est-à-dire la largeur de sa voie, doit être en raison de l'importance et surtout de la nature du trafic en vue duquel il est construit. Les chemins de fer à voie de $0^m,75$ et de $0^m,60$ peuvent être un instrument des plus utiles ; l'expérience des autres pays montre tous les jours qu'ils peuvent rendre d'importants services et suffire à un trafic même considérable ; c'est en principe la voie vicinale agricole par excellence.

4° Ces idées n'ont pas la prétention d'être une panacée propre à conjurer tous les inconvénients ou tous les dangers dont l'expérience nous montre déjà la réalité. Elles sont, du moins, ce nous semble, pour les départements qui voudront bien les adopter, un frein contre le danger de courir les aventures, contre certains entraînements auxquels ils n'ont pas toujours résisté.

(*) Pour augmenter les produits, le plus simple serait tout d'abord de ne pas les réduire, en abaissant beaucoup plus que de raison les bases maxima des tarifs fixées par le cahier des charges. Le cahier type de 1881 a eu beau déclarer que les chiffres qu'il donnait à son article 41 n'étaient que de simples indications, la plupart des départements se sont bornés à les reproduire et à les imposer à leurs concessionnaires.

Fixer pour de petites lignes, dont l'existence n'est rien moins qu'assurée, des taxes kilométriques de 10 centimes, $7^c,5$ et $5^c,5$ pour les trois classes de voyageurs, fixer pour les messageries une base de 36 centimes, pour les marchandises des bases de 16, 14, 10 et 8 centimes (les bases même en vigueur sur les grands réseaux), y ajouter même une base de 6 centimes pour les marchandises de toute nature par wagon complet, tout cela nous paraît un inutile sacrifice, au moins pour commencer.

Je n'hésite pas à penser que toutes ces bases devraient être augmentées d'un tiers, sinon de moitié. Le public, qui les comparera au prix des carrioles ou du roulage, y trouvera encore une très notable économie; les recettes brutes du chemin de fer s'augmenteront sans doute à peu près dans la même proportion et la garantie du département diminuera en conséquence Si plus tard le public devient exigeant ou si on le croit utile au développement du trafic, il sera toujours temps de baisser les tarifs. Rien ne sert de courir...

Au lieu de prendre comme objectif, comme on l'a fait trop souvent, sous prétexte de raccourcis à créer, la concurrence aux artères plus ou moins productives des grands réseaux, il faut, c'est à notre avis le principal remède au mal, résolument s'inspirer d'autres idées, faire tendre tous les efforts vers la réalisation d'un même but, ne pas paralyser la bonne volonté des grandes compagnies, s'en servir, au contraire, et obtenir leur concours effectif en leur apportant, même au prix de certains allongements de parcours, une série d'affluents, nombreux, courts, se reliant le plus directement possible aux grandes lignes existantes, à petite ou à très petite voie, suivant les cas ; en un mot, il faut vouloir à tout prix faire utile et modeste, au lieu de chercher des occasions de faire grand.

Pour fixer les idées, j'ai résumé toutes les considérations qui précèdent dans les trois documents suivants :

1° Projet de convention entre le département et la compagnie P.-L.-M. ;

2° Projet de traité entre le département et la société d'exploitation ;

3° Projet de loi sanctionnant les convention et traité.

Il est inutile de dire, en terminant, que cette étude n'exprime que mes idées propres et n'engage que ma responsabilité. Les premières sont d'un homme désintéressé auquel le travail a donné quelque expérience ; de la seconde il a grand souci, sans la redouter plus qu'on ne doit le faire quand une fois on croit être dans la vérité.

Novembre 1889.

CONVENTION

ENTRE LE DÉPARTEMENT D

ET LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE.

Entre le Département d. . . . ., représenté. . . . ., et la Compagnie des chemins de fer P.-L.-M., représentée par. . . . ., il a été convenu ce qui suit :

1. — Dans le but de faciliter au département la construction et l'exploitation d'un réseau de chemins départementaux formé des lignes de . . . . ., et destiné à la fois à donner satisfaction aux intérêts locaux et à servir d'affluents aux lignes du réseau P.-L.-M. avec lesquelles il se relie, la compagnie des chemins de fer P.-L.-M. consent à prendre à sa charge une partie des dépenses à faire en travaux pour permettre à ses gares de . . . . . de recevoir les lignes du réseau départemental.

Ces dépenses, aux termes des plans et devis ci-annexés, et la part que la compagnie P.-L.-M. consent à prendre à sa charge sont évaluées comme suit :

Gares de. . . . . ; dépense . . . . . dont . . . . à la charge de la compagnie P.-L.-M. . . . . .

2. — La compagnie P-.L.-M. s'engage à faire, dans chacune de ces gares, le service des voyageurs et des marchandises en provenance ou à destination des lignes départementales moyennant une allocation annuelle réduite à . . . . . p. 100 du supplément de dépense occasionnée par l'augmentation du service.

Ce supplément de dépense et la part que la compagnie P.-L.-M. consent à prendre à sa charge sont évalués comme suit :

Gare de . . . . . supplément . . . . . dont . . . . . à la charge de la compagnie P.-L.-M. . . . . .

Il est entendu, toutefois, que la société chargée de l'exploitation des lignes départementales fournira à la compagnie P.-L.-M. tous les imprimés relatifs à son service, etc. . . . . .

3. — La compagnie P.-L.-M. s'engage à délivrer dans ses gares de. . . . ., des billets directs de voyageurs pour celles de . . . . . et à mettre en relations de trafic direct pour les marchandises ses gares de . . . . . avec celles de . . . . . des lignes départementales.

4. — La compagnie P.-L.-M. s'engage, en outre, vis-à-vis du département, à fournir à la Société chargée de l'exploitation, si celle-ci le lui demande, toutes les matières ou objets dont elle se sert pour sa propre exploitation et aux prix auxquels elle se les facture à elle-même.

5. — Si le département le lui demande, la compagnie P.-L.-M. fera le ballastage et la pose de la voie, moyennant le remboursement pur et simple de ses dépenses effectives, augmentées de . . . . . p. 100 de frais généraux et de l'intérêt de ses avances calculé au taux effectif de ses emprunts, pour la moitié de la durée d'exécution des travaux.

6. — La compagnie P.-L.-M. sera seule chargée de la police de la gare commune ; elle y fournira, s'il y a lieu, un local au représentant de la société d'exploitation ; aura le droit de punir les agents de cette société en service dans la gare et, réciproquement, appliquera à ses propres agents les punitions qui lui seront demandées par la société d'exploitation, etc. . . . .

7. — La compagnie P.-L.-M. s'engage à ne pas faire de tarifs ayant pour but de détourner des lignes départementales le trafic auxquelles elles peuvent normalement prétendre.

Réciproquement, le département s'engage à ne pas créer de tarifs ayant pour effet de détourner le trafic de la ligne d'intérêt général. A cet effet, la compagnie P.-L.-M. sera appelée à donner son avis sur les propositions de tarif de la compagnie départementale et, en cas d'objections de sa part, le Préfet ne donnera son homologation qu'après avoir consulté le Ministre des travaux publics.

8. — Les avantages concédés par les articles 1, 2, 3 et 4 ne sont consentis qu'en raison de ce que les lignes départementales, destinées essentiellement à desservir des intérêts locaux, ont et doivent conserver le caractère d'affluents de la ligne P.-L.-M. à laquelle elles aboutissent.

Si elles venaient à perdre ce caractère, ce que la compagnie P.-L.-M. se réserve le droit d'apprécier, celle-ci aurait à toute époque le droit de retirer ces concessions et notamment d'exiger le paiement du complément du capital d'établissement des gares communes défini à l'article 1er et du complément des frais supplémentaires d'exploitation desdites gares défini à l'article 2.

9. — La présente convention devra, avant sa mise en application, être approuvée par le Ministre des travaux publics.

TRAITE D'EXPLOITATION

ENTRE LE DÉPARTEMENT D ET LA SOCIÉTÉ

Entre le Département d . . . . ., représenté par son Préfet, M^r^ . . . . ., et la Société . . . . ., il a été convenu ce qui suit :

1. *Objet.* — Le département d . . . . . confie à la société d'exploitation d . . . . ., suivant les clauses applicables de la loi du 11 juin 1880 et des décrets des 6 août 1881 et 20 mars 1882 et aux conditions du cahier des charges annexé à la présente convention et en faisant partie intégrante, l'exploitation d'un réseau de chemins de fer (ou de tramways sur routes) à traction de locomotives à voie de 1 mètre (ou de 0^m^75 ou 0^m^,60) de largeur entre les bords intérieurs des rails, pour le transport des voyageurs et des marchandises, comprenant les lignes suivantes :

. . . . . .

2. *Construction.* — Le département construira à ses frais les lignes faisant l'objet de la présente concession, les mettra en état complet d'exploitation et en fera remise à la société dont la prise de possession sera constatée par un procès-verbal contradictoire de livraison. Cette construction comprendra : les acquisitions de terrain, l'établissement (infra et superstructure) de la ligne et de ses dépendances, y compris les raccordements aux gares de voyageurs et de marchandises de la compagnie P.-L.-M. à . . . ., le matériel fixe, l'outillage et le mobilier des gares, stations, dépôts et ateliers, le télégraphe ou le téléphone.

Il prendra à sa charge dans l'avenir le montant de tous les travaux complémentaires de premier établissement, que rendrait nécessaire le développement du trafic, et qui seront arrêtés d'un commun accord avec la société.

A la fin de chaque exercice, le capital d'établissement sera, la société entendue, arrêté par le préfet et notifié à la société.

3. *Matériel et Exploitation.* — La société d'exploitation fournira le matériel roulant et le tiendra constamment au niveau des besoins du trafic.

Elle prendra à sa charge les dépenses d'exploitation, de quelque

nature qu'elles soient. Elle devra notamment maintenir en bon état d'entretien le chemin de fer et ses dépendances. Cet entretien comprendra le remplacement des objets mis hors d'usage par l'usure normale, pendant la durée du bail.

Le département la substitue aux avantages et aux engagements de la convention en date du . . . . . qu'il a passé avec la compagnie des chemins de fer P.-L.-M. et dont un exemplaire est annexé aux présentes.

4. *Contrôle des recettes et dépenses.* — La vérification et le contrôle des comptes de dépenses et recettes se feront conformément aux règles posées par le décret du 20 mars 1882, en ce qui concerne le compte d'exploitation.

5. *Partage du produit net.* — Sur la recette brute de l'exploitation, la société prélèvera :

1° L'intérêt à 5 p. 100 de la valeur arrêtée contradictoirement de son matériel roulant;

2° Ses frais d'exploitation proprement dits dans la limite maxima de 30 p. 100 de la recette, plus 2.000 francs par kilomètre (2.000 + 0,30 R).

Le bénéfice net restant après ces prélèvements sera partagé entre le département et la société. Il sera attribué à cette dernière :

50 p. 100 sur les 400 premiers francs de produit net kilométrique;

25 p. 100 sur les 1.600 francs suivants;

10 p. 100 sur tout ce qui excèdera 2.000 francs.

6. *Fonds de renouvellement.* — La part de bénéfice net revenant à la société sera consacrée tout d'abord à constituer un fonds spécial de réserve. Aucun dividende ne pourra être distribué par elle tant que ce fonds spécial n'aura pas atteint 2.000 francs par kilomètre exploité, ou n'aura pas été rétabli à ce chiffre.

Ce fonds sera déposé dans les caisses départementales; il n'y pourra être touché que d'accord avec le préfet et exclusivement pour les grosses réparations et réfections.

En fin de bail, ou en cas de résiliation, le département retiendra, s'il y a lieu, sur ce fonds spécial et sur le cautionnement, la somme qui sera jugée nécessaire à dire d'experts, pour remettre la ligne en état normal d'entretien.

7. *Nombre de trains.* — La société ne peut être tenue à faire sur une ligne déterminée plus de deux trains par jour dans chaque sens, tant que le produit brut de cette ligne (impôts déduits) n'excédera pas 3.000 francs par kilomètre. Au delà de cette limite, le département aura le droit d'exiger un train par

1.500 francs ou fraction de 1.500 francs de produit brut kilométrique.

Le préfet pourra, la société entendue, exiger une circulation supérieure sur tout ou partie des lignes concédées, mais dans ce cas le maximum de frais d'exploitation prévu à l'article 5 sera augmenté, pour ces lignes ou portions de lignes, de 0f,70 par kilomètre de train ainsi imposé.

En aucun cas, la société ne pourra être tenue d'établir sur une ligne plus de dix trains par jour dans chaque sens, ni de faire un service entre dix heures du soir et cinq heures du matin.

8. *Longueur des lignes.* — La longueur de chaque ligne sera fixée par un chaînage continu ayant pour extrémités les axes des bâtiments des gares extrêmes.

9. *Matériel et agents français.* — La société s'engage à n'employer dans son exploitation que du matériel construit en France et à n'utiliser que des Français comme agents de son exploitation.

10. *Durée.* — La durée de la présente convention est fixée à vingt ans; elle continuera ensuite par tacite reconduction, avec faculté pour chacune des parties d'y mettre fin en prévenant l'autre un an à l'avance.

11. *Résiliation.* — Dans le cas d'inexécution des clauses ci-dessus, ou de mauvais service de la société, le département aura le droit après deux avertissements donnés à trois mois l'un de l'autre, par acte extra-judiciaire, et trois mois après le deuxième, de résilier la présente convention. Il aura la faculté de reprendre le matériel roulant à dire d'experts.

12. *Cautionnement.* — La société déposera dans la caisse départementale, avant de commencer l'exploitation, un cautionnement de . . . . . par kilomètre.

13. *Contestations.* — Toutes les contestations relatives à l'interprétation ou à l'application de la présente convention, à l'exception de celles dont le règlement est stipulé par le décret du 20 mars 1882, seront jugées administrativement par le Conseil de Préfecture de . . . . . sauf recours au Conseil d'État.

14. *Enregistrement.* — La société s'engage à acquitter les frais de timbre, d'enregistrement et d'expédition, ainsi que tous les autres frais accessoires auxquels pourraient donner lieu la présente convention et le cahier des charges qui en fait partie.

PROJET DE LOI.

1. — Est déclaré d'utilité publique l'établissement, dans le département d . . . . . d'un réseau de chemins de fer d'intérêt local à voie de 1 mètre (de $0^m,75$ ou de $0^m,60$) de largeur entre les bords intérieurs des rails.

Ce réseau comprend les lignes suivantes :

De . . . . . à . . . . ., longueur approximative . . . . . à voie de . . . . .; nature de la ligne . . . . .

. . . . . .

2. — La présente déclaration d'utilité publique sera considérée comme non avenue si les expropriations nécessaires ne sont pas accomplies dans un délai de trois ans à partir de la promulgation de la présente loi.

3. — Le département d . . . . . est autorisé à pourvoir à l'exécution des lignes ci-dessus, conformément aux clauses et conditions de la loi du 11 juin 1880 et du cahier des charges type du 6 août 1881 relatives à la construction.

4. — Est approuvée la convention en date du . . . . ., passée entre le département et la compagnie des chemins de fer P.-L.-M.

Cette compagnie est autorisée :

1° A faire figurer dans son compte de travaux complémentaires la partie de la dépense d'établissement des gares communes et de leurs agrandissements ultérieurs, s'il y a lieu, qu'elle prend à sa charge, après approbation préalable des projets d'exécution par le ministre des travaux publics ;

2° A comprendre en recettes et dépenses, dans son compte unique d'exploitation, les résultats de ladite convention.

5. — Est approuvé le traité d'exploitation en date du . . . . ., passé entre le département et la société de . . . . .

Pour l'exécution de l'article 5 de ce traité, l'État s'engage à payer au département une annuité représentant l'intérêt à 4 p. 100 de la moitié du capital d'établissement, il recevra, par contre, la moitié de la part du bénéfice net revenant au département.

6. — La convention du . . . . . et le traité d'exploitation du . . . . . annexés à la présente loi seront enregistrés au droit fixe de 3 francs.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

LEFÉBURE DE FOURCY (EUGÈNE)

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES

Par M. LAMÉ FLEURY, Inspecteur général des mines.

M. Hermite, membre de l'Institut, dans le discours qu'il a prononcé, le 5 août 1889, à l'inauguration de la nouvelle Sorbonne, sur les travaux des professeurs de l'enseignement mathématique à la Faculté des sciences, s'exprimait ainsi au sujet de deux savants dont le souvenir ne pourrait être omis dans une notice biographique consacrée à Eugène Lefébure de Fourcy :

« Le rare mérite des ouvrages de Lacroix n'a point été perdu avec lui : Lefébure de Fourcy, son successeur à la chaire de calcul différentiel et de calcul intégral, a publié divers ouvrages, qui ont une réputation bien méritée par la clarté et la précision de la rédaction. Ses Leçons d'algèbre possèdent à cet égard une incontestable supériorité et sont encore un des meilleurs ouvrages élémentaires pour l'étude de cette science. »

« Lamé est un des plus beaux génies mathématiques de notre temps; des découvertes capitales, qui ont ouvert de nouvelles voies dans la théorie de la chaleur, la théorie de l'élasticité, l'analyse générale, le placent au nombre des grands géomètres dont la trace reste à jamais dans la science »....

Eug. L. de Fourcy était le fils aîné du premier de ces savants et devint, en 1849, le gendre du second, dont il épousa la fille unique. S'il se borna, — trouvant, dit-il, qu'il ne lui appartenait pas d'entreprendre un éloge qui paraîtrait intéressé, — à faire précéder d'une simple note biographique la reproduction, dans les *Annales des mines* (1872, **1**, p. 271), des discours prononcés aux funérailles de son illustre beau-père, Eug. L. de Fourcy a consacré à son père, en 1881, une fort curieuse monographie (*) sur laquelle il convient de s'arrêter ici.

En effet, cette brochure, distribuée seulement aux membres de sa famille et à ses amis, met en relief tout ce qui caractérisait l'auteur aux yeux de ceux qui l'ont connu dans l'intimité. A elle seule, la première page nous le montre tel que ces derniers l'ont toujours vu, profondément animé de l'esprit de famille, possédant à un singulier degré le goût de l'investigation intellectuelle, en même temps que l'amour de l'exactitude, travailleur opiniâtre et méthodique, ayant ce soin du détail sans lequel rien de bien ne saurait être achevé, instruit en toutes choses et enfin écrivain élégant :

« A la mort de mon père, je trouvai, dans un des cartons de sa bibliothèque, des feuillets de toute forme, de toute écriture et de toute orthographe. Ces pages, jaunies par le temps, étaient des extraits d'actes de baptême, de décès ou de mariage, mêlés à des partages de successions, qu'avaient minutés des notaires royaux du dernier ou même de l'avant-dernier siècle, et qui étaient accompagnés de grossiers essais de généalogie destinés à établir les droits des copartageants. Ayant eu la curiosité de rapprocher ces documents par ordre chronologique et de constituer la filiation, la parenté ou l'alliance des per-

(*) Louis Lefébure de Fourcy (1787-1869). — Jolie plaquette d'une centaine de pages, avec épigraphe tirée de Labruyère.

sonnages qui y étaient mentionnés, je conçus bientôt l'espoir de grouper tous ceux-ci dans un seul et même tableau, par lignes directes et collatérales. De la pensée à l'exécution, le temps fut long, les tâtonnements furent nombreux. Mais mon labeur eut sa récompense et je parvins à remplir, sans lacunes, le vaste cadre que je m'étais tracé. Il contient plus de 300 cartouches de couleurs variées, où chaque personnage figure avec ses noms et prénoms, sa profession, le jour et le lieu de sa naissance, la date de son mariage, le jour et le lieu de sa mort.

« En ligne directe, notre famille remonte avec certitude à un sieur Le Febvre (Guillaume), marchand drapier à Evreux, qui, né sous Henri III, vers 1574, mourut le 16 avril 1634, et que j'appellerai Le Febvre Ier, n'en connaissant pas de plus ancien ».

Puis Eug. L. de Fourcy, — que le cadre étroit dans lequel je dois me maintenir m'empêche de suivre autrement qu'en lui faisant d'indispensables emprunts, — continue jusqu'à nos jours sa narration, qui à l'intérêt historique joint bien souvent l'attrait romanesque. En somme, nous nous trouvons en présence d'une sorte de « livre de raison », pour employer une expression remise à la mode par l'école sociale de Le Play, de qui, soit dit en passant, Eug. L. de Fourcy fut l'ami, parfois le collaborateur et, ici même (*), le biographe, dans une magis-

(*) 1882, **2**, p. 5. — Eug. L. de Fourcy a également publié aux *Annales* un Extrait du *Compte rendu d'une mission dans les fonderies d'artillerie*, par le capitaine Morin (théorie mathématique des moteurs) (1833, **1**, p. 93 et 259); une Analyse d'un mémoire de M. Humboldt sur le pays de Quito et une Notice géologique sur l'Afrique méridionale (traductions de l'allemand) 1839, **1**, p. 481 et 487); un Rapport sur une locomotive fumivore (système Friedmann) (1862, **2**, p. 591); une Note sur deux accidents par asphyxie dans des conduites de gaz chauds (1873, **1**, p. 137).

trale notice. Toutefois les éléments du « livre de raison » seuls existaient et ils ont été remarquablement mis en œuvre, de telle sorte qu'ils résument les phases mouvementées d'une famille de cette vieille, vigoureuse et saine bourgeoisie parisienne, où les fortunes, avec le temps se font, se défont, mais heureusement se refont aussi.

C'est le grand-père de nos deux camarades, Etienne-Louis (dont l'odyssée est vraiment des plus singulières), qui a créé le nom de cette branche de la dynastie. « Le surnom de Du Coudray, qui le distinguait de ses trois frères, lui semble trop commun. Il en prend un mieux sonnant..... D'où venait ce nouveau nom? Les archives de la famille sont à ce sujet complètement muettes ». Le fils et les deux petits-fils devaient immédiatement tirer « ce nouveau nom » de l'obscurité.

Michel-Eugène Lefébure de Fourcy était né, le 29 novembre 1812, à Paris, au n° 21 de la rue Lévêque, « une de ces voies étroites et sombres, aujourd'hui disparues, qui menaient au sommet de la butte des Moulins. Mon père m'y a souvent montré, dit-il, les trois fenêtres de l'étroit logement situé au premier étage de la laide maison qui abrita les plus difficiles, mais non les moins heureuses, années de son mariage ». Je devais un peu insister sur cette origine parisienne, parce que, jointe notamment à un mariage contracté à Paris, elle allait entraver et même finalement interrompre le développement normal de sa carrière administrative. Dans son affection excessive pour sa ville natale et avec son humeur voyageuse, il eût dit volontiers ce qu'en a dit Montaigne (*) : « Elle a mon cœur dez mon enfance et m'en est advenu comme des choses excellentes; plus i 'ay veu depuis d'aultres villes belles, plus la beauté de cette cy peult et gaigne sur mon affection. »

(*) *Essais*, livre III, chapitre IX.

Ici je crois devoir laisser Eug. L. de Fourcy dire quelques mots de la vraiment rude éducation de l'enfant : En 1820, « le jour même où mon père montait dans sa chaire de mathématiques spéciales au collège Saint-Louis, j'y entrais dans la classe de septième... Voici quel fut, pendant près de dix ans, l'emploi d'une journée de notre famille : à huit heures du matin, mon père, mon frère et moi partions tous trois pour le collège, où chacun avait sa classe; à dix heures, rentrée au logis et déjeuner frugal pour tous, une tasse de café au lait et un petit pain d'un sou; à deux heures et demie, classe du soir; rentrée à quatre heures et demie, dîner et récréation; étude de six heures et demie à dix heures.

« La surveillance paternelle était sévère, parfois injuste, me semblait-il... Jugeant à distance ces temps lointains, j'estime aujourd'hui que la sévérité était chez mon père un invariable principe d'éducation et qu'elle dut être souvent plus systématique que réelle.

« Mon père avait décidé que ses deux fils entreraient à l'école polytechnique » (dont il était lui-même ancien élève, comme on sait). « Les années 1828 et 1829 s'écoulèrent sans incidents. Je les passai, la première en philosophie et en mathématiques élémentaires, la seconde en mathématiques spéciales et en physique... Deux fois par semaine, mon père nous réunissait, un de mes amis et moi, devant son vieux tableau noir. Je redoutais comme le feu ces séances, parfois orageuses pour moi jusqu'aux larmes. Si la crainte est le commencement de la sagesse, c'est peut-être à elle que je dus mon entrée à l'École polytechnique dès le premier examen ».

Ce qu'il y a de sûr, c'est que Eug. L. de Fourcy n'avait point encore dix-sept ans quand il était reçu, après deux années seulement d'études mathématiques, et qu'entré avec le numéro 60, il se plaçait bientôt au premier rang, pour ne le perdre ni à la sortie de l'École

polytechnique, ni pendant son séjour à l'École des mines (*). J'ajouterai qu'il était licencié ès sciences mathématiques (2 janvier 1832), licencié ès sciences physiques (2 août 1832) et même licencié en droit (15 juin 1838); j'ai sous les yeux la thèse juridique qu'il a soutenue : De l'extinction des obligations par le paiement, la confusion et la perte de la chose due. — *De solutionibus et liberationibus.*

Le 10 février 1835, Eug. L. de Fourcy était attaché temporairement à la Commission de statistique de l'industrie minérale, dont Le Play était le secrétaire et, comme cela est rappelé dans la notice biographique ci-dessus mentionnée, la cheville ouvrière : « adjoint à Le Play comme collaborateur, — dit Eug. L. de Fourcy à propos de la publication du Compte rendu des travaux métallurgiques, minéralogiques et géologiques, exécutés, dirigés ou surveillés par les ingénieurs au corps des mines, — j'ai vu, chaque année, grandir, sous sa féconde impulsion, la publication destinée à tenir le pays au courant des progrès de notre industrie minérale ». Il est permis de supposer que, dans cette circonstance, si les qualités natives d'Eug. L. de Fourcy purent être amplement utilisées par son maître et ami, elles durent aussi se développer au contact de celles de l'éminent statisticien. L'administration montra, à deux reprises et à quarante

(*) Voici le relevé chronologique des nominations administratives d'Eug. L. de Fourcy dans le corps des mines :

15 nov. 1831. Élève ingénieur.
1er oct. 1834. Aspirant.
9 janv. 1837. Ingénieur ordinaire de 2e classe.
23 déc. 1845. id. 1re classe.
23 avril 1856. Ingénieur en chef de 2e classe.
11 avril 1864. id. 1re classe.
15 déc. 1869. Inspecteur général de 2e classe.
2 mai 1849. Chevalier de la Légion d'honneur.
12 août 1868. Officier id.

ans d'intervalle, qu'elle en jugeait ainsi : le 20 décembre 1838, elle le désignait pour seconder le secrétaire du Conseil général des mines, auquel était alors attribuée la confection du Compte rendu; le 23 mai 1877, elle le nommait membre d'une commission spéciale chargée d'étudier la question des modifications que peut réclamer la statistique.

En cette même année 1835, l'administration des mines proposait aux Conseils généraux de mettre à leur disposition les ingénieurs pour dresser des cartes géologiques départementales, qui devaient constituer l'utile complément de la carte de France exécutée par Dufrénoy et Elie de Beaumont. Les Conseils généraux de la presqu'île de Bretagne répondirent des premiers à l'appel, et Eug. L. de Fourcy reçut aussitôt une mission géologique dans le Morbihan, le Finistère et les Côtes-du-Nord, sur laquelle je reviendrai tout à l'heure, à cause des résultats qu'elle ne manqua pas de produire à bref délai.

C'est au cours de cette mission que lui fut confié le service ordinaire des départements de Seine-et-Oise et du Loiret, avec résidence à Paris (28 août 1839).

Moins de deux ans après (10 mai 1841), Eug. L. de Fourcy était chargé de cette portion du service du département de la Seine qui comprend le service municipal des travaux de consolidation des anciennes carrières souterraines situées dans les propriétés de la ville de Paris. Il allait occuper ce poste durant dix-sept ans, — durant vingt ans même, si l'on tient compte de son retour, en 1866, à la direction du service ordinaire pour l'arrondissement minéralogique de Paris, — et y rencontrer l'occasion de donner toute sa mesure. Se trouvant en présence de précieuses archives sur les vides produits dans le département de la Seine par l'exploitation des carrières souterraines de pierre à bâtir, il conçut immédiatement le projet utile de coordonner, au moins

pour la ville de Paris (telle qu'elle se comportait avant l'annexion de 1860), tous les plans existants, puis de les relier par une triangulation de la superficie, pour aboutir à un atlas dont l'exécution ne lui fait pas moins d'honneur que la conception. Je n'ai point à parler de ce remarquable travail, qui a notamment cette conséquence pratique de permettre, en un point quelconque du périmètre auquel il se rapporte, la reconnaissance de la nature du sous-sol au point de vue des constructions superficiaires. En effet, à l'occasion de l'Exposition universelle de 1855, l'auteur avait rédigé une courte notice, qu'il a développée pour les *Annales des Mines* (*), de manière à y résumer tous les détails historiques, géologiques, techniques et réglementaires, propres à faire apprécier le caractère tout spécial et l'importance d'un service dont treize années d'expérience lui avaient rendu les traditions familières. Cet atlas, tout à la fois témoignage d'une aptitude particulière pour les travaux topographiques et d'un immense labeur, a péri, pour les deux tiers au moins des exemplaires, dans l'incendie de l'Hôtel de ville; il y avait été transporté, durant la période insurrectionnelle de 1871, avec les archives de l'inspection des carrières de la Seine, devenu immédiatement service municipal de la commune de Paris. Le troisième tiers, c'est-à-dire une centaine d'atlas, est disséminé entre les possesseurs de cette publication officielle, qui ne se trouvait pas dans le commerce et qui, distribuée seulement à quelques bibliothèques publiques et à des fonctionnaires spéciaux, ne peut plus se rencontrer que dans des ventes après décès. Il est à désirer que ce beau travail soit repris et complété jusqu'aux fortifications, de façon à servir pour le Paris actuel.

(*) 1855, **1**, p. 69. — *Anciennes carrières de Paris* (Historique. Fondation de l'inspection générale des carrières. Système de travaux. Renseignements statistiques. Atlas souterrain de Paris).

En novembre 1858, Eug. L. de Fourcy quittait temporairement le service qui, pour moi, caractérise sa vie administrative et doit légitimement perpétuer son souvenir. Il était chargé de la direction du contrôle du réseau des chemins de fer du Nord, c'est-à-dire changeait absolument la nature de ses occupations officielles, à un âge où une évolution aussi délicate constitue tout au moins une complication. Mais sa précieuse faculté d'assimilation, son expérience des affaires administratives, son tempérament essentiellement laborieux et consciencieux, le rendaient apte à toutes les fonctions, et les détails multiples d'une exploitation de chemin de fer n'étaient pas pour l'effrayer. On le voit successivement prendre une part active aux travaux de commissions spéciales chargées d'examiner les inventions ayant pour but de prévenir les accidents (1864), de vérifier les comptes de premier établissement des réseaux d'Orléans, de Paris à Lyon et à la Méditerranée, du Midi, de la ligne du Victor-Emmanuel (1871), d'étudier les questions concernant les relations des compagnies de chemins de fer aux points de jonction de leurs réseaux (1875). Nommé, en 1872, membre d'une commission permanente chargée de l'examen des inventions et règlements concernant les chemins de fer, il en devenait le président en 1875; et, détail à noter, lorsqu'à la fin de 1877, il était admis à faire valoir ses droits à la retraite, — par application d'une loi aveugle et inflexible (c'est là sa double raison d'être), et suivant un euphémisme qui est rarement de circonstance, — cette commission décidait que l'expression des regrets que causait son départ serait consignée au procès-verbal, dont extrait lui était transmis en termes flatteurs par l'administration. En qualité de président de ladite commission permanente, Eug. L. de Fourcy faisait partie, comme membre de droit, de la commission centrale des chemins de fer; l'arrêté minis-

tériel d'organisation permettant alors d'y appeler des inspecteurs généraux en retraite, l'administration s'empressa de l'y maintenir et de le nommer, en 1878, membre du comité consultatif des chemins de fer, qu'il quitta volontairement à la fin du premier trimestre de 1880.

J'avais l'honneur d'être secrétaire du Conseil général des mines, lorsque Eug. L. de Fourcy y entra comme inspecteur général. Jusqu'alors je n'avais connu et goûté que l'homme privé; il me fut permis de voir de près le fonctionnaire instruit, expérimenté, assidu et infatigable, le rapporteur disert et lucide, au jugement sûr et droit, le critique sagace et honnête par intuition, dégageant nettement une difficulté des faits de l'instruction de l'affaire en délibération, excellant à dire le mot décisif et même incisif, car il était de ceux qui, en opinant, ne dédaignent pas d'appeler un chat un chat. Peut-être pouvait-on reprocher à sa tournure d'esprit d'être trop autoritaire, de trop croire à la vertu du règlement en matière industrielle, d'avoir, après un exposé (persuasif sans doute par la précision des termes), quelque tendance à une concision excessive dans l'argumentation qui lui dictait son avis ; par suite peut-être d'une crainte exagérée de verser dans la prolixité, il opinait plutôt en juré que comme un juge, lequel est tenu de motiver sa décision, et oubliait qu'une affirmation ou une négation, même bien fondées, ne constituent point une démonstration.

A toute époque, l'administration, rendant hommage à la variété des aptitudes d'un ingénieur aussi instruit que zélé, réclamait son concours pour les tâches les plus diverses. Ainsi, en 1856, elle en faisait le délégué de notre corps aux examens d'analyse subis à l'École polytechnique; elle le nommait membre d'une commission générale instituée pour la réglementation du dessin dans les services publics. En 1872, elle l'appelait au conseil de l'École des mines, ainsi qu'au conseil de perfectionnement. En 1875, il faisait partie de la commission spéciale de revision de la loi du 21 avril 1810, sur les mines. En 1877, il présidait une commission chargée de donner son avis sur le procédé, alors en cours d'exécution à Reims, pour l'épuration des eaux d'égout.

Parallèlement à la partie purement administrative de la carrière, si bien remplie, dont je m'efforce de retracer scrupuleusement les principaux traits, Eug. L. de Fourcy avait poursuivi, autant que ses loisirs professionnels le lui permettaient, une voie scientifique, à laquelle pourrait bien d'ailleurs être rattaché son atlas souterrain de Paris. Il eut toujours beaucoup de goût pour la géologie et la minéralogie. Ainsi je remarque qu'en 1853, suppléant Le Play, durant un voyage de celui-ci, comme inspecteur des études à l'École des mines, il profite de son intérim pour coopérer au classement de la collection statistique des départements; que cette collection, qui ne comprenait que 8 départements quand il commença à s'en occuper, en embrassait 25 lorsqu'il se retira au bout d'une couple de mois. « Dans la classification adoptée, écrivait Dufrénoy, les minéraux métalliques, ceux qui fournissent des produits à l'industrie (alun, couperose, etc.), les matériaux de construction, ceux propres à l'entretien des routes, sont rapprochés les uns des autres. Par cette disposition, on se rend facilement compte des matières premières que la nature minérale fournit à l'industrie de chaque département et de celles qu'il doit emprunter aux départements limitrophes. Une telle classification favorise beaucoup ce genre d'étude et le public étudie avec assiduité la partie de la collection statistique qui est déjà rangée ». A l'occasion de ce travail utile, le directeur de l'École insistait sur l'aptitude particulière dont témoignaient à cet égard les différentes cartes géologiques exécutées par Eug. L. de Fourcy. En effet, il est l'auteur de quatre cartes départe-

mentales, publiées successivement, avec texte explicatif de 160 à 200 pages : en 1844 (Finistère et Côtes-du-Nord); en 1848 (Morbihan, en collaboration avec Th. Lorieux, alors ingénieur en chef); en 1859 (Loiret).

Pour la Bretagne, j'ai la bonne fortune d'avoir sous les yeux une lettre écrite par Dufrénoy à Juncker, sous les ordres duquel se trouvait alors Eug. L. de Fourcy (24 décembre 1848), où je lis : « Chargé, avec Élie de Beaumont, d'examiner les travaux des ingénieurs des mines relatifs à l'exécution des cartes géologiques départementales, j'ai eu l'occasion d'étudier spécialement des cartes du Finistère et du Morbihan qui ont été exécutées par M. de Fourcy. Les contrées qu'il a eues à explorer sont d'une étude très difficile, et par les modifications que les terrains de transition ont éprouvées depuis leur dépôt, et par leur enchevêtrement avec les granits de différents âges. M. de Fourcy a donc dû consacrer beaucoup de temps à l'exécution de ce travail, et il l'a fait avec une grande sagacité. Les divisions qu'il a admises dans les terrains de cette partie de la France sont maintenant adoptées par tous les géologues, en sorte que les cartes du Finistère et du Morbihan doivent être considérées comme donnant à la fois des titres administratifs et des titres scientifiques à cet ingénieur. » Si Dufrénoy appréciait aussi favorablement deux des cartes géologiques d'Eug. L. de Fourcy, je ne crois pas m'avancer beaucoup en supposant que les deux autres doivent être traitées de même, à raison d'une particularité tout à fait propre à faire ressortir la manière de l'auteur. Les quatre textes explicatifs sont coulés dans un même moule, rationnellement arrêté et scrupuleusement respecté, *mutatis mutandis :*

Introduction (parallélisme des chaînes de montagnes simultanément soulevées. Division de la croûte terrestre en formations. Détermination de l'âge des chaînes de

montagnes. Tableau synoptique des formations et des systèmes de soulèvement. Quelques définitions). — Je remarque que le préambule des textes de 1844 est ainsi conçu : « Une goutte de matière fondue se trouva un jour lancée dans l'espace. Cette goutte avait près de 1.600 lieues de rayon et pesait 6.000.000.000.000.000 millions de tonnes. Ce fut la Terre ». Dans les textes de 1848 et 1859, ce préambule est ainsi libellé : « Les astronomes, les mathématiciens, les géologues, s'accordent tous aujourd'hui pour admettre que la Terre fut, dans le principe, un globe fluide et qu'elle doit sa forme sphéroïdale au mouvement de rotation dont elle a été originairement animée ». Je me figure que le premier préambule aura été, par quelque esprit positif, critiqué comme trop littéraire pour une étude géologique, d'où la substitution du second préambule au premier. Eh bien! cet accès d'imagination n'était point à supprimer, l'imagination s'alliant même à la science : G. Lamé était aussi un homme d'imagination, ce qui ne l'a point empêché d'être un homme de génie, dont, comme le rappelait M. Hermite, « les découvertes ont rendu le nom impérissable ».

1re *partie* (Description physique). — 2e *partie* (Description géologique). — 3e *partie* (Statistique physique, minérale et minéralurgique). Table alphabétique des noms de localités citées dans l'ouvrage, — pour la Bretagne; Nomenclature, par ordre alphabétique, des 348 communes du département, contenant indication de leurs carrières, marnières, sablières, glaisières, tuileries, poteries, fours à chaux, fours à plâtre, — pour le Loiret. C'est évidemment parce qu'il était chargé du service ordinaire de ce département qu'Eug. L. de Fourcy en avait entrepris la description géologique, de même qu'il eût certainement entrepris celle de l'autre département de son sous-arrondissement minéralogique, s'il n'avait point été devancé (Seine-et-Oise, de Sénarmont).

Dans les *Avant-propos*, partiellement identiques aussi, — notamment en ce qui concerne les trois départements bretons, où se trouvaient à mentionner les travaux de mêmes prédécesseurs, — Eug. L. de Fourcy trahit, par un détail final et uniforme, l'influence du minutieux et exact Le Play : « Il résulte d'un relevé fait jour par jour, sur mes notes de voyages, que j'ai parcouru dans ce département, à pied, le marteau à la main, ... kilomètres. J'ai donc le droit de penser que, dans les limites de temps et de dépenses (ici en note le prix de revient de l'exemplaire, indemnité de tournée et frais de publication distingués) assignées à l'exécution des cartes géologiques départementales, nul département n'aura été plus consciencieusement exploré. » Un petit accès de légitime orgueil, quand il est de nature à inspirer confiance en l'auteur, est bien permis pour un travail de ce genre : les peines et fatigues que coûtent les excursions géologiques sont une garantie d'exactitude, qui marche de pair avec les soins qu'exigent le dessin de la carte et la rédaction du texte !

Dans ce même ordre d'idées, je ne dois point omettre de rappeler la mission, certainement délicate et qui, je le sais, n'a pas laissé de demander beaucoup de travail à Eug. L. de Fourcy, que lui confia l'administration au sujet d'une publication, en 1873, de la partie dévolue à Dufrénoy dans le tome III de l'*Explication de la carte géologique de la France*. Ce tome est malheureusement resté inachevé, on le sait, Élie de Beaumont étant mort avant d'avoir formulé son dernier mot sur la partie de la tâche qui lui incombait dans l'association. L'éditeur indique délicatement, dans un avertissement, les motifs qui ont fait avorter partiellement cette longue entreprise, trop lentement menée.

« A l'époque où M. Dufrénoy rédigeait son travail, la

paléontologie était loin du degré de perfection qu'elle a depuis atteint. On ne voyait pas ces lignes de fer qui sillonnent aujourd'hui, si heureusement pour la science, l'écorce terrestre. Les monographies dues à d'habiles explorations locales n'avaient point, en abordant les détails des formations modernes, mis en lumière des faits qui avaient pu échapper dans des études embrassant la moitié du territoire français... — Le lecteur qui parcourra le présent volume devra donc se reporter, par la pensée, à vingt-cinq ans en arrière, et, s'il veut être juste, il éprouvera, en lisant ces descriptions d'une vérité toujours si frappante, le respect qu'inspirent encore les pages immortelles des Saussure et des Ramond... — Désigné par Mme Dufrénoy pour la revision et l'impression de l'œuvre de son mari, j'ai été heureux de rendre ce dernier hommage de reconnaissance et d'affection à l'éminent géologue qui, après m'avoir eu pour disciple, avait bien voulu m'avoir pour ami. »

On a vu l'éducation excellente, mais sévère, que le père de nos deux camarades avait donnée à ses fils : de courtes récréations, presque jamais de parties de plaisir, de longues courses à pied comme unique récompense. Plus d'un aurait succombé à ce régime ; Eug. L. de Fourcy devint extrêmement robuste et particulièrement bon marcheur, ce qui ne devait pas nuire à sa carrière de géologue et lui donna, en outre, un goût très vif pour la botanique. Dès 1846, il avait pris l'habitude d'herboriser, dans ses promenades et ses voyages, notamment avec Le Play et Robin, du corps des ponts et chaussées, qui avaient ce même goût au même degré. Puis il affectionnait la campagne et y séjournait annuellement durant l'été, d'abord à Saint-Germain, que ses parents habitèrent en 1837, ensuite à Sèvres, où il avait acheté, en 1865, une jolie propriété. On s'explique bien comment il

conçut l'idée de ce qu'il appelait familièrement sa *florule* (*) :

« Nous ne regretterons pas les heures que nous a coûtées ce petit volume, — lit-on dans la préface, — s'il devient le fidèle compagnon des amis d'une science aussi salutaire au corps que douce à l'esprit, science charmante qui nous procure sans cesse d'agréables délassements et dont nous souhaitons faire partager à d'autres les pures et faciles jouissances. » Naturellement, ce travailleur infatigable avait apporté à l'étude de la botanique ses qualités habituelles de méthode, de sagacité et de finesse d'observation, et le succès vint couronner son excursion hors du domaine direct de l'ingénieur des mines. Son guide de l'herborisateur parisien, publié en 1859, conquit bientôt une réelle popularité et il dut faire cinq éditions successives de cette œuvre de patience, qu'il ne cessait d'améliorer avec sa probité native. En voici, du reste, le plan, tel qu'il l'a exposé lui-même :

« Les difficultés que rencontrèrent nos premières études, les mécomptes dont les commençants nous rendirent si souvent témoin, nous ont engagé à faire un petit volume de poche offrant les avantages de ceux qui l'ont précédé, sans en avoir les inconvénients. Une série de doubles questions (méthode dichotomique) y conduit progressivement aux noms d'ordre, de genre, d'espèce, et, si le lecteur s'est égaré dans sa marche, la description de la plante qu'il croit avoir trouvée l'avertit de sa méprise. Les caractères adoptés dans nos clés dichotomiques ont toujours été choisis parmi ceux qui frappent les yeux les moins exercés. La loupe et le scapel sont

(*) *Vade-mecum des herborisations parisiennes*, conduisant sans maître, aux noms d'ordre, de genre et d'espèce, des plantes spontanées ou cultivées en grand dans un rayon de 25 lieues autour de Paris. — Parmi les collections de toute nature qu'Eug. L. de Fourcy avait amassées dans sa villa de Sèvres, figure un magnifique herbier.

des instruments de cabinet, qu'il faut à peu près exclure d'une promenade botanique. Aussi ne considérons-nous qu'à la dernière extrémité le fruit, organe d'un développement tardif et d'une observation minutieuse. La forme des feuilles, la taille de la plante, la couleur de la fleur, le nombre des étamines ou des styles sont, au contraire, des caractères très faciles à saisir; c'est à ceux-là que nous nous sommes attaché de préférence. — Par un simple artifice de numérotage, nos clés laissent successivement apparaître les ordres, les genres et les espèces à leur rang naturel, ce qui n'avait point encore été fait jusqu'ici... — Elles s'appliquent exclusivement aux plantes comprises dans les limites de la flore parisienne, c'est-à-dire dans un rayon de vingt-cinq lieues. Employées hors de ces limites, elles pourraient induire en des erreurs dont il serait injuste de les rendre responsables. »

Comment se fait-il que cet ingénieur à tous égards excellent, entré si jeune et si brillamment à l'École polytechnique et aussi dans le corps des mines, ne soit point arrivé au grade le plus élevé de ce corps? C'est qu'il n'a point été servi par les circonstances, qu'il s'est heurté à deux applications du principe fondamental, pour toute administration, de la subordination nécessaire et inévitable des questions de personnes à la question du personnel. Ainsi, en prenant le service municipal des anciennes carrières-sous-Paris, Eug. L. de Fourcy était en droit d'espérer qu'il pourrait y obtenir, à l'instar de ses prédécessenrs, un avancement régulier, c'est-à-dire conserver son service et, par suite, la résidence de Paris à laquelle il tenait peut-être outre mesure, en même temps que son élévation de grade. En effet, Trémery, Migneron, Allou, Poirier Saint-Brice, qui l'avaient précédé comme ingénieurs ordinaires dans ce service, y étaient restés ingénieurs en chef à leur rang d'ancienneté, alors

qu'il n'était cependant point encore question du travail si important de l'atlas municipal souterrain. Sans doute et à raison de ce travail, Eug. L. de Fourcy fut finalement l'objet d'une mesure semblable, mais il le fut tardivement à son point de vue personnel. Tandis qu'il aurait pu, en 1848, être nommé ingénieur en chef en province, il ne le fut à Paris qu'en 1856, et ce retard était trop considérable pour ne pas lui faire perdre tout l'avantage de la précocité de ses débuts. Quand arriva l'inexorable limite d'âge de la seconde classe de l'inspection générale, aucune des trois seules places de la première classe réservées pour le service administratif n'était vacante au conseil général des mines.

Quoi qu'il en soit, si l'on met à part la considération d'amour-propre, légitime d'ailleurs chez un ingénieur qui avait mérité toutes les dignités de notre corps et qui ne les obtenait point, il est permis de dire qu'Eug. L. de Fourcy ne souffrit réellement pas de ce que le couronnement de sa carrière administrative lui manquait. Sa fortune patrimoniale, soigneusement administrée, était devenue fort belle. Il avait toujours vécu loin des vaines agitations de la vie publique, qui, dès lors, ne fit pas défaut à cet homme d'intérieur. De plus, — s'il était enlevé en pleine vitalité à des fonctions dont l'accomplissement lui était cher sans doute, mais était loin, comme on l'a vu, d'absorber toute son ardeur, — il avait des habitudes de travail et un amour de l'étude qui ne pouvaient donner aucune inquiétude sur les conséquences du passage de l'activité officielle à l'activité privée; celle-ci en devint seulement plus grande et plus libre en ses allures. La nature ne lui avait réellement refusé aucun de ses dons intellectuels et il les avait fécondés par des études solides, tant littéraires que scientifiques; de telle sorte qu'il avait particulièrement en honneur les choses de l'esprit. Il était sans cesse en train de cultiver quelque

branche des connaissances humaines, étudiant, recherchant, collectionnant, tenant au courant les éditions successives des ouvrages mathématiques de son père, résolvant des problèmes, composant (même en vers et dans le genre léger), traduisant (il parlait l'allemand, lisait l'anglais et l'italien), bref s'occupant toujours fructueusement, s'intéressant couramment à la littérature, au théâtre et aux beaux-arts, notamment à la musique. A l'école élémentaire où ses parents l'envoyèrent, avant même qu'il eût l'âge de six ans, « Wilhem, raconte-t-il dans son autobiographie, inaugurait cet enseignement du chant dont est sorti le premier orphéon. C'est ce maître habile qui fit mon éducation musicale et, peu après, celle de mon frère. Plus tard, mes parents m'envoyaient me mêler, à titre d'ancien élève, aux grandes masses chorales dont on admirait l'ensemble dans des séances annuelles, à la Sorbonne ou au cirque des Champs-Élysées. »

Depuis ses voyages d'élève ingénieur en France (1833), en Allemagne (le Hartz) et en Belgique (1834, avec Regnault), ses tournées géologiques de Bretagne (1836 à 1339), jusqu'à ses nombreuses et belles excursions à l'étranger (Hollande, 1861; Bavière et Autriche, 1865; Angleterre et Écosse, 1868; Suisse, 1872; Italie, 1877, 1878, 1879, 1883, 1887, 1888; Espagne, 1880), chaque journée était régulièrement résumée chaque soir par Eug. L. de Fourcy, quelle que fût sa fatigue. Si je puis être aussi précis, tout en étant d'ailleurs volontairement incomplet, c'est qu'il a laissé ainsi une vingtaine de volumes manuscrits de récits de voyages, illustrés par une riche collection de gravures et de photographies qui explique ces récits, ornés parfois même de dessins très joliment faits. Quand il voulait être particulièrement aimable avec quelque visiteur privilégié, il avait recours à ces pages de souvenirs pour retrouver la fraîcheur de

ses impressions sur les beautés de l'art ou de la nature; sa conversation, toujours intéressante, devenait alors extrêmement attachante.

La vigoureuse constitution et le tempérament intellectuel d'Eug. L. de Fourcy, qui résistaient victorieusement au poids de la vieillesse, lui promettaient encore de longs jours. Mais ses forces s'usèrent brusquement, durant ces derniers temps, et il s'éteignit dans la soirée du 30 août 1889, après plusieurs semaines de cruelles souffrances, qu'il supporta avec la résignation d'un sage et même d'un chrétien.

ANALYSE

DES RAPPORTS OFFICIELS

SUR LES ACCIDENTS DE GRISOU

SURVENUS EN FRANCE

PENDANT LES ANNÉES 1884 A 1887

Dressée par M. COSTE, ingénieur des mines.

Nous avons réuni dans les tableaux qui suivent les accidents dus aux inflammations de poussières charbonneuses, et ceux qui ont été produits par le grisou (*). Les premiers sont d'ailleurs très peu nombreux et, comme ils offrent de l'intérêt à cause de l'analogie qu'ils présentent avec les accidents causés par le grisou, il nous a semblé nécessaire de les signaler.

Un certain nombre d'inflammations ou d'explosions de gaz, autres que le grisou, se sont produites pendant la période qui s'étend de 1884 à 1887. On ne peut les faire rentrer dans la statistique des accidents dus au grisou. Nous nous contenterons donc de les signaler ici, sans les faire figurer dans les tableaux ci-joints.

Le 6 mai 1884, au puits Piney, de la concession de la Péronnière (Loire), 2 ouvriers ont été brûlés par une inflammation d'hydrogène protocarboné provenant d'anciens travaux et produit vraisemblablement par la décomposi-

(*) Voir *Annales des mines*, 8e série, t. VIII, p. 433.

tion de vieux bois. Le grisou est absolument inconnu dans cette mine. L'emploi des lampes de sûreté à la place des lampes à feu nu a été prescrit dans le voisinage des vieux travaux.

Un accident tout à fait analogue s'est produit le 8 mars 1885 dans les travaux du puits Saint-Jean, de la concession de Decize (Nièvre). 2 ouvriers ont été brûlés et les mêmes mesures de précaution ont été prescrites.

Le 17 décembre 1875, à deux reprises différentes, des langues de feu se sont échappées d'un barrage en construction destiné à arrêter un incendie souterrain dans la couche n° 13, aux travaux du puits Ambroise, de la concession de Villebœuf (Loire). 5 hommes ont été brûlés.

Enfin à la concession de Montceau (Saône-et-Loire), le 23 mars 1886, des gaz produits par la combustion incomplète de la poudre ont pris feu et ont brûlé 1 ouvrier.

Un dernier accident avait été primitivement attribué au grisou; mais il a été reconnu que la flambée qui s'est produite le 24 mars 1885 dans les travaux de la concession de Villars (Loire), et qui a fortement brûlé un ouvrier, a été due à une traînée de poudre répandue sur le sol et non à une inflammation de grisou.

En résumé, pendant les quatre années dont nous nous sommes occupé, on a eu à déplorer :

ANNÉES	NOMBRES d'accidents	TUÉS	BLESSÉS
1884	14	22	22
1885	9	42	20
1886	11	24	14
1887	16	82	32
Total. . . .	50	170	88

Relativement à la cause déterminante des accidents, on peut les classer ainsi qu'il suit :

	NOMBRE des accidents	TUÉS	BLESSÉS	TOTAL des victimes
I. Explosions de grisou produites par :				
1° Explosion ou allumage des coups de mine.	16	61	42	103
2° Lampes à feu nu.	16	3	22	25
3° Lampes de sûreté ouvertes, détamisées, brisées, etc., etc. . . .	13	2	16	18
4° Cause indéterminée	4	103	8	111
II. Autres accidents dus au grisou :				
1° Asphyxie	1	1	»	1
Total.	50	170	88	258

Si l'on ne tient pas compte des deux accidents de Ronchamp et du puits Châtelus, dont les causes n'ont pu être déterminées et qui ont fait le plus grand nombre de victimes (102 tués et 7 blessés), on voit que c'est à l'allumage et à l'explosion des coups de mine que sont dus les accidents les plus nombreux et surtout les plus meurtriers. L'emploi des lampes à feu nu ou des lampes de sûreté ouvertes, détamisées ou dénaturées d'une façon quelconque, a produit plus de la moitié (29 sur 50) du nombre des accidents, mais heureusement ils n'ont été en général que peu graves (5 tués et 38 blessés).

Il existe une certaine contradiction entre les tableaux qui précèdent et ceux qui sont fournis par la statistique de l'industrie minérale. Les raisons en sont :

1° Qu'un certain nombre d'inflammations, n'ayant produit que des blessures très légères (incapacité de travail de moins de vingt jours), ou n'en ayant même pas causé, ne sont pas signalés par la statistique de l'industrie minérale;

Et, 2°, que les accidents de la Péronnière (1884); de Decize, Villars, Villebœuf (1885), qui ne sont pas à proprement parler des accidents dus au grisou, ne se trouvent pas dans nos tableaux, tandis qu'ils ont été signalés par la statistique de l'industrie minérale.

STATISTIQUE DE
de 18

BASSIN DE VALENCIEN

1. — Conces
(Instituée par décret

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes	OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	21 oct. 1887.	Fosse Notre-Dame.	»	2 Brûlés légèrement.	1.948	682.951 tonnes.	Accumulation de grisou à la partie supérieure d'un montage.	Lampes à feu nu.	»	Accident s'est produit au niveau 341 dans la veine Vuillemin, dans un montage assez mal aéré. Les ... ux se trouvaient au voisinage d'un crain qui avait donné quelques jours auparavant un peu de ... ; c'était la première apparition du gaz dans la fosse Notre-Dame. ... 18 et le 20, il y avait déjà eu des petites flambées ; les ouvriers qui n'avaient jamais vu de grisou ... èrent des lampes de sûreté sans pouvoir les obtenir ; on leur indiqua seulement quelques pré- ... ns à prendre en rentrant au chantier. Le 21, après avoir agité l'air pour chasser le grisou, ils ... rent dans le montage avec leurs lampes à feu nu et provoquèrent une explosion. ... mpagnie a pris l'engagement d'améliorer l'aérage, et l'on a appliqué temporairement au quartier ... in le règlement spécial aux quartiers grisouteux.

2. — Conces
(Instituée par décret

2	10 déc. 1887.	Fosse Renard.	1	2	5.304	1.468.742 tonnes.	»	Explosion d'un coup de mine.	»	... couche Renard n'est pas très grisouteuse et l'aérage y était partout excellent. ... ccident s'est produit dans la veine Renard levant au niveau de 476 mètres et paraît être dû à un ... p de mine (chargé et tiré par un boute-feu spécial) trop chargé et insuffisamment bourré qui a fait ... ellement canon dans la direction d'un tas de charbon menu, d'où la commotion a fait dégager un ... s de poussières inflammables. L'intervention du grisou, quoique non démontrée, est assez probable ... s l'extension considérable des éboulements dus à l'explosion. ... direction a prescrit des mesures spéciales pour le tirage des coups de mines dans les parties ... ésireuses.

3. — Conces
(Instituée par

3	27 fév. 1886.	Fosse. n° 1.	1 Mort des suites de ses brûlures.	»	1.529	420.116 tonnes.	Accumulation du grisou dans une anfractuosité du front de taille.	Ouverture probable d'une lampe.	Impru... la victime	... ns la veine n° 2 levant, entre les niveaux 300 et 400, l'aérage était très bon et le grisou inconnu. ... employait néanmoins des lampes de sûreté du type Boty. L'exploitation se faisait par tailles ... lantes. ... grisou a dû s'accumuler dans une anfractuosité produite pendant l'abatage du charbon et ... probablement allumé par l'ouverture de la lampe de la victime. Il y a eu flambée et non ... sion.

CIDENTS DE GRISOU
887

A. – DÉPARTEMENT DU NORD.

iche.
l an IV.)

itin.
e an VII.)

'Escarpelle.
novembre 1850.)

BASSIN DE VALENCIENNES. — DÉPARTEMENT DU NORD.

4. — Concession de Vicoigne.

(Instituée par décret du ... décembre 1841.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes : de l'accumulation des gaz	Causes directes : de l'inflammation des gaz	Causes indirectes	OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4	12 mai 1886.	Fosse n° 1	»	1 Brûlé légèrement.	511	151.638 tonnes	Accumulation de grisou dans un montage.	Introduction probable d'une lampe à feu nu.	Imprud... probable de la victime.	...cident s'est produit dans un montage de la grande veine (niveau 230 mètres). Un ouvrier y péné- ...à la reprise d'un poste, et probablement avec une lampe à feu nu, a mis le feu au grisou qui s'y ...accumulé. ...sse n° 1 n'était pas grisouteuse, mais à la suite de quelques petites flambées, aux puits 2 et 4, ...ni des lampes Davy avait été prescrit dans les montages. ...rage ayant été reconnu insuffisant (foyer d'aérage), la compagnie a été invitée à l'améliorer. Elle a ...é aux puits n° 3 un guibal de 3 mètres de diamètre donnant 20 mètres cubes à 90 tours et 30 mètres ...ètres cubes à 150 tours. On a commencé à élargir les retours d'air.
5	16 juin 1887.	Fosse n° 4	»	1 Brûlé légèrement.	472	128.125 tonnes	Cloche au toit d'une galerie.	Lampe à feu nu.	Fortuite.	...dent s'est produit dans la veine Désirée couchant (niveau 276 mètres). Le grisou y était presque ...on employait des lampes à feu nu, sauf dans quelques travaux (montages, etc.). Un ouvrier, cir- ...ans une galerie de retour d'air avec sa lampe à feu nu fixée à son chapeau, a mis le feu aux gaz ...és dans une petite cloche du toit. ...mpagnie a supprimé les lampes à feu nu dans tous les travaux des fosses 1 et 4 et a été invitée à ...er un règlement sur ses fosses grisouteuses. Les améliorations des retours d'air ont été poursuivies.
6	19 août 1887.	Fosse n° 4	»	1 Brûlé légèrement.	472	128.125 tonnes	Accumulation de grisou dans un montage.	Allumage d'un coup de mine.	Négligence... la victime.	...ident s'est produit à l'avancement d'un plan incliné dans la grande veine couchant (niveau ...ètres). L'ouvrier n'avait pas recherché la présence du grisou d'ailleurs très peu abondant dans la ... ...travaux pour l'amélioration de l'aérage se continuaient toujours.

5. — Concession de Vieux-Condé.

(Instituée par décret du ... février 1855.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes : de l'accumulation des gaz	Causes directes : de l'inflammation des gaz	Causes indirectes	OBSERVATIONS
7	7 janv. 1884.	Fosse Vieux-Condé.	»	1 Brûlé légèrement.	1.603	396.334 tonnes	Accumulation de grisou dans un montage pendant un dimanche.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime.	...risou était inconnu dans la mine ; on employait des lampes à feu nu. ...ident s'est produit dans un montage de la veine Six-Paumes (niveau 407 mètres), aéré par simple ...n. Un surveillant faisant la tournée des chantiers avant la rentrée des ouvriers, bien qu'ayant ...é la présence du grisou dans le montage avec la lampe de sûreté dont il était muni, y introduisit ...pe à feu nu.

BASSIN DE VALENCIENNES. — DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

1. — Concession de Bully-Grenay.

(Instituée par décrets des 1853 et 21 juin 1877.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
							Causes directes			
			tués	blessés			de l'accumulation des gaz	de l'inflammation des gaz	Causes indirectes	
1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11
8	23 oct. 1884.	Fosse n° 1	1 Mort des suites de ses brûlures	»	2.524	677.217 tonnes	Dégagement de grisou dans un montage.	Lampe à feu nu.	»	Le grisou était inconnu dans la fosse n° 1. On employait des lampes à feu nu. A la suite d'un petit éboulement dans un montage de la veine Marie-Talabot, un léger dégagement de grisou a dû se produire, et un ouvrier pénétrant dans le montage pour voir l'éboulement a mis le feu au grisou. Le règlement sur les fosses à grisou a été aussitôt appliqué et la compagnie a été invitée à améliorer l'aérage de la fosse n° 1.
9	7 nov. 1885.	Fosse n° 1	»	3 Brûlés légèrement.	2.524	677.217 tonnes	»	Explosion d'un coup de mine.	»	Depuis l'accident précédent, on se servait de lampes de sûreté, mais les ouvriers ne savaient pas bien s'en servir pour reconnaître le grisou. Dans un avancement en cul-de-sac, au niveau 570, aéré avec de l'air comprimé, on avait préparé un coup de mine et les ouvriers avaient recherché le grisou sans en trouver. La compagnie a été invitée à poursuivre l'amélioration de son aérage et à prendre des précautions pour éviter des coups de mine.

2. — Concession de Courcelles-lès-Lens.

(Instituée par décrets des octobre 1877 et 30 avril 1880.)

10	21 août 1885.	Fosse n° 1	10 Morts de leurs brûlures.	4	182	26.415 tonnes	Exploitation en remontant d'une couche un peu grisouteuse. Aérage médiocre.	Tirage d'un coup de mine.	Imprudence d'un ouvrier	L'accident s'est produit dans la veine n° 4, entre les niveaux 440 et 390; à cette profondeur la veine est peu grisouteuse. Les ouvriers étaient munis de lampes Boty et il leur était défendu de tirer des coups de mine au charbon sans l'autorisation du porion. L'aérage de la couche était défectueux (très peu ascendant descendant au point de l'accident). Les ouvriers en arrivant au chantier, profitant de ce qu'ils n'étaient pas surveillés, tirèrent sans autorisation un coup de mine qui, étant mal bourré avec des poussières charbonneuses, fit canon. L'explosion de grisou ne produisit presque pas de dégâts matériels; mais un groupe d'onvriers assez nombreux travaillant au travail fut atteint. Sur la demande de l'administration, l'aérage a été sensiblement amélioré et le tirage des coups de mine au charbon, ainsi que le bourrage avec des poussières charbonneuses a été interdit.

BASSIN DE VALENCIENNE

3. — Concess

(Instituée par décrets des 29 dé

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers : tués	NOMBRE d'ouvriers : blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT : Causes directes : de l'accumulation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT : Causes directes : de l'inflammation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT : Causes indirec
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	11 janv. 1884.	Fosse n° 2.	10 tués et 7 morts des suites de leurs blessures.	6	765	176.596 tonnes.	Dégagement subit de grisou à la faveur de la fissuration produite par des coups de mine.	Explosion simultanée de plusieurs coups de mine.	»
12	15 mars 1886.	Fosse n° 3.	»	1 Brûlé légèrement.	743	172.728 tonnes.	Légère accumulation de gaz dans un montage.	»	»
13	12 et 15 mars 1887.	Fosses 1 et 4.	»	»	681	162.221 tonnes.	Légère accumulation de gaz dans un montage.	Tirage de coups de mine.	»

4. — Conce

(Instituée par d

14	14 fév. 1884.	Fosse n° 7.	»	1 Brûlé légèrement.	3.795	1.162.806 tonnes	»	Lampe à feu nu.	»

ÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

Ferfay.

et 26 février 1883.)

OBSERVATIONS

11

La suite de plusieurs explosions antérieures, on avait jugé nécessaire d'améliorer l'aérage de la et dans ce but on perçait au niveau 420 une bowette pour réunir les travaux de la veine Présidente u de la veine Louise. Cette bowette recoupait plusieurs fois la veine Présidente dont l'escaillage grisouteux. Son aérage était assuré par l'air comprimé qui s'échappait de la perforatrice servant à les trous de mine.

usieurs coups de mine venaient d'être préparés dans l'escaillage de la veine Présidente que l'on it de rencontrer et on y mit le feu après avoir constaté l'absence du grisou.

gravité de l'accident a été due en partie à la présence à 100 mètres du front de taille d'un dépôt de mmite contenant des capsules amorces, dépôt qui a fait explosion.

été prescrit à la compagnie d'activer le plus possible les travaux destinés à améliorer l'aérage de la n° 2, et, jusqu'à ce que ce fût fait, le nombre des ouvriers pouvant travailler au fond a été consi- lement restreint.

dent s'est produit dans un montage bien aéré de la veine Élise (niveau 272), où le grisou connu.

ouvrier, pénétrant dans ce montage avec sa lampe Mueseler, a produit l'explosion sans qu'on ait pu er comment.

la visite du chantier, datant à peine de quelques heures, aucune trace de grisou n'avait été trouvée. été prescrit d'améliorer l'aérage et d'appliquer le règlement sur les fosses à grisou.

r le fonçage d'un beurtia, devant relier les travaux des puits 1 et 4, on avait commencé les tra- ger en haut et par en bas après avoir percé un coup de sonde dans l'axe du puits. L'aérage était ssuré par des ventilateurs; les travaux inférieurs donnaient un peu de grisou qui arrivait au chan- périeur par le trou de sonde. Pendant le tirage des coups de mine (qui se faisait à l'électricité), ppait le ventilateur et deux fois de suite de légères flambées de gaz suivirent l'explosion. ue la fin du travail les ventilateurs ne furent plus arrêtés.

ens.

ier 1853.)

risou était inconnu dans la mine; on employait des lampes à feu nu.

ident s'est produit à l'avancement d'une voie dans la veine Sainte-Barbe, niveau 360. Bien que ge fût convenablement assuré au moyen de canards, le grisou s'y est accumulé pendant une absence riers et l'un d'eux rentrant au chantier avec sa lampe à feu nu y mit le feu.

ais lors les lampes Mueseler ont seules été employées au niveau 360.

BASSIN DE VALENCIENNES — DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

5. — Concession de Liévin.

(Instituée par décrets des 1862 et 15 mars 1875.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes	OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	14 janv. 1885.	Fosse n° 1.	28	1	1.620	466.843 tonnes.	»	Tirage d'un coup de mine.	»	La mine était bien aérée, mais le retour d'air passait dans l'aval-pendage de vieux travaux remblayés dans lesquels le grisou pouvait s'accumuler et d'où il pouvait être chassé dans toute la mine par un simple tassement. Un coup de mine tiré dans la galerie d'entrée d'air, au niveau 345, a produit une première explosion de grisou peu importante, mais la flamme s'est propagée par un beurtia, au niveau 283, et y a produit une seconde explosion infiniment plus violente. Les poussières, fort abondantes à ce niveau, paraissent avoir joué en ce point un rôle très important. On a été conduit à penser que la mine avait dû être subitement balayée par du grisou provenant soit d'un dégagement subit, soit des anciens travaux.. La compagnie a été invitée à améliorer le service de ses boutefeu et elle a pris des précautions pour éviter les coups de poussières.

6. — Concession de Nœux.

(Instituée par décrets des 15 ja[illegible] et 30 décembre 1857.)

16	7 juin 1885.	Fosse n° 1.	3 Dont 1 des suites de ses brûlures.	»	2.495	883.991 tonnes.	»	»	»	Coup de pousssières. — Bien que la mine fût un peu grisouteuse on n'a point affaire ici à un accident dû au grisou. L'accident s'est produit dans le dressant de la veine Saint-Constant, exploité par le niveau 394. La mine y est sèche et très poussiéreuse. Il est défendu, d'après le règlement intérieur, de tirer aucun coup de mine dans les parties poussiéreuses sans avoir au préalable mouillé le sol ou enlevé les poussières. Deux porions voulant dégager une cheminée, servant à la descente du charbon, introduisirent à la base de la colonne de houille coincée une cartouche de dynamite et y mirent le feu sans prendre aucune des précautions prescrites. L'explosion souleva un nuage considérable de poussières enflammées, qui ne fit que peu de dégâts dans la cheminée par ce que l'air y était en quantité insuffisante pour que la combustion fût complète, mais qui produisit une véritable explosion dans la galerie de roulage dans laquelle débouchait la cheminée et où l'aérage était abondant ; trois rouleurs qui s'y trouvaient furent tués.

BASSIN DE SAINT-ÉTIEN[illegible] DÉPARTEMENT DE LA LOIRE.

1. — Concession de Beaubrun.

(Instituée par [illegible] août 1825.)

17	12 avril 1886.	Puits Montmartre n° 1.	»	1 Brûlé légèrement.	722	257.132 tonnes.	Accumulation de grisou dans un montage.	Allumage d'un coup de mine.	Imprudence	L'accident s'est produit dans une courte remonte dans la couche n° 7 bis destinée à assurer l'aérage ; le chef de poste, bien que prévenu de la présence du grisou dans le chantier, n'a pris aucune précaution pour le tirage d'un coup de mine.

BASSIN DE SAINT-ÉTIE

1. — Concess

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'accumulation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'inflammation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	1er mars 1887.	Puits Châtelus n° 1.	79	6	741	259.585 tonnes.	»	»	»
19	20 mars 1887.	Puits Montmartre n° 1.	»	7	741	259.585 tonnes.	Chantier en remonte.	Tirage d'un coup de mine.	Imprudence
20	16 nov. 1887.	Puits Montmartre n° 2.	1 Des suites de ses brûlures.	»	741	259.585 tonnes.	Chantier en remonte.	Lampe à feu nu.	»

2. — Concess

(Instituée par

21	13 mars 1886.	Puits Dyèvres.	»	1 Brûlé légèrement.	835	257.222 tonnes.	Quartier grisouteux.	Lampe à feu nu.	Imprude

ÉPARTEMENT DE LA LOIRE.

Beaubrun (*suite*).

OBSERVATIONS

11

mine était connue comme un peu grisouteuse et assez poussiéreuse. L'exploitation se faisait par des montantes aérées par diffusion; le remblayage en descendant. L'aérage était suffisant comme me d'air, mais critiquable comme parcours. Enfin, malgré des règlements intérieurs très précis, la pline était assez relâchée, en particulier pour ce qui concerne le tirage à la poudre que les ouvriers ssient par faire seuls.

explosion s'est produite à huit heures du matin, elle a profondément bouleversé la mine et a allumé incendie important. Les travaux de sauvetage ont été poussés pendant six jours et demi avec une ale énergie; puis, quand on n'a plus eu d'espoir de retrouver des ouvriers vivants, la mine a été mentanément fermée pour arrêter les progrès de l'incendie.

cause de l'accident n'a pû être déterminée exactement, mais on a cru pouvoir l'attribuer au tirage coup de mine.

la suite de cet accident les exploitants ont été invités à modifier profondément leur méthode d'exion et leur aérage et à prendre des mesures de sécurité sérieuses pour le tirage des coups de mine.

ident a eu lieu dans une remonte de la couche 7bis partant du niveau 272 mètres. Le chantier convenablement aéré, mais grisouteux. Le boutefeu a négligé de chercher le grisou et n'a pas prés ses compagnons qu'il mettait le feu à la mine.

remontes en cul-de-sac ont été interdites, ainsi que le tirage à la poudre dans tous les quartiers uteux de la mine.

ident a eu lieu dans un petit chantier en cul-de-sac et en remonte branché sur le niveau de mètres de la 4e couche. Il s'est produit au moment de la rentrée de l'ouvrier dans son chantier. La ence du grisou avait été constatée, pour la première fois depuis 13 ans, un mois auparavant. Le ier n'avait pas été visité avant la rentrée de l'ouvrier.

puis lors, on a employé des lampes de sûreté et on a pris des précautions pour la recherche du ou. Les exploitants ont été invités à améliorer également leur aérage.

la Béraudière.

novembre 1824.)

ns un chantier grisouteux de la grande couche, région sud du puits Saint-Joseph, un chef de poste tra le premier dans une recoupe avec sa lampe de sûreté; puis après avoir très rapidement constaté ence du grisou, il introduisit dans la recoupe la lampe à feu nu d'un de ses ouvriers pour mieux , et provoqua aussitôt une légère flambée de grisou.

BASSIN DE SAINT-ÉTIEN — DÉPARTEMENT DE LA LOIRE.

3. — Concession ombes et Égarandes.

(Instituée par d 3 août 1825.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes	OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22	1 oct. 1884.	Puits Moïse.	»	1	93	17.093 tonnes.	Dégagement de grisou dans un cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	»	Le grisou était autrefois connu dans la couche Bourrue; mais au 1er janvier 1884, comme on n'avait plus constaté sa présence depuis un an, on avait repris les lampes à feu nu. L'inflammation du grisou a été produite par la victime en entrant dans son chantier. Deux heures auparavant, dans la visite régulière des chantiers, aucune trace de grisou n'avait été constatée. Les lampes de sûreté ont été reprises et l'aérage des chantiers en cul-de-sac amélioré.

4. — Concessi n Cros.

(Instituée par décrets des 27 o 1 et 14 août 1842.)

23	24 mars 1884.	Puits Camille.	»	3 Brûlés légèrement.	323	143.286 tonnes.	Cloche au toit d'une galerie.	Lampe à feu nu.	»	La présence du grisou n'avait été que très rarement constatée; on se servait de lampes à feu nu, et l'aérage était très bon. L'accident s'est produit au travers-bancs (niveau 126 mètres) joignant le puits Camille à la couche n° 15 et dans cette couche. On muraillait une cloche au toit, et un ouvrier, pour mieux y voir, introduisit sa lampe dans la cloche où un peu de grisou avait dû s'accumuler la veille, jour de repos. Depuis lors, les cloches sont explorées avec des lampes de sûreté.

5. — Concessio rand-Croix.

(Instituée par décrets des 1er dé 4 et 13 janvier 1842.)

24	12 juin 1885.	Puits St-Louis.	»	2 Brûlés légèrement.	119	26.399 tonnes.	Avancement en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	»	Deux ouvriers, rentrant après leur repas dans un chantier en cul-de-sac avec leurs lampes à feu nu, produisirent une légère flambée de grisou. Le gaz avait dû se dégager pendant l'arrêt du travail d'une petite fracture que venait de rencontrer le front de taille. Le grisou avait été déjà reconnu une fois dans ce quartier. Les exploitants ont été invités à employer uniquement des lampes de sûreté aux avancements en cul-de-sac.

6. — Concess e Montrambert.

(Instituée pa 4 novembre 1824.)

25	5 janv. 1884.	Puits Devil-laine et Saint-Pierre.	1 De ses brûlures.	2	847	273.782 tonnes.	Dégagement de grisou dans un cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	»	Le grisou était inconnu dans la 2e brûlante entre les niveaux 256 et 306. On y employait des lampes à feu nu; l'aérage était bon. L'accident s'est produit dans une remonte de 2m,80 de haut au moment de la rentrée des ouvriers dans leur chantier après un changement de poste. L'emploi des lampes Mueseler a été prescrit dans tous les travaux en cul-de-sac.

BASSIN DE SAINT-ÉTIEN[illegible]PARTEMENT DE LA LOIRE.

7. — Concessi[illegible] Tartaras.

(Instituée par dé[illegible] juillet 1808.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'accumulation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'inflammation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes	OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
26	9 août 1887.	Puits Nozange.	»	1 Brûlé légèrement.	25	7.442 tonnes.	Accumulation de grisou dans un montage en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	»	[illegible]dant la visite réglementaire des travaux, un gouverneur pénétra dans un montage en cul-de-sac [illegible]ur en chasser l'acide carbonique qui s'y était accumulé, il agita fortement l'air; l'air vicié conte[illegible] un peu de grisou fut rejeté sur deux lampes à feu nu situées hors de la remonte, et une petite flambée [illegible]oduisit aussitôt. Le grisou était jusque-là inconnu dans le quartier. [illegible]s lampes à feu nu ont été interdites dans le quartier de l'accident.

8. — Concessi[illegible] Villars.

(Instituée par décret d[illegible]bre 1824.)

27	24 sept. 1884.	Puits Beaunier.	2 Des suites de leurs brûlures.	1	176	53.349 tonnes.	Cloche au toit d'une galerie.	Explosion d'un coup de mine.	Recherche [illegible] suffisante du [illegible]sou.	[illegible] niveau, à l'extrémité d'une galerie d'avancement, on avait préparé un coup de mine. Le [illegible]ouverneur, bien qu'ayant recherché partout et pendant longtemps le grisou, n'avait pas remarqué [illegible]che au toit qui devait en être pleine. Une simple flambée suivit l'explosion du coup de mine; la [illegible]é de l'accident est due à ce que les ouvriers étaient restés trop près de la mine et à ce qu'ils [illegible]t en partie nus. [illegible]s exploitants ont été invités à veiller à ce que les ouvriers prennent plus de précautions au moment [illegible]rage des coups de mine.

BASSIN D'ALAI[illegible]ÉPARTEMENT DU GARD.

1. — Concessi[illegible] Grand'Combe.

(Instituée par ordonna[illegible] mars 1782 et 7 mai 1817.)

28	15 janv. 1887.	Puits de la Forêt.	»	2 Brûlés légèrement.	585	171.111 tonnes.	Accumulation de gaz au sommet d'une cheminée.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence.	[illegible]reprenait les travaux du puits de la Forêt noyés depuis plusieurs années. Deux ouvriers avaient été [illegible]s, à la cote 188, de déboucher l'ouverture d'une ancienne cheminée dans laquelle une certaine [illegible]té de grisou avait dû s'accumuler. Quand le sommet de la cheminée fut dégagé, ils ouvrirent [illegible] lampes de sûreté pour y voir plus clair et enflammèrent le grisou.

2. — Concessi[illegible]lle.

(Instituée par décret [illegible] 1828.)

29	11 sept. 1884.	Mine de Lalle.	»	»	342	82.725 tonnes.	Soufflar au toit d'une galerie.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence.	[illegible] niveau 200, dans une galerie de la couche Saint-Mathéa, un ouvrier plaçant un cadre et voulant [illegible] plus clair a détamisé sa lampe Mueseler et l'a portée au toit de la galerie; il y a enflammé un [illegible] soufflard qui a brûlé quelques heures comme un bec de gaz.

BASSIN D'ALA[illegible]TEMENT DU GARD.

3. — Concessio[illegible]tes et Sénéchas.

(Instituée par décrets d[illegible]re 1784 et 3 juillet 1822.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'accumulation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'inflammation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes	OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30	9 avril 1885.	Puits Sud.	»	2 Brûlés légèrement.	710	132.337 tonnes.	Accumulation de grisou au point le plus élevé d'un chantier.	Lampe de sûreté brisée par la chute d'un bloc.	Fortu[illegible]	L'accident s'est produit au point le plus élevé d'un chantier en remonte dans la couche Saint-Augustin, [illegible] où le courant d'air, très abondant d'ailleurs, commençait à redescendre après avoir passé devant le [illegible] de taille. Un peu de grisou a dû s'accumuler en cet endroit pendant le dîner des ouvriers, et la chute [illegible] bloc de schiste, cause de l'accident, s'est produite au moment où les ouvriers reprenaient leur travail. Les exploitants ont commencé à améliorer leur aérage et leur méthode d'exploitation où les tailles [illegible]tantes jouaient le principal rôle.
31	6 janv. 1887.	Puits Sud.	»	1	681	126.142 tonnes.	Cloche au toit d'une galerie.	Lampe Marsaut où il manquait un tamis.	»	L'accident s'est produit dans une galerie en direction (niveau 304, 6e banc de la couche Saint-Augus[illegible]. L'aérage était très bon. [illegible] chef de poste, recherchant le grisou plus abondant dans la région des dressants dans laquelle péné[illegible] galerie, introduisit la lampe d'un mineur (la sienne étant éteinte) dans une cloche au toit de la [illegible] et mit le feu au grisou. La lampe avait été ouverte peu auparavant par son propriétaire, qui avait [illegible] de replacer le tamis intérieur.
32	10 sept. 1887.	Puits Sud.	1 Des suites de ses brûlures.	2	681	126.142 tonnes.	Accumulation de gaz dans un chantier en remonte.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Impro[illegible]	L'accident s'est produit dans un chantier en remonte de la couche Saint-Augustin, bien aéré quoique le [illegible]ant d'air dût redescendre après avoir passé au front de taille. Les ouvriers, bien qu'ayant constaté la [illegible]ence du grisou, ont ouvert une lampe Marsaut pour en rallumer deux autres. Après une mise en demeure de la part de l'administration, la compagnie a renoncé à sa méthode d'ex[illegible]tation par remontées juxtaposées et l'a remplacée par une exploitation par tailles chassantes avec [illegible] ascendant. Tous les percements doivent se faire, sauf impossibilité, en descendant.

4. — Concessio[illegible]iac et Meyrannes.

(Instituée par [illegible] novembre 1809.)

33	15 mai 1884.	Mine de Molières.	»	1 Brûlé légèrement.	2.099	451.416 tonnes.	Dégagement subit de grisou.	Tamis d'une lampe de sûreté crevé par un coup de pic.	Fortu[illegible]	L'accident s'est produit dans un chantier bien aéré et sans grisou où travaillaient deux ouvriers. Pendant un travail en sous-cave un coup de pic a fait tomber un gros bloc de charbon et a en [illegible] temps crevé le tamis d'une lampe Mueseler ; une légère flambée de grisou s'est aussitôt [illegible]duite.
34	17 janv. 1886.	Mine de Molières.	»	1 Brûlé légèrement.	1.829	416.410 tonnes.	Dégagement de grisou dans un chantier aéré par diffusion.	Lampe Mueseler dont le verre était fendu ou cassé.	»	L'accident s'est produit dans une descente peu profonde, pratiquée près de l'avancement d'une [illegible]rie de roulage, aérée seulement par diffusion, au moment où les ouvriers, travaillant à cette [illegible]cente, sont rentrés au chantier après déjeûner. Une au moins des lampes Mueseler de ces ouvriers [illegible] son verre fendu ou même cassé.

BASSIN D'ALA

5. — Concession

(Instituée par d

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'accumulation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'inflammation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes	OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
35	21 mai 1885.	Puits de l'Arbousset.	1 Asphyxié.	»	722	155.615 tonnes.	Accumulation de gaz dans une remontée.	»	Imprudence	ouvrier ayant pénétré dans un chantier en remonte persista à y avancer même après l'extinction lampe par le grisou et y tomba asphyxié. L'aérage était satisfaisant, et on doit supposer que le ement de grisou, en général assez faible, avait dû s'accentuer beaucoup au moment de l'arrivée de victime. la demande de l'administration, la méthode d'exploitation a été modifiée de façon à remplacer les ux en remonte par des tailles chassantes.

6. — Concession

(Instituée par d

36	12 juin 1886.	Mine de Trescol.	»	2 Brûlés légèrement.	1.385	408.479 tonnes.	Accumulation de gaz dans une niche d'une galerie.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence	ident s'est produit dans la couche de la Grande-Baume, région de Trescol. une galerie de retour d'air aboutissant aux ventilateurs de Trescol, trois ouvriers voulant ral-ne lampe pénétrèrent dans un refuge pratiqué dans une paroi de la galerie et ouvrirent une dérivation. La flambée de grisou qui se produisit provoqua un petit incendie au toit de la galerie. e cet accident a coïncidé avec l'arrêt (nécessité par le graissage) du ventilateur de la Tronche, de celui de Trescol, des mesures ont été prises pour éviter à l'avenir cet arrêt.

BASSIN D'AUBIN

1. — Concessi

(Instituée par déc

37	13 mars 1884.	Mine de Campagnac.	»	2 Brûlés légèrement.	626	166.551 tonnes.	Cloche au toit d'une galerie.	Inflammation d'un coup de mine.	Imprudence	niveau 172, deux ouvriers travaillaient au percement d'une galerie principale dans la couche. Le se dégageait en petite quantité et s'accumulait au toit de la galerie dans le vide compris entre et de taille et le muraillement que construisaient les ouvriers. C'est en allumant la mèche d'un e mine, bien que le règlement intérieur de la mine interdit le tirage à la poudre, que le feu a été grisou.
38	15 déc. 1884.	Mine de Campagnac.	1	»	626	166.551 tonnes.	Accumulation de grisou au fond d'un cul-de-sac.	»	»	niveaux 172 et 185, on perçait simultanément deux galeries réunies de distance en distance par des es pour assurer l'aérage. La galerie de 172 présentait un cul-de-sac de 30 mètres de long, aéré ant par diffusion quand on y arrêta momentanément les travaux ; la galerie fut barrée. victime pénétra dans ce cul-de-sac sans aucun motif et malgré la défense de ses chefs. Après l'ex-, dont la cause est inconnue, la lampe fut retrouvée en bon état. l'invitation de l'administration, la compagnie améliora l'aérage et installa sur le puits d'Offet un teur refoulant Farcot donnant normalement 18 mètres cubes par seconde.

TEMENT DU GARD.

lys et Palmesalade.

août 1828.)

TEMENT DE L'AVEYRON.

avergne.

er 1831.)

scol et Pluzor.

mars 1782.)

BASSIN D'AUBIN. — DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON.

1. — Concession d'Auvergne (*suite*).

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes de l'accumulation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes de l'inflammation du gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes	OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
39	6 janv. 1887.	Mine de Campagnac.	»	2 Brûlés légèrement.	588	172.223 tonnes.	Accumulation de gaz dans un ouvrage peu aéré.	Tirage d'un coup de mine.	»	L'accident s'est produit dans un cul-de-sac en direction de 40 mètres de longueur, aéré par diffusion. Le coup de mine a fait canon et une flambée de gaz ou de poussières eut lieu. Le grisou était inconnu dans ce quartier avant l'accident, mais y a été retrouvé depuis.

2. — Concession d'Aveyrons et Paleyret.

(Instituée par [illegible] janvier 1828.)

40	3 oct. 1885.	Puits Alfred	»	8 Brûlés légèrement.	399	166.783 tonnes.	Dégagement subit.	Tirage d'un coup de mine.	»	Un travers-banc, reliant le puits Alfred au puits Léon-Say, venait de rencontrer des schistes charbonneux grisouteux; sept coups de mine furent préparés et allumés à la fois avec toutes les précautions [illegible]. L'aérage était excellent. L'explosion de grisou se produisit immédiatement après l'explosion du [illegible] coup de mine. Le règlement sur les mines à grisou fut appliqué, et les coups de mine furent depuis lors tirés à l'électricité.
41	19 août 1886.	Mine de Buscalie.	»	2 Brûlés légèrement.	364	112.265 tonnes.	Accumulation de gaz au sommet d'un montage.	Lampe à feu nu.	Fortuite.	Le grisou était inconnu et on employait des lampes à feu nu. L'accident s'est produit dans un montage au niveau 228 mètres. L'aérage y étant mauvais, on avait arrêté le travail et le percement se faisait du niveau supérieur en descendant. Deux ouvriers, pénétrant dans le montage avec leurs lampes à feu nu pour apprécier l'épaisseur qui restait à percer, mirent le feu au grisou qui s'y était accumulé.

BASSIN DE GRAISSESSAC. — DÉPARTEMENT DE L'HÉRAULT.

1. — Concession de Planet-le-Haut.

(Instituée par [illegible] août 1836.)

42	17 mai 1884.	Puits Kühnholtz.	»	1 Brûlé légèrement.	48	8.542 tonnes.	Accumulation de grisou dans un montage.	Ouverture d'une lampe de sûreté.	Imprudence.	Un ouvrier a pénétré dans un montage interdit et fermé par une barrière pour y rallumer sans être [illegible] lampe éteinte. Il a mis le feu au grisou qui s'y était accumulé. On travaillait dans cette région [illegible] des lampes de sûreté; le grisou ayant été constaté dans les travaux voisins dépendant du puits [illegible]-Barbe.
43	15 mai 1885.	Mine Chabaud.	»	2 Brûlés légèrement.	51	7.826 tonnes.	»	Tamis d'une lampe de sûreté crevé.	Imprudence.	Un ouvrier, travaillant à l'enlèvement d'un petit massif de charbon dans l'amont-pendage d'une ancienne galerie remblayée, a crevé d'un coup de pic le tamis de sa lampe de sûreté. Il a néanmoins continué à travailler et presqu'aussitôt un petit éboulement se produisit au toit du chantier; il fut suivi aussitôt d'une flambée de gaz. Le grisou s'était probablement accumulé dans les remblais dans l'aval-pendage du bloc qui s'est éboulé.

BASSIN DE GRAISSESSAC — DÉPARTEMENT DE L'HÉRAULT.

2. — Concession de Saint-Gervais.

(Instituée par ... 12 février 1833.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes de l'accumulation des gaz	Causes directes de l'inflammation des gaz	Causes indirectes	OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
44	13 juill. 1886.	Puits des Nières.	»	1 Brûlé légèrement.	192	41.951 tonnes.	Chantier mal aéré par suite de réparation à une porte d'aérage.	Ouverture probable d'une lampe de sûreté.	Imprudence	Un ouvrier a très probablement ouvert sa lampe de sûreté dans un chantier où la présence du grisou avait été reconnue et au moment où son chef de poste prenait les mesures nécessaires pour en améliorer l'aérage.

BASSIN DE BOURGANEUF — DÉPARTEMENT DE LA CREUSE.

Concession de Bosmoreau.

(Instituée par décret du 19 ... et 21 juillet 1871.)

45	6 janv. 1887.	Mine de Bosmo-reau.	»	2	35	7.364 tonnes.	»	Lampe à feu nu.	'	Depuis 1876, époque à laquelle une petite flambée de grisou s'était produite, la mine n'était pas considérée comme grisouteuse et l'on employait partout des lampes à feu nu. L'accident paraît dû à une explosion accidentelle de grisou. Il s'est produit dans la couche n° 3.
46	24 janv. 1887.	Mine de Bosmo-reau.	»	2	35	7.364 tonnes.	»	Lampe à feu nu.	'	L'accident s'est produit dans la couche n° 4 en un point où le courant d'air descendait après avoir toujours monté jusque-là ; la cause paraît être la même que la précédente. Sur l'invitation de l'administration, la compagnie a déposé un projet de règlement intérieur instituant des visites régulières de la mine et indiquant une série de précautions à prendre en cas de réapparition du grisou.

BASSIN DE LA BASSE-LOIRE — DÉPARTEMENT DE MAINE-ET-LOIRE.

Concession de Montjean.

(Instituée par décrets ... 1806 et 29 mai 1848.)

47	18 mai 1887.	Puits de la Loire.	»	1 Brûlé légèrement.	65	10.568 tonnes.	Accumulation de grisou dans un montage.	Tamis d'une lampe de sûreté crevé.	'	Le grisou était inconnu; néanmoins on visitait une cheminée en remonte avant la rentrée des ouvriers au travail avec une lampe de sûreté. L'inflammation a été causée par la présence d'un petit trou dans le tamis de la lampe.

BASSIN DE RONCHAMP. — DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-SAÔNE.

Concession de Ronchamp.

(Instituée par ordonnances des 1er mars 1763 et 4 juin 1862.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'accident	LIEU de l'accident	NOMBRE d'ouvriers tués	NOMBRE d'ouvriers blessés	OUVRIERS au fond	PRODUCTION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'accumulation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes directes — de l'inflammation des gaz	CAUSES DE L'ACCIDENT — Causes indirectes	OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
48	24 juin 1886.	Puits Saint-Charles et n° 10.	23	1	492	85.186 tonnes.	Envahissement subit de la mine par le grisou.	»	»	Les travaux étaient partout très bien conduits et toutes les mesures prises pour éviter les accidents de grisou. Des travaux pour améliorer l'aérage étaient en cours d'exécution. On employait des lampes Mueseler; mais dans les parties sûres de la mine, les chefs de chantiers et quelques ouvriers spéciaux étaient autorisés à enlever le diaphragme et la cheminée intérieure de leur lampe, et la nuit, à cause du petit nombre d'ouviers au travail, on n'appliquait pas toutes les prescriptions au sujet de l'ouverture des lampes pour leur rallumage. L'accident s'est produit à deux heures du matin; la veille au soir on n'avait trouvé aucune trace de grisou. Il est probable que la mine a été subitement envahie par le grisou venant des anciens travaux sous lesquels se faisait l'exploitation de la 2e couche. La cause de l'explosion est restée inconnue. On a cru pouvoir l'attribuer soit à un coup de mine ayant fait canon, soit aux lampes Mueseler modifiées qui n'offrent pas de garantie suffisante dans un milieu grisouteux. A la suite de l'accident, on a adopté partout les lampes Marsaut et des travaux considérables ont été faits aux puits Saint-Charles et n° 10 pour améliorer l'aérage.

BASSIN DE BRASSAC. — DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-LOIRE.

Concession de Barthes et Bouxhors.

(Instituée par décret du 11 février 1829.)

49	13 mars 1885.	»	»	1	161	24.615 tonnes.	»	»	»	**Coup de poussières.** — La mine est un peu grisouteuse et une série de précautions sont prescrites pour le tirage des coups de mine. Un ouvrier, sans tenir compte des règlements, tira deux coups de mine dans un quartier où le grisou n'avait pas été vu depuis la période de traçage et où l'aérage était bon. L'un d'eux, dirigé vers la sole, fit canon, souleva les poussières charbonneuses qui se trouvaient à terre et y mit le feu. Le grisou ne parait avoir joué aucun rôle dans l'accident.

BASSIN DE BRASSAC. — DÉPARTEMENT DU PUY-DE-DÔME.

Concession de Combelles.

(Instituée par décret du 4 décembre 1820.)

50	11 janv. 1886.	Mine de Combelles.	»	3 Dont 2 légèrement.	235	35.574 tonnes.	Dégagement continu de grisou.	Inflammation d'un coup de mine.	»	L'accident s'est produit dans la couche du mur du système de Combelles présentant des dégagements de grisou assez capricieux. Par suite de la disposition du courant d'air, le grisou devait former une couche peu épaisse le long de la paroi où était préparé le coup de mine et n'avait pas été aperçu par le boutefeu, bien qu'il l'eût soigneusement cherché. L'accident s'est produit au moment de l'allumage de la mèche. Les exploitants ont été invités à restreindre autant que possible les coups de mine dans cette région et à étudier le tirage à l'électricité.

SUR

LES EAUX MINÉRALES DE CRANSAC

Par M. Ad. CARNOT, Ingénieur en chef des mines,
Professeur à l'École supérieure des mines.

Les sources minérales de Cransac (Aveyron) diffèrent de la plupart des autres sources minérales à la fois par leur origine et par leur composition; tandis que, d'ordinaire, les eaux minérales viennent d'une assez grande profondeur et arrivent au jour par des fractures du terrain dues à des phénomènes géologiques plus ou moins anciens, celles de Cransac au contraire trouvent à peu de distance de la surface la cause de leur minéralisation et celle-ci peut s'expliquer simplement par des phénomènes superficiels.

Les sources sont situées dans la vallée de Cransac, au pied et sur le versant de montagnes où viennent affleurer de puissantes couches de houille surmontées de schistes charbonneux et pyriteux. L'exploitation du combustible a donné lieu à des affaissements du sol et il s'est produit, dans la houille et dans les schistes, des incendies qui ont calciné les couches voisines. Aussi voit-on, à quelque distance au-dessus des sources, une bande de terrains rougeâtres, chargés d'oxyde de fer, que l'on appelle à juste titre des *terrains brûlés*. Il existe encore, sur différents points de la montagne, des dégagements de vapeurs et

des excavations creusées de main d'homme pour servir d'étuves aux malades.

Les eaux météoriques, en filtrant ou séjournant au contact de ces terrains, se chargent de principes minéraux qui sont, comme nous allons le voir, caractéristiques des sources de Cransac.

Le régime de ces sources est influencé, comme celui des sources d'eau ordinaire, par les phénomènes superficiels et surtout par la pluie, la neige, la sécheresse; il est aussi parfois affecté par des phénomènes souterrains, tels que les cassures ou les affaissements de terrain qui peuvent résulter de l'exploitation de la houille.

Des accidents de ce genre ont produit une diminution très sensible dans le débit des sources les plus anciennement utilisées; mais on a trouvé dans la même vallée plusieurs autres sources minérales; et, comme on a presque cessé d'exploiter les couches supérieures du bassin houiller, ces sources paraissent présenter aujourd'hui une certaine régularité de débit et de composition.

Avant de chercher à les utiliser, il était nécessaire de se fixer sur leur composition chimique et leurs propriétés thérapeutiques probables. Les ingénieurs des mines de l'arrondissement de Rodez, MM. de Castelnau et Rateau, nous ont donc demandé de faire l'analyse des différentes sources minéralisées de la vallée de Cransac et nous ont fait adresser la quantité d'eau nécessaire, en nous donnant des renseignements sur la situation topographique et géologique des sources.

Les analyses ont donné, pour 1 litre d'eau :

ÉLÉMENTS DOSÉS	EAUX adressées par M. Frau		EAUX adressées par la régie des aciéries d'Aubin		EAU adressée par Mme Galtié	EAUX adressées par M. Albagnac		EAUX adressées par M. Roques	
	Source du Fraysse n° 1	Source du Fraysse n° 2	Source Valette	Source Galtié	Source Euphrasie Galtié	Source Haute	Source Basse	Source Roques	Source Rouquette
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique	0,0000	0,0000	0,0440	traces	0,0088	0,0180	0,0056	traces	traces
Acide sulfurique	0,4580	1,5740	0,2670	0,7350	0,6760	0,6060	0,3950	1,5220	0,4980
Acide chlorhydrique	0,0485	0,0160	0,0648	0,0129	0,0389	0,0289	0,0173	0,0390	0,1530
Acide azotique	0,2848	0,0920	0,3660	0,1460	0,0121	0,1770	0,0063	0,0160	0,1043
Silice	0,0250	0,0460	0,0300	0,0240	0,0062	0,0032	0,0032	0,0620	0,0620
Alumine	0,0260	0,0840	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0093	0,0071
Sesquioxyde de fer	0,0007	0,0035	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	traces	traces
Protoxyde de mangan.	0,0059	0,0729	0,0009	0,0009	0,0018	très faibl.	absence	0,0288	0,0059
Chaux	0,1632	0,2870	0,2920	0,4380	0,2510	0,3160	0,1540	0,4470	0,1610
Magnésie	0,1405	0,4371	0,0998	0,1040	0,1610	0,1490	0,0915	0,4150	0,1200
Soude	0,0412	0,0143	0,0552	0,0110	0,0331	0,0245	0,0147	0,0135	0,0524
Potasse	0,1663	0,0800	0,0096	0,0130	0,0107	0,0075	0,0056	0,0140	0,0107
Lithine	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Total	1,3601	2,7068	1,2303	1,4858	1,2006	1,3311	0,6942	2,5666	1,2276
Extraits à 200°.	1,250	2,800	0,847	1,331	1,196	1,174	0,724	2,603	1,143

Ces résultats peuvent être groupés de la manière suivante :

Silice	0,0250	0,0460	0,0300	0,0240	0,0062	0,0032	0,0032	0,0620	0,0620
CaO, 2 CO^2	0,0000	0,0000	0,0720	traces	0,0144	0,0315	0,0093	traces	traces
CaO, SO^3	0,2757	0,6970	0,1156	0,8959	0,5950	0,5219	0,3604	1,0850	0,3960
MgO, SO^3	0,4215	1,3113	0,2994	0,3120	0,4830	0,4470	0,2745	1,2460	0,3600
Al^2O^3, 3 SO^3	0,0087	0,2790	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0300	0,0240
Fe^2O^3, 3 SO^3	0,0017	0,0087	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	traces	traces
MnO, SO^3	0,0127	0,1550	0,0019	0,0019	0,0038	traces	absence	0,0610	0,0190
CaO, AzO^5	0,1435	0,0000	0,5380	0,2020	traces	0,2566	traces	0,0000	0,0000
KO, AzO^5	0,3574	0,1720	0,0205	0,0272	0,0228	0,0160	0,0119	0,0300	0,1950
Na Cl	0,0778	0,0270	0,1044	0,0208	0,0626	0,0464	0,0278	0,0250	0,0240
Li Cl	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Total	1,3240	2,6960	1,1843	1,4863	1,1903	1,3251	0,6896	2,5390	1,1900

On peut remarquer que, malgré la diversité de leur minéralisation, qui doit être attribuée à celle des terrains traversés, toutes ces sources ont des caractères

communs. Les carbonates y font presque entièrement défaut. Les sulfates, au contraire, y sont en quantité dominante.

La présence des sulfates s'explique aisément comme conséquence de la décomposition des pyrites de fer contenues dans la houille et dans les schistes houillers lavés par les eaux météoriques. Quant au fer des pyrites, il ne se retrouve dans les sources qu'en proportion minime ; la majeure partie a dû être peroxydée et rester sous forme de composés insolubles ou être remplacée par d'autres bases pendant la filtration des eaux à travers des calcaires dolomitiques et un peu manganésifères.

Aussi trouve-t-on dans toutes ces eaux des proportions importantes de sulfates de chaux et de magnésie et dans quelques-unes des proportions très notables de sulfates de manganèse et d'alumine.

Toutes les sources contiennent des nitrates et ces sels, très rares dans les sources minérales d'origine profonde, se trouvent ici dans des proportions parfois remarquablement élevées. La cause en paraît devoir être cherchée dans la transformation de l'azote primitivement contenu dans la houille : la chaleur dégagée par les incendies souterrains peut avoir donné naissance à des sels ammoniacaux, qui ont vraisemblablement subi, dans les parties du sol perméables à l'air, la fermentation nitrique, que MM. Schlœsing et Müntz ont si bien analysée dans le sol végétal. Dans tous les cas, on peut considérer la présence des nitrates dans les eaux de Cransac comme un indice certain de leur origine superficielle.

La présence de chlorure de sodium peut avoir ici une autre cause que dans les eaux minérales profondes ; M. Rateau a remarqué que les vapeurs, qui s'échappent encore aujourd'hui des terrains en feu, contiennent des chlorures ou de l'acide chlorhydrique libre ; le rapprochement des deux faits tend à faire penser que les

chlorures des eaux viennent aussi du gisement houiller.

Il ne nous appartient pas de donner un avis sur la valeur thérapeutique des sources nouvelles de Cransac. Nous nous bornerons à faire un simple rapprochement entre leur composition actuelle et celle des anciennes sources analysées à différentes époques (*).

Les sulfates de chaux et de magnésie sont restés, comme autrefois, les sels dominants; le sulfate d'alumine est aujourd'hui en proportion beaucoup moindre, mais peut cependant jouer encore un rôle important dans certaines eaux à cause de ses propriétés astringentes. Le sulfate de manganèse, déjà signalé autrefois et considéré comme ayant une action tonique, se trouve en quantité sensible dans quelques sources. Les nitrates de chaux et de potasse doivent certainement donner aux eaux des qualités diurétiques plus ou moins marquées; sous ce rapport, les analyses nouvelles offrent avec les anciennes des différences très notables; car la présence des nitrates avait été à peine indiquée précédemment.

Il faut d'ailleurs observer que les proportions des divers éléments varient beaucoup entre les différentes sources actuelles; pourvu que chacune conserve une composition à peu près constante, elles pourront être employées vraisemblablement dans des conditions et pour des affections variées.

(*) Ossian Henry, 1840; Bureau d'essai de l'École des mines, 1849; Jules Lefort, 1863.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

EDMOND FUCHS

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES

Par M. A. DE LAPPARENT, ancien ingénieur des mines.

Parmi les privilèges que le Corps des Mines doit à son mode particulier de recrutement, il en est un que peu de corporations pourraient se flatter de posséder au même degré : c'est l'avantage de compter dans ses rangs bon nombre de ces intelligences d'élite, qui ne se laissent enfermer dans les limites d'aucune spécialité, et peuvent, non seulement se mouvoir à l'aise dans les domaines les plus divers de la science proprement dite, mais encore s'adonner avec succès, soit à la culture des arts, soit à celle des lettres.

Parfois, il est vrai, cette remarquable variété d'aptitudes a sa contre-partie dans un défaut d'équilibre physique. La lame, comme on dit, use le fourreau; il semble que les facultés cérébrales aient absorbé à leur profit une trop grande part des énergies corporelles et que le reste de l'organisme ne garde plus, contre les dangers extérieurs, une force de résistance suffisante. De fait, l'histoire du Corps des Mines offre de trop fréquents exemples de ces morts prématurées, qui viennent enlever à la fleur de l'âge, souvent à la sortie de l'École ou à

l'École même, de jeunes hommes à qui leurs débuts semblaient promettre la plus brillante carrière.

Si quelqu'un paraissait destiné à braver, mieux que tout autre, ce genre de péril, c'était bien l'éminent ingénieur de qui nous entreprenons de retracer l'existence. Tout en le gratifiant de qualités intellectuelles aussi brillantes que variées, la Providence l'avait taillé en hercule. En contemplant cette haute stature, ces larges épaules, ce visage encadré d'une abondante chevelure, éclairé par deux grands yeux, à la fois lumineux et doux, et sur lequel s'épanouissait volontiers le sourire le plus franc et le plus bienveillant, il semblait vraiment qu'on fût en présence d'un homme fort dans toute la rigueur de l'expression. Hélas! cette puissance exceptionnelle contenait en elle-même un germe de faiblesse. Habitué à défier les dangers, à ne jamais compter avec la fatigue; incapable d'une mesure à laquelle répugnaient un esprit et un cœur trop généreux, en même temps que son corps en croyait pouvoir impunément secouer le joug, Fuchs devait abuser de ses forces, au point de perdre rapidement le bénéfice de sa magnifique constitution. La mort le guettait, en quelque sorte, depuis des années, et un jour est venu où elle l'a terrassé tout d'un coup, après lui avoir à peine permis de dépasser le demi-siècle. Mais du moins elle ne l'a pas pris au dépourvu. Son âme n'avait jamais cessé d'être prête, et l'incroyable activité qu'il a toujours déployée fait de sa carrière, si prématuré qu'en ait été le dénouement, l'une des plus remplies que le Corps des Mines ait connues.

Philippe-Jacques-Edmond Fuchs naquit à Strasbourg, le 1er avril 1837. Son enfance et sa jeunesse s'écoulèrent tout entières dans cette belle province d'Alsace, à laquelle il appartenait de toutes façons, par sa famille, par son tempérament, par ses goûts. Il grandit ainsi à l'om-

bre des Vosges, dont les magnifiques forêts et les poétiques vallées trouvaient en lui un admirateur enthousiaste; au bord du Rhin, français alors et sur les flots rapides duquel il aimait à s'aventurer en barque; enfin dans ces plantureuses campagnes où l'Ill serpente, et qui se déploient, si larges et si riantes, au pied de la montagne, avec les cimes de la Forêt Noire pour horizon lointain.

Un tel milieu, dans un pays rempli de souvenirs, de traditions et même de légendes, était bien fait pour favoriser l'épanouissement d'une nature à la fois puissante et douce, où la vigueur du tempérament s'alliait à une imagination pleine de tendresse, non moins sensible aux charmes de la rêverie sur l'eau, par un beau clair de lune, qu'à la fière satisfaction des marches forcées accomplies, sans repos ni nourriture, à travers les sentiers les plus âpres de la montagne. Mais à cette influence du milieu venait s'en joindre une autre, encore plus efficace, celle de la famille. Pour en apprécier la portée, il faut avoir connu ce père, si profondément respectable dans sa simplicité, esprit libéral et généreux, habitué à chercher, dans la littérature et la poésie, une diversion aux exigences du négoce, que la nécessité seule le déterminait à subir; puis cette sainte mère, au regard si sympathique, dans les yeux de qui la physionomie du fils se retrouvait et s'expliquait du premier coup. Ajoutons-y une sœur aînée, plus âgée que Fuchs de quinze ans, qui fut pour lui comme une seconde mère et qui, elle aussi, a laissé chez tous ceux qui l'ont connue la plus charmante impression de droiture et de bonté. Tels étaient les éducateurs qui, dans un cadre toujours austère et sous les auspices d'une foi chrétienne inébranlable, s'appliquèrent à former le caractère et à développer les aspirations de celui qui, par ses succès de bon aloi, devait être l'orgueil et la consolation de la famille.

Entré de bonne heure au Gymnase de Strasbourg, d'où il passa plus tard au lycée, Fuchs fut constamment à la tête de sa classe. Plein d'ardeur pour l'étude, déployant, dans le respect du plan de travail qu'il s'était tracé, la conscience la plus scrupuleuse, il termina en 1854 son année de philosophie par la conquête du baccalauréat ès lettres. Jusqu'alors les études littéraires l'avaient exclusivement absorbé. Le grec et le latin le passionnaient; une heureuse mémoire lui permettait de s'assimiler aussi bien Homère et Virgile que les chefs-d'œuvre de la littérature allemande; enfin une exceptionnelle facilité pour les langues, qui plus tard devait lui être d'un si grand secours dans sa carrière de voyageur, lui faisait trouver du charme, non seulement à l'étude de l'anglais et de l'allemand, mais même à celle de l'hébreu. Avec deux de ses amis, il avait fondé une association littéraire où chacun, une fois par semaine, donnait libre carrière à son imagination. Nul mieux que Fuchs n'y excellait à voguer à pleines voiles dans l'idéal. Les vers, qu'il faisait avec une rare aisance, et où se trahissaient souvent les religieuses aspirations de son âme, enfin la musique, pour laquelle il avait un goût très vif, ajoutaient aux satisfactions de cette nature, faite pour les plus nobles jouissances de l'art et du savoir.

De tels débuts semblaient prédisposer Fuchs à tout autre chose qu'à l'étude des mathématiques; et de fait, s'il les avait prises par leurs petits côtés, il eût dû se sentir bien mal à l'aise au milieu de cet appareil de formules inflexibles. Mais à peine les avait-il abordées qu'il y savait apercevoir des merveilles de grandeur et d'harmonie, par lesquelles son esprit fut immédiatement subjugué. Aussi, sans devenir infidèle aux lettres, déployat-il, dans ce nouveau genre d'études, une ardeur que récompensait bientôt le diplôme de bachelier ès sciences.

Tant de fatigues d'esprit, entremêlées d'exercices corporels, où il faut reconnaître que la prudence était rarement écoutée, faillirent avoir un triste épilogue. Une fièvre typhoïde mit Fuchs à deux doigts de la mort et la convalescence fut aussi longue que pénible. Il n'en reprit pas moins le cours de ses études et, en 1856, le prix d'honneur de mathématiques spéciales attestait avec éclat qu'il n'avait rien perdu de sa supériorité.

Jusqu'alors Fuchs ne s'était mesuré qu'avec ses compatriotes d'Alsace. Les examens d'admission à l'École polytechnique le firent entrer en lice avec toute l'élite scientifique de sa génération. Il ne donna pas tout d'abord sa mesure, comme s'il eût été surpris par ce contact nouveau. Mais, entré à l'École avec le numéro 48, en compagnie de plusieurs de ses meilleurs camarades d'enfance, il s'était si rapidement ressaisi qu'il se voyait classé le troisième à Pâques. Il sortait définitivement, en 1858, avec le numéro 2. A ce moment ses rêves étaient accomplis, et il lui était donné de choisir la carrière des mines, vers laquelle le portaient d'instinct toutes ses prédilections.

Pour la plupart des polytechniciens, l'entrée aux écoles d'application est le signal de la délivrance. Plus de portes fermées; plus de consignes à craindre; plus de travail acharné pour la conquête d'un rang disputé par de trop nombreux concurrents; mais une vie agréable, intéressante, exempte des rudesses de la discipline et où, sans manquer aux exigences de la carrière, on peut faire aux distractions légitimes une part raisonnable.

Pour Fuchs, le séjour à l'École des mines devait être singulièrement plus austère. Ses parents avaient éprouvé quelques revers de fortune. Il ne voulut pas permettre qu'on s'imposât dans son intérêt de nouveaux sacrifices, et prétendit se suffire désormais à lui-même. Le modique traitement que recevaient alors les élèves-ingénieurs pouvait tout juste subvenir aux frais de leur nourriture;

il fallait encore se loger, se vêtir et pourvoir à mille menues dépenses. Fuchs s'imposa de nombreuses privations, plus méritoires encore pour sa vigoureuse organisation que pour toute autre. Il ne craignit pas de donner des répétitions, sans négliger pour cela aucun de ses devoirs, sans cesser de fréquenter, le soir, la société distinguée dans laquelle sa bonne réputation l'avait fait admettre d'emblée. Surtout il ne négligeait pas d'aller, le plus souvent possible, se retremper dans sa chère Alsace, au foyer paternel, au sein de cette vie de famille qui fut toujours son idéal. Combien de fois, pour diminuer la dépense de ce long voyage, ne le vit-on pas effectuer le trajet sur la locomotive, à côté du chauffeur, à la faveur d'une permission qu'il avait su se procurer! C'est ainsi qu'il parvint, non seulement à vivre honorablement sans rien demander aux siens, mais encore à amasser une petite réserve, en vue des voyages qu'il devait faire à la suite de ses deux dernières années d'école, voyages qu'il projetait d'étendre, pour sa propre instruction, bien au delà des limites prescrites par les programmes.

Sa première mission d'élève-ingénieur, accomplie dans l'été de 1860, le conduisit d'abord en Saxe, dans le pays classique des mines métalliques. De là il passa en Bohême, puis en Hongrie, explora le Banat et revint par le Tyrol, partageant son attention entre les mines et les usines métallurgiques. En même temps, la vie des mineurs, les richesses artistiques des musées, le caractère des populations, fournissaient à son esprit curieux le sujet d'observations nombreuses, qu'il aimait à consigner, au jour le jour, dans sa correspondance avec ses parents. Parti d'Alsace, à une époque où cette belle province savait et pouvait allier, à un vif attachement pour la patrie française, une certaine sympathie à l'égard du peuple voisin, dont elle comprenait la langue et aux destinées duquel elle avait été autrefois associée, Fuchs arrivait en Allemagne tout disposé à une bienveillante appréciation des hommes et des choses. Il s'attendait à y trouver, avec la réelle simplicité de vie que les nations germaniques ont généralement conservée, beaucoup de cette élévation d'esprit et de cette soif d'idéal, dont il se sentait rempli et qu'il avait plus d'une fois savourées avec ses compatriotes alsaciens. Sa déception fut vive, comme ses lettres en font foi. La plupart des Allemands qu'il eut l'occasion de fréquenter lui parurent, disons le mot, d'un terre-à-terre extrême; et ce ne fut pas une de ses moindres surprises d'avoir à constater que ce défaut, loin d'être l'apanage exclusif d'un sexe trop asservi à la bière et au tabac, sévissait non moins gravement, en terre allemande, sur cette portion du genre humain que la nature sensible et aimable de Fuchs eût aimé à voir constamment parée de toutes les grâces et de toutes les délicatesses. De ce jour son patriotisme reçut une consécration nouvelle, et il apprécia mieux encore l'avantage d'appartenir à une nation qui, pour être peu portée vers la rêverie, n'en sait pas moins, à l'occasion, s'enthousiasmer et se dévouer pour de grandes idées, en même temps que chacun y conserve, dans la plupart de ses actes, une élégance qui peut s'appeler un privilège de race.

Le second voyage de Fuchs, entrepris en 1861, en compagnie de ses camarades MM. Keller et Vicaire, eut pour objet l'étude des mines de la Norwège. Hammerfest devait être le terme extrême de la tournée; mais les trois compagnons y voulurent ajouter, à leurs frais, une pointe au cap Nord; après quoi, traversant la Laponie et la Finlande, ils se rendirent ensemble à Saint-Pétersbourg. C'est dans la première partie de la mission que se place un épisode, où se révèle le caractère aventureux de Fuchs et son absolu mépris du danger. Il avait résolu de faire l'ascension du Sneehätten, l'une des cimes les plus

hautes et les mieux dégagées des monts scandinaves. Les guides déclaraient l'entreprise impraticable à ce moment. Sur leur refus de l'accompagner, il se hasarda seul à travers un dédale de pierres écroulées, qui cédaient sous ses pas, tant l'équilibre en était instable, et, après une journée entière d'escalade, il parvint au sommet juste comme le jour déclinait. Obligé d'effectuer sa descente au milieu d'un brouillard épais, il se trompa de chemin, faillit tomber dans un précipice, dont le bord surplombait l'abîme à plusieurs centaines de mètres au-dessus d'un glacier, et dut ramper ensuite, se meurtrissant les pieds et les mains, sur un talus d'éboulis que le poids de son corps faisait descendre à tout instant. Cette odyssée mortellement périlleuse dura vingt-trois heures, au bout desquelles, sans que son énergie ni sa confiance en la Providence l'eussent abandonné un moment, il eut enfin la joie de rejoindre ses compagnons, qui craignaient déjà de ne plus le revoir.

De pareilles péripéties, au cours d'un voyage où, sans s'écarter de l'ordinaire, il fallait déjà se résigner à bien des privations et des fatigues, auraient dû calmer sa soif d'aventures. Elles ne firent au contraire que l'enflammer. Aussi, laissant à Saint-Pétersbourg ses deux amis reprendre le chemin de la France, voulut-il traverser la Russie tout entière, pour revenir par la mer Noire et la Méditerranée. En vain, quand il fut à Moscou, chercha-t-on à lui faire entendre qu'il était dangereux de se risquer dans les steppes de la Russie méridionale. Seul et sans armes avec un conducteur, en carriole d'abord, en traîneau ensuite, souvent malade, plus d'une fois exposé à des rencontres dangereuses, où il est à croire que sa stature athlétique dissuada seule les maraudeurs armés de tenter un mauvais coup, il finit par atteindre la Crimée, d'où il se rendit à Constantinople. Puis, après une petite pointe en Asie, il s'embarqua sur la Méditerranée,

mais sans oublier une visite à Athènes, où ses souvenirs classiques lui faisaient une loi de s'arrêter.

De ce voyage, où il avait touché successivement aux deux extrémités de l'Europe, passant, en quelques semaines, de la pâle lumière du cap Nord au soleil étincelant de la Grèce, Fuchs rapportait une ample moisson de souvenirs, de notes et de croquis. Il connaissait maintenant le pays d'Odin, avec ses fjords capricieusement découpés, où la mer pénètre à travers les schistes cristallins, couronnés de neiges éternelles qui s'écoulent par mille cascades. Il s'était extasié au spectacle des magnifiques aurores des régions circumpolaires, prenant plaisir à écrire, à la lueur de ces feux magiques, quelques-unes de ses impressions de touriste, de philosophe et de savant. Il avait traversé la Finlande, avec sa surface indécise, tout fraîchement abandonnée par les glaces et couverte de blocs erratiques, de provenance septentrionale. De là, il s'était promené sur les plaines russes, au milieu de terrains à stratification obstinément horizontale, à peine visibles sous les herbes et la terre noire des steppes, pour retrouver en Grèce ces formations problématiques, où plus d'une fois des roches d'âge secondaire ont revêtu, par le métamorphisme, un aspect comparable à celui des schistes cristallins.

A ces souvenirs, précieux pour un futur géologue, il joignait de nombreuses observations sur les mœurs et les traditions des peuples du Nord, dont la langue lui était devenue bien vite familière, grâce à sa parfaite connaissance de l'anglais et de l'allemand. Il n'était pas homme, d'ailleurs, à ne se servir de ses aptitudes de polyglotte que dans un but d'utilité immédiate et pratique; mais à tout instant la tournure philosophique de son esprit lui suggérait des rapprochements intéressants et on peut affirmer qu'il eût fait un philologue distingué, s'il avait voulu s'adonner à cette spécialité.

Nous nous sommes étendu avec quelque complaisance sur cette première grande tournée, où se dessine la vocation de Fuchs pour les longs et difficiles voyages. On nous le pardonnera plus volontiers encore, si nous disons que la relation originale de ce tour d'Europe, capable de remplir un gros volume, a été anéantie en 1870, lors du bombardement de Strasbourg, dans l'incendie qui détruisit la maison paternelle de notre ami.

Le 19 février 1862, Fuchs, sorti le second de l'École des mines, était nommé ingénieur de 3e classe. Juste à ce moment, le poste de Strasbourg devenait vacant. Le premier de la promotion, M. Keller, Alsacien lui aussi, s'empressa de le réclamer. Fuchs vint donc prendre, auprès du secrétaire du Conseil des mines, la place que son camarade laissait libre, et d'abord sa pensée dut se reporter plus d'une fois avec regret sur cette chère Alsace, où tant de liens l'attiraient. Mais la Providence lui réservait, à bref délai, un dédommagement qui devait décider de sa carrière, en le fixant pour toujours à Paris, dans un poste d'ordre scientifique. Au mois de juillet, en effet, un arrêté ministériel le chargeait de professer, en remplacement du regretté Bour, la géométrie descriptive et la physique aux cours préparatoires de l'École des mines, et en même temps on lui confiait, à cette École, les leçons de lever des plans et de topographie souterraine.

A cette même date commencent les relations de Fuchs avec l'industrie privée, qui devait si souvent en appeler au concours de ce voyageur infatigable. C'est ainsi qu'en 1862, on le voit étudier, en Angleterre et en Suède, pour la société du Creusot, le procédé Bessemer. Puis, en avril 1863, la compagnie des Salines de l'Est le charge d'un rapport sur le gisement si curieux de Stassfurt en Anhalt. Ces missions furent bientôt suivies de plusieurs autres, dont nous parlerons à leur date et dont chacune

lui donnait l'occasion de recueillir de nombreuses séries d'échantillons. D'ordinaire il déposait ces séries à l'École des mines, où elles prenaient place dans la collection des gîtes minéraux et métallifères, dont le soin lui avait été confié par M. de Chancourtois, et qui devait prendre, par suite de la construction des nouveaux bâtiments, un assez grand développement. En même temps, il amassait des matériaux pour des mémoires scientifiques, destinés à être insérés dans les *Annales des Mines*. Mais avant que ces mémoires vissent le jour, il allait s'accomplir dans l'existence de Fuchs un grand et décisif événement : nous voulons parler de son mariage, dont les circonstances furent trop caractéristiques pour qu'on les puisse passer sous silence.

Fuchs avait eu pour camarade, à l'École polytechnique comme à l'École des mines, M. Charles Ledoux, aujourd'hui ingénieur en chef, professeur du cours d'Exploitation et conseil de la compagnie d'Anzin. L'un des frères de M. Ledoux étant tombé gravement malade à Paris, Fuchs lui prodigua les soins les plus dévoués. Au chevet du mourant, la sœur de ce dernier, Mlle Henriette Ledoux, apprit à bien connaître l'ingénieur qui s'était acquis tant de droits à la reconnaissance de la famille. Lui, de son côté, eut assez de clairvoyance pour deviner quel fonds de trésors naturels était renfermé chez cette jeune fille, et de quel épanouissement ces richesses étaient susceptibles, pour peu qu'elles fussent placées dans un cadre favorable. Quelques mois après, le 9 juillet 1863, Mlle Ledoux devenait Mme Fuchs.

Ce que fut cette union, née d'un élan naturel que favorisaient la gratitude et l'estime, et de laquelle on peut dire que tout calcul humain avait été écarté, il n'est pas un ingénieur qui l'ignore. Tous ont été témoins des joies intenses que l'époux a trouvées dans les brillantes facultés de sa compagne, facultés dont il lui était permis

de penser, avec quelque fierté, que leur développement était en partie son œuvre. Le talent musical, si unanimement apprécié, de Mme Fuchs, a, comme M. Haton de la Goupillière le disait si justement, sur la tombe de notre cher camarade, « embelli, reposé, fécondé la forte existence qui venait se retremper à ses accents ». Ajoutons, toujours avec l'éminent directeur de l'École des mines, que « le charme de l'art a été pourtant le moindre côté du bonheur profond dont une femme distinguée a entouré celui qui lui est arraché! » Nous ne voudrions pas encourir le reproche de toucher, d'une main trop peu discrète, à d'aussi intimes souvenirs. Cependant nous sommes sûr qu'on nous pardonnera de vouloir rappeler encore un trait d'une exquise délicatesse : le métal de l'anneau d'argent qui fut, entre les deux époux, le symbole de la foi jurée, provenait directement des galons qui avaient orné, durant la seconde année d'école, l'uniforme du polytechnicien; et l'ingénieur n'avait voulu laisser à personne autre qu'à lui-même le soin de la fonte, tant il lui importait de garantir l'authenticité du lingot, dont il garda pour sa mère la seconde partie. Ainsi, en confiant au creuset les plus brillants comme les plus décisifs emblèmes de la situation qu'il avait réussi à conquérir par son travail, Fuchs trouvait moyen d'associer intimement, dans un hommage vraiment personnel et touchant par sa modestie même, les deux plus grandes affections qu'il ait connues ici-bas.

Aussitôt après le mariage, les époux partirent pour l'Alsace, où Fuchs avait hâte de présenter sa jeune femme à sa famille. De là, par la Suisse, ils se dirigèrent vers l'Italie; mais ce n'était pas pour y faire un voyage de noces ordinaire et les exigences du travail devaient s'y mêler, pour le nouveau couple, aux satisfactions de la lune de miel. Il est des cas où le mariage

apporte l'oubli justifié de toutes les préoccupations matérielles, et permet à l'homme de goûter les jouissances de son choix, sans les voir jamais traversées par le souci des nécessités du lendemain. L'union que Fuchs avait contractée ne comportait pas cette immunité, parfois dangereuse autant qu'elle est commode. Dès le premier jour s'imposait à lui le noble et austère devoir de travailler en vue du bien-être des siens. Heureux encore d'avoir trouvé, pour le début de sa nouvelle existence, une mission dans le beau pays de la Lombardie! Non que sa vaillante compagne n'eût été prête à le suivre n'importe où; mais du moins c'était plaisir de pouvoir la dédommager chaque jour de quelques heures de solitude, par le spectacle des riants paysages des abords du Val Trompia, ou par celui des environs de Traverselle, où son mari était appelé pour donner son avis sur quelques gîtes métallifères.

A la fin de 1863, ainsi qu'en 1864, Fuchs se rend, à plusieurs reprises, à Massay et à Chéry, pour y faire l'étude approfondie de quelques-uns des gisements de minerai de fer du Berri. C'est alors qu'au mois d'avril 1864, la naissance d'un fils vient lui imposer de nouveaux devoirs. Il accepte de la société Virginia, de Bergame, une mission dans la province de Brescia. Mais, l'année suivante, sans sortir de France, il trouvera à s'occuper en étudiant, pour la ville de Courbevoie, le pouvoir éclairant du gaz de *boghead*, au sujet duquel il fait paraître une note dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement*. C'est aussi en 1865 qu'il publie, dans les *Annales des Mines*, son travail sur le gisement salin de Stassfurt, rédigé à la suite de la mission qu'il avait remplie, deux ans auparavant, pour la compagnie des Salines de l'Est. Dans ce mémoire, très ordonné et parfaitement écrit, il faut signaler surtout les considérations géologiques où Fuchs, après avoir exposé la théorie de Bischof sur la

formation des sels déliquescents, par évaporation d'un bassin peu à peu séparé de la mer, indique les raisons pour lesquelles cette explication lui paraît insuffisante dans l'espèce. Il fait valoir ensuite la probabilité d'une origine mixte, c'est-à-dire d'une combinaison de l'évaporation avec un apport de matières salines, par des sources en relation avec des phénomènes éruptifs. Peut-être trouvera-t-on excessive la confiance qu'en cette occasion, à la suite de M. de Chancourtois, il accorde aux grands cercles de la sphère terrestre qui passent par les gisements connus d'hydrocarbures. Du moins on ne saurait méconnaître que, pour les gîtes salifères, la question d'origine demeure toujours ouverte; que l'énorme épaisseur des masses de sel gemme semble difficilement conciliable avec un simple phénomène d'évaporation; enfin que les argiles bariolées, qui presque toujours accompagnent le sel, ont une frappante ressemblance avec les argilolites qui, dans certains terrains, sont en relation évidente avec des éruptions porphyriques ou des solfatares.

A partir de 1865, l'activité industrielle de Fuchs va subir un certain ralentissement. A ce moment, en effet, Elie de Beaumont et son suppléant, M. de Chancourtois, organisaient, en vue de l'Exposition de 1867, un service provisoire pour la préparation d'un fragment étendu de la Carte géologique détaillée de la France, comprenant la partie nord-est du territoire. Il fallait, à cette occasion, rassembler toutes les cartes départementales déjà publiées, les reporter, si elles n'y étaient pas déjà, à l'échelle du quatre-vingt millième, adopter une gamme uniforme pour les divisions comme pour les couleurs, et surtout opérer, sur les limites communes des cartes, le raccordement de travaux entrepris à des époques et suivant des méthodes très différentes. Une telle tâche réclamait, non seulement un esprit de coordination systématique, que M. de Chancourtois était particulièrement propre à exciter et à maintenir, mais encore de nombreuses courses sur le terrain, exécutées par un personnel jeune, aimant le métier, et capable de s'intéresser à toutes les questions théoriques que l'accomplissement du travail ne pouvait manquer de soulever.

Fuchs était tout indiqué pour faire partie du nouveau service. C'est là surtout que nous avons appris à le connaître. S'il nous a été donné d'acquérir une juste idée de cette nature aimable et vaillante, de ce cœur généreux et incapable d'aucune petitesse, de cette intelligence largement ouverte à toutes les choses élevées, c'est à la faveur de ces excursions communes, entreprises tantôt parmi les vertes collines du bas Boulonnais, les plaines monotones du Nord ou les ondulations crayeuses de la Champagne, tantôt à travers ce beau massif des Vosges, dont il excellait à faire les honneurs; sachant ménager à ses compagnons, après de laborieuses journées de marche, l'hospitalité de quelqu'une de ces patriarcales familles d'Alsace, où le titre d'ami de Fuchs garantissait le plus cordial accueil. Quelles bonnes causeries on échangeait, quels souvenirs on remuait, que d'idées on éveillait, quand, le soir nous ayant surpris en pleine besogne, il fallait revenir au gîte au prix d'une longue marche nocturne, où il n'y avait plus de scrupule à se faire d'oublier un instant la géologie ! Alors il arrivait souvent que la poésie et la musique reprîssent leurs droits, et l'on entamait des *lieder*, alternant avec des réminiscences moins germaniques; ou bien on faisait raconter à Fuchs les aventureuses péripéties de ses voyages. D'autres fois, enfin, c'était la philosophie ou l'esthétique qui fournissait le thème des conversations.

Ce n'est pas que cette communauté de travaux et d'aspirations générales empêchât certaines divergences de vues, même en matière scientifique. Parmi ceux que

le service géologique avait ainsi groupés, quelques-uns étaient d'esprit plutôt positif et récalcitrant à certaines généralisations ; d'autres (et il est à peine besoin de dire que Fuchs était de ces derniers) montraient beaucoup plus d'indulgence, voire même de penchant, pour les idées systématiques, jusqu'à se laisser accuser parfois, sinon de prétendre reconstruire la nature à leur manière, du moins de la regarder plus *subjectivement* qu'*objectivement*, comme on disait alors de l'autre côté du Rhin ; tendance bien excusable, d'ailleurs, si l'on songe qu'elle était, avant tout, inspirée par le désir de mettre en pleine lumière l'ordre et l'harmonie de la Création. C'est ainsi que, jusqu'à la fin, Fuchs devait demeurer fidèle à la doctrine du réseau pentagonal. Nous croyons bien, du reste, que dans cet attachement inébranlable à une cause dont les partisans se faisaient chaque jour plus rares, il obéissait à un double sentiment : d'une part, un penchant personnel très sincère pour une théorie assurément ingénieuse autant qu'originale, qui avait à ses yeux le grand mérite d'introduire, dans les faits géologiques et géographiques, la géométrie, cette suprême expression de l'ordre dans la matière ; d'autre part, un souvenir reconnaissant de la bienveillance que lui avaient toujours témoignée Élie de Beaumont, le créateur de la doctrine, et M. de Chancourtois, son propagateur le plus ardent. A l'heure où, ses premiers protecteurs ayant tour à tour disparu, cette fidélité ne pouvait être à Fuchs d'aucun profit, il la gardait encore, trouvant sans doute quelque satisfaction à pouvoir se dire :

Victrix causa Diis placuit, sed victa Catoni.

Les années 1865, 1866 et 1867 furent particulièrement laborieuses pour Fuchs. A de nombreuses occupations, nécessitées par le service de la carte, et à l'accomplissement de ses devoirs de professeur, il trouva moyen de

joindre encore un voyage d'études aux mines de Pontpéant, en Bretagne, un autre dans le bassin houiller de Brassac, une tournée dans le Rouergue et le pays d'Alais, et cela dans une année où sa famille s'accroissait d'une fille. Enfin, en 1867, il procéda à l'exploration des mines de zinc de la province de Ameberg, en Suède, entreprise pour la société de la Vieille-Montagne, près de laquelle l'amitié de M. Max Braun lui ménageait un crédit durable. Entre temps, il publiait, dans les *Annales des mines* de 1867, une traduction, faite d'après le texte norwégien, du mémoire de MM. Kjerulf et Dahll, sur les gîtes de fer de la côte sud-ouest de la Norwège (Arendal, Naes, Krageroe).

Sur ces entrefaites, l'Exposition universelle de 1867 ouvrit ses portes. Élie de Beaumont faisait partie de la commission impériale, laquelle avait pour secrétaire M. de Chancourtois, l'ingénieur en chef et l'âme du service géologique. Ce dernier, retenu pour de longs mois au Champ de Mars, y voulut avoir auprès de lui tous ses collaborateurs habituels. Le rôle de Fuchs était tracé d'avance. Sa connaissance des langues étrangères et son expérience des choses techniques le désignaient pour le jury international des récompenses. Ingénieur de seconde classe depuis le 5 janvier, il fut nommé, par arrêté du 15 mars, secrétaire du jury du cinquième groupe, comprenant les mines et la métallurgie. Ses services furent fort appréciés et Michel Chevalier, rapporteur général du jury, lui confia la rédaction de plusieurs rapports. Le premier traite des *cartes géologiques* en général et contient, à côté de quelques aperçus d'ensemble, où des vues philosophiques d'une réelle élévation sont exprimées en très heureux langage, un examen sommaire des cartes françaises, ainsi que de celles de l'Algérie, de la Suède, de la Norwège et de la Suisse. Le second rapport est relatif aux *combustibles artificiels*, c'est-à-dire aux

agglomérés de houille. Le troisième, rédigé en collaboration avec M. Worms de Romilly, s'occupe des *fontes et fers ;* un intéressant résumé historique y est suivi de détails précis sur la fabrication contemporaine, aussi bien en France qu'à l'étranger. Enfin dans le quatrième, consacré au *zinc*, Fuchs laisse voir une compétence particulière, fruit des relations qu'il avait déjà nouées avec la société de la Vieille-Montagne, et qui ne devaient pas s'arrêter là.

Ces différents travaux furent publiés en 1868. Si l'on songe que, dans cette même année, Fuchs se décidait à donner aux *Annales des mines* l'étude qu'il avait rédigée dès 1864 sur les gisements de cuivre, de plomb et de fer des vallées Trompia, Sabbia et Sassina, dans la Lombardie septentrionale, étude où il fait ressortir les relations des gîtes avec les roches éruptives, porphyres et mélaphyres; que, de plus, il allait visiter, pour la Vieille-Montagne, des mines de plomb et de zinc en Belgique et en Prusse, mines où les gisements dits calaminaires mettent si bien en lumière la réaction mutuelle des roches encaissantes et des eaux minéralisées qui ont engendré les filons, on ne pourra manquer de rendre hommage à cette activité vraiment extraordinaire, qui permettait de mener de front des tâches si diverses.

Jusqu'alors le service de la carte géologique détaillée n'avait existé qu'à titre provisoire; mais l'Exposition universelle avait suffisamment démontré la nécessité, pour la France, d'organiser définitivement l'œuvre, sous peine de demeurer en arrière des nations voisines. Élie de Beaumont obtint du ministre des travaux publics une décision dans ce sens et, le 15 octobre 1868, un arrêté ministériel confirmait dans leur situation les collaborateurs de la première heure, en leur adjoignant de nouveaux collègues. Fuchs, déchargé des leçons de physique qu'il avait jusqu'alors professées, reprit ses

courses géologiques en 1869, ce qui ne l'empêcha pas, dans cette même année, d'aller étudier le bassin houiller de La Chapelle-sous-Dun, puis d'entreprendre, pour la Vieille-Montagne, l'exploration du gîte de calamine d'Iglesias, en Sardaigne, enfin d'exécuter, en mai et en octobre, deux voyages en Allemagne.

Dans l'intervalle, le 11 août, la croix de chevalier de la Légion d'honneur lui avait été accordée, sur la double proposition d'Élie de Beaumont et de Michel Chevalier, en récompense de ses nombreux et brillants services. Déjà décoré, lors de l'Exposition, de plusieurs ordres étrangers, il obtenait ainsi, à trente-deux ans, la plus enviée de toutes les distinctions.

En 1870, nous retrouvons Fuchs occupé de l'étude de la concession de Marly, qui forme le prolongement vers le sud-est du bassin houiller de Valenciennes. Puis, à peine a-t-il pu fêter la naissance d'une seconde fille, qu'il part pour le Chili, en compagnie de M. Mallard, afin de procéder à une expertise pour le compte de la société des mines d'argent de Vallenar. Au cours de cette mission, les deux ingénieurs eurent l'occasion de visiter, dans le désert d'Atacama, le gisement de charbon de la Ternera, et d'y recueillir des empreintes végétales, où MM. Zeiller et Schimper reconnurent plus tard des genres caractéristiques de l'infralias. Le fait mérite d'autant plus d'être noté que, douze ans après, les gîtes houillers du Tonkin réservaient à Fuchs la même surprise paléontologique.

Notre ami avait projeté de traverser la chaîne des Andes et de se rendre au Brésil en traversant le bassin de la Plata. Il se faisait d'avance une fête de ce grand voyage, qui devait combler l'une de ses plus vives aspirations. Hélas! de désastreuses nouvelles de France parviennent au Chili. Mallard et Fuchs se rembarquent en toute hâte, presque au moment où Mme Fuchs, seule avec

trois enfants, entreprenait de traverser la France entière, au milieu de mille péripéties causées par le désordre de l'invasion, pour aller, de l'une des plages normandes, où l'avait appelée la santé de sa fille aînée, à Alais, où elle trouverait l'hospitalité chez son frère, ingénieur en résidence dans cette ville. Les deux ingénieurs rédigent leur rapport sur le bateau, le signent à Bordeaux et, sans perdre une minute, Fuchs accourt à Alais. Mais la joie de se revoir après une aussi longue séparation, la première qui eût mis l'océan entre les deux époux, ne fait pas oublier au patriote alsacien les devoirs que lui impose la détresse du pays. Il ne donne aux siens que quarante-huit heures et repart aussitôt pour Tours, où un arrêté ministériel du mois de décembre l'attache au 16e corps (armée de la Loire) en qualité de commandant du génie civil, pendant que son ami, M. Mallard, recevait un poste analogue auprès du 18e corps.

Dans cette campagne, Fuchs eut pour chef direct l'amiral Jauréguiberry, caractère antique, type d'énergie indomptable et de calme vaillance, un de ceux qui ont le plus contribué à faire, de la retraite dirigée par Chanzy, un épisode glorieux en dépit de ses tristesses. Depuis la bataille du Mans, où il vit les obus éclater tout autour de lui, jusqu'à la signature de l'armistice, qu'il apprit à Laval, le chef du génie auxiliaire ne cessa de coopérer aux mouvements du corps d'armée, veillant aux retranchements, abattant des arbres, faisant sauter les ponts, encourageant par son exemple les travailleurs qui, de divers côtés, étaient accourus pour alléger la tâche si laborieuse des combattants. Qu'on juge de son désespoir, quand il sut à quelles conditions la paix était obtenue! Sa chère Alsace, devenue terre allemande, après un bombardement qui avait mutilé sa ville natale, causant l'incendie de la maison paternelle et l'anéantissement de ses souvenirs d'enfance et de jeunesse, pendant que son

digne père, alors perclus par l'âge, échappait à grand peine à la mort! Ceux-là seuls ont pu mesurer l'étendue de son chagrin qui l'avaient vu, peu d'années auparavant, si heureux au milieu de ces Vosges, dont tous les sites lui étaient familiers, dont tous les habitants étaient ses amis ou ses proches. Sans parler de la blessure que ressentait ce cœur essentiellement large et généreux, de voir s'élever désormais une infranchissable barrière, faite de haines et de rancunes, entre deux peuples qu'il eût souhaité de voir à jamais unis, parce qu'il avait tout ce qu'il fallait pour les comprendre l'un et l'autre et pour s'élever au-dessus de leurs mutuels préjugés. Aussi quand, le 27 juillet 1871, sur la proposition de l'amiral, qui avait apprécié sa vaillante conduite, il fut nommé officier de la Légion d'honneur, la satisfaction de se voir, à trente-quatre ans, en possession d'un insigne que tant d'autres n'obtiennent qu'à la fin de leur carrière, demeura mélangée pour lui d'une amertume destinée à peser sur tout le reste de son existence. Grades et honneurs, il eût volontiers tout sacrifié pour ne plus sentir, entre lui et Strasbourg, une ligne de douanes, gardée par des gendarmes au casque pointu!

Mais si cuisants que fussent ses regrets, Fuchs n'était pas homme à s'y absorber au point de perdre le goût du travail. Bien au contraire, il y eût plutôt cherché un dérivatif. Aussi, dès l'été de 1871, reprend-il ses courses géologiques, les entremêlant d'une étude industrielle sur les phosphates du Boulonnais, qui devenaient l'objet d'une active exploitation. 1872 arrive et, pendant les mois de mars, d'avril et de mai, Fuchs, dans ses moments de liberté, se fait honneur de répondre à l'appel de son éminente coreligionnaire, la charitable Mme André Walther, en venant plusieurs fois à Versailles pour y faire, dans les prisons, des conférences aux fédérés qui attendaient leur tour de comparaître devant les conseils de

guerre. Sa pitié avait été facilement émue en faveur de ces malheureux, où tant d'égarés à demi inconscients étaient mêlés à de grands coupables, et il essayait de leur faire quelque bien en dirigeant leur attention vers des choses élevées.

L'été venu, il va visiter, dans les Pyrénées-Orientales, les gîtes de fer du Canigou. Puis le prince Stirbey le charge d'étudier les ressources minérales que présente, notamment au point de vue du sel et du pétrole, le district de Kampina, en Valachie. En dehors de l'objet même de sa mission, il y recueille d'intéressantes observations sur l'état présent de ce peuple, où quelques-uns des signes les plus raffinés de notre civilisation coexistent avec la barbarie la plus primitive, en même temps qu'une haine instinctive de l'étranger paralyse le développement de ressources naturelles, que les indigènes sont hors d'état de mettre en valeur à eux seuls.

Ce voyage en Orient est suivi d'une rapide tournée à travers les gîtes métallifères du centre de l'Espagne. Comme si ce n'était pas assez, voilà maintenant Fuchs dans l'Aveyron, où il étudie la concession d'Auzits, à l'extrémité méridionale du bassin d'Aubin. Il profite du voisinage pour donner un coup d'œil, non seulement aux gîtes de plomb, de cuivre et de houille des environs de Meyrueis et de Florac, mais aussi, par occasion, à cet étonnant pays des Causses, une des merveilles de la France pittoresque. Enfin l'année ne s'achève pas sans qu'il ait passé par le bassin houiller d'Épinac, où l'attire, avec l'intérêt propre au gisement, le désir de se rendre compte de l'ingénieux système d'extraction par l'air comprimé, que vient d'imaginer M. Z. Blanchet.

Voilà certes une campagne bien employée et faite pour donner le vertige, surtout si l'on songe que Fuchs trouvait encore le temps, en 1872, de publier dans les *Annales des mines* une note sur la carte géologique de la

Suède, et de fournir à la chambre de commerce de Dieppe une consultation relativement à la possibilité de trouver de la houille sous le pays de Bray. Eh bien! l'année 1873 ne sera pas moins fertile en lointains et intéressants voyages. C'est d'abord une visite en Corse, aux gîtes de Ponte-Leccia, que suit l'étude des exploitations d'alunite de la Toscane, trop voisines de Rome pour que l'infatigable voyageur résiste à la tentation d'aller faire connaissance avec les richesses artistiques et les souvenirs historiques de la Ville éternelle. Mais l'Espagne le réclame et le bassin houiller de Belmez, puis les phosphorites de Cacérès, dans l'Estramadure, sollicitent tour à tour son attention.

C'est à ce moment qu'une décision ministérielle le met à la disposition du gouvernement tunisien « pour reconnaître la nature et la richesse des gisements qui se trouvent dans la Régence et pour indiquer les conditions pratiques de leur exploitation. » Il faudrait pouvoir reproduire ici tout entières les pages qu'il écrivait de Tunisie à sa femme, et où il faisait une peinture si expressive du milieu nouveau dans lequel il venait d'être jeté. Nous y relèverons seulement l'expression d'un regret, où se peint bien sa loyale nature; c'est de voir que « les Orientaux sont de vrais enfants, pour qui un ingénieur est une espèce de sorcier, qui doit faire éclore le minerai sous leurs pas. Ils voient partout de l'or, de l'argent, du mercure; c'est à peine s'ils parlent du plomb, du cuivre et du fer ». Fuchs est obligé, pour remplir sa mission, de triompher de la mauvaise volonté des Arabes, qui conspirent pour cacher les gisements aux « Roumis » et cette défiance, ou pour mieux dire cette haine sourde, dont il se sent entouré, lui pèse d'un grand poids. Néanmoins, au prix de longues et fatigantes excursions, tant à cheval qu'à pied, sous un soleil torride et dans des conditions déplorables au point de vue du confort, il

visite successivement des gîtes de fer, de manganèse, de cuivre, de plomb, notamment ceux du Djebel-Reças; il étudie des sables aurifères, fait en plein mois de juin l'ascension du Zaghouan, se rend au cap Carthage, où il se fait scrupule, tant il est pressé, de dérober à sa besogne le temps de visiter les ruines de la cité d'Annibal, et finit par arriver à Tabarka. Là, il définit le premier les puissants gisements de minerai de fer de la côte de Kroumirie, non sans avoir été plus d'une fois insulté et même gravement menacé par les indigènes, alors réfractaires à l'autorité du Bey.

Très satisfait des services de l'ingénieur français, le gouvernement tunisien lui demanda de revenir l'année suivante, et c'est ainsi qu'en 1874, après deux tournées, l'une à Chabrignac dans la Corrèze, l'autre en Italie, Fuchs se retrouvait, au mois de mai, dans cette Tunisie qu'il fut tout surpris de revoir, pour un instant, verdoyante et fleurie, après l'avoir connue en juin si brûlée. Il retourna au Zaghouan, où il lui fallait surveiller lui-même la construction d'un four à ciment. Puis, dirigeant cette fois son attention vers la Tunisie méridionale, il partit pour Sfax, d'où il eut une satisfaction de lettré à contempler au large l'île de Calypso, et se mit en route pour le massif de Bou-Hedma, où on lui avait signalé des gîtes métallifères. Mais en même temps, d'accord avec le premier ministre du Bey, le général Khéreddine, il résolut de profiter de ce voyage pour tirer au clair la question de la dépression saharienne.

Cette question venait d'être tout récemment soulevée par M. Roudaire, qui en lisant à sa manière certains textes historiques, avait cru pouvoir établir qu'autrefois le lac Triton (*Palus Tritonidis* des anciens) communiquait librement avec la mer. L'isthme de Ghabès n'aurait été, dans cette conception, qu'une barre d'alluvions récentes, qui aurait peu à peu obstrué la communication. En

creusant à travers cette barre un canal, dont M. Roudaire évaluait la dépense à 20 millions (M. de Lesseps prétendait même la réduire à moitié), on eut ramené les eaux marines, non seulement sur le Chott-el-Djerid, c'est-à-dire au sud de la Tunisie, mais encore sur les dépressions sahariennes du Chott-Rharsa et du Chott-Melrir, qui s'étendent au sud de notre colonie algérienne.

C'est cette idée, contraire à l'opinion nettement exprimée en 1872 par M. Pomel, que Fuchs voulut soumettre à un contrôle direct. Parti de Ghabès par un soleil de juin, sans autres instruments que ses baromètres, ses boussoles et un sextant, il arriva en vue de la Sebkha-Faraoun, extrémité orientale de la Sebkha-el-Fedjed, qui elle-même termine à l'est le Chott-el-Djerid. S'il y fut témoin d'un superbe effet de mirage, qui fit revivre un moment devant ses yeux la trompeuse image d'un immense lac, cette agréable illusion ne l'empêcha pas de découvrir que le niveau de la Sebkha, au fond couvert d'efflorescences salines, était à 20 ou 25 mètres au moins au-dessus de celui de la Méditerranée; que la pente vers l'ouest était presque insensible, de sorte qu'il faudrait aller très loin pour rencontrer la cote zéro; enfin que le seuil de Ghabès, dont les parties les plus déprimées lui parurent dominer la mer de 50 à 55 mètres, était formé, non d'alluvions et de sables, mais de grès et de calcaires, en couches nettement inclinées. Il montra ainsi, conformément aux idées de M. Pomel, qu'il n'avait jamais existé de mer saharienne et mit en pleine lumière tout ce qu'avait de chimérique le projet d'introduire artificiellement les eaux de la Méditerranée dans la dépression située à l'ouest de la Sebkha, au prix d'une dépense qui lui semblait ne pouvoir être inférieure à 300 millions.

Revenu en France, il fit sur ce sujet, le 16 août 1874, une communication à l'Académie des sciences et, deux

ans après, il avait la satisfaction de voir le nivellement même de M. Roudaire confirmer son appréciation, en l'aggravant encore par la découverte d'un autre seuil entre la dépression tunisienne et celle de l'Algérie. Dans un travail plus étendu, que publia en 1877 le *Bulletin de la Société de géographie*, il a développé d'excellentes considérations sur les causes qui ont amené le dessèchement des anciens chotts, dont plusieurs sont à des hauteurs très notables au-dessus de la mer. Tous ont perdu leurs eaux par suite de la diminution considérable qui est survenue, depuis les temps quaternaires, dans l'humidité du climat.

Sans cesser d'apporter dans la discussion une courtoisie parfaite, Fuchs ne manqua jamais de réagir contre l'engouement qu'inspirait l'idée de M. Roudaire, pour laquelle l'opinion publique semblait se passionner, parce que beaucoup de gens s'obstinaient à voir, dans l'adhésion du créateur du canal de Suez, une infaillible garantie de succès. On doit savoir particulièrement gré à l'explorateur de la Tunisie, de s'être ainsi loyalement mis en travers d'une entreprise, qui n'eût pas manqué d'ajouter un nouveau désastre à tous ceux que l'épargne française était destinée à subir.

Rentré chez lui juste à temps pour y saluer, en juillet, la naissance d'une troisième fille, Fuchs reprend ses tournées de service, qu'il entremêle d'un voyage en Belgique, d'un autre en Espagne, enfin d'une visite dans le département de l'Ariège. Dans l'intervalle, la mort d'Elie de Beaumont, son chef si bienveillant et si respecté, lui apporte un réel chagrin. Il est néanmoins confirmé, le 15 février 1875, dans ses fonctions de membre du personnel de la carte géologique, désormais dirigé par M. l'inspecteur général Jacquot, et son existence reprend, plus laborieuse que jamais; car on trouve, dans ses notes de 1875, la trace d'un voyage en Belgique, pour

la Vieille-Montagne, d'un autre en Bohême, d'une tournée à travers les gîtes de phosphorite du Quercy, d'une exploration de divers gisements d'Autriche et de Silésie, sans parler d'une course à Auzits et d'une visite aux gisements de calcaires lithographiques de Diano-Marina, dans la Corniche. Cela ne l'empêche pas de prendre part au Congrès de géographie, qui tenait cette année ses brillantes assises au Louvre. Enfin, le 14 septembre, il reçoit sa nomination d'ingénieur de première classe.

Deux voyages en Espagne, séparés par une tournée en Toscane, marquent plus particulièrement la campagne de 1876. En 1877, vient le tour du Portugal; mais bientôt après une mission particulière appelle Fuchs dans l'Oural, où son tempérament de voyageur et d'observateur recueille de nouvelles satisfactions. La même année, il recevait un témoignage flatteur. Appelée à désigner un candidat en seconde ligne pour la chaire d'histoire naturelle des corps inorganiques, dont M. Fouqué allait hériter après la mort de Charles Sainte-Claire Deville, l'Académie des sciences portait son choix sur Fuchs.

En 1878, nous le retrouvons, au mois de mai, à Cacerès et à Belmez, où il retournera encore en septembre, après avoir touché au Simplon et rempli, à l'exposition universelle, les fonctions de membre du jury international des récompenses.

En 1879, un important changement se produit dans sa situation à l'École des mines. Le 10 février, il se voit chargé, à titre provisoire, du cours d'agriculture, de drainage et d'irrigations, que Delesse avait jusqu'alors professé; quatre jours après, une nouvelle décision lui confie, à titre de conservateur-adjoint, le soin de la collection de statistique départementale. C'est alors que, pour utiliser ses connaissances spéciales, le Conseil de l'École élabore une transformation du Cours, ayant pour effet d'adjoindre à l'enseignement agricole celui de toutes

les applications techniques de la géologie, qui ne rentrent pas strictement dans l'exploitation des mines. L'occasion était bonne, en vérité, de faire profiter les élèves du trésor des informations que Fuchs avait recueillies sur place, dans ses voyages à travers tant de pays. Mieux qu'un autre, il était en mesure de dire comment on devait s'y prendre pour définir l'allure des gisements nouveaux, cette tâche qui s'impose si souvent aux ingénieurs appelés à l'étranger. Mieux qu'un autre aussi, grâce à la tournure systématique de son esprit, il pouvait, de ses observations multiples, tirer des vues générales et au besoin des théories, qui avaient au moins ce mérite, de guider les chercheurs en leur fournissant quelque idée directrice. Enfin ses relations avec l'industrie devaient faire de lui, pour les élèves externes, un patron aussi autorisé que dévoué. Aussi, le 9 juin, Fuchs, déchargé de ses leçons de géométrie descriptive aux cours préparatoires, prenait-il définitivement possession de la nouvelle chaire, dite d'abord d'agriculture et de géologie technique, puis exclusivement affectée à cette dernière spécialité.

Pendant dix ans il a tenu cet enseignement, amassant toujours des matériaux en vue de la publication du cours qu'il avait eu la bonne fortune de créer. Malheureusement, avec sa vie si remplie, le temps lui faisait défaut pour une mise en œuvre définitive. Ce n'est pas qu'il répugnât le moins du monde aux exercices de rédaction; témoin sa correspondance, remplie des plus fins aperçus, délicatement exprimés, et les publications qu'il a faites, toutes d'une élégance et d'une correction irréprochables. Ce qui lui pesait, c'était le genre de sacrifice que nécessite l'exposition didactique; comprimer le développement de sa pensée lui était aussi antipathique que de vivre enfermé, sans pouvoir dilater librement ses poumons. Et puis un scrupule l'arrêtait toujours, au moment de ter-

miner quelque chapitre. Dans une matière aussi neuve, où il n'y avait pour ainsi dire pas de modèles, il ne pouvait se résoudre à encourir le reproche d'être incomplet ou inexact. Le livre qu'il a laissé sur l'or, rédigé en collaboration avec M. Cumenge, dit assez avec quels détails il entendait que chaque partie fût traitée. Or il n'avait pas seulement à parler des métaux; il fallait encore envisager tous les gisements minéraux, depuis le diamant jusqu'aux phosphates et aux pierres les plus vulgaires. Aussi, malgré l'insistance que mettait le savant directeur de l'École des mines à combattre ce souci exagéré de la perfection, Fuchs n'a-t-il rédigé de son cours que des chapitres isolés. Mais nous savons que son successeur (*), libéralement mis en possession de l'immense masse de documents, de cartes et de précieux dessins que Fuchs avait accumulée, se fera un point d'honneur d'en mener à bien la publication définitive, avec la certitude de rendre ainsi, à la mémoire de son devancier, un hommage mérité, et, à tous les ingénieurs, un service qui ne saurait manquer d'être apprécié.

Le nouveau cours dont Fuchs venait de se charger ne pouvait que le confirmer dans sa résolution de voir le plus de choses possible par ses propres yeux. Son activité de voyageur ne se ralentit donc pas. En 1879, il se rend, à deux reprises, dans le Morbihan, à La Villeder, pour y donner son avis sur les filons d'étain, dont on se proposait de reprendre l'exploitation longtemps abandonnée. Après quoi on le retrouve successivement à Cacérès, en Algérie, en Sardaigne, enfin en Autriche. C'est encore La Villeder et l'Espagne qui l'occupent en 1880, concurremment avec une étude, suivie de rapport, sur le projet de canal des Deux-Mers. Pendant ce temps, son service géologique le réclame de temps à autre dans le

(*) M. de Launay.

Soissonnais et le Tardenois. C'est là qu'un jour, après une laborieuse journée de marche, l'état défectueux de son accoutrement lui attire, de la part de la gendarmerie, une amusante mésaventure, dont il a légué le récit à ses enfants dans une pièce de vers remplie de la plus spirituelle bonhomie.

Fuchs retourne en Espagne en 1881, voyant croître, avec son expérience, sa situation officielle; car un décret du 11 juillet lui apporte sa nomination d'ingénieur en chef. Trois mois après, le 18 octobre, M. Le Myre de Vilers, gouverneur de la Cochinchine, ayant demandé au gouvernement d'organiser une exploration minière de la colonie, ainsi que du Cambodge et du Tonkin, Fuchs est officiellement désigné pour cette mission, qui va enfin lui procurer l'occasion longtemps souhaitée d'aborder les pays de l'Extrême-Orient. Le 29 octobre, emmenant comme secrétaire un ancien élève de l'École polytechnique et de l'École des mines, M. Saladin, il s'embarque sur le paquebot *l'Amazone*. Là, il trompera les longues heures de la traversée par une correspondance active, où il aime à faire partager aux siens toutes ses impressions nouvelles, complétant ses descriptions par des dessins où se révèle un crayon alerte et spirituel. D'autres fois, les circonstances qu'il rencontre ou les sites devant lesquels il passe lui inspireront des poésies pleines de charme et de sentiment. Ce côté particulier de ses heureuses facultés mérite d'être mis en lumière et il est vraiment à souhaiter que, quelque jour, une publication spéciale fasse connaître à d'autres qu'aux intimes les gracieux épanchements où se complaisait sa riche imagination.

Nombreuses furent les péripéties de ce voyage, pendant lequel Fuchs fut, tour à tour, reçu avec des honneurs presque princiers, ou bien, comme aux environs d'Hanoï, accueilli par la fusillade des pirates chinois.

Après avoir touché à Saïgon, on s'embarqua sur *l'Antilope*, navire de l'État, mis spécialement à la disposition des explorateurs, qui étudièrent d'abord la côte annamite. A Hué, ils furent présentés au premier ministre de l'invisible empereur Tu-Duc, dans une audience émouvante où le consul français, qui accompagnait Fuchs, donna solennellement lecture des instructions de son gouvernement, les premières où l'intention d'assurer désormais la sécurité sur le Fleuve-Rouge ait été nettement proclamée; prélude d'une politique active qui devait entraîner de si graves conséquences.

Ensuite il fallut franchir, non sans difficultés ni même sans dangers, la barre du fleuve, pour pénétrer, à l'époque de Noël, dans le delta du Tonkin. Le principal résultat du voyage fut la reconnaissance précise des gisements houillers de la côte, dont la description, œuvre commune de Fuchs et de M. Saladin, a été publiée en 1882 dans les *Annales des mines*. A ce mémoire fut jointe une étude paléontologique de M. Zeiller, montrant, d'après les empreintes végétales recueillies, que les gîtes appartenaient à l'infralias. Pourtant la nature des schistes encaissants, ainsi que l'aspect des grès rouges subordonnés, avaient produit sur des observateurs européens exactement la même impression que nos gisements français du carbonifère supérieur et du permien.

Le mois de janvier 1882 fut consacré à l'exploration du Tonkin proprement dit, où Fuchs ne vit guère, en fait de métaux, que des traces d'or dans les ravins. Cette portion du voyage fut particulièrement pénible. Trop lourd et de trop forte corpulence pour s'accommoder du régime des *sampangs*, ces petits bateaux étroits et voûtés, où les indigènes se blottissent sans peine, Fuchs dut marcher dans l'eau malsaine des rizières, où sa jambe écorchée contracta bientôt une grave irritation. Quand il revint à Saïgon, les instances du gouverneur ne purent

le détourner d'achever sa mission par l'exploration des gîtes de fer du Cambodge. S'il eut la satisfaction d'être reçu par le roi Norodom et d'assister aux danses sacrées dont la fête du souverain était l'occasion (*), en revanche, son mal ne fit que s'aggraver. Cependant, au lieu de goûter, à son retour chez le gouverneur de la Cochinchine, un repos bien nécessaire, il reprit en avril le chemin de la France, résolu à recommencer son cours à l'École des mines juste à la date où il s'était engagé à le faire. Il y réussit en effet, mais au prix de grandes souffrances qui le mirent longtemps dans l'impossibilité de marcher; car il ne fallut pas moins de trois mois de soins assidus pour cicatriser les trous de sa jambe.

Malgré ce douloureux épisode, qui infligeait à une santé autrefois si robuste une atteinte dont elle ne devait pas se relever, Fuchs demeura toujours très attaché à cette colonie de l'Indo-Chine, dont il avait apprécié les ressources. Plus d'une fois il souhaita d'y pouvoir retourner. Du moins on le choisit, le 6 septembre 1884, pour faire partie d'une commission chargée de définir le régime qu'il conviendrait d'appliquer aux exploitations minières de l'Annam et du Tonkin. Puis le gouvernement ayant fondé à Paris une école coloniale, où plusieurs jeunes gens de l'Indo-Chine, notamment du Cambodge, venaient s'initier à la civilisation européenne, Fuchs fut nommé membre du comité des études, et chaque mois il y allait faire passer des examens. Plus tard il eut à présider la commission technique instituée pour élaborer le

(*) Ces danses firent de sa part, en 1886, l'objet d'une communication à la Société philotechnique. Il avait été si frappé de cette solennité, reproduisant, en plein dix-neuvième siècle, dans leur pureté primitive, les rites de la race Kmer, qu'il voulut initier ses compatriotes à la jouissance que lui avait fait éprouver cette évocation d'un passé quinze fois séculaire. Il ne s'est pas contenté d'ailleurs de traduire ses impressions en prose et une pièce de vers sur le Râmâyana termine cette communication.

plan du réseau des voies ferrées tonkinoises. Enfin, comme consécration de la part qu'il avait prise au développement de l'influence française en Tunisie et dans l'Indo-Chine, il reçut le titre et exerça jusqu'à sa mort les fonctions d'ingénieur-conseil des pays de protectorat.

La fin de l'année 1882 le retrouve déployant une activité qu'il eût été assurément plus sage de laisser sommeiller encore. C'est ainsi qu'on le vit se joindre à une visite d'ingénieurs aux travaux préparatoires du tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre, puis prendre part au Congrès de l'association française à La Rochelle, où il exposa d'intéressantes observations, tant sur le régime du Mékong que sur la station préhistorique de Som-Ron-Sen au Cambodge.

Les mêmes imprudences (qu'on nous pardonne de les appeler ainsi!) se renouvelèrent de plus belle en 1883. Après une tournée en Corse et une autre en Toscane, aux mines célèbres de Monte Catini, Fuchs retourna en Espagne, puis revint en Bretagne pour donner un coup d'œil aux travaux de La Villeder, se rendit à l'Exposition d'Amsterdam, enfin prit le chemin de la Roumanie, afin d'y étudier des gîtes de pétrole appartenant au prince Stirbey. Cette relation lui valut, de la part de la Cour royale, un accueil particulièrement flatteur. On aime à lire, dans sa correspondance, le récit de ce gracieux épisode, où la reine, que sa conversation avait intéressée, lui fait don de la série de ses œuvres, qui ne comprenait pas moins de quinze volumes. La vue de ce cadeau royal, porté derrière Fuchs par un domestique galonné, produit aussitôt sur les Roumains un effet d'ébahissement qui vaut au donataire, avec les témoignages du plus profond respect, la qualification plusieurs fois répétée d'Excellence.

En 1884, le travail ordinaire de Fuchs trouve à se concilier avec un voyage en Italie et en Croatie. Mais

c'est surtout en 1885 que reprennent ses grandes pérégrinations. L'année débute pour lui par un voyage en Californie, où, pour la première fois, il aborde cette Amérique du Nord, que ses rêves avaient dû bien souvent entrevoir. Après New-York, il touche successivement à Chicago, à Omaha et à Ogden City, où l'exploration des environs du Lac Salé l'amène à constater l'identité du granite des Monts Wahsatch avec celui de Cherbourg. Puis il va visiter les districts aurifères de Nevada et de Plaur, notamment les graviers d'alluvions de Dutch Flat, de Polar Star et de Golden River, dont il donnera plus tard un intéressant aperçu dans le *Bulletin de la Société géologique de France*. Enfin, après avoir consacré quelques moments aux gîtes de mercure de New-Almaden, aux mines d'argent du désert de Gilah, dans l'Arizona, et aux célèbres mines de cuivre de Copper Queen, Fuchs arrive à Guaymas, traverse le golfe de Californie, et étudie en grand détail le gisement cuivreux si curieux du Boleo, qu'il décrira également devant la Société géologique. Au retour, il s'arrête à Denver (Colorado) pour y voir des gîtes de plomb argentifère et d'or, ainsi qu'à Pittsburg et à Oil City, où il ne manque pas de donner un coup d'œil aux puits à pétrole.

Après cette mission qui comblait, pour ainsi dire, les dernières lacunes de sa carrière d'explorateur, Fuchs, revenu en France, est désigné, par arrêté du 30 mai 1885, pour faire partie du jury français à l'Exposition internationale d'Anvers, avec charge d'y représenter surtout l'exposition coloniale de la République. A cette occasion, il est admis devant la famille royale de Belgique. Mais voilà que le Congrès des prisons s'ouvre à Rome et Fuchs s'y rend, comme délégué de la France, en compagnie de M. Cheysson. Il prend une part active aux discussions, pleines d'intérêt pour un esprit aussi porté que le sien à souhaiter l'amélioration morale des

condamnés, et aussi bien préparé à y travailler efficacement; car, depuis longtemps, il faisait partie du conseil de la société de patronage des libérés protestants. Le sentiment qui le faisait agir ne saurait être mieux exprimé que par la devise qu'il avait choisie, pour se conformer au règlement, dès son arrivée au Congrès : « Il faut que la justice soit complétée par la charité pour ne pas ressembler à la vengeance. »

En quittant Rome, le moraliste, redevenu ingénieur, part pour la Hongrie, passe par Pesth, où se tient alors une exposition internationale, et va visiter en Transylvanie les gisements aurifères de Zalathna, où les singuliers effets du mélange de quatre peuples, Slovènes, Valaques, Hongrois et Allemands, ne l'intéresseront pas moins que les particularités des filons. Il y retournera l'année suivante pour étudier les gîtes de Vulkoj et de Vöröspatak, ainsi que les mines de Rota, dans le district de Schemnitz; et il saura combiner cette expédition avec une tournée en Illyrie, sans préjudice de sa visite habituelle à Cacérès. Enfin on le trouvera, au mois d'août 1886, à Nancy, exposant devant l'Association française, dans un travail remarquable de concision et de netteté, les caractères des divers gisements connus de phosphate de chaux.

A la rentrée, une nouvelle mission l'attend. Pénétré de l'importance que présentent, pour les géographes, les considérations géologiques, le général Perrier demande à Fuchs de faire sur ce sujet quelques leçons aux officiers du Service géographique de l'armée. Une première série de sept conférences eut lieu en novembre et décembre 1886 et fut suivie, en 1887, d'une seconde série de huit. La première partie de ce cours, comprenant l'étude systématique du relief terrestre, avait été entièrement rédigée par l'auteur avec le concours de M. Rey et la publication devait avoir lieu en 1889.

A la fin de 1886, la mort, en enlevant M. de Chancourtois, frappa un nouveau coup dans le cercle des meilleures affections de Fuchs. Aussi, l'année suivante, ne voulut-t-il pas laisser à d'autres le soin de retracer, dans les *Annales des Mines*, la carrière de celui qui avait été son maître, son chef et son ami. Il s'en acquitta avec une parfaite délicatesse d'expression, sans omettre aucun des détails de l'activité scientifique et technique de M. de Chancourtois, signalant avec une sympathie visible, mais à coup sûr désintéressée, les idées souvent originales de cet esprit ingénieux et distingué, avec lequel il se sentait plus d'une affinité. Dans cette même année 1887, Fuchs fut appelé à donner, sur place, son avis au sujet du percement de l'isthme de Corinthe, dont il décrivit ensuite, devant l'Association française réunie à Toulouse, les curieuses particularités géologiques.

L'année 1888 est marquée par la publication de la première partie de la monographie de l'*or*, que Fuchs et son ami M. Cumenge avaient entreprise pour l'*Encyclopédie chimique* de M. Fremy. Cette première partie, intitulée : l'*Or dans le laboratoire*, est consacrée à l'étude de toutes les réactions chimiques auxquelles se prêtent le précieux métal et ses composés ; elle devait être suivie d'une deuxième section, traitant du gisement de l'or dans la nature, et qui aurait emprunté une autorité particulière au fait, que les deux explorateurs avaient visité presque tous les gîtes aurifères du globe. Enfin, une troisième section devait être affectée à l'exploitation et au traitement des minerais d'or. MM. Robellaz, Ch. Laforge et Ed. Saladin apportaient à MM. Fuchs et Cumenge leur concours pour la rédaction de cette œuvre considérable. Si la seconde partie a dû rester à l'état de projet, du moins la troisième, qui forme un volume de deux cents pages avec un grand nombre de dessins et de photographies, a paru dans les dernières semaines de 1889. Elle

ne peut que faire regretter davantage le coup si funeste qui, en tranchant prématurément la carrière de l'un des auteurs, a interrompu le cours d'une publication si instructive et si remplie de faits nouveaux.

C'est en 1888 que Fuchs a été appelé au Mexique. L'objet de son voyage était l'étude des mines d'or du district d'Oaxaca. Après avoir accompli cette première partie de sa mission, rendue très pénible par une succession ininterrompue d'épouvantables orages, il remonta vers Mexico, s'arrêtant à Morelos pour voir les célèbres mines d'argent de Sultepec, puis les gisements analogues de San-Francisco et de Santa-Ana. Du moins la magnificence du paysage apporta-t-elle par moments quelques compensations aux grandes fatigues de cette tournée. A son retour dans la capitale, Fuchs se vit harcelé par tous les grands propriétaires de mines du pays, chacun le pressant d'aller visiter ses exploitations. Malgré son état d'épuisement, causé par les déplorables conditions matérielles dans lesquelles s'accomplissent les voyages au Mexique, il consentit à se rendre dans la Sonora. Pendant trois semaines, il lui fallut mener une véritable vie de sauvage, couchant sur la dure, voyant, après mille accidents, sa voiture se briser définitivement et ses provisions s'épuiser; jusqu'à ce que, après avoir touché à Hermosillo et à Ures-Arispe, il lui fût donné d'atteindre Denver, où il reprit le chemin de fer pour New-York. Certes il avait vu et appris bien des choses dans ce voyage et peut-être, dans son âme d'artiste et de poète, ne trouvait-il pas encore qu'il eût payé trop cher le plaisir de contempler la cime du Popocatepetl, se dressant au milieu du ciel pur des hauts plateaux mexicains. Mais tant de fatigues, alors que le repos lui eût été si salutaire, devaient amener à brève échéance un fatal dénouement!

L'Exposition universelle de 1889 ne pouvait manquer, comme ses devancières, de faire appel à la bonne volonté

ainsi qu'à la compétence de Fuchs. Un arrêté du 11 mars 1887 l'avait nommé membre du comité d'admission de la classe 41 (mines et métallurgie). Il en fut le vice-président et le rapporteur. De même, en décembre 1888, il avait été désigné pour faire partie de la commission d'organisation du congrès international des mines et de la métallurgie. Ce congrès devait se tenir au mois de septembre 1889 et, pour y pouvoir prendre part en toute liberté d'esprit et de corps, Fuchs, qui suivait depuis quelque temps un traitement spécial, pour combattre l'inflammation du sang contractée dans les rizières du Tonkin, résolut d'en confirmer les bons effets par une cure à Saint-Gervais. Quand il se crut en bonne voie de guérison, laissant tous les siens installés dans le voisinage, pour y jouir, comme tous les ans, du bon air et de la vue des montagnes, il vint à Paris pour l'ouverture du congrès. Un simple rhume, dont il avait apporté le germe de Savoie, dégénéra si rapidement que, sans avoir été alité plus d'un jour, sans même que la gravité de son état ait pu lui apparaître un instant, il était enlevé par une congestion pulmonaire dans la nuit du 7 septembre 1889. Il n'avait auprès de lui, et encore presque par hasard, que sa dernière sœur qui, malade depuis de longues années, s'est dévouée à l'éducation des neveux de Fuchs, auxquels leur père, frère cadet de notre ami, filateur en Alsace et gendre d'un ancien député des Vosges, M. Steinheil, a tenu à garder la qualité de Français. Combien de fois cette sœur fidèle, devant ce lit de mort qui anéantissait tant d'espérances, n'a-t-elle pas répété ce cri de son cœur : Pourquoi n'est-ce pas moi ?

Cette catastrophe soudaine, si elle enlevait à la femme et aux enfants de notre ami la consolation de dire un dernier adieu à celui qui les avait tant aimés, épargna du moins au père de famille les angoisses et les amertumes

d'une séparation que son cœur, tout vaillant qu'il était, n'eût pas envisagée sans un profond déchirement. D'ailleurs, il n'était pas de ceux que les approches de la mort décident seules à interroger leur conscience et la vie qu'il avait menée le préparait à paraître, sans trop de crainte, devant le juge en la miséricorde duquel il s'était toujours confié.

Ses funérailles survenant en pleine période de vacances, bon nombre de ses amis, prévenus trop tard, furent dans l'impossibilité de faire cortège à sa dépouille. Néanmoins les hommages légitimes ne lui manquèrent pas, dans la triste cérémonie qui s'accomplit le lundi 9 septembre à l'église de Pentemont (*). Le directeur de l'École des mines, M. Haton de la Goupillière, lui adressa des adieux où ses mérites de tout genre étaient appréciés avec autant de cœur que de délicatesse. Tous les journaux lui consacrèrent une notice. Son ancien compagnon de voyage du Chili, M. Mallard, s'empressa de rédiger, pour la *Revue scientifique*, un article nécrologique où éclataient l'estime et l'affection les plus profondes pour l'ami qui venait de disparaître. Le Conservatoire des arts et métiers, auquel Fuchs appartenait comme membre du conseil de perfectionnement des études, ne l'oublia pas non plus et, à la rentrée, le directeur, M. Laussedat, consacrait à son souvenir quelques paroles émues.

C'était bien le moins qu'on pût faire pour cet ingénieur éminent, qui a tant travaillé en ce monde, et de qui les

(*) Nous rappellerons qu'outre la croix d'Officier de la Légion d'honneur et celle d'Officier de l'Instruction publique, Fuchs était décoré de nombreux ordres étrangers. Il était Grand-Officier de l'ordre royal du Cambodge et de l'ordre du Nicham-Iftikar, Commandeur de l'ordre des Saints Maurice et Lazare, de l'ordre d'Isabelle-la-Catholique, de l'ordre du Christ de Portugal, de l'ordre de la Couronne de Roumanie, de l'ordre du Dragon d'Annam, Chevalier de l'ordre de Wasa, de celui de l'Aigle de Prusse, etc.

relations avec ses semblables ont toujours été marquées au coin de la plus absolue bienveillance. Bon, par nature, presque jusqu'à l'excès, répugnant à croire le mal, pratiquant envers les pauvres la charité la plus active et la plus dévouée, il eût été, d'ailleurs, capable d'acquérir tous ces mérites, même s'il avait eu à combattre une disposition contraire, rien que par la vertu de ses fortes convictions religieuses, qui s'alliaient chez lui à la plus parfaite tolérance. Mais tous ceux qui l'ont connu savent que, pour être bon, il n'eut pas à faire le moindre effort. Bien loin qu'il lui en ait jamais coûté de s'abstenir de tout acte malveillant, il éprouvait, à faire valoir les autres, la plus visible comme la plus généreuse satisfaction. C'était, dans toute l'acception des termes, un bon camarade et un bon ami. Ne se peint-il pas tout entier, d'ailleurs, dans le nom de cette société musicale, la *Concordia*, dont il fut le fondateur et le président, comme sa femme en était l'âme vibrante? Ah! qu'il eût aimé à la voir régner partout, cette concorde, pour savourer amplement, à la faveur d'une paix fondée sur une mutuelle indulgence, les plus hautes jouissances de l'esprit et du cœur!

S'il ne pouvait lui être donné de trouver, sur cette terre, la complète réalisation d'un aussi beau rêve, du moins a-t-il cherché à en approcher du plus près qu'il a pu. En quittant ce monde, il laisse aux siens, avec tout le cortège des sympathies qu'il avait su conquérir, d'inappréciables souvenirs en même temps qu'un bel exemple : celui d'une vie dominée par le culte du vrai, du beau et du bien, que les épreuves ont traversée plus d'une fois sans y jamais laisser d'amertume, et où rien n'a pu tarir un moment cette puissante et sympathique vitalité, qui a peut-être encouru parfois le reproche de se dépenser trop libéralement, mais à laquelle chacun rendra cette justice, que le mal n'en a pas absorbé la plus petite part.

BIBLIOGRAPHIE DE L'ŒUVRE

de M. Ed. FUCHS, Ingénieur en chef des mines.

1865. Mémoire sur le gisement salin de Stassfurt-Anhalt (*Annales des mines*, 6e série, t. VIII, p. 1).

1865. Mémoire sur le gisement de chlorure de potassium de Stassfurt-Anhalt (*Bulletin de la Société d'encouragement*).

1865. Traduction du mémoire sur les gîtes de fer de la côte Sud-Ouest de la Norvège (Arendal, Naes, Kragerö), par MM. Th. Kjérulf et T. Dahl (*Ann. des mines*, 6e série, t. IX, p. 269).

1866. Mémoire sur le pouvoir éclairant du gaz de Boghead (*Bull. de la Soc. d'encouragement*).

1867. Cartes géologiques. Rapport du jury international.

1867. Combustibles artificiels.

1867. Fontes et fers, avec la collaboration de M. Worms de Romilly.

1867. Étude sur le zinc.

1868. Étude sur les gisements métallifères des vallées Trompia, Sabbia, et Sassina dans la Lombardie septentrionale (*Ann. des mines*, 6e série, t. XIII, p. 411).

1872. Note sur la carte géologique de la Suède (*Ann. des mines*, 7e série, t. II, p. 145).

1872. Note sur la recherche de la houille dans le pays de Bray.

1873. Notes sur quelques points de la géologie du Chili (en collaboration avec M. Mallard) (*Ann. des mines*, 7e série, t. III, p. 67).

1873. Étude sur l'extrémité Nord du bassin houiller d'Alais.

1873. Note sur les sources de pétrole de Campina (Valachie). (*Bibliothèque universelle de Genève.*)

1874. Note sur les gisements de calcaire lithographique de Diano-Marina.

1874. Mémoire sur les gisements de plomb argentifères, de cuivre et de houille des environs de Meyrueis et de Florac.

1878. Statistique de l'industrie minérale de la Suède (*Ann. des mines*, 7e série, t. XIII, p. 575).

1874. Note sur l'isthme de Ghabès (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*).

1879. Note sur l'état dans lequel se trouvent les métaux précieux dans quelques-unes de leurs combinaisons (*C. R. de l'Acad. des sciences*).

1877. Isthme de Ghabès (extrait du *Bulletin de la Société de géographie*).

1882. Mémoire sur l'exploration des gîtes de combustibles et de quelques-uns

des gîtes métallifères de l'Indo-Chine (avec la collaboration de M. E. Saladin) (*Ann. des mines*, 8e série, t. II, p. 185).

1882. Note sur les bassins houillers du Tong-king (*C. R. de l'Acad. des sciences*).

1882. Note sur la station préhistorique de Som-Ron-Sen (Cambodge) (*Bulletin de la Société géologique*, 3e série, t. XI, p. 46).

1883. Une mission en Indo-Chine (*Revue scientifique*).

1884. Distribution générale des minéraux (Conf. à la Société de géographie).

1884. Sur le gisement de Thenay (Ass. franç. pour l'avancement des sciences).

1885. Note sur les gîtes de borax de la Californie et de l'État de Nevada (*Ann. des mines* — collection de M. Robellaz).

1885. Notes sur les gîtes cuivreux du Boléo (*Bull. de la Soc. géol.*, 3e série, t. XIV, p. 79).

1885. Note sur les gisements de cuivre du Boléo (Ass. franç. pour l'avancement des sciences, congrès de Grenoble).

1885. Note sur la production de l'or en Australie (*Ann. des mines*).

1885. Note sur les graviers aurifères de la Sierra-Nevada de Californie (*Bull de la Soc. géol.*, 3e série, t. XIII, p. 486).

1886. Note sur les gisements de phosphate de chaux (Ass. franç. pour l'avancement des sciences, Réun. de Nancy, IIe, p. 425).

1887. Notice nécrologique sur M. de Chancourtois (*Ann. des mines*, 8e série, t. XI, p. 505).

1887. Notice nécrologique sur M. de Chancourtois (*Bull. de la Soc géol.*, 3e série, t. XV, p. 489).

1887. Note sur la géologie de l'isthme de Corinthe (*Bull. de la Soc. géol.*, 3e série, t. XV, p. 725).

1887. Note sur l'isthme de Corinthe, sa constitution géologique, son percement (Ass. franç. pour l'avancement des sciences, Réun. de Toulouse, IIe, p. 431).

1889. Observations sur les collections minéralogiques exposées au Champ-de-Mars.

1888-1889. L'or, ses propriétés, ses gisements et son extraction (dans l'*Encyclopédie chimique* de Fremy), en collaboration avec M. E. Cumenge, et avec le concours de MM. P. Robellaz, Ch. Lafargue, Ed. Saladin.
2 volumes parus : 1° L'or au laboratoire; 2° Extraction de l'or.

Feuilles de la carte géologique détaillée de la France au 1/80.000e :
Faites par M. Fuchs seul :
Saint-Valery, Abbeville, Amiens, le Havre, Yvetot, Châlons-sur-Marne, Bar-le-Duc, Commercy, Arcis, Vassy, Verdun.
Faites en collaboration avec divers :
Montdidier, Soissons, Paris (1re édition), Melun.

NOTE

SUR QUELQUES

APPAREILS EMPLOYÉS DANS LES MINES ALLEMANDES

EN VUE DE PRÉVENIR LES ACCIDENTS

(D'après les modèles exposés à Berlin en 1889)

Par M. MAURICE BELLOM, Ingénieur au corps des mines.

La présente note a pour objet la description de quelques appareils nouveaux, qui sont employés dans les mines allemandes en vue de prévenir les accidents, et qui figuraient à l'Exposition de Berlin (1889). Les appareils exposés étaient beaucoup plus nombreux que ceux qui seront cités dans cette note; ceux qui étaient déjà anciens ou connus, seront systématiquement passés sous silence.

Ces différents appareils seront décrits dans l'ordre suivant :

1° Lampes de sûreté;
2° Appareils relatifs aux puits d'extraction;
3° — aux plans inclinés;
4° — au service de l'aérage;
5° Équipement de sauvetage.

I. LAMPES DE SURETÉ.

1° *Systèmes de rallumage.*

Les lampes de sûreté figurant à l'Exposition sont connues, pour la plupart, par les travaux de la Commission prussienne du grisou. Il convient toutefois de signaler les perfectionnements récents apportés à deux de ces lampes, la lampe Wolf et la lampe Seippel. Ces perfectionnements portent sur le système de rallumage.

1° **Lampe Wolf.** — La lampe Wolf à benzine, dont l'usage est à peu près général en Saxe, est munie, depuis plusieurs années, d'un système de rallumage intérieur, consistant dans l'inflammation d'une amorce déterminée par le choc d'un petit marteau. La première innovation (Brevet du 30 juin 1887) consista dans l'emploi d'un couteau, destiné à couper l'extrémité de la bande de papier portant les amorces déjà consommées. Avant l'introduction de ce perfectionnement, il pouvait arriver, en effet, que l'extrémité, désormais inutile de la bande de papier, s'enflammât et donnât lieu au passage, à travers le tamis, de particules incandescentes, capables de déterminer l'explosion d'un mélange grisouteux. Ce couteau *a* (Pl. VII, *fig.* 1) a été rendu solidaire du dispositif de rallumage qui, comme on le sait, est mis en mouvement par l'enfoncement à l'intérieur de la lampe, puis par l'extraction d'une broche *d*. Le déplacement de celle-ci est transmis par les deux tiges *b* et *c*, à l'extrémité *f* d'un levier L, mobile autour du point *o* et portant à son autre extrémité le couteau *a*. Quand on tire la broche *d* vers l'extérieur, le couteau *a* vient couper l'extrémité B de la bande de papier. Le levier L est d'ailleurs formé de deux flasques parallèles au plan de la figure et réunies par une face perpendiculaire qui empêche la chute sur

la flamme, de la portion coupée. Le mouvement d'enfoncement de la broche qui, dans le système connu, est nécessaire à l'exécution d'un nouveau rallumage, ramène le couteau en arrière, c'est-à-dire dans la position indiquée par la figure.

Le système de rallumage auquel la *fig.* 1 se rapporte, ne s'applique qu'aux lampes Wolf à benzine. Dans les lampes à huile lourde ou à mélange d'huile minérale et de paraffine, il fallait produire, pour le rallumage, une flamme de durée plus longue que dans les lampes à benzine. On y a réussi par la substitution du frottement au choc dans l'inflammation des amorces.

Ce dispositif (brevet du 24 février 1888), représenté en coupe Pl. VII, *fig.* 2, est enfermé à l'intérieur d'un logement *d*, et reçoit son mouvement de l'extérieur au moyen d'un anneau qui commande un axe horizontal Q traversant la lampe de part en part. Un axe fixe *b* porte : 1° le frotteur *q* ; 2° les deux roues dentées projetées en *o* qui déterminent le mouvement de progression de la bande porte-amorces B, le long de la plaque P. Le frotteur *q* présente deux évidements : 1° l'un qui, donnant passage à l'axe *b*, permet, grâce au jeu latéral et longitudinal qu'il présente, un mouvement de va-et-vient et un déplacement latéral du frotteur ; 2° l'autre qui reçoit l'axe *b'* analogue à l'axe *b*. La broche *h*, fixée au frotteur *q* et à laquelle s'attache l'extrémité du ressort *l*, est disposée de telle sorte que le frotteur *q*, susceptible d'un mouvement de haut en bas, se trouve toujours à la partie supérieure de sa course. Pour produire le rallumage, on tourne dans le sens de la flèche l'axe Q. La saillie *u* que porte (Pl. VII, *fig.* 3) l'axe excentrique *p* qui lui est lié, repousse sur le côté le frotteur *q*. L'extrémité q_1 de ce dernier, qui fait saillie à l'extérieur du logement *d*, est ainsi éloignée de la bande B, et, dans cette position relative par rapport à B, elle subit, sous l'influence du

mouvement de l'axe p, un déplacement vertical de haut en bas, sans être en contact avec la bande de papier. A ce moment, l'axe p s'engage entre deux dents des roues o qui passent, l'une entre la partie p' et la saillie u, l'autre entre la même saillie et la partie p''. Les roues o sont dès lors entraînées; elles avancent d'une dent, et la bande B qu'elles conduisent, se déplace d'une quantité égale à la distance de deux amorces consécutives. Il arrive toutefois un moment où la saillie u abandonne l'épaulement inférieur du frotteur q, et celui-ci, cédant alors à l'action du ressort l, subit: 1° un déplacement latéral qui applique l'extrémité q_1 contre la bande de papier; 2° un déplacement vertical qui produit le frottement d'où résulte l'inflammation. On a d'ailleurs soin de fendre l'amorce en son milieu afin d'éviter qu'elle ne vienne à s'arracher du papier sans s'enflammer. La flamme ainsi obtenue est assez longue pour enflammer les huiles lourdes ou le mélange d'huile lourde et de paraffine.

On a cherché à appliquer le même système de rallumage à la lampe Wolf à benzine; le principe du dispositif consiste dans l'emploi d'un marteau qui n'est actionné par un ressort que pendant le début de sa course, et qui, achevant son déplacement sous l'influence de la vitesse acquise, ne vient frapper l'amorce qu'avec la force rigoureusement nécessaire pour l'enflammer; le choc est donc de plus courte durée, et l'inflammation est, par suite, plus facile.

Ce dispositif, représenté Pl. VII, *fig.* 4 et 5, est contenu à l'intérieur d'un logement d, que l'on introduit dans la lampe de bas en haut, et que l'on fixe au moyen d'une bague filetée. Deux roues o, qui jouent le même rôle que les deux roues o de la *fig.* 2 de la Pl. VII, ont pour axe la tige b, qui passe dans un évidement du marteau q; ce marteau q, qui se déplace entre les deux roues o, est guidé,

d'un côté, par la tige b, et, de l'autre, par la broche x, qu'il porte à son extrémité inférieure et qui s'engage dans un évidement de la paroi du logement. Un axe p, portant une saillie u, détermine comme dans le cas précédent (Pl. VII, *fig.* 3), avec le concours d'un ressort f, le déplacement du marteau. Le ressort, porté par les deux broches y et y', a une forme telle qu'un rebord de l'une de ses extrémités limite la course de l'extrémité qui agit sur le marteau. On réalise, comme plus haut, le déplacement du marteau, en faisant tourner l'axe p dans le sens de la flèche. La saillie u s'appuie contre l'épaulement q_1 du marteau; mais, avant qu'elle ne l'ait abandonné, l'axe p s'engage entre les dents des roues o et fait avancer la bande de papier d'une quantité égale à la distance de deux amorces. Le marteau applique l'amorce contre l'enclume l, et la flamme est dirigée sur la mèche par les plaques h qui empêchent en outre la projection de parcelles incandescentes de l'amorce. Un prolongement q_2 du marteau q sert à guider la portion déjà utilisée de la bande B, qui rentre à l'intérieur du logement d, au lieu de risquer de s'enflammer au contact de la flamme de la lampe. La rotation de l'axe p s'obtient au moyen de l'anneau A porté par l'axe r, dont un ressort à boudin applique l'extrémité polygonale à l'intérieur d'un logement ménagé à l'extrémité de l'axe Q. En tirant vers l'extérieur de la lampe l'anneau A, on surmonte aisément la résistance du ressort à boudin, et, en dégageant ainsi de l'axe Q l'axe r auquel l'anneau est fixé, on peut, après dévissage de la bague filetée, extraire le logement d du réservoir de la lampe.

2° **Lampe Seippel.** — La lampe Seippel est la lampe de Bochum (Westphalie) à laquelle on a appliqué (brevet du 28 décembre 1887) un système de rallumage qui se distingue par le caractère suivant de l'ancien rallumeur

de la lampe Wolf alors seul en usage (*). Au lieu de déplacer la bande de papier porte-amorces entre le marteau et l'enclume formée d'une face pleine, et de prolonger au delà de l'instant de l'inflammation le déplacement de la bande de papier afin de diriger la flamme sur la mèche de la lampe, on a, dans la lampe Seippel, réduit l'enclume à une simple cloison placée dans un petit tube qui dirige sur la mèche la flamme de l'amorce; le marteau attaque celle-ci par derrière, c'est-à-dire vient frapper la face de la bande de papier opposée à celle qui porte les amorces. On évite ainsi : 1° l'arrachement de la capsule qui se produisait dans l'ancien système avant que la flamme eût pu atteindre la mèche, 2° le plissement de la bande de papier qui avait lieu dans le cas où elle était humide, et qui empêchait l'action efficace du marteau sur l'amorce. La bande de papier B, dans le système Seippel, se déroule (Pl. VII, *fig.* 6 et 7) entre les deux plaques p et p' qui présentent des ouvertures correspondantes en face du marteau M et du petit tube T. La cloison c dirigée suivant un plan diamétral de ce dernier, joue le rôle d'enclume; sa faible largeur ne s'oppose pas à l'arrivée de la flamme sur la mèche. D'autre part le marteau, en obturant complètement le tube T, empêche toute rentrée de la flamme dans l'espace A. Le déplacement de la bande B est réalisé au moyen d'une tige D susceptible d'un mouvement de va-et-vient et portant à son extrémité une pièce F; cette pièce, qui présente une fente longitudinale destinée au passage de la portion déjà utilisée de la bande B, porte un doigt G

(*) Le nouveau système de rallumage de la lampe Wolf ne date en effet, comme il a été dit plus haut, que de 1888. Comparé à ce dernier, le rallumeur Seippel se fait remarquer par sa plus grande simplicité. Il n'en est pas moins vrai que la lampe Wolf est la lampe préférée des mineurs saxons, tandis que la lampe Seippel est une lampe westphalienne.

mobile autour d'un axe horizontal et dont une extrémité a s'appuie contre la bande de papier, tandis que l'extrémité b est en contact avec la lame L. Cette lame L est flexible et joue le rôle d'un ressort mobile autour du point o et portant à son extrémité libre le marteau M. La saillie d, que présente cette lame, a un profil tel que le contact entre cette saillie et l'extrémité b du doigt G détermine la pression de l'extrémité a du même doigt contre la paroi P de la pièce F. Si donc on tire de haut en bas (*fig.* 6) la tige D, la bande de papier B qui se trouve placée entre a et P sera entraînée dans le mouvement de descente de F. Si le déplacement imprimé à la tige D continue, il arrivera un moment où b tombera au-dessous de la saillie d (*fig.* 7), et le marteau M viendra frapper l'amorce que le mouvement de la bande B aura amenée en face du tube T. Pour procéder à un nouveau rallumage, il suffit d'enfoncer la tige D à l'intérieur du logement A, comme l'indique la flèche de la *fig.* 7; le doigt G tourne autour de son axe pour reprendre sa position primitive au-dessus de la saillie d sans déterminer aucun déplacement de la bande B.

On voit donc que ce système de rallumage présente les avantages suivants indépendamment de ceux qui ont été mentionnés ci-dessus :

1° La bande B ne sort jamais du logement A;

2° Les amorces ne sont pas comprimées entre les plaques p et p' et par suite arrivent intactes en face du marteau;

3° La direction horizontale de la flamme, au sortir du rallumeur, évite les projections d'étincelles qui se produisent dans le cas où la direction de la flamme est verticale.

2° *Systèmes de fermeture.*

La lampe Wenderoth, qui est employée dans le district de Sarrebrück et qui est alimentée par de l'huile de navette, a été munie en 1887 d'un système de fermeture magnétique. Ce système est double ; il se compose (Pl. VII, *fig.* 7, *a*, *b*, *c*) de deux plaques polaires A et B, au-dessus desquelles se trouve l'armature *a*, dont une extrémité est fixée par une vis V à la pièce B, tandis que l'extrémité libre reçoit dans l'encoche *r* l'extrémité inférieure d'une broche verticale *x* dont l'extrémité supérieure pénètre dans le trou *l* pratiqué dans l'armature de la partie principale de la lampe. Un ressort *q*, fixé à la plaque S qui réunit les deux plaques A et B, tend à éloigner l'armature *a* de la plaque S. La plaque *y* sert à séparer le logement qui contient les pièces A, B et *a* du réservoir à huile H. On voit ainsi que l'appareil de fermeture est complètement isolé de l'extérieur, et que, pour ouvrir la lampe, il faut placer les deux plaques A et B sur les deux pôles d'un électro-aimant dont l'effet est d'abaisser l'armature *a* malgré le ressort antagoniste *q* et par suite de faire sortir du trou *l* la broche *x*, contenue dans un cylindre de laiton qui la sépare du réservoir à huile H. On peut alors dévisser aisément la partie supérieure de la lampe. Avec un ressort *q* suffisamment puissant, on est arrivé à empêcher les ouvriers d'ouvrir la lampe en frappant sur un obstacle fixe la plaque A.

II. APPAREILS RELATIFS AUX PUITS D'EXTRACTION.

1° *Taquets.*

Taquets Schüller. — Les taquets Schüller (Pl. VII, *fig.* 8 et 9), dont un modèle figurait à l'Exposition du district de

Sarrebrück, sont formés de saillies S fixées à des manchons qui tournent librement autour des axes A. Sur ceux-ci sont calés les bras B qui portent des évidements où s'engagent des ailes latérales des saillies S. Les saillies S peuvent d'ailleurs être fixées dans l'espace au moyen de la vis *h* qui applique contre l'axe *q* le sabot *g* ; on obtient ainsi l'immobilisation de cet axe *q* qui est relié par un levier aux tiges *t* commandant les saillies S. Le contre-poids R fixé à un levier calé sur l'axe *q* ramène dans leur position normale les axes A et par suite les saillies S, quand la vis *h* n'est pas à fond de course. Cela posé, la manœuvre s'exécute comme suit : quand une cage monte, elle soulève les saillies S qui retombent à leur position de repos après le passage de la cage. Le moulineur tourne la manivelle *a*, qui porte le loquet L, et détermine ainsi le serrage de la vis *h*, c'est-à-dire immobilise les saillies S sur lesquelles la cage vient reposer. Pour laisser redescendre la cage, il suffit de desserrer la vis *h* au moyen de la manivelle *a*. Les saillies S, qui pressent les bras B, entraînent dans leur rotation les axes A devenus libres. On réalise ainsi la descente de la cage sans être obligé de la soulever au dessus des taquets, qui d'ailleurs, grâce au contre-poids R, viennent d'eux-mêmes reprendre leur ancienne place après le passage de la cage.

Les *fig.* 10 et 11 de la Pl. VII représentent deux perfectionnements apportés aux taquets Schüller. Dans la *fig.* 10, l'axe *q* est remplacé par un coin *q'* derrière lequel on a placé un ressort spiral *s* réglable au moyen d'un écrou fixé sur la tige qui le réunit aux taquets. Dans la *fig.* 11, la vis *h* se termine par un pied *g* agissant directement sur l'une des tiges *t* dont le rôle a été défini ci-dessus, et agissant sur l'autre par l'intermédiaire du levier *q''*.

Dans les *fig.* 8, 9, 10, 11, les pièces correspondantes sont désignées par les mêmes lettres ; l'écrou de la vis *h*

est désigné par la lettre *m* et le support de l'ensemble par la lettre *d*.

En résumé, ces taquets ont les mêmes caractères que les taquets hydrauliques Frantz (*), sur lesquels ils présentent les avantages suivants : le maniement en est plus aisé, et l'entretien moins coûteux; on n'a plus ici à redouter les inconvénients résultant des fuites du liquide (eau ou huile) employé dans les taquets hydrauliques, et on se trouve débarrassé de tout l'appareil des boites à étoupe et des substances destinées à assurer l'étanchéité dans les systèmes hydrauliques.

Taquets Westmeyer. — Les taquets Westmeyer, également employés dans le district de Sarrebrück, présentent les avantages signalés à propos des taquets Schüller. Toutefois, au lieu de recourir à l'emploi de vis, on a conservé les leviers en usage dans les anciens taquets, en substituant aux saillies, calées sur un arbre horizontal et destinées à recevoir la cage, un système articulé composé de trois parties A, B, C (Pl. VII, *fig.* 12). Les

(*) Appliqués à la fosse Sulzbach de Sarrebrück depuis 1880, les taquets hydrauliques du système Frantz ont l'avantage de permettre la descente de la cage sans obliger à la soulever au-dessus des supports sur lesquels elle repose. Ils sont formés (Pl. VII, *fig.* 13 et 14) de leviers L, au nombre de quatre par compartiment du puits, tournant chacun autour d'un axe horizontal A porté par l'extrémité supérieure de la tige d'un piston hydraulique P. Ce piston est en relation avec un accumulateur, et l'on peut, en ouvrant ou fermant un robinet, en déterminer la descente ou l'ascension. Lorsque le piston s'élève, l'extrémité D du levier L vient rencontrer un butoir fixe F, qui oblige le levier à prendre une position horizontale, c'est-à-dire à recevoir la cage. Si le piston s'abaisse au contraire, le butoir F n'empêche plus le levier de s'effacer sous le poids de la cage. Il n'existe d'ailleurs au-dessous de l'extrémité D aucune pièce fixe susceptible de s'opposer à son mouvement lorsque la cage ascendante vient à rencontrer les taquets : dans ce cas, le levier L prend la position indiquée en traits ponctués, et retombe ensuite à la position indiquée en traits pleins, dès que la cage a atteint un niveau supérieur à celui de la recette.

deux parties A et B sont articulées en *b*; la partie A est calée à son autre extrémité sur l'axe *a* que commande le levier de manœuvre agissant à l'extrémité de la manivelle *d*; la partie B présente, à son extrémité opposée à l'articulation *b*, un coude D, et porte un piton P, qui s'engage dans un évidement de la pièce C, à l'intérieur duquel il peut se déplacer. Enfin la pièce C oscille librement autour de l'axe horizontal F. La cage, en s'élevant dans le puits, repousse la partie D, en obligeant le piton P à remonter dans l'évidement de la pièce C. Après le passage de la cage, la pièce D retombe par son propre poids dans la position indiquée en traits pleins sur la figure, et la cage vient reposer sur le coude qui sert de taquet. Dans ce moment la partie postérieure de l'articulation *b* s'oppose à la séparation des pièces A et B, qui tournent solidairement autour de l'axe *a* qu'elles entraînent dans leur rotation. Quand on veut effacer les taquets pour laisser redescendre la cage, il suffit, au moyen du levier de manœuvre, d'amener la manivelle *d* en *d'*; l'axe *a* tourne en entraînant A en A', l'articulation *b* s'ouvre, la pièce B arrive en B', le coude D, amené en D', ne s'oppose plus à la descente de la cage qui, pendant cette manœuvre, n'a point été soulevée au-dessus des taquets comme on eût été obligé de le faire avec des taquets à leviers ordinaires.

Taquets Sartorius et Holzer. — Les taquets Sartorius et Holzer joignent aux avantages précédents celui de supprimer les chocs de la cage au moment où elle vient à reposer sur les taquets; ce résultat est obtenu au moyen de ressorts spiraux. Ces taquets, employés dans le district de Sarrebrück, consistent (Pl. VIII, *fig.* 1 et 2) en un système de bras A, qui tournent autour des axes *b* sur lesquels ils ne sont point calés. La pièce *c*, de forme annulaire, qui termine chaque bras A et qui entoure l'axe *b* correspondant, joue, par rapport à un manchon *a*

calé sur l'axe *b*, le rôle de manchon d'accouplement, grâce à un évidement que présente son profil et qui permet à la pièce *c*, c'est-à-dire au bras A, de tourner librement d'un certain angle autour de l'axe, jusqu'au moment où le contact des saillies correspondantes des profils de *c* et de *a* détermine la rotation de *b*. Les bras B, que les ressorts S relient par l'intermédiaire des leviers L aux axes *b*, sont calés sur les axes horizontaux F. Les coins *e*, commandés par un système de leviers dont le fonctionnement est visible à l'inspection de la *fig.* 1, servent à fixer le bras B. Il y a quatre bras A par compartiment du puits; il n'y a au contraire que deux bras B pour l'ensemble du puits; ces bras B sont placés soit sur le côté, soit dans le plan de symétrie qui sépare le puits en deux compartiments, comme dans le modèle du puits Heinitz, n° 4, de Sarrebrück qui figurait à l'Exposition. Cela posé, la cage ascendante soulève les taquets A, qui peuvent tourner librement d'un angle convenable, ainsi qu'il a été dit plus haut, et retombent ensuite sous l'action de leur poids pour recevoir la cage. Quand le moulineur veut faire descendre la cage reposant sur les taquets, il n'a qu'à tirer à lui la poignée P, pour dégager les coins *e* qui calent les taquets B. Le poids de la cage qui repose sur les taquets A, fait tourner ceux-ci dans le sens des flèches, jusqu'au moment où ils s'effacent suffisamment pour lui donner passage. Après la descente de la cage l'effort des ressorts ramène les bras dans leur position initiale, tandis que le poids du système des leviers de manœuvre replace les coins *e* au-dessous des bras B. Tous ces mouvements sont d'ailleurs très doux, tant à cause de la présence des ressorts S qu'en raison de l'inclinaison des surfaces des coins *e* et de la partie inférieure des bras B qui est en contact avec ces derniers. La seule manœuvre à faire se réduit d'ailleurs à une traction exercée sur la poignée P. Cette simplicité de manœuvre a conduit

à appliquer (Pl. VIII, *fig.* 3) le même dispositif à un puits de plus petite dimension où le défaut d'emplacement n'a pas permis de conserver les ressorts.

Taquets Haniel et Lueg. — Les taquets Haniel et Lueg, employés dans les puits de Mansfeld dans le but d'éviter, comme les précédents, l'obligation de soulever la cage avant de la laisser descendre dans le puits, présentent à leur partie supérieure une surface inclinée *h* (Pl. VIII, *fig.* 4, 5, 6, 7, 8), sur laquelle vient reposer le sabot *t* en acier fixé à la partie inférieure de la cage. Dans le corps du taquet sont pratiqués deux évidements, l'un horizontal *e*, l'autre incliné *g*. L'évidement *e* donne passage à un bouton qui tourne librement sur l'axe k_1 reposant à l'intérieur du coussinet *y;* l'évidement *g* reçoit une broche *x* portant une roulette d'acier *b* et servant à réunir les leviers k_2 calés sur l'arbre k_1, qui sont placés de part et d'autre du taquet *d*, et qui sont commandés par le levier de manœuvre *p*. Tant que ce dernier les maintient dans une position horizontale (*fig.* 5), la broche *x* empêche tout déplacement horizontal du taquet, c'est-à-dire toute descente de la cage qui repose sur les taquets. Mais, si, au moyen du levier *p*, on détermine la rotation des axes k_1, et par suite celle des leviers k_2, la broche *x* atteint la partie supérieure de l'évidement *g*, et les taquets s'effacent devant la cage, qui peut descendre sans avoir été soulevée, grâce à l'inclinaison des surfaces en contact *t* et *h* et au déplacement horizontal dont le corps du taquet est susceptible sur la plaque Q. Le mouvement inverse, communiqué à la main au levier *p*, ramène les taquets dans leur position primitive. Si d'ailleurs la cage les rencontre dans sa course ascendante, elle les écarte comme l'indique la *fig.* 7, et ils retombent ensuite par leur propre poids, après son passage, pour la recevoir sur leurs faces inclinées *h*. Ce dispositif qui présente l'avantage de n'exiger des moulineurs qu'une

manœuvre identique à celle qu'ils sont habitués à faire avec les anciens systèmes de taquets, fonctionne au Mansfeld depuis le mois de novembre 1888, d'après le témoignage de M. Leuschner, ingénieur en chef au corps des mines, à Eisleben (Mansfeld). Cet ingénieur certifiait, le 20 janvier 1889, que « dès le jour de la mise en service, le fonctionnement en avait toujours été sûr, aisé et irréprochable. » Il faisait également l'éloge « de la solidité de sa construction et de la facilité de son emploi. »

2° *Cadres de recette.*

Recette à cadre élastique. — Un modèle de ce genre de recette a été exposé par la direction des mines de Sarrebrück. Ce système est appliqué à la recette inférieure d'extraction du puits Krug n° 1 de la mine von der Heydt. La partie du puits située au-dessous de cette recette ne sert qu'à l'aérage. On avait d'abord employé une sorte de grillage en bois pour supporter la cage d'extraction à ce niveau. Mais l'usure inégale du bois empêchait le mécanicien de régler exactement la descente de la cage, et l'on dut substituer le fer au bois; mais, à cause de la rigidité des poutres en fer, il fallut recourir à l'emploi de ressorts comme l'indiquent les *fig.* 9 et 10 de la Pl. VIII. Ces ressorts R sont fixés par les boulons G, munis des écrous E, aux deux poutres en bois A qui pénètrent dans la maçonnerie du puits. Les ressorts supportent les pièces proprement dites P du réseau métallique, dont le déplacement est limité à la partie supérieure par les poutres I, fixées par des boulons aux guidages du puits. La tension de chaque ressort est de 1.000 kilogrammes. Comme il y a dix ressorts pour chaque compartiment du puits, on voit que l'effort de 3.000 kilogrammes, que le poids de la cage supposée chargée fait supporter aux ressorts, permet d'exécuter les manœuvres d'introduction et de sortie des

bobines, sans que les pièces de la recette subissent le moindre déplacement. Ce n'est que dans le cas où la cage viendrait trop violemment frapper la recette, que les ressorts entrent en jeu. Un filet Q en fil de fer, attaché aux poutres A, empêche les chutes de personnel ou d'outils dans le puits entre les pièces P.

Les écrous E ont pour objet de permettre, lors du montage, de comprimer suffisamment les ressorts R pour que l'on puisse poser les pièces I.

3° *Portes de sûreté des recettes.*

Portes de sûreté, système Dreikaus. — Les portes de sûreté, système Dreikaus, employées à la fosse Hibernia, près de Gelsenkirchen, se composent de barrières que des leviers réunissent à des étriers, ceux-ci tournent chacun autour d'un axe horizontal et viennent se placer sous la cage au moment où la barrière est ouverte. Tant que ces étriers occupent cette position, c'est-à-dire tant que les portes sont ouvertes, la descente de la cage est impossible. On voit donc que le moulineur est obligé de fermer les portes avant de laisser descendre la cage qui obstrue momentanément l'orifice du puits.

Portes de sûreté de Wilhelmine Victoria. — Les portes, employées à la fosse Wilhelmine Victoria, près de Gelsenkirchen, jouissent des mêmes propriétés, non seulement quand la cage part du repos pour descendre, mais encore quand elle est sur le point de remonter, tandis que la disposition précédente n'est efficace que pour une cage descendante. Elles sont représentées (Pl. VIII) par les *fig.* 11 à 17, que j'emprunte au croquis explicatif qui accompagnait le modèle exposé. La cage, en s'élevant dans le puits, soulève au moyen de la saillie *k* le loquet *f* qui ne s'oppose plus dès lors au passage de la saillie *d* de la pièce *a*. Les deux pièces *a* et *b* sont d'ailleurs reliées entre

elles par le boulon fixe *e* qui se trouve à l'intérieur des évidements allongés *c*, *c* de ces pièces. La faculté de déplacer les pièces *a* et *b* assure la possibilité d'ouvrir les portes qui leur sont réunies; en même temps, les faces des pièces *a* et *b*, situées du côté de l'intérieur du puits, viennent se placer en prolongement l'une de l'autre (*fig.* 14) et pénétrer dans une encoche horizontale de la cage (*fig.* 16) qui se trouve ainsi immobilisée. Pour permettre à la cage soit de remonter, soit de descendre, il faut donc fermer les portes. La cage, en s'éloignant, laisse retomber le loquet *f* dans la position indiquée en élévation d'une part et en plan de l'autre, par les *fig.* 11 et 12, sur lesquelles les portes sont supposées fermées, tandis que, dans les *fig.* 13 et 14 correspondantes, elles sont supposées ouvertes. Dans le cas où la cage descendante arrive à une recette, la saillie *k* qui n'est autre qu'un petit levier susceptible seulement d'un déplacement circulaire de bas en haut, se soulèvera légèrement pour franchir l'obstacle que lui oppose le loquet *f*, et retombera ensuite dans sa position primitive. Les *fig.* 15, 16, 17 sont des élévations partielles qui sont parallèles à un plan vertical perpendiculaire à celui des élévations représentées par les *fig.* 11 et 13.

Portes de sûreté, système Schüller. — Les portes Schüller employées au puits Heinitz (district de Sarrebrück) fonctionnent automatiquement. Elles s'ouvrent quand la cage arrive au niveau de la recette et se referment quand elle la quitte. Elles sont représentées en élévation et en plan par les *fig.* 1 et 2 de la Pl. IX. La cage soulève le levier X, qui tourne librement autour de l'axe horizontal sur lequel est calé la roue dentée G. Le levier X porte, d'une part, un prolongement qui vient rencontrer un butoir *x* fixé sur la roue G, et, d'autre part, une tige verticale à laquelle est suspendu un poids D. A la roue dentée G est attachée une tige verticale

qui supporte le poids R. La roue G engrène d'ailleurs avec un pignon calé sur l'axe B, qui porte également une poulie à chaîne P. A l'état normal, le poids D maintient le levier X à la partie inférieure de la course qu'il peut exécuter. Le prolongement postérieur de ce levier, qui est en contact avec le butoir *x*, assure l'immobilité de la roue G, que le poids R tend à entraîner en sens inverse. Les dimensions de l'appareil et la valeur des poids D et R ont été déterminées en conséquence. Mais, si le levier X est soulevé par l'arrivée de la cage, le prolongement de ce dernier abandonne le butoir *x*, et la roue G, entraînée par le poids R, se met à tourner dans le sens de la flèche. La poulie P, à laquelle est attachée la chaîne Y, tourne en sens inverse, et enroule celle-ci sur sa gorge, en soulevant les portes de la recette qui sont reliées à cette chaîne. Les portes sont ainsi ouvertes au moment où la cage arrive au jour. Si, au contraire, elle se met à redescendre, le levier X retombe sous l'influence du poids D, son prolongement postérieur vient rencontrer le butoir *x*, et la roue G doit tourner dans le sens inverse de la flèche, malgré l'effort antagoniste du poids R; la chaîne Y se déroule de la poulie P, et les portes se referment. La chaîne Y aboutit, à sa partie supérieure, à un poids Q destiné à faciliter les manœuvres en équilibrant en partie le poids des portes. C'est de la partie supérieure de ce poids Q que partent les deux câbles en fil de fer, qui, par renvoi de poulies, arrivent aux barrières. Il convient enfin de signaler que les poids D et R se déplacent à l'intérieur de cylindres H, qui leur servent de guides, et dont le fonds porte des soupapes *p*, destinées à régler la descente de ces poids en utilisant comme frein l'air contenu dans ces cylindres.

Portes de sûreté de Reden. — Les portes des mines de Reden, qui figuraient à l'Exposition avec un modèle du

puits Itzenplitz auquel on a appliqué ce système en 1887, sont représentées par les *fig.* 3, 4, 5 de la Pl. IX que j'emprunte aux croquis qui accompagnaient le modèle exposé avec des lettres correspondant à celles que portait ce dernier. En arrivant à un mètre au-dessous de la recette, la cage G pousse le curseur S, et lui fait prendre la position S_1, au moment où la cage repose sur les taquets, qui sont à ce puits des taquets Westmeyer, dont la description a été donnée plus haut. Ce curseur est suspendu à deux courroies de cuir L qui passent sur les poulies R et dont l'autre extrémité s'attache à l'un des bras K du levier H. Au moment où S arrive en S_1, le levier H prend la position H_1, en soulevant la porte P, qui est suspendue à l'extrémité M de ce levier. Les pièces sont équilibrées de telle sorte que le basculement du levier se produit de lui-même, quand les courroies L n'ont plus à supporter le poids du curseur S soulevé par la cage. Mais dès que la descente de la cage détermine celle du curseur, le bras K se relève, le bras H s'abaisse et la porte P se referme. Pour éviter d'ailleurs les perturbations qui pourraient se produire dans le système si la cage ascendante venait à dépasser le niveau de la recette, on a donné une certaine inclinaison au fer à T X dont la grande aile est saisie par les pattes rivées *p* du curseur (voir *fig.* 5). Ce dernier atteindra donc, en s'élevant, une position S_2, dans laquelle il ne fera plus saillie sur le guidage Y du côté de l'intérieur du puits, et, par suite, ne sera plus entraîné par le mouvement ascensionnel de la cage. Mais, comme les courroies L se sont détendues pendant ce déplacement du curseur, on pourrait craindre une chute trop brusque de ce dernier lorsque la cage se met à descendre. A cet effet, on a placé, au sommet du fer à T X, un levier coudé Z, mobile autour du point O et dont le petit bras porte un poids T, tandis que le grand bras, qui se déplace à l'intérieur du fer plat recourbé W, est taillé en dents

de scie. Le grand bras s'écarte, quand la saillie F du curseur S vient le rencontrer dans le mouvement ascensionnel de celui-ci, mais le poids T tend à ramener le grand bras vers la droite, et, par suite, à faire saisir par les dents la saillie F; le mouvement de descente du curseur est impossible. On pourra, dès lors, la ramener à la main dans sa position initiale. Il faut rappeler, toutefois, que l'arrivée de S en S_2 est un cas tout à fait exceptionnel et que le levier Z n'a été installé que par un surcroît de précaution.

Les deux derniers systèmes de portes qui viennent d'être décrits présentent, sur les dispositifs du même genre dont le fonctionnement est automatique (c'est-à-dire déterminé par le mouvement même de la cage), l'avantage de ne pas mettre la porte en communication directe avec la cage, et, par suite, d'éviter la violence des chocs que la masse plus considérable des pièces en contact provoque, en particulier, dans les barrières qui sont directement soulevées par la cage.

4° *Cages.*

Les deux genres d'appareils exposés, destinés à prévenir les accidents lors du transport du personnel, qui méritent seuls une mention, sont :

(*a*) Les portes de cage d'extraction;
(*b*) Les parachutes Pelzer et Friemann-Wolf.

Portes de cages d'extraction, système Schüller. — Ce système de fermeture employé aux mines de Dechen, est destiné à éviter une ouverture intempestive des portes de la cage pendant la circulation de celle-ci dans le puits. Les *fig.* 6 et 7 de la Pl. IX en donnent deux élévations dans des plans perpendiculaires. Le loquet X, qui tourne autour du point O de la tige D, repose dans

l'étrier S, pour assurer, avec les extrémités recourbées de la tige D, qui s'engagent derrière les pitons V de la cage, la fermeture de la porte. Afin d'éviter l'ouverture de la porte pendant le mouvement de la cage, on a pratiqué dans le loquet X un évidement où l'on engage un anneau B ouvert en Q. Il suffit de faire tourner l'anneau jusqu'à ce que son ouverture Q ne soit plus en regard de l'évidement du loquet, pour qu'il devienne impossible de soulever ce dernier. Le loquet est, en effet, réuni à l'un des battants de la porte par l'axe fixe *a* qui se trouve à l'intérieur de l'anneau B et dont le diamètre est supérieur à l'ouverture Q de celui-ci. Pour empêcher que les chocs du transport ne ramènent l'ouverture Q en regard de l'évidement du loquet, on a appliqué à l'anneau en C un poids qui tend à abaisser le point Q. Quand on veut ouvrir la porte, il suffit de ramener l'ouverture Q en face de l'évidement du loquet X, et d'abandonner à lui-même l'anneau qui est retenu par l'axe *a*. En élevant le levier X pour le dégager de l'étrier S, et en le tournant de 90 degrés dans un plan horizontal, on réalise l'ouverture de la cage au moment convenable.

Parachute Friemann et Wolf. — Le parachute Friemann et Wolf employé dans le Mansfeld se compose (*fig.* 8 et 9, Pl. IX) d'un axe vertical A, portant un ressort S, auquel sont fixés les deux leviers fourchus *ll*, qui sont également réunis chacun, à leur autre extrémité, à l'axe *d* d'une roue dentée *r*, axe dont les deux extrémités sont filetées en sens inverse l'une de l'autre. Les quatre fers plats H, superposés deux à deux, forment, de chaque côté de la cage, une sorte de coulisse dans laquelle se déplacent les les écrous E, qui portent, à leur partie supérieure et à leur partie inférieure en contact avec les pièces H, des pitons *p*, mobiles dans les évidements longitudinaux *x*. Le prolongement des pièces H porte de chaque côté les

mâchoires M, qui se trouvent de part et d'autre du bois de guide I. Le fonctionnement est le suivant : Le câble, attaché au boulon horizontal R, détermine, par la traction qu'il exerce sur la tige A, et malgré la résistance du ressort S, le relèvement des leviers *ll*; par suite, l'ensemble formé par les roues *r*, les axes filetés *d* et les écrous E, s'éloigne des bois de guides, grâce au jeu du piton *p* à l'intérieur de l'évidement *x*. C'est cette position qu'indique la moitié de droite des *fig.* 8 et 9. Si le câble se rompt, le ressort S abaisse les leviers *ll*, comme l'indique la moitié de gauche des mêmes figures, et, par le mouvement inverse de celui qui vient d'être décrit, les roues *r* arrivent au contact des bois de guides. Si la descente de la cage continue, les roues *r* se mettent à tourner, ce qui détermine le rapprochement des coulisses H de chaque moitié de la cage, en vertu du filetage inverse de chaque extrémité de l'axe *d*. Les mâchoires M viennent donc enserrer le bois de guide. L'emploi de l'axe fileté *dd* assure à ce serrage une lenteur suffisante pour que l'arrêt se produise sans choc. Les mâchoires peuvent être munies à volonté d'un tranchant ou de dents multiples.

Parachute Pelzer. — Le parachute Pelzer (*fig.* 10, Pl. IX) repose sur le même principe que le parachute à excentriques ordinaire, à cette différence près que les excentriques sont remplacés par des poulies à empreintes B tournant autour des axes O (qui remplacent les axes de rotation des excentriques) et sur chacune desquelles vient s'enrouler, lors de la rupture du câble et, par suite, de la rotation de l'axe O correspondant, une chaîne C fixée par un boulon D à la poulie B. Les éléments E de cette chaîne présentent une série de dents qui pénètrent dans le guidage G, comme le montre la portion de droite de la figure. A l'état normal, la chaîne est contenue dans une sorte de gaine formée par des fers à T

A ; quand le câble se rompt, les axes O tournent dans le sens des flèches et les six éléments dentés de chaque chaîne viennent se placer sur la poulie correspondante B.

Ce parachute a été l'objet d'expériences faites aux houillères de Hörde en présence de l'ingénieur du corps des mines du district. A cet effet, on installa au jour deux poutres verticales représentant le guidage et soutenues par des arc-boutants. On plaça la cage vide entre les pièces de ce guidage, dans la position qu'elle occupe réellement dans le puits, en l'installant à 800 millimètres au-dessus du sol et en mettant en prise les dents du parachute. On avait d'ailleurs donné aux bois de guides, comme l'indique la *fig.* 10, Pl. IX :

1° A la partie supérieure *ab* et sur une longueur de 200 millimètres, une largeur de 120 millimètres, parallèlement au plan de la figure ;

2° Puis, au-dessous et sur une longueur *bc* égale à *ab*, une largeur de 110 millimètres obtenue en supprimant 5 millimètres de chaque côté ;

3° Enfin, au-dessous et sur une longueur *cd* de 200 millimètres, une largeur de 100 millimètres obtenue en supprimant encore 5 millimètres de chaque côté sur la largeur de la partie de guidage immédiatement supérieure.

La largeur normale des bois de guides du puits étant de 120 millimètres, on voit que, dans les conditions de l'expérience, la cage se trouvait dans la position qu'elle aurait occupée en cas de rupture du câble. On chargea la cage de poids jusqu'à ce qu'elle se mit à descendre, malgré la résistance du parachute. On avait d'ailleurs préalablement placé au-dessous d'elle des pièces de bois superposées, sur lesquelles elle vint reposer au moment précis où les dents du parachute saisissaient le bois de guide aux points *bb*. En raison de la diminution de largeur de ce dernier aux points *bb*, on dut enlever une partie des poids qui chargeaient la cage, pour que celle-

ci, abandonnée à elle-même, pût rester suspendue par la seule action du parachute. On retira alors un certain nombre des pièces de bois, sur lesquelles reposait la cage, de manière à laisser entre la base de celle-ci et la face supérieure des pièces restantes, une hauteur de 200 millimètres, égale à la hauteur *bc*, sur laquelle le bois de guide présentait une largeur de 110 millimètres. On opéra comme précédemment, jusqu'à ce que la charge portée par la cage eût amené les dents du parachute en face des points *cc*, niveau auquel on répéta la même série de manœuvres qu'à celui des points *bb*.

On obtint ainsi, pour les trois parties de la descente de la cage : 1° de *a* en *b* ; 2° de *b* en *c* ; 3° de *c* en *d*, les résultats suivants :

DÉSIGNATION du chemin parcouru dans la descente	PÉNÉTRATION des dents du parachute dans le guide	POIDS de la cage vide	VALEUR de la charge déterminant la descente	CHARGE totale lors de la descente
	millim.	kilog	kilog.	kilog.
ab	22,5	3.430	6.271	9.701
bc	17,5	3.430	3.005	6.435
cd	12,5	3.430	1.905	5.335

Or, dans le puits de Hörde, la cage ne devait jamais transporter plus de 20 personnes, qui, évaluées à 75 kilogrammes en moyenne, représentent un poids total de 1.500 kilogrammes. Le poids du câble, qui, après rupture, devait tomber sur la cage, fut évalué à 1.000 kilos au maximum. La charge totale, que le parachute devait avoir à supporter dans les conditions les plus défavorables, ne pouvait donc surpasser $3.430 + 1.500 + 1.000 = 5.930$ kilogrammes, chiffre bien inférieur à la charge de 9.701 kilogrammes indiquée dans le tableau précédent comme correspondant à une pénétration de $22^{mm},50$. Ces expériences ont été, par suite, considé-

rées, tant par la direction de ces houillères que par l'administration prussienne, comme un témoignage de la parfaite sécurité de l'appareil.

M. Pelzer a du reste modifié le parachute primitif représenté par la *fig.* 10, en substituant à la chaîne une série de dents portées : 1° par un disque B; 2° par une pièce I reliée au disque B par deux fers plats E qui sont munis à leurs deux extrémités de boulons d'articulation bb_1, portés l'un par le disque B, l'autre par la pièce I. La *fig.* 11 représente la position du parachute pendant la circulation normale de la cage; celle-ci porte deux cornières C destinées à recevoir l'extrémité libre des pièces I. Si le câble vient à se rompre, les disques B, entraînés par la rotation des axes O, tournent dans le sens des flèches (*fig.* 12); les pièces I s'éloignent des cornières C, et, retenues par les guides courbes A formés de simples fers à ⊤, se rabattent en face de la partie rentrante *mnpq* du profil du disque B (*fig.* 13). C'est cette partie rentrante qui, dans la position normale du parachute (*fig.* 11), se trouve en face du guidage G, et permet la libre circulation de la cage. Comme l'indiquent les *fig.* 12 et 13, les dents du disque B pénètrent dans le bois de guide, mais la pénétration atteint son maximum lorsque la rotation des axes O amène la pièce I dans la position de la *fig.* 14.

5° *Signaux d'extraction.*

Appareil de Sarrebrück. — L'appareil consiste en une machine magnéto-électrique Siemens, composée d'un cylindre de fer doux entouré d'un fil métallique, que l'on peut faire tourner au moyen d'une manivelle entre les pôles de puissants aimants. Ce déplacement du cylindre de fer doux par rapport aux aimants détermine la production de courants d'induction, alternativement de sens

opposés. Ces courants sont lancés dans un câble isolé, dont l'âme en fer est revêtue d'une enveloppe de plomb qui protège le fer contre les eaux acides du puits. Le récepteur, auquel arrivent les courants, se compose d'un électro-aimant, entre les pôles duquel se trouve un aimant à aimantation constante portant un marteau de sonnerie. A l'état de repos, cet aimant reste, en raison de son aimantation propre, en contact avec l'un des pôles de l'électro-aimant. Mais lorsque les courants alternatifs parcourent le fil de l'électro-aimant, l'aimantation et le changement perpétuel des pôles de ce dernier, déterminent une attraction alternative de l'aimant par chacune des extrémités de l'électro-aimant, et le marteau que porte l'aimant frappe ainsi la cloche de la sonnerie.

6° *Appareils de contrôle.*

Indicateur de vitesse, système Gerhard. — Cet appareil, employé dans le district de Sarrebrück, donne à la fois : 1° une indication de la vitesse, à chaque instant, de l'arbre des bobines, indication rendue visible par le déplacement d'une aiguille sur un cadran; 2° un enregistrement automatique de la vitesse fourni par une pointe traçante. La *fig.* 15 de la Pl. IX en donne la coupe verticale, et la *fig.* 16 la coupe horizontale. Une courroie de transmission communique le mouvement de l'arbre des bobines à la poulie *a*, et par suite à l'arbre *bb* sur lequel elle est calée. L'engrenage conique *d* transmet la rotation de l'arbre *b* à l'axe vertical X d'un régulateur à boules F, que les tiges *g* relient au manchon *m*. A l'état de repos de la machine d'extraction, les boules F sont au contact de l'arbre X, et le manchon *m* est au sommet de sa course. Quand, au contraire, la machine est en mouvement, les boules s'écartent de l'axe X et le manchon descend. A ce manchon est d'ailleurs relié un

levier S dont la rotation détermine celle de l'axe horizontal O, qui porte à son extrémité une manivelle H et une courte bielle L, situées à l'extérieur de la boîte métallique MNPQ qui contient l'appareil. La bielle L commande une tige T à index, qui se déplace devant une graduation G. La tige T tourne autour d'un axe horizontal porté par un coussinet fixé à l'une des parois verticales de la boîte, et un contrepoids U sert à l'équilibrer. Pour graduer l'arc GG que le mécanicien a sous les yeux, on procède empiriquement; toutefois, pour que les divisions de la graduation soient à peu près égales entre elles, on a dû régulariser les déplacements du manchon *m* au moyen de deux ressorts : l'un Y, à boudin, qui ralentit la descente du manchon; l'autre Z, qui est plat et qui, s'attachant en RR aux deux tiges qui portent les boules F, les empêche, d'une part, de venir absolument au contact de l'axe X, lorsque la machine est au repos, et, d'autre part, de s'en écarter démesurément lorsqu'elle est en mouvement. On arrive ainsi à atténuer les irrégularités du mouvement de l'index provenant de ce fait, que la force antagoniste du ressort Y et la force centrifuge, qui éloigne les boules F de l'axe X, ne varient pas proportionnellement. Sans l'introduction du ressort Z, l'appareil n'indiquerait point les vitesses voisines de zéro, et l'index sortirait de la graduation pour les vitesses considérables.

La boîte métallique qui entoure le régulateur est surmontée d'une caisse vitrée qui contient un cylindre *t*. Ce cylindre tourne autour d'un axe vertical, qui passe par les deux pointes *ff* d'un support *q*, et il est muni à sa partie supérieure d'une circonférence dentée engrenant avec un pignon, qui reçoit son mouvement de l'horloge placée sur la caisse vitrée. Le manchon *m* porte un bras *n*, à l'extrémité duquel est fixée une tige *y* pénétrant dans la caisse vitrée et terminée par un ressort *r*, auquel est

fixé un stylet horizontal *x*. Une bande de papier enroulée sur le cylindre porte un quadrillage dont les abscisses correspondent aux vitesses de la cage, et les ordonnées aux heures et minutes. Le cylindre fait un tour en 12 heures. Pour pouvoir remplacer facilement la bande de papier au bout de ce temps, il suffit d'ouvrir la caisse vitrée et de faire tourner le support *q* autour de l'axe vertical de rotation déterminé par les pointes *ll* de deux boulons. Un butoir fixé à la caisse permet de ramener le support *q* à sa position normale, quand le papier a été remplacé par une bande neuve.

III. Appareils relatifs aux plans inclinés.

Fermeture de plan incliné, système Dreikaus. — Ce mode de fermeture est employé à la fosse d'Hibernia, près de Gelsenkirchen, comme les portes de recette du système Dreikaus dont il se rapproche par son principe. Il consiste (*fig.* 1 à 4, Pl. X) en une barrière X réunie par les tiges G aux crochets S qui, pour raison de simplification, n'a pas été représentée sur la *fig.* 3 donnant l'élévation, parallèle à la ligne de plus grande pente, de la barrière fermée. La *fig.* 1, qui donne l'élévation, parallèle à la ligne de plus grande pente, de la barrière ouverte, montre que, tant que la barrière est ouverte, le crochet S reste soulevé, et que par suite, en cas de rupture de câble, l'essieu I du chariot porteur est arrêté à l'intérieur de ce crochet. Pour un plan incliné fonctionnant à divers niveaux, on a voulu que la faculté d'ouvrir la barrière fût subordonnée à l'arrivée du chariot porteur au même niveau. A cet effet, on a disposé au-dessous des rails un axe A portant: 1° un crochet P_1; 2° une came P_2. Le crochet P_1 saisit une saillie de la partie inférieure de la

tige G et ne l'abandonne, pour permettre l'ouverture de la barrière, que lorsque le galet x, fixé sur l'essieu I, est venu, en abaissant la came P_2, déterminer la rotation de l'axe A, sur lequel le crochet P_1 est calé. Lorsque, après le passage du chariot, la barrière aura été refermée, la saillie de la partie inférieure de la tige G viendra d'elle-même reprendre sa place sous le crochet P_1, tandis que celui-ci sera ramené au-dessus de cette saillie par la rotation de l'axe A, que la came P_2, abandonnée après l'éloignement du galet x à l'action de la gravité, fera tourner dans le sens inverse du déplacement précédent. Le crochet S s'oppose d'ailleurs, en raison de sa forme, aussi bien à la montée qu'à la descente du chariot porteur, lorsque l'essieu I s'y trouve engagé. On voit donc que : 1° on ne peut ouvrir la barrière que lorsque le chariot porteur se présente au niveau correspondant ; 2° le chariot porteur ne peut se mettre en mouvement, soit dans un sens, soit dans l'autre, que lorsque la barrière a été fermée.

Arrêt de chariot, système de Gerhard. — L'arrêt de chariot de Gerhard, qui doit son nom à la houillère du district de Sarrebrück où il est en usage, est destiné à arrêter les chariots montant le long d'un plan incliné à câble sans fin, dans le cas où le câble viendrait à se rompre. Le dispositif est représenté par les *fig.* 5 et 6 de la Pl. X, dont l'une donne une projection sur un plan perpendiculaire à la direction des rails, et l'autre une projection sur un plan parallèle à celui de ces mêmes rails. La voie V_1 est celle des chariots pleins qui montent, et la voie V_2 celle des vides qui descendent. L'axe horizontal a porte entre les rails de la voie V_1 deux leviers b_1b_1, qui tournent librement autour de cet axe et que les contrepoids g_1g_1 maintiennent normalement relevés. Ils peuvent s'abaisser vers l'amont du plan incliné, mais ils ne peuvent s'abaisser vers l'aval, parce que les contrepoids g_1g_1 viennent

buter contre la traverse T de la voie. Il en résulte qu'ils s'effacent sans difficulté sous la pression des chariots montants, et qu'ils s'opposent à la descente des wagonnets sur la voie V_1. Les leviers b_2b_2, qui se trouvent entre les rails de la voie V_2, sont, au contraire, calés sur l'arbre a, et sont normalement couchés sur le plan même de la voie. Ils sont maintenus dans cette position par le levier l qui presse sur le levier q calé sur l'arbre a. Le levier l est fixé à l'extrémité inférieure d'un axe vertical k, qui porte en t un levier articulé formé de deux parties m et n; la partie n est calée sur l'arbre k et porte à son extrémité un boulon vertical, qui sert d'axe de rotation à la partie m, et un butoir, qui empêche la partie m de tourner vers l'aval du plan, tout en la laissant exécuter sa rotation du côté de l'amont. Les chariots, montant sur la voie V_1, effacent donc la partie m, contre laquelle ils viennent buter, sans que la partie n soit déplacée, tandis que la descente sur la voie V_1 d'un wagonnet, abandonné à lui-même après rupture de câble, repoussera vers l'aval du plan la partie m, qui, rencontrant le butoir de la partie n, entraînera celle-ci, et par suite fera tourner l'axe k; le levier l ainsi déplacé ne pressera plus le levier q, et les poids g_2g_2, fixés sur les leviers b_2b_2, pourront redresser ces derniers, c'est-à-dire fermer la voie V_2. Les arrêts de chariot sont placés de 40 en 40 mètres. Le levier h, auquel on attache un fil de fer de jonction, permet d'établir entre eux la solidarité qui est nécessaire pour obtenir leur fermeture simultanée en cas de rupture de câble.

IV. APPAREILS RELATIFS AU SERVICE DE L'AÉRAGE.

Indicateur de dépression système Gerhard. — Cet appareil, qui fonctionne aux mines de Dudweiler, sert à évaluer la

dépression fournie par un ventilateur. Il en donne non seulement l'indication visible sur un arc gradué, mais encore l'enregistrement sur une bande de papier. Il se compose (*fig.* 7, Pl. X) d'un récipient formé de deux capacités cylindriques X, Y, communiquant entre elles en *d* et remplies d'eau jusqu'au niveau *aa*. Le tuyau à robinet *g* fait communiquer la capacité Y avec le canal d'aspiration du ventilateur pour lequel on veut évaluer la dépression produite; cette capacité est hermétiquement fermée sauf en *d* où se trouve l'ouverture de communication entre X et Y. Le tuyau V, normalement fermé par un bouchon à vis, sert à la vidange des deux capacités X et Y, lors des nettoyages. La capacité X communique, au contraire, avec l'air extérieur par le canal Z et contient le flotteur G dont la tige traverse le couvercle D commun à X et Y. Cette tige, filetée à sa partie supérieure, reçoit un écrou *g* dans lequel s'engage l'extrémité inférieure du ressort plat *h*; celui-ci porte à son extrémité le stylet *l*, devant lequel se déplace le cylindre R qui reçoit par engrenage son mouvement de l'horloge placée sur l'appareil. A l'écrou *g* s'articule une tige S, dont l'autre extrémité s'attache à celle d'une manivelle *y* tournant autour du point *z*. L'axe vertical U du cylindre R est muni d'un prolongement latéral qui sert de coussinet à l'axe horizontal *n* de l'aiguille *p* dont l'extrémité se déplace devant l'arc gradué A. L'axe de l'aiguille *p* porte une tige *b* qui s'engage en *t* dans un évidement de la tige S. Les mouvements de celle-ci, c'est-à-dire ceux du flotteur G, sont ainsi transmis à l'aiguille *p*. On peut donc lire sur la graduation les variations de la pression qui agit sur le niveau de l'eau et par suite sur la position du flotteur, et on obtient en même temps sur la bande de papier recouvrant le cylindre R qui fait un tour en 24 heures, un tracé graphique donnant la série des valeurs successives de la dépression.

Anémographe Hipp. — L'anémographe Hipp, dont un modèle existe à la fosse Heinitz (district de Sarrebrück), a pour objet de donner une représentation graphique, permettant d'en déduire une évaluation numérique, des éléments caractéristiques de l'état du courant d'air, savoir la vitesse et le débit par minute. L'anémographe est en relation : 1° avec un anémomètre ordinaire placé dans le courant d'air; 2° avec un pendule à secondes. Chaque fois que l'anémomètre a fait 10 tours, il se produit un courant électrique. Le contact que le mouvement de l'anémomètre détermine dans une batterie locale qui lui est associée, excite l'électro-aimant E (*fig.* 8, Pl. X) dont l'armature A, ainsi déplacée, produit, par l'intermédiaire du système de leviers *pqrstu* un mouvement vers la gauche de la roue dentée B, à raison d'un déplacement d'une dent par contact produit. Le ressort à boudin R ramène le système *pqrstu* à sa position primitive dès que le courant est interrompu. L'axe de la roue B porte également un pignon D qui engrène avec la roue dentée F; sur l'axe de celle-ci est calé un tambour T, sur lequel s'enroule le fil *f* qui, passant sur la poulie *k*, porte à son extrémité le poids Q destiné à en assurer la tension et qui entraîne le chariot *m* portant une pointe traçante qui se déplace devant une bande de papier quadrillée en millimètres. Les dimensions de l'appareil sont telles que, chaque fois que la roue B avance d'une dent (c'est-à-dire à chaque contact électrique), le déplacement du stylet devant le papier est égal à 1 millimètre. Le nombre de millimètres que mesure la ligne tracée sur le papier au bout d'un temps déterminé, donne le nombre de dizaines de tours que l'anémomètre a exécutées dans le même temps. On en déduit la vitesse et le débit du courant d'air par minute.

Cet appareil, dont le principe est fort simple, a reçu les perfectionnements suivants :

Au bout de chaque quart d'heure, le stylet, retourne à la position qu'il occupait au début de cette période de temps. Le papier subit, en même temps, dans une direction perpendiculaire à celle du chariot, un déplacement qui lui est communiqué par un régulateur électrique, si bien que les courbes, relatives à chacun des quarts d'heure successifs, se trouvent tracées les unes au-dessus des autres. Enfin, pour éviter de donner au papier une largeur exagérée, on a disposé l'appareil de telle sorte que le mouvement du stylet ne commence pas au début du quart d'heure, mais seulement au bout d'un nombre de contacts électriques que l'on peut déterminer à volonté. Soit n le nombre des contacts qui se sont produits entre le début du quart d'heure considéré et le moment où le stylet se met en mouvement; soit n' le nombre de millimètres que mesure la projection parallèle au mouvement du chariot de la ligne tracée par le stylet au bout de ce quart d'heure.

Le nombre de tours qu'aura exécutés l'anémomètre pendant ce quart d'heure sera $(n+n')\times 10$.

Les perfectionnements dont le programme vient d'être indiqué, ont été réalisés de la manière suivante :

Indépendamment du pignon D, l'axe de la roue B porte le pignon C qui peut être mis en prise avec la roue E. Sur l'axe de celle-ci sont calés un tambour V, sur lequel s'enroule le fil f', et un tambour W, qui porte une division circulaire. Le fil f' passe sur la poulie X, et à son extrémité est suspendu un poids H qui en assure la tension. Une poulie G, folle sur l'axe de la roue E, peut être rendue solidaire du tambour W (dont le diamètre est inférieur au sien), au moyen d'une vis de pression a, dont l'écrou est fixé à la poulie G et dont la pointe vient appuyer contre la surface extérieure du tambour W. Enfin sur cette même surface repose le bras bc d'un levier coudé cbd, mobile autour du point b et dont le bras bd porte à son extrémité inférieure une saillie d;

celle-ci peut recevoir l'extrémité h (représentée en coupe sur la *fig.* 8) du levier g, qui est mobile autour du point O et dont l'extrémité h se recourbe perpendiculairement au bras g. Ce levier g porte le coussinet dans lequel tourne l'axe de la roue B, et la rotation de ce levier autour du point O amène la roue B à engrener tantôt avec la roue E tantôt avec la roue F. C'est seulement dans ce second cas que le chariot m sera mis en mouvement, c'est-à-dire que la ligne sera décrite sur le papier par la pointe traçante. De plus, une horloge qui fait partie de l'appareil, met en mouvement un axe, qui fait un tour par heure et déplace, par l'intermédiaire d'un contrepoids, la feuille de papier d'une longueur de 20 millimètres dans le même temps. Cet axe porte une came à profil discontinu formé de quatre parties, dont chacune présente une surface courbe, suivie d'un plan qui rencontre la courbe sous un angle aigu. Les profils courbes de la came exercent une pression sur une broche y fixée au levier coudé nvi mobile autour du point v et dont le bras nv porte à son extrémité un contrepoids P qui tend à relever l'extrémité i du bras vi. La came, au contraire, tant que l'une des parties courbes de son profil est en contact avec la broche y, abaisse le bras vi, et c'est seulement au delà du point d'intersection de la ligne courbe et de la ligne droite du profil, que la broche y, subitement abandonnée à elle-même, peut se relever, ainsi que le bras vi auquel elle est fixée. A ce moment l'extrémité i vient rencontrer le levier g et le relever également.

Cela posé, on voit :

1° Qu'il suffit d'amener, par une rotation convenable de la poulie G, la vis a en face du chiffre n de la graduation du tambour W correspondant au nombre de contacts à partir duquel on laissera la pointe traçante enregistrer les contacts. Dès lors, en supposant que les pièces occupent la position indiquée dans la *fig.* 8, et en

particulier que le zéro de la graduation se trouve au point où le bras *bc* repose sur le tambour W, on sera certain que, lorsque la tête de la vis *a* arrivera au contact de *bc* (ce qui, d'après l'établissement de la graduation, correspond au nombre de contacts proposé *n*), elle relèvera l'extrémité de *bc*, permettant ainsi à l'extrémité *d* du bras *bd* d'abandonner à lui-même le levier *g*. Celui-ci s'abaissera donc en entraînant la roue B qui engrènera avec la roue F, et les conséquences annoncées plus haut se produiront aussitôt. Pendant ce temps le poids H, agissant sur la roue E devenue libre par suite de l'éloignement de la roue C, l'entraînera à l'abri de tout contact des pièces en mouvement.

2° Qu'il suffit de régler l'axe portant la came, de manière qu'il fasse un tour par heure, et de donner à ses parties courbes des dimensions égales et à ses parties droites une direction radiale, pour que, au bout de chaque quart d'heure le levier *g* soit relevé par le bras *vi* et replacé (comme l'indique la figure) au-dessus de la saillie *d* du bras *bd*, ce qui assure l'immobilité du chariot *m* et, par suite, interrompt la ligne représentative du phénomène comme il a été dit plus haut.

Les indications précédentes ne sont pas les seules que l'on demande à l'anémographe. On veut, en outre, qu'il avertisse automatiquement de l'instant où le débit du courant d'air atteindrait le minimum au-dessous duquel on ne doit pas le laisser descendre. En vertu de la relation qui existe entre le nombre de tours de l'anémomètre et le débit par minute, on peut connaître le nombre N de tours qui correspond à ce minimum, c'est-à-dire le nombre $\left(\frac{N}{10}\right)$ de contacts électriques. En retranchant de ce nombre rapporté à un quart d'heure le nombre *n* défini plus haut, on obtient le nombre *n'* également défini ci-dessus, qui n'est autre que le nombre

de millimètres, que mesure la projection, parallèle au mouvement du chariot, de la ligne effectivement tracée par le stylet au bout d'un quart d'heure. On peut donc placer un petit butoir, dont la distance au point de départ du stylet du chariot est de *n'* millimètres. D'autre part, la poulie *k* porte une broche *l*, sur laquelle s'appuie un levier *p'*, qui reste en contact avec la broche *l* et avec une pièce métallique *q'*, jusqu'au moment où le stylet, ayant parcouru la distance égale à *n'*, vient rencontrer le butoir déjà mentionné. De plus, dix secondes avant la fin de chaque quart d'heure, une pièce, liée au mouvement de l'horloge, vient toucher une borne métallique, qui, lorsque les pièces *l*, *p'*, *q'* sont en contact, ferme le circuit d'une sonnerie électrique. Si donc à ce moment les pièces *l*, *p'*, *q'* sont encore en contact, c'est-à-dire si le stylet n'a pas atteint le butoir, ou, ce qui revient au même, si le débit minimum n'a pas été atteint, la sonnerie avertira que le service de l'aérage n'est pas satisfaisant.

L'appareil, tel qu'il vient d'être décrit d'après le modèle exposé, fonctionne d'une manière très satisfaisante à la fosse Heinitz.

V. ÉQUIPEMENT DE SAUVETAGE.

Appareil Fleuss perfectionné de Sarrebrück (voir *fig.* 9 à 15, Pl. X). — Cet appareil respiratoire, destiné à permettre le séjour dans les milieux irrespirables, se compose des parties suivantes : un masque, un cylindre à oxygène, un coussin à air et une caisse filtrante. L'ouvrier porte sur le visage le masque, d'où partent deux tuyaux, l'un d'expiration qui passe par-dessus l'épaule droite, l'autre d'aspiration qui passe par-dessus l'épaule gauche, pour

se rendre tous deux au couvercle de bois A de la caisse filtrante G. Celle-ci est entourée d'une double enveloppe de feuilles de fer-blanc soudées entre elles et réunies par des boulons au couvercle de bois A. L'espace compris entre les deux enveloppes métalliques, reçoit un liquide (café, vin, etc.) destiné à rafraîchir l'intérieur de la caisse et pouvant servir éventuellement à l'alimentation de l'ouvrier. L'intérieur de la caisse est divisé en quatre compartiments B par des tôles soudées aux parois; ces tôles sont perforées de trous alternativement l'une à sa partie supérieure et la suivante à sa partie inférieure. Chacun de ces compartiments comprend six loges horizontales C remplies d'étoupe et séparées l'une de l'autre par un petit compartiment D où l'on place de la soude caustique. La paroi supérieure de chaque loge C est fixe, la paroi inférieure est mobile dans deux rainures formées par deux cornières soudées aux parois latérales de la caisse. Le renouvellement de la soude est ainsi très aisé. La loge supérieure C_1 de l'un des compartiments extérieurs est munie d'un ajutage m_1, la loge C_2 du compartiment opposé est munie de deux ajutages m_2 et m_3; les ajutages m_1 et m_2 servent d'origine aux tuyaux d'expiration et d'aspiration; à l'ajutage m_3 se raccorde au tuyau n qui se rend au coussin à air F, et qui, au lieu de contenir (comme le tuyau d'expiration qui aboutit en m_1) une soupape s'ouvrant lors de l'expiration, ne renferme à son intérieur qu'un simple ressort à boudin et assure, par suite, une libre communication entre la caisse filtrante et le coussin à air. Ce dernier, appliqué sur la poitrine de l'ouvrier, en épouse exactement la forme grâce à la souplesse du cuir qui le constitue et des tuyaux à fourreau dont il est muni. Le cylindre à oxygène H, placé au-dessous de la caisse G, porte la soupape V (*fig.* 14 et 15) que l'ouvrier peut aisément régler de sa main gauche; le tuyau p, qui passe à la hauteur de la hanche, établit une communication entre le coussin F et le cylindre H.

Il convient d'ajouter, comme détail de construction, que l'adhérence du masque au visage est obtenue : 1° au moyen de deux courroies attachées derrière la tête; 2° au moyen d'un tuyau de caoutchouc qui suit le bord intérieur du masque et que l'on remplit d'air par une de ses extrémités qui peut s'ouvrir ou se fermer à volonté.

Le fonctionnement de l'appareil est le suivant :

L'air expiré par l'ouvrier sort par le tuyau d'expiration, arrive par l'ajutage m_1 dans la loge C_1, parcourt alternativement de haut en bas et de bas en haut les quatre compartiments B en se débarrassant de son eau et de son acide carbonique sur l'étoupe et la soude caustique, et arrive dans la loge C_2, où il repasse à l'état de gaz respirable, grâce à l'afflux de l'oxygène provenant du cylindre H, que le tuyau p, le coussin F et le tuyau n mettent en communication avec la loge C_2. Le tuyau d'aspiration m_2 amène à la bouche de l'ouvrier l'air chargé d'oxygène.

Cet appareil, expérimenté à la fosse Friedrichsthal du district de Sarrebrück a donné les résultats suivants :

1° Un homme peut travailler pendant deux heures pleines lorsque la caisse filtrante vient d'être garnie et que le cylindre à oxygène a été rempli à la pression de 15 à 16 atmosphères;

2° L'appareil, une fois rempli, peut être mis en service au bout d'une minute; le remplissage de l'appareil ne dure d'ailleurs que quatre minutes et demie.

Les expériences avaient été conduites de la manière suivante :

On chargea de l'appareil un forgeron habitué au maniement de l'appareil Rouquayrol-Denayrouse : la pression dans le cylindre à oxygène était de 15 atmosphères; on avait placé 2 kilogrammes de soude caustique fraîche et

de l'étoupe neuve dans la caisse filtrante. De l'eau fraîche fut versée entre les deux parois de cette caisse. On fit marcher le porteur de l'appareil pendant $1^h\ 45^{min}$, et, durant tout ce temps, il n'éprouva aucune gêne. Le manque d'oxygène obligea seul à suspendre l'expérience au bout de $2^h\ 12^m$. Quand on ouvrit l'appareil on reconnut que le contenu de la caisse filtrante était très chaud, la moitié de la soude était consommée, l'étoupe renfermée dans le compartiment qui se trouve en communication directe avec le tuyau d'expiration, était chargée d'une quantité d'humidité qui allait en décroissant depuis le haut jusqu'en bas ; enfin, on trouva de l'eau dans la partie du masque qui est en contact avec le menton, ainsi que dans le tuyau d'expiration.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES.

Planche VII.

Fig. 1. Système de rallumage pour lampe Wolf à benzine.
2 et 3. Système de rallumage pour lampe Wolf à huile.
4 et 5. Autre système pour lampe Wolf à benzine.
6 et 7. Système de rallumage pour lampe Seippel.
7 *a*, *b*, *c*. Système de fermeture de lampe Wenderoth.
(*Fig.* 7 *a*, coupe PQ),
(*Fig.* 7 *b*, vue par dessous),
(*Fig.* 7 *c*, coupe XY).
8 et 9. Taquets Schüller (élévation et plan).
10 et 11. Taquets Schüller modifiés (élévation).
12. Taquets Westmeyer.
13 et 14. Taquets Frantz.

Planche VIII.

Fig. 1 et 2. Taquets Sartorius et Holzer (élévation et plan).
3. Mêmes taquets modifiés (élévation).
4 à 8. Taquets Haniel et Lueg.
9 et 10. Recette à cadre élastique.
11 à 17. Portes de sûreté de Wilhelmine Victoria.

Planche IX.

Fig. 1 et 2. Portes de sûreté système Schüller (élévation et plan).
3, 4 et 5. Portes de sûreté de Reden.
(*Fig.* 3, élévation).
(*Fig.* 4, coupe horizontale AB).
(*Fig.* 5, coupe horizontale CD).
6 et 7. Portes de cage système Schüller (deux élévations dans des plans perpendiculaires).
8 et 9. Parachute Friemann et Wolf (élévation et plan).
10 à 14. Parachute Pelzer.
15 et 16. Indicateur de vitesse Gerhard.
(*Fig.* 15, coupe verticale AB).
(*Fig.* 16, coupe horizontale CD).

Planche X.

Fig. 1 à 4. Fermeture de plan incliné système Dreikaus.
5 et 6. Arrêt de chariot système de Gerhard.
7. Indicateur de dépression système de Gerhard.
8. Anémographe Hipp.
9 à 15. Appareil Fleuss perfectionné de Sarrebrück.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages

I. Lampes de sureté 330
1° *Systèmes de rallumage* 330
Lampe Wolf 330
Lampe Seippel 333
2° *Systèmes de fermeture* 336
Lampe Wenderoth 336
II. Appareils relatifs aux puits d'extraction 336
1° *Taquets* 336
Taquets Schüller 336
Taquets Westmeyer 338
Taquets Sartorius et Holzer 339
Taquets Haniel et Lueg 341
2° *Cadres de recette* 342
Recette à cadre élastique 342
3° *Portes de sûreté des recettes* 343
Portes Dreikaus 343
Portes de Wilhelmine Victoria 343
Portes Schüller 344
Portes de Reden 345
4° *Cages* 347
Portes de cages système Schüller 347
Parachute Friemann et Wolf 348
Parachute Pelzer 349
5° *Signaux d'extraction* 352
Appareil de Sarrebrück 352
6° *Appareils de contrôle* 353
Indicateur de vitesse Gerhard 353
III. Appareils relatifs aux plans inclinés 355
Fermeture Dreikaus 355
Arrêt de chariot de Gerhard 356
IV. Appareils relatifs au service de l'aérage 357
Indicateur de dépression Gerhard 357
Anémographe Hipp 359
V. Équipement de sauvetage 363
Appareil Fleuss perfectionné de Sarrebrück 363

NOTE

SUR UN

CLAPET DE RETENUE D'ALIMENTATION

D'UN TYPE DÉFECTUEUX

Par M. OLRY, Ingénieur en chef des mines.

La fabrique d'essieux et de ressorts de MM. Bail, Pozzy et Ce, à Persan (Seine-et-Oise), possède une batterie de deux générateurs du type Galloway, pourvus chacun de deux réchauffeurs.

Ces chaudières, timbrées à 6 kilogrammes, sont de forme cylindrique horizontale, et traversées par deux tubes-foyers également cylindriques, qui débouchent dans une chambre de combustion entretoisée par quinze tubes tronconiques ; leur capacité individuelle est de 15 mètres cubes.

Le 8 juillet 1889, l'une d'elles a fait explosion, par suite de l'écrasement et de la rupture du ciel de son tube-foyer de gauche. Cet accident, qui a eu pour conséquence la mort de deux ouvriers, a été certainement causé par un manque d'eau, que révélaient la teinte bleue de la tôle, caractéristique d'une surchauffe, la forme du bossellement, l'absence d'incrustations, et l'existence d'une déformation analogue, mais moins accusée, du tube-foyer de droite.

A cette occasion, la Commission centrale des machines

à vapeur a critiqué la disposition des clapets de retenue qui étaient situés à l'insertion des tuyaux d'alimentation sur l'un des réchauffeurs de chacune des chaudières. Cette disposition est représentée en coupe verticale par la *fig.* 16, Pl. X. Le fond de la boîte de chaque appareil est traversé par une tige filetée que l'on peut manœuvrer de l'extérieur, de manière à soulever le clapet lorsqu'on se propose de vider la chaudière; l'extrémité de cette tige n'était d'ailleurs qu'à une distance de 1/2 millimètre de la soupape, lorsqu'elle était ramenée à fond de course vers le bas.

Un pareil système est évidemment défectueux, car si, après avoir remonté le clapet en permanence au moyen de la vis, on oublie ensuite de le faire redescendre au contact de son siège, cet appareil est dans l'impossibilité de fonctionner lorsque les générateurs sont remis en activité. Dès lors, l'eau de la chaudière correspondante peut se rendre, en traversant la boîte du clapet, dans le tuyau de vidange, et s'écouler ensuite à l'extérieur, si ce tuyau n'est pas complètement fermé; elle peut aussi, lorsque les circonstances s'y prêtent, être refoulée dans une chaudière voisine. Dans les deux cas, le manque d'eau pourra occasionner une surchauffe des tôles, et déterminer comme conséquence leur rupture.

Précisément, le 8 juillet 1889, le clapet de retenue d'alimentation du générateur qui a fait explosion était resté entr'ouvert avec soulèvement de 1 à $1^{mm},5$; on en avait manœuvré la vis l'avant-veille, pour vider ce générateur, et les deux victimes de l'accident avaient ensuite omis de le remettre dans sa position normale.

La Commission centrale a fait observer, à juste raison, que les clapets d'alimentation de la batterie de chaudières Galloway de l'usine de MM. Bail, Pozzy et Ce, n'étaient pas établis dans les conditions réglementaires,

parce qu'ils ne fonctionnaient pas toujours automatiquement, ainsi que le veut l'article 8 du décret du 30 avril 1880.

Elle a demandé, en outre, l'insertion de la présente note aux *Annales des mines*, afin de signaler aux ingénieurs et aux industriels la nécessité d'adopter des types de clapets ne présentant pas ce défaut, ce qu'il sera toujours facile de faire, si l'on ne se sert pas de ces appareils pour la vidange des chaudières.

ÉTUDE SUR LA LEVERRIERITE

Par M. TERMIER, Ingénieur des mines.

INTRODUCTION.

Par une note (*) communiquée le 20 mai 1889 à l'Académie des sciences, nous avons signalé l'existence, dans un très grand nombre de roches houillères, de cristaux plus ou moins nets d'un minéral nouveau que nous avons nommé *Leverrierite*, le dédiant à M. l'Ingénieur en chef des mines Le Verrier.

Ces cristaux sont de petits prismes très fréquemment tordus et vermiformes, ayant habituellement de 1 à 4 millimètres de longueur. Cette même dimension peut atteindre exceptionnellement 15 millimètres. Le diamètre des prismes varie ordinairement de $0^{mm},3$ à $0^{mm},7$.

Les cristaux de leverrierite ont un clivage transversal extrêmement facile; les lamelles de clivage brunes ou blanches sont douées d'un assez vif éclat. Il résulte de cette double propriété que la leverrierite peut être aisément confondue avec les micas. On s'explique ainsi qu'elle ait été méconnue si longtemps, alors qu'elle abonde littéralement dans les sédiments houillers de la Loire et du Gard.

D'autre part, l'absence de tout éclat sur les faces longitudinales des prismes et l'apparence vermiforme

(*) *Comptes rendus de l'Ac. des sciences*, t. CVIII, p. 1071.

d'un grand nombre de cristaux ont induit en erreur les naturalistes les plus éminents. M. Stur, qui paraît avoir le premier porté son attention sur ces prismes contournés, les regarda comme des tubes d'origine organique remplis par une substance minérale. C'est ainsi qu'il décrivit, sous le nom de *Bacillarites problematicus*, de très petits prismes provenant de la grande couche de Radnitz (Bohême). Quelques années plus tard, MM. Grand'Eury et Favarcq étudièrent les prismes analogues fournis en très grande abondance par certaines couches du bassin houiller de la Loire, et leur attribuèrent, comme M. Stur, une origine organique. Les résultats de leurs observations furent condensés dans une note à l'Académie des sciences (*).

Nous croyons devoir citer ici un extrait de cette note, car la description qui en est l'objet, bien qu'aboutissant à une conclusion erronée, est remarquable de précision et d'exactitude.

« La silhouette des fragments en question, disent les deux auteurs, offre les courbures les plus variées; ils sont arqués, repliés, contournés et tordus, revêtant la forme vermiculaire. En s'accumulant, ils se sont recourbés les uns sur les autres, dénotant ainsi un état mou originaire qu'ils ont dû perdre rapidement par la suite, car ils ne sont pas aplatis.

« Beaucoup de débris très minces se terminent en pointe émoussée : quelques-uns ont une section transversale réniforme; des cylindres accolés se séparent et simulent des bifurcations; nous avons même remarqué des ramifications.

« Pour tous les débris la surface présente des stries, des sillons longitudinaux. En outre, et c'est là un des

(*) *Comptes rendus de l'Ac. des sciences*, t. CIV, p. 398.

caractères les plus constants, ils apparaissent comme formés d'articles se manifestant par des contractions à distance régulière, qui leur donnent une ressemblance extérieure vague avec les bras de certains crinoïdes. La faible adhérence des articles en facilite la désagrégation.

« La matière des débris désunis est homogène comme celle de certains coraux, sans cloisons ni canaux internes.

« Cette matière d'aspect cireux est extrêmement tendre, se réduisant en farine sous la pression de l'ongle. Elle est légèrement translucide. Sa cassure est irrégulière.

« Elle est très résistante au feu et aux acides. Sous la flamme du chalumeau elle conserve sa forme, mais perd sa transparence et les articles se disjoignent. Son analyse chimique révèle une composition qui n'est pas sans analogie avec celle des hydro-silicates d'alumine cristallins.

« Mais les débris en question ne sont pas des minéraux : ils n'en ont ni la rigidité, ni les modifications et ne sont pas groupés comme eux. Tout au contraire, leur forme est essentiellement organique ».

Dans le courant de l'année 1887, M. Grand'Eury, qui avait toujours conservé quelques doutes au sujet de la conclusion précédente, appela notre attention sur l'étude des roches à *Bacillarites*. Les recherches micrographiques les plus élémentaires nous conduisirent aussitôt à une tout autre conclusion. Chaque *Bacillarites* devenait un individu cristallin parfaitement défini, et tous ces individus cristallins appartenaient à une seule et même substance douée de propriétés cristallographiques remarquablement constantes. L'hypothèse de l'origine organique tombait donc d'elle-même et il ne restait plus qu'à définir la substance minérale dont les prismes sont formés.

Comme nous achevions la détermination de cette substance, M. Stanislas Meunier, que M. Grand'Eury avait également consulté sur le même objet, présenta à l'Académie des sciences, le 4 mars 1889, une note (*) sur les roches houillères à *Bacillarites*.

Dans cette note, M. Stanislas Meunier déclare se rallier à l'hypothèse de MM. Stur, Grand'Eury et Favarcq. Il considère les *Bacillarites* comme de véritables fossiles transformés en une espèce de pholérite. Il dit avoir constaté, en taillant des lames minces, que les Bacillarites sont tout à fait transparents et que la pholérite dont ils sont formés est en fibres convergeant toutes vers l'axe. Il distingue enfin deux variétés : le *Bacillarites Favarcquii* cylindrique et vermiculé; le *Bacillarites Grand'Euryi* anguleux et présentant à la fois des stries longitudinales et des joints transverses.

M. Stanislas Meunier paraît avoir été induit en erreur par certaines apparences d'organisation que présentent très fréquemment les cristaux de leverrierite. Quelques-uns montrent un filet cylindrique disposé suivant l'axe et rempli d'une substance qui n'a pas la même orientation optique que le reste du prisme. Dans d'autres, deux lamelles contiguës, faiblement écartées, laissent entre elles un vide où l'on voit un autre minéral plus ou moins biréfringent. Enfin, certains prismes semblent enveloppés d'une sorte de cuticule.

Le premier phénomène résulte simplement de mâcles longitudinales. Nous démontrerons plus loin l'existence de ces mâcles et nous en donnerons de nombreux exemples.

Les intervalles entre deux plans de clivage sont le plus souvent remplis par l'argile amorphe qui constitue la gangue de la leverrierite. Parfois, il s'y est développé

(*) *Comptes rendus de l'Ac. des sciences*, t. CVIII, p. 468.

du quartz. Je citerai un exemple où ces intervalles ont été remplis de mica noir. Enfin, il n'est pas rare d'y observer un peu de leverrierite confusément cristallisée.

Quant à la cuticule qui envelopperait certains cristaux, nous ne l'avons jamais observée d'une façon nette. Il y a très fréquemment, autour d'un cristal de leverrierite, une zone argileuse où les produits ferrugineux ont subi une sorte de concentration. C'est là un phénomène très habituel dans beaucoup de roches. D'autres fois, le pigment brun qui colore la leverrierite, et qui est, comme je le dirai plus loin, très inégalement réparti, se raréfie près des bords du prisme, en sorte que ces bords paraissent plus limpides. Il n'est d'ailleurs pas impossible que certains cristaux soient réellement zonés à la manière des feldspaths d'un grand nombre de roches éruptives; mais il ne nous a pas été donné, jusqu'à ce jour, de constater ce phénomène.

Quoi qu'il en soit de ce point de détail, on peut affirmer aujourd'hui, avec une entière certitude :

1° Que chaque *Bacillarites* est, non pas un tube rempli de pholérite fibreuse, mais *un prisme bien défini* d'un minéral nouveau, la leverrierite;

2° Que les cristaux de leverrierite se sont développés dans les argiles houillères *par voie de métamorphisme* et qu'ils se rencontrent également dans les roches éruptives acides du terrain houiller.

L'hypothèse organique doit donc être définitivement rejetée et le nom de *Bacillarites* doit disparaître de la science.

Cette étude a un double objet : en premier lieu, faire connaître d'une façon précise la composition et les propriétés de la leverrierite; en second lieu, décrire les roches où s'est développé ce minéral.

I. COMPOSITION ET PROPRIÉTÉS DE LA LEVERRIERITE.

Composition. — La séparation de la leverrierite et de l'argile sableuse au sein de laquelle elle a pris naissance présente d'assez grandes difficultés. M. Stanislas Meunier donne comme procédé de séparation, la désagrégation de la roche par l'acide sulfurique étendu et la lévigation des paillettes ainsi isolées. Il est malheureusement à craindre que l'acide sulfurique, même étendu, n'attaque partiellement la leverrierite. Quoiqu'il en soit, M. Stanislas Meunier a trouvé par cette méthode la composition suivante (la provenance de l'échantillon n'est pas indiquée) :

Silice	46,4
Alumine	38,4
Acide phosphorique	0,5
Chaux	1,2
Fer	traces
Eau	15,0
Total	101,5

Une analyse faite au laboratoire de l'École des mines de Saint-Étienne, sur une leverrierite de la grande couche de Rive-de-Gier, a donné les résultats qui suivent. L'échantillon ne renfermait que de la leverrierite et du quartz avec très peu d'argile amorphe. L'analyse a porté sur la partie fine, lévigée à l'eau et séchée à 100 degrés.

Silice	46,79
Alumine	34,47
Chaux	4,53
Perte par calcination	13,21
Total	99,00

Les divergences que présentent ces deux analyses

sont de l'ordre des écarts que l'on observe entre des analyses de pholérites et même des analyses de micas appartenant à la même famille. Il n'y a donc aucune raison de rapporter à l'une plutôt qu'à l'autre la formule type de la leverrierite. Nous verrons plus loin que, d'un gisement à l'autre, la couleur et la biréfringence du minéral peuvent varier dans une certaine mesure. Il n'est donc pas surprenant que la composition soit également variable.

On voit que la leverrierite est, dans tous les cas, une argile cristallisée très voisine de la pholérite au point de vue chimique. Elle paraît toutefois contenir plus de chaux que la pholérite.

Propriétés. — A l'œil nu, les lamelles de leverrierite ont une couleur qui varie du brun noir au gris blanchâtre. L'éclat est toujours vif sur la face de clivage. Les lamelles brunes ressemblent à certains micas uniaxes; les lamelles blanches se confondent aisément avec le mica blanc.

Les faces longitudinales des prismes sont toujours noires, rugueuses et dépourvues d'éclat.

Le rapport du diamètre à la longueur des prismes est très variable. Sa valeur habituelle paraît être 1/5. Dans certains gisements, comme à Gagnières (Gard), les prismes sont très courts et l'on n'aperçoit à l'œil nu que des paillettes blanchâtres, sans épaisseur sensible, nageant dans l'argile brune.

Nous n'avons pas eu l'occasion d'observer des cristaux dont la longueur dépassât 15 millimètres. Toutefois, MM. Grand'Eury et Favarcq, dans la note dont nous avons donné un extrait, disent que la longueur peut atteindre 20 millimètres. Nous avons dit au début de cette étude que les dimensions habituelles sont : 1 à 4 millimètres de longueur et $0^{mm},3$ à $0^{mm},7$ de diamètre.

La substance est très tendre, comme la pholérite. Elle se raye à l'ongle sans la moindre difficulté. C'est là un caractère qui la différencie nettement de tous les micas.

La densité varie de 2,3 à 2,4 d'un gisement à l'autre. M. Stanislas Meunier a trouvé le nombre 2,437 pour l'ensemble d'une roche à leverrierite.

Le clivage des cristaux de leverrierite est extrêmement facile. Ce clivage est exactement normal à l'axe d'allongement des prismes. Les lamelles de clivage ont, le plus souvent, un contour hexagonal. Tous les cristaux sont basés ou du moins nous n'avons jamais observé de pointements. En revanche, certains cristaux sont plus ou moins fusiformes : ils se rétrécissent vers les extrémités, comme si les faces verticales étaient remplacées par des faces d'octaèdres et de prismes horizontaux.

La grande friabilité de la substance, l'absence d'arêtes vives et de tout éclat sur le pourtour des prismes, et par-dessus tout, l'extrême petitesse des cristaux rendent toute mesure goniométrique irréalisable. Les caractères précédents sont donc les seuls que l'on puisse déduire d'un examen à l'œil nu.

L'examen à la loupe ne fait connaître aucune particularité nouvelle, si ce n'est l'existence de fentes longitudinales. On discerne également, au moyen de la loupe, quelques mâcles par pénétration de deux ou trois cristaux à axe parallèle; mais ces mâcles sont peu visibles ainsi, au lieu qu'elles s'étudient très facilement au microscope.

L'examen microscopique permet de pousser très loin l'étude de la leverrierite et de donner une définition complète de ce minéral. Nous avons opéré sur un très grand nombre de plaques minces, ayant en général deux centièmes de millimètre d'épaisseur, prélevées dans une série de roches à leverrierite. Les Pl. XI et XII reprodui-

sent quelques dessins exécutés à la chambre claire, choisis parmi les plus typiques.

En lames minces, la leverrierite est parfois incolore, mais plus souvent colorée en brun clair. Les sections fortement colorées ont un polychroïsme très sensible, le maximum d'intensité ayant lieu lorsque la trace des plans de clivage est parallèle à la section principale du polariseur. Les sections qui sont faites suivant le clivage ou suivant des plans peu différents, sections où l'on ne voit aucune trace de clivages, sont absolument dépourvues de polychroïsme.

La couleur est due à un pigment brun qui est, en général, assez inégalement réparti dans l'intérieur d'un même cristal. Les régions voisines des bords sont tantôt plus foncées, tantôt plus claires que le reste de la masse.

Si l'on emploie les forts grossissements, on constate que l'intensité du pigment est, presque toujours, en raison de l'abondance des inclusions noires dont la plupart des cristaux sont criblés. Ces inclusions sont opaques. Leur forme est arrondie dans certains cristaux, allongée dans d'autres. Les inclusions allongées ont, en général, leur grande dimension parallèle à l'axe d'allongement du prisme, c'est-à-dire perpendiculaire au plan de clivage. Plus rarement, elles sont allongées parallèlement aux plans de clivage.

Les *fig.* 10 et 11, Pl. XII, montrent la disposition de ces inclusions, au grossissement de 500 diamètres. On voit que leur répartition dans un même cristal est loin d'être la même en tous les points, mais que cette répartition obéit à des lois simples. Les zones riches en inclusions sont le plus souvent des lamelles de clivage, admettant entre elles d'autres lamelles presque entièrement dépourvues d'inclusions. C'est le cas de la *fig.* 10. Dans la *fig.* 11, le phénomène est un peu plus complexe.

Dans une même lamelle riche en inclusions, celles-ci se groupent en colonnes perpendiculaires au plan de clivage, et d'une lamelle riche à la suivante, les colonnes d'inclusions se correspondent rigoureusement.

La nature de ces inclusions nous est complètement inconnue.

La *fig.* 3, Pl. XII, montre un grand cristal de leverrierite où la distribution des inclusions est tout à fait aberrante. Les zones riches en inclusions affectent la forme annulaire ; elles occupent les bords extérieurs de chaque lamelle. De plus, l'épaisseur de ces zones annulaires n'est pas constante. Ce double fait se traduit, dans la section, par l'apparence de sinus ou golfes pétaloïdes, partant des bords du cristal et pénétrant jusque près de l'axe. Ces sinus sont très chargés de pigment brun, alors que les parties du cristal pauvres en inclusions sont à peu près incolores.

Un grand nombre de sections faites suivant le plan même du clivage sont très sensiblement hexagonales. On constate, en employant la lumière convergente, que ces sections sont perpendiculaires à la bissectrice de l'angle aigu des axes optiques. Cette bissectrice est négative ; elle coïncide donc avec n_p.

L'angle 2V des axes optiques varie, suivant la provenance de l'échantillon, de 45 à 52 degrés. Le plan des axes optiques coupe la face de clivage suivant une diagonale de l'hexagone. L'hexagone est symétrique par rapport à cette diagonale. Les angles aux sommets desquels aboutit cette ligne sont d'environ 128 degrés.

La *fig.* 10, Pl. XI, montre une section de clivage, rigoureusement perpendiculaire à la bissectrice aiguë, provenant d'un échantillon de la troisième couche de Saint-Étienne (Quartier-Gaillard).

Toutes les sections qui font un angle appréciable avec le plan du clivage ont naturellement une apparence fi-

breuse résultant de la trace des clivages sur le plan de la section. Les fibres sont rigoureusement perpendiculaires à l'axe du prisme; elles sont positives dans le sens de leur longueur. Entre les nicols croisés, l'extinction de chaque fibre se fait rigoureusement à zéro. Les sections qui présentent la biréfringence maxima sont nettement symétriques. La *fig.* 11, Pl. XI, représente une semblable section.

La leverrierite est donc une substance orthorhombique, les angles du rhombe de base étant, à peu de chose près, 128 et 52 degrés. Le clivage facile est p (001); les faces du prisme sont m (110) et g^1 (100). Les axes optiques sont dans g^1 et ont leur bissectrice aiguë, négative, perpendiculaire à p. L'axe moyen n_m est dans h^1 (010).

L'indice de réfraction moyen semble voisin de 1,6.

La biréfringence maxima est assez variable. Elle semble croître avec l'intensité de la couleur et le nombre des inclusions, c'est-à-dire, suivant toute vraisemblance, avec la teneur en fer. Dans les cristaux des argiles houillères de la Loire, la différence $n_g - n_p$ varie de 0,0075 à 0,0082; la biréfringence est ainsi comprise entre celle de l'orthose et celle du quartz. Dans certains échantillons du Gard (Gagnières, Gagnérette), et aussi dans le gore éruptif du Bois-d'Avaize (Loire), la biréfringence dépasse celle du quartz, et la différence $n_g - n_p$ atteint 0,011.

On voit que, dans tous les cas, la leverrierite se distingue nettement de la pholérite. Elle n'a ni les extinctions obliques de celle-ci, ni sa grande biréfringence. Ses propriétés optiques en font un minéral nouveau, dont le diagnostic est immédiat au microscope polarisant.

L'abondance et la régularité de ses lignes de clivage la rapprochent des micas. Mais son polychroïsme toujours faible l'éloigne du mica noir; sa coloration presque toujours sensible la différencie du mica blanc; sa biréfringence relativement peu élevée achève de rendre la distinction facile.

Les prismes de leverrierite sont susceptibles de se macler par juxtaposition ou compénétration de prismes à axe sensiblement parallèle, comme il arrive, d'ailleurs, pour la plupart des minéraux pseudo-hexagonaux.

L'existence de ces macles et leur manière d'être sont mises en évidence par la *fig.* 9, Pl. XI, qui représente trois groupes de cristaux accolés, vus suivant le clivage commun. Le dessin a été prélevé à la chambre claire sur une plaque mince provenant d'un échantillon du Quartier-Gaillard. La même plaque renferme un très grand nombre de sections semblables.

On voit que la compénétration des cristaux est parfois très irrégulière. Quand, au contraire, il y a juxtaposition suivant une face, c'est toujours une face m (110).

De pareilles macles donnent nécessairement des angles rentrants, et même des vides à l'intérieur de l'assemblage, puisque l'angle du rhombe de base est notablement différent de 120 degrés. Ainsi s'explique sans difficulté la présence, au sein des sections allongées, de déchirures, parallèles aux grands côtés, et remplies, soit d'argile amorphe (il y a alors un véritable vide dans l'assemblage), soit de leverrierite dont l'orientation optique est un peu différente de celle de la section. Si les prismes étaient rectilignes, ces déchirures persisteraient, en général, jusqu'aux extrémités des sections; mais, comme les prismes sont le plus souvent contournés, lesdites déchirures se terminent rapidement en pointe, se prolongent un peu par une simple cassure longitudinale, et disparaissent enfin tout à fait à une distance plus ou moins grande du petit côté de la section.

Les diverses figures des deux planches montrent de nombreux exemples de ces cassures et de ces vides normaux au clivage. Il n'est pas rare d'en observer plu-

sieurs, dans une même section, qui sont ou ne sont pas sur le prolongement les uns des autres. On est ainsi conduit à penser qu'un prisme de leverrierite peut résulter de l'assemblage d'un grand nombre de petits prismes.

La *fig.* 8, Pl. XI, est particulièrement intéressante. On y voit un assemblage, légèrement tordu, d'un très grand nombre de prismes parallèles. Entre ces prismes, les vides sont nombreux. Sur la droite de la figure, ces vides sont remplis d'argile amorphe. Ailleurs, ils sont occupés par une leverrierite très limpide qui ne s'éteint pas tout à fait en même temps que les deux prismes voisins. Il est probable que cette leverrierite s'est formée après coup et qu'elle ne fait pas réellement partie de l'assemblage.

Aux forts grossissements, on voit les macles se multiplier. La *fig.* 13, Pl. XI, représente, au grossissement de 250 diamètres, les nicols étant croisés, l'extrémité d'un prisme de leverrierite. La couleur noire indique les parties éteintes. Le prisme est dans la position d'éclairement maximum.

Dans ce cas, il n'y a plus seulement, comme dans les exemples précédents, juxtaposition ou compénétration de prismes parallèles; il y a véritablement hémitropie. Pour les régions éteintes, le plan d'hémitropie est vraisemblablement un prisme horizontal (dôme) incliné à 45 degrés sur la base p. Mais, dans plusieurs lamelles, on voit la biréfringence augmenter graduellement depuis zéro jusqu'à la valeur qu'elle possède dans le reste de la section. En d'autres termes, il y a passage graduel, pour une même lamelle, de l'obscurité complète à l'éclairement.

Le phénomène est donc extrêmement complexe. L'ellipsoïde d'élasticité optique de la lamelle tourne lentement jusqu'à ce que ses axes soient devenus parallèles à ceux de l'ellipsoïde du prisme. Quand ce résultat est atteint, ou presque atteint, les clivages du prisme passent

dans la lamelle sans réfraction sensible. Ils s'arrêtent, au contraire, au bord de la lamelle, sans y pénétrer, dans les régions où la lamelle est éteinte ou presque éteinte.

Ces lamelles hémitropes à ellipsoïde variable ne se prolongent pas très avant dans l'intérieur du prisme. Plusieurs, comme l'indique la figure, s'arrêtent brusquement et à une faible distance de l'extrémité. Les autres se partagent en deux catégories. Celles dont la différence d'orientation avec le prisme va croissant ont une terminaison brusque. Celles dont la différence d'orientation va décroissant n'ont pas de terminaison nette dans l'intérieur du prisme: elles passent graduellement à la leverrierite ambiante.

On ne saurait attribuer à des macles les filaments limpides que l'on voit fréquemment, en lumière naturelle, se glisser entre les clivages de la leverrierite. Ces filaments résultent du remplissage par des substances variées, souvent hétérogènes, des vides laissés entre les lamelles entre-bâillées. Parmi ces substances, on peut citer l'argile amorphe, le quartz, le mica noir, la leverrierite confuse.

La *fig.* 12, Pl. XII, donne un exemple d'intrusion de lamelles de mica noir entre les feuillets de la leverrierite. D'autres micas sont pincés dans l'intérieur même des prismes. Cette figure a un autre intérêt. On y voit, à droite, trois gros prismes maclés, à peu près parallèlement aux faces m, avec compénétration irrégulière. Sur la gauche se trouve un autre prisme dont la face p paraît correspondre à la face h^1 du cristal de gauche de l'assemblage. Les cristaux de leverrierite semblent donc encore susceptibles de se grouper à angle droit, comme la staurotide.

Les diverses propriétés de la leverrierite se trouvent résumées dans le tableau suivant:

Dureté	1,5.
Densité	2,3 à 2,4.
Système	Orthorhombique : $mm = 128°$ (environ).
Bissectrice aiguë	Négative (n_p), normale à p.
2 V	45° à 52°.
Indice moyen n_m	1,6 (n_m dans h^1).
$n_g - n_p$	0,0075 à 0,0082 (Rive-de-Gier, Saint-Étienne). 0,009 à 0,011 (Gard, Bois d'Avaize).
Polychroïsme	Sensible dans les teintes brunâtres : Brun foncé suivant n_m. Brun clair suivant n_g. Incolore suivant n_p.
Clivage	p très facile, avec éclat vitreux ou nacré.
Plan des axes optiques	g^1.

Macles : 1° Suivant m, par accolement ou compénétration de cristaux sensiblement parallèles ;

2° Par groupement à angle droit de deux prismes, la face p de l'un correspondant à la face h^1 de l'autre ;

3° Par hémitropie autour d'un axe perpendiculaire à un dôme variable.

II. DESCRIPTION DES ROCHES A LEVERRIERITE.

Les roches à leverrierite semblent être très nombreuses dans les formations houillères.

Dans les bassins de la Loire et du Gard, la plupart des nerfs argileux qui s'intercalent au sein des couches de houille renferment des prismes, tout au moins des paillettes de leverrierite. Parfois le nerf entier est constitué par ce minéral, sauf les quelques centièmes de sable siliceux que l'on retrouve dans les nerfs les plus argileux.

De plus, un certain nombre de nappes d'origine éruptive, épanchées dans les cuvettes houillères au moment même de leur comblement, sortes de porphyres pétrosiliceux ou d'argilophyres, renferment la leverrierite parmi leurs éléments de première consolidation.

Dans ces deux catégories de gisements, la leverrierite est presque toujours associée au mica noir. Le développement des deux minéraux s'est fait par le même processus : ils sont certainement contemporains. Tantôt la leverrierite englobe le mica, tantôt celui-ci entoure la leverrierite.

Nous décrirons successivement les roches des deux catégories.

A. *Argiles houillères à leverrierite.* — Le type de ces argiles se rencontre, à deux niveaux très différents, dans le bassin houiller de la Loire.

Le niveau inférieur est celui du nerf qui partage habituellement la Grande-Couche de Rive-de-Gier. Ce nerf est connu des mineurs sous le nom de *Nerf blanc*. Il est plus ou moins chargé de cristaux. En beaucoup de points, notamment à la Haute-Cappe, il contient au moins 80 p. 100 de leverrierite. C'est un véritable agrégat de prismes enchevêtrés. Ailleurs, il passe à une argile fine, de couleur chocolat, où l'on ne voit plus que quelques rares paillettes du minéral.

Il est remarquable que la leverrierite, si abondante dans le nerf blanc, soit totalement absente des grès qui forment le mur et le toit de la Grande-Couche.

Le niveau supérieur où abonde la leverrierite est celui de la 3e couche de Saint-Étienne. Cette 3e couche, à Beaubrun et au Quartier-Gaillard, renferme un nerf entièrement analogue au nerf blanc de Rive-de-Gier. Il peut, comme celui-ci, se charger de leverrierite au point d'être à peu près exclusivement formé de ce minéral. On le voit aussi passer à une argile charbonneuse, de couleur chocolat, où la leverrierite n'apparaît plus que sous la forme de paillettes nacrées de très petites dimensions.

Entre ces deux niveaux d'élection, la leverrierite se rencontre fréquemment, mais nulle part en aussi grande abondance. On la trouve dans les nerfs de la 13e couche, à Méons, et dans ceux de la 8e couche, tout autour de Saint-Étienne. Ces nerfs sont surtout argileux, avec

10 p. 100 de sable siliceux. Leur couleur est toujours brune : la teinte chocolat y est moins accusée que dans les nerfs de Rive-de-Gier et du Quartier-Gaillard.

Nous n'avons jamais observé la leverrierite dans de véritables grès. Inversement, toute argile houillère très fine, ne contenant pas plus de 15 p. 100 de sable quartzeux, est susceptible, dans le bassin de Saint-Étienne, de se charger plus ou moins de leverrierite.

Ces argiles très fines sont, en somme, dans toute la formation houillère de la Loire, des sédiments exceptionnels. On ne les trouve guère qu'associés intimement aux couches de houille. C'est pour cela que les nerfs enclavés dans le charbon constituent, à Saint-Étienne comme à Rive-de-Gier, le véritable gisement de la leverrierite.

Il paraît en être de même dans le bassin houiller du Gard. Les échantillons les plus riches en leverrierite proviennent d'un nerf d'argile chocolat enclavé dans l'une des couches de Gagnières, près de Bessèges. Les autres gisements importants du Gard nous semblent se rattacher plutôt à la deuxième catégorie, celle des nappes d'origine éruptive.

Les *fig.* 1 à 8, Pl. XI et les *fig.* 2 à 6, Pl. XII, sont prises sur des échantillons exceptionnellement bien cristallisée, provenant de la Haute-Cappe ou du Quartier-Gaillard.

Le fond de la roche est formé d'une argile très impure, brune en lumière naturelle, chargée de produits charbonneux et ferrugineux. Dans cette argile nagent, en petit nombre, des grains de quartz eux-mêmes très petits (1 à 2 dixièmes de millimètre en moyenne). Le zircon n'est pas très rare : il se présente en cristaux bien nets, à peine émoussés à la pointe.

La plupart des quartz sont roulés comme dans les grès et ont un contour précis. Mais quelques-uns présentent des traces indubitables d'une corrosion chimique exercée

par la matière ambiante. On y voit alors des golfes arrondis pleins d'argile, identiques aux sinus de corrosion que l'on observe dans les quartz des porphyres pétrosiliceux. La *fig.* 12, Pl. XI, montre quatre exemples de ces quartz rongés. Le contour a perdu de sa netteté ; il est dentelé et frangé par places.

Un phénomène qui tient vraisemblablement à la même cause est celui des quartz *impressionnés*. Il arrive fréquemment que deux grains roulés, qui se sont évidemment rencontrés par hasard dans la sédimentation, se moulent l'un dans l'autre, à la manière des cailloux calcaires des poudingues tertiaires. On peut voir des exemples de ce phénomène de compénétration dans les *fig.* 5 et 7, Pl. XI et la *fig.* 5, Pl. XII.

C'est à cette activité chimique de l'argile qu'il faut attribuer aussi la production des cristaux de leverrierite et de mica noir. *Ces deux minéraux n'ont pas été sédimentés ; ils se sont développés dans l'argile, par voie de métamorphisme.*

Il suffit de considérer attentivement les figures des Pl. XI et XII pour se convaincre de la vérité de cette affirmation.

Les cristaux de leverrierite ne sont ni roulés, ni déchiquetés : ils sont, le plus souvent, d'une netteté parfaite, alors que la moindre pression, le moindre choc, la simple action d'un filet d'eau tombant de $0^m,50$ de hauteur, suffisent à les détruire.

Ils moulent les grains de quartz, en comblant les sinus produits dans ces derniers par l'action chimique de la bouillie ambiante. Parfois aussi, on voit les prismes de leverrierite contourner les quartz à une certaine distance, comme s'ils les voulaient éviter. Les *fig.* 2, 3, 4 et 5, Pl. XI, sont particulièrement intéressantes au point de vue du moulage du quartz par la leverrierite.

Les contournements des longs prismes de leverrierite

paraissent, dans la plupart des cas, contemporains de la formation du cristal. On peut même dire que, moins le cristal a été gêné, plus sa forme est sinueuse. Les individus vermiformes sont généralement isolés au milieu de l'argile. Quant aux efforts qui se sont exercés sur quelques prismes, après leur consolidation, ils ont toujours eu pour résultats, ou la rupture des cristaux, ou tout au moins le froissement de leurs bords. La *fig.* 3, Pl. XI, représente un gros cristal de leverrierite cassé en plusieurs morceaux par suite de son reploiement autour d'un grain de quartz. Dans la *fig.* 7 de la même planche, on voit un gros cristal de leverrierite, dont les clivages ont été froissés au contact d'un quartz contre lequel il a été pressé.

Dans les régions où la leverrierite forme presque exclusivement la masse de la roche, le microscope montre que ce minéral s'est consolidé simultanément en plages *granitiques*, c'est-à-dire en grandes plages irrégulières se compénétrant mutuellement de la façon la plus quelconque. Il arrive alors assez fréquemment qu'une de ces plages contient des grains de quartz emprisonnés de toutes parts.

Le fait du développement de la leverrierite au sein de l'argile, par voie de métamorphisme, est donc absolument manifeste. Suivant que le métamorphisme a été plus ou moins intense, il s'est fait plus ou moins de leverrierite. En certains points, l'argile a cristallisé en masse, d'un seul coup, et l'enchevêtrement de cristaux ainsi formé n'a plus subi ni modification chimique, ni effort mécanique.

Quant au mica noir, qui est en général beaucoup moins abondant que la leverrierite, il s'est formé de la même manière. Lui non plus n'est pas roulé ni déchiqueté. Il moule les grains de quartz. Ses lamelles, un peu sinueuses, se glissent entre les prismes de leverrierite.

Tantôt il est moulé par cette dernière (*fig.* 3 et 8, Pl. XI; *fig.* 4 et 12, Pl. XII). Tantôt il l'enveloppe (*fig.* 5 et 6, Pl. XII). Il est donc à peu près contemporain. La *fig.* 4, Pl. XI, montre d'ailleurs deux véritables *associations* de leverrierite et de mica noir, l'une suivant les faces de clivage, l'autre à angle droit par coïncidence de p du mica avec h^1 de la leverrierite.

Ces phénomènes sont si peu connus que l'on se demandera, à la lecture de ces lignes, si notre mica n'est pas en réalité quelque autre minéral.

Les cristaux sont assez nombreux et d'assez grandes dimensions pour que le diagnostic soit certain. Il s'agit bien de mica noir. Les sections qui présentent des traces de clivage ont un polychroïsme intense : noires ou brunes quand les traces de clivage sont parallèles au plan principal du polariseur, elles deviennent presque incolores dans la position rectangulaire. La substance est négative et uniaxe. L'axe est perpendiculaire au plan de clivage. La biréfringence est très grande (0,04 environ).

Ce mica est remarquable par l'abondance de ses inclusions opaques. Celles-ci sont très petites et disposées en files parallèles au clivage.

A Bully (Loire) un nerf de la couche d'anthracite est formé d'argile, d'un peu de quartz et de mica noir. Le mica, très abondant, a une origine indubitablement métamorphique. Il n'y a pas de leverrierite.

Le fait du développement métamorphique du mica noir dans les sédiments houillers, tout nouveau qu'il soit, n'a rien de surprenant. On sait, en effet, que les porphyres pétrosiliceux épanchés dans le houiller (gores blancs) contiennent fréquemment ce minéral, au nombre de leurs éléments de première consolidation. Le gore de Patroa, près Saint-Étienne, est même excessivement riche en mica noir : il est aussi micacé que certains granites. Or, les gores du bassin de la Loire sont extrêmement argileux.

Leur composition moyenne est peu différente de celle des argiles à leverrierite. D'autre part, ils se sont épanchés à une température peu élevée. On peut donc facilement imaginer que des conditions physiques et chimiques analogues aient pu être réalisées au sein d'une argile sédimentaire.

En résumé, les dépôts argileux très fins du terrain houiller se sont fréquemment transformés par voie de métamorphisme. Les quartz ont été corrodés, et des cristaux plus ou moins nombreux de leverrierite et de mica noir ont pris naissance.

Quant à la cause de ce métamorphisme, nous croyons devoir l'attribuer à des sources thermominérales de haute température, contenant un peu de silice, de magnésie et de chaux. Ces eaux ont dû sourdre, à bien des reprises différentes, au fond des lacs houillers, et imprégner les sédiments déjà formés. Elles n'ont pu avoir aucune action sur les grès ni sur la houille. Mais, en présence de l'argile fine, à la faveur d'une pression peut-être assez élevée, elles ont donné naissance à des phyllites diverses et même attaqué partiellement les grains de quartz. On sait qu'en chauffant dans des tubes scellés de l'eau et de l'argile fine de Klingenberg, M. Daubrée (*) a reproduit des paillettes hexagonales, blanches et nacrées, appartenant à un mica uniaxe.

L'abondance des venues hydrothermales à l'époque du remplissage des bassins houiller du Plateau-Central est aujourd'hui connue de tout le monde. Indépendamment des nappes argileuses d'origine éruptive, on peut signaler, soit dans la Loire, soit dans le Gard, de très nombreux niveaux de grès et d'argile silicifiés, avec rognons calcédonieux riches en débris végétaux. Au nord du bassin de

(*) Daubrée, *Les eaux souterraines aux époques anciennes*, p. 297.

la Loire, à Saint-Priest, près Saint-Étienne, on peut saisir la relation entre ces zones d'imprégnation siliceuse et les véritables filons de quartz. Ceux-ci, parfaitement nets dans les schistes cristallins du Primitif, s'extravasent dans le Houiller, donnant naissance à des amas de grès pénétrés de calcédoine, dont la forme lenticulaire allongée décèle encore, dans quelques cas, l'origine filonienne (**).

Les phénomènes métamorphiques auxquels on doit attribuer la leverrierite et le mica noir des argiles que nous venons de décrire, s'expliquent donc sans grande difficulté. Il est d'ailleurs possible que, dans beaucoup de cas, la venue hydrothermale ait été accompagnée d'épanchements boueux, et qu'il y ait ainsi passage des gisements de la première catégorie à ceux de la seconde. De cette manière, on rendrait compte de la fréquence relative du zircon et de l'apatite dans certains nerfs à leverrierite (Quartier-Gaillard), alors que ces minéraux sont à peu près introuvables dans les schistes houillers ordinaires. On rendrait compte aussi du facies si particulier de ces argiles chocolat (Rive-de-Gier, Quartier-Gaillard, Gagnières) qui ressemblent si peu aux nerfs noirs ou bruns de toutes les couches de houille. Mais il n'en demeure pas moins établi pour nous que, dans les gisements décrits jusqu'ici, la plus grande partie de la roche a une origine sédimentaire, l'apport éruptif ayant dû consister surtout en eau minérale chaude.

Avant de passer à la description des gîtes de la deuxième catégorie, nous croyons devoir faire remarquer que le métamorphisme des argiles houillères à leverrierite est peu différent, en somme, de celui qui a donné naissance, dans le pernien et le trias des Alpes occiden-

(**) Termier, *Bull. des services de la Carte géolog. et des topog. souterraines*, n° 1, août 1889, p. 14 et 15.

tales, à des schistes luisants qui sont parfois, au sens pétrographique du mot, de véritables micaschistes. Les éléments détritiques ont été transformés au point de ne plus être reconnaissables. Les quartz se sont nourris et présentent les contours irréguliers des quartz du Primitif; des phyllites variées ont pris naissance. Ces phénomènes, qui n'affectent que certains étages sans toucher aux autres, ne semblent pas pouvoir se rattacher au dynamo-métamorphisme. La seule explication plausible est celle d'un métamorphisme régional d'une immense étendue et d'une intensité très grande, résultant de venues hydro-thermales prodigieusement abondantes.

L'exemple si restreint, mais en revanche si facile à étudier et à comprendre, des argiles à leverrierite, jette également, ce nous semble, une certaine lumière sur la question de la genèse du Primitif. La plupart des auteurs font encore appel, pour rendre compte de cette genèse, à des conditions physiques très éloignées de celles dont jouit actuellement la surface de la terre. Ils parlent de centaines d'atmosphères et de centaines de degrés de température.

Sans doute la croûte originelle du globe, la pellicule de première consolidation, s'est formée sous ces énormes pressions et à ces hautes températures. Mais rien ne prouve que le Terrain actuellement dénommé Primitif représente cette croûte originelle. En tout cas, on n'est pas obligé d'admettre cette supposition, car elle n'est point nécessaire pour expliquer la cristallinité du terrain en question. On peut parfaitement croire que les micaschistes ont été, primitivement, des sédiments argileux, soumis par la suite à un métamorphisme général. L'universalité de ce métamorphisme tient à l'universalité de sa cause, l'ascension du granite au travers de la croûte; mais rien ne démontre que ce métamorphisme ait beaucoup différé, quant à son processus, de ceux produits par les sources thermo-minérales du houiller et du trias.

B. *Roches éruptives à leverrierite.* — Les roches éruptives à leverrierite appartiennent à la catégorie des porphyres argileux et pétro siliceux, connus dans le bassin de Saint-Étienne sous le nom de *gores blancs*. Ces gores sont très abondants dans le terrain houiller de la Loire. On les rencontre à tous les niveaux, depuis le niveau de la *talourine* de Rive-de-Gier jusqu'aux assises rouges de Patroa.

Beaucoup de ces gores ne contiennent ni leverrierite, ni mica noir. Les paillettes nacrées que l'on y voit à l'œil nu paraissent être de la pholérite. La talourine de Rive-de-Gier et de la Péronnière contient un peu de mica noir, mais pas de leverrierite. Il en est de même du gore micacé de Patroa, dont nous avons parlé un peu plus haut.

Nous avons signalé l'année dernière un premier niveau de gore blanc dans le bassin houiller du Gard (*). Depuis lors, M. Grand'Eury en a découvert plusieurs autres, dont il a bien voulu nous communiquer des échantillons. Ces gores ne contiennent, en général, aucune phyllite cristallisée : ils sont essentiellement argileux.

La leverrierite abonde, en revanche, dans un gore du Bois d'Avaize (Loire), et dans un gore de Saint-Jean-de-Valériscle (Gard). On la retrouve, moins abondante, mais encore fréquente dans un certain nombre de gisements analogues. On pourrait donc, à un point de vue particulier, partager les gores blancs en trois groupes : gores argileux sans phyllites, gores micacés, gores à leverrierite.

A la Gagnérette (Gard), on observe dans le houiller une roche ferrugineuse (12 à 15 p. 100 de fer) dont on a tenté jadis l'exploitation pour minerai de fer. Cette roche

(*) Termier, *Bull. de la Soc. géol. de France*, 3e *série*, t. XVI, p. 617 et suivantes.

est formée d'argile, d'hématite rouge amorphe, de grains de quartz roulés, de mica noir et de leverrierite. C'est un gisement mixte, à la fois sédimentaire et éruptif, résultant de la transformation, par des eaux chaudes riches en fer, d'une argile sableuse. Une notable partie de la matière argileuse est peut-être d'origine éruptive.

Nous nous bornerons à la description de deux roches : le gore à leverrierite du Bois d'Avaize, et l'argile ferrugineuse de La Gagnérette dont nous venons de parler.

Gore à leverrierite du Bois d'Avaize. — Cette roche forme une nappe interstratifiée dans la partie tout à fait supérieure du terrain houiller de Saint-Étienne. Elle constitue le toit de la couche du Mourinet, ou couche supérieure d'Avaize. Sa puissance moyenne est de 4 à 5 mètres, mais l'allure est très irrégulière comme celle de toutes les nappes de gore.

La roche est d'un gris-de-cendres clair. Sa ténacité est très grande. On n'y aperçoit à l'œil nu que quelques paillettes nacrées de leverrierite. Certains échantillons sont criblés de petites vacuoles. Ce dernier caractère se retrouve dans une foule de porphyres de la même famille.

Au microscope (*fig.* 7 et 8, Pl. XII), la texture est nettement fluidale. La pâte est formée d'une argile impure, souillée de produits ferrugineux et même de produits charbonneux. Les impuretés paraissent échouées de préférence autour des cristaux de première consolidation.

Ces cristaux, qui se sont ainsi formés au sein d'une matière boueuse encore en mouvement, appartiennent au zircon, à l'apatite, au quartz et à la leverrierite. Nous n'avons pas observé de mica noir.

Le zircon est en cristaux allongés, à pointements très nets. L'apatite paraît peu abondante.

Le quartz ressemble à celui des porphyres pétrosiliceux. Beaucoup de sections accusent la forme bipyramidée. La corrosion y est intense.

La leverrierite est identique à celle des argiles sédimentaires, sauf la biréfringence qui est ici un peu élevée. Les cristaux sont presque toujours brisés et déchiquetés ; quelques-uns sont arrondis et comme usés ou rongés par la pâte. Ils sont entraînés dans le sens de la fluidalité générale. Le minéral est pur, peu chargé d'inclusions, à peine coloré en jaune clair, très faiblement polychroïque.

Outre les minéraux dont nous venons de parler, on observe dans le gore du Bois d'Avaize (comme dans la talourine de Rive-de-Gier) de très nombreuses sections de forme assez régulière, souvent hexagonales ou rectangulaires, le plus ordinairement très petites (moins d'un dixième de millimètre), mais atteignant parfois des dimensions de 7 à 8 dixièmes de millimètre. Entre les nicols croisés, ces sections accusent une isotropie absolue. En lumière naturelle, elles sont remplies habituellement d'une argile claire, beaucoup plus pure que la pâte de la roche, à peine jaunâtre. Quelques sections sont vides.

L'argile claire dont il est ici question n'a pas de relief. Très souvent, le bord des sections qu'elle remplit est marqué par un liseré d'oxyde de fer.

L'origine de ces sections nous paraît difficile à expliquer. Il semble presque évident qu'elles ont appartenu à un minéral cubique ou hexagonal.

Jusqu'à nouvel ordre, nous sommes porté à admettre qu'elles ont été formées soit de sel gemme, soit d'apatite. Le choix entre ces deux substances ne peut être déterminé que par des considérations théoriques : aucun fait ne nous permet encore de nous prononcer.

Argile ferrugineuse de La Gagnérette (*Gard*). — La

fig. 1 de la Pl. XII représente le dessin à la chambre claire d'une plaque mince prélevée sur cette argile. On y voit une grande lamelle de leverrierite parallèle au plan de clivage, et par conséquent, perpendiculaire à la bissectrice aiguë.

Cette lamelle est corrodée par l'argile ferrugineuse qui projette dans son sein des golfes arrondis. Sur la gauche du cristal, on aperçoit des indices de macles longitudinales.

Tout autour de ce gros cristal de leverrierite, on en voit un grand nombre d'autres orientés dans tous les sens. La texture n'est pas fluidale. La plupart des cristaux de leverrierite ont des contours arrondis. Quelques-uns sont sinueux en travers comme les lamelles de mica.

La leverrierite de La Gagnérette est de couleur claire. Son polychroïsme est faible. Sa biréfringence atteint 0,011.

Le mica est en paillettes extrêmement ténues, très polychroïques.

Les quartz sont roulés. Quelques-uns présentent des traces non équivoques d'une corrosion par la pâte.

Notre opinion est que le mica noir et la leverrierite se sont formés dans l'argile sédimentaire, sous l'influence de sources thermo-minérales, avant la venue ferrugineuse. Ces deux minéraux, en effet, ne sont pas souillés d'hématite, abstraction faite des fissures qui découpent certains d'entre eux. Plus tard, l'hématite est arrivée, apportée par d'autres sources, accompagnée peut-être d'une certaine quantité d'argile éruptive. Cette nouvelle venue a déterminé sur le pourtour des cristaux de leverrierite les corrosions manifestes dont nous avons parlé.

Saint-Étienne, 24 décembre 1889.

EXPLICATION DES FIGURES.

Planche XI.

Fig. 1. — Leverrierite de la Haute-Cappe (M. 291, 6) (*) :
Mica noir moulant le quartz et s'associant à la leverrierite. Trois sections de leverrierite perpendiculaires à la bissectrice aiguë. Un quartz corrodé, avec un sinus rempli par la leverrierite.

Fig. 2. — Même plaque.
Mica noir associé à la leverrierite. Longs prismes de leverrierite avec traces de macles longitudinales. Une section de leverrierite perpendiculaire à la bissectrice aiguë.

Fig. 3. — Même plaque.
Mica noir enclavé dans la leverrierite. Gros prisme de leverrierite reployé autour d'un quartz, et brisé. Macles longitudinales répétées, prouvant l'association de plusieurs individus à axes sensiblement parallèles.

Fig. 4. — Leverrierite du Quartier-Gaillard (M. 291. 2).
Grand prisme de leverrierite contournant à distance des grains de quartz. Deux associations de mica noir et de leverrierite, l'une p contre p, l'autre p (mica) contre h^1 (leverrierite). Macles longitudinales très nettes. Le mica noir est en houppes chevelues très curieuses.

Fig. 5. — Même plaque que les *fig.* 1, 2 et 3.
Plages *granitiques* de leverrierite englobant le quartz et le mica noir. Sur la gauche, deux quartz impressionnés. Très gros prisme de leverrierite s'insinuant entre les grains de quartz et les moulant. Une section hexagonale allongée, perpendiculaire à la bissectrice aiguë.

Fig. 6. — Leverrierite du Quartier-Gaillard (M. 291. 0).
Nombreuses lamelles de leverrierite parallèles au clivage ; l'une d'elles montre des lignes de macles. Quatre prismes parallèles accolés. Quelques plages *granitiques* enchevêtrées.

Fig. 7. — Même plaque.
Plages *granitiques* de leverrierite. Un gros cristal, au centre, froissé contre un quartz. Sections parallèles au clivage.

(*) Ces indications se rapportent au catalogue des plaques minces de la collection de l'École des Mines de Saint-Étienne.

Fig. 8. — Leverrierite de la Haute-Cappe (M. 291. 6 *bis*).
Neuf prismes parallèles accolés, laissant voir entre eux, soit des vides, soit des intervalles plus clairs qui correspondent à d'autres prismes. Mica noir moulé par la leverrierite.

Fig. 9. — Leverrierite du Qurtier-Gaillard (M. 291. 0).
Sections perpendiculaires à la bissectrice aiguë montrant les associations suivant m, avec ou sans compénétration.

Fig. 10 et 11. — Leverrierite de la Loire (M. 291. 0 à 10).
Sections p et g^1 montrant la disposition des axes d'élasticité.

Fig. 12. — Quartz corrodés et frangés dans les argiles à leverrierite de la Loire (M. 291, 0 à 10).

Fig. 13. — Leverrierite du Quartier-Gaillard (M. 291. 7).
Les nicols (A, P) sont croisés. Le dessin représente, au grossissement de 250 diamètres, l'extrémité d'un prisme de leverrierite placé dans la position d'éclairement maximum. On y voit sept lamelles d'hémitropie, les unes complètement éteintes, les autres présentant tous les passages entre l'obscurité et l'éclairement du prisme.

Planche XII.

Fig. 1. — Leverrierite de la Gagnérette (Gard) (R. 191).
Un gros cristal taillé parallèlement au clivage : sur la gauche, indices de macles ; sur la droite, sinus de corrosion. Houppes fines de mica noir. Une lamelle courbe de leverrierite. Cristaux de leverrierite usés et arrondis. Argile ferrugineuse.

Fig. 2. — Leverrierite du Quartier-Gaillard (M. 291. 0).
Plages *granitiques* de leverrierite. Quartz moulés. Deux sections hexagonales de leverrierite perpendiculaires à la bissectrice aiguë.

Fig. 3. — Leverrierite de la Haute-Cappe (M. 291. 6).
Prisme de leverrierite avec zones d'inclusions annulaires : ces zones d'inclusions sont en même temps des zones de coloration maxima. Un gros prisme à clivages froissés. Un quartz corrodé moulé par la leverrierite. Groupement de trois cristaux à axes parallèles.

Fig. 4. — Leverrierite du Quartier-Gaillard (M. 291, 1).
Plages *granitiques* enchevêtrées. Un quartz moulé. Mica englobé par la leverrierite. Deux belles sections parallèles au clivage.

Fig. 5. — Leverrierite du Quartier-Gaillard (M. 291. 9).
Quartz impressionnés. Mica, très beau, moulant la leverrierite. D'autres micas sont englobés par celle-ci. Nombreux groupements à axes parallèles.

Fig. 6. — Leverrierite du Quartier-Gaillard (M. 291. 8).
Mica très abondant, moulant le quartz et la leverrierite. Mica englobé par la leverrierite. Groupements à axes parallèles.

Fig. 7. — Leverrierite du gore d'Avaize (R. 318).
Texture fluidale suivant la ligne N.-O.-S.E. Beaux prismes de leverrierite contournés et cassés. Quartz rongés. La pâte est une argile fine, impure, avec développement de quartz grenu.

Fig. 8. — Leverrierite du gore d'Avaize (R. 317).
Texture très fluidale, suivant ligne S.-O.-N.E. Prismes de leverrierite usés et corrodés. Quartz bipyramidés rongés. Un zircon, en haut de la figure. Nombreuses sections hexagonales, ou polygonales, remplies d'une substance argileuse claire, isotrope, et ayant appartenu primitivement, selon toute vraisemblance, à du sel gemme ou à de l'apatite.

Fig. 9. — Leverrierite de Gagnières (Gard) (R. 315).
Trois cristaux noyés dans une argile très chargée de houille. L'un de ces cristaux possède des lignes de grosses inclusions, parallèles au clivage.

Fig. 10 et 11. — Inclusions de la leverrierite de la Loire (M. 291. 0 à 10).
Au grossissement de 500 diamètres.

Fig. 12. — Leverrierite du Quartier-Gaillard (M. 291. 4).
Développement de mica noir, dans les clivages de la leverrierite, ou entre les faces d'accolement des cristaux groupés.
Trois macles à axes parallèles. Une macle à angle droit.
Le grossissement est de 150 diamètres.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages

Introduction. 372

I. — COMPOSITION ET PROPRIÉTÉS DE LA LEVERRIERITE.

Composition. 377
Propriétés. 378
Examen microscopique. 379
Inclusions. 380
Propriétés cristallographiques. 382
Mâcles. 383
Résumé. 386

II. — DESCRIPTION DES ROCHES A LEVERRIERITE.

A. *Argiles houillères*. 387
Quartz rongés et impressionnés 389
Origine de la leverrierite. 390
— du mica noir. 390
Analogies avec le métamorphisme de certains terrains alpins. . . 393
Origine probable du terrain primitif 394
B. *Roches éruptives* 395
Gore du Bois d'Avaize (Loire). 397
Argile ferrugineuse de la Gagnérette (Gard). 398

EXPLICATION DES FIGURES 399

REVUE DE L'ÉTAT ACTUEL

DE

LA CONSTRUCTION DES MACHINES

Par M. ED. SAUVAGE, Ingénieur des mines,
Professeur du cours de machines à l'École nationale supérieure des mines.

A la suite de l'Exposition de 1878, M. Haton de la Goupillière a publié dans les *Annales des mines* (t. XVI, 7e série) une *revue des progrès récents de l'exploitation des mines et de la construction des machines à vapeur*. La Commission des *Annales* m'a chargé de rédiger une revue analogue relative aux machines à l'occasion de l'Exposition de 1889. La tâche n'est pas aisée, surtout après le remarquable travail de M. H. de la Goupillière; on peut craindre également des omissions importantes et la trop grande multiplicité des détails. Je n'ai d'ailleurs nullement cherché à faire du présent travail une revue de toutes les machines exposées, et je signalerai, à l'occasion, des appareils qui ne figuraient pas à l'Exposition. Je donnerai aussi quelques développements théoriques simples, qui pourront être connus de beaucoup de lecteurs, mais qui me paraîtront de nature à faire apprécier les différences des divers types de machines et à rendre compte des progrès effectués ou probables. Enfin je n'ai pas cru devoir me limiter absolument à l'examen des ma-

chines nouvelles; l'étude d'une classe d'appareils exige souvent qu'à côté des nouveautés, on rappelle des dispositions anciennes qui ont la sanction d'une longue expérience et continuent à être employées.

Vocabulaire technique. — L'emploi général des mêmes expressions techniques pour désigner les mêmes choses a un grand intérêt; le congrès international de mécanique appliquée, tenu à Paris en 1889, a précisé quelques mots fondamentaux, *force*, *travail*, *puissance*, le premier étant pris exclusivement dans le sens d'effort, le second désignant le produit d'une force par un chemin parcouru, enfin le troisième le quotient d'un travail par le temps (voir *Comptes rendus de l'Acad.*, du 23 septembre 1889).

La force a pour unité le kilogramme; la valeur du kilogramme étant variable d'un point à un autre à la surface de la terre, on a choisi pour le définir la valeur moyenne fixée par le comité international des poids et mesures. L'unité de travail est le kilogrammètre. Enfin, pour la puissance, tout en conservant l'unité usuelle du cheval de 75 kilogrammètres par seconde, on a introduit l'unité commode de 100 kilogrammètres par seconde, qu'on a appelée *poncelet*, en laissant toute liberté pour l'emploi de l'une ou de l'autre.

Un autre point sur lequel une entente générale serait bien utile est l'emploi des lettres dans les formules fondamentales. Les divers auteurs se servent souvent de notations différentes pour les mêmes quantités; il en résulte une grande perte de temps dans les recherches, surtout lorsqu'on ouvre un livre pour y trouver un renseignement isolé. Combien est commode au contraire l'emploi des symboles tels que π, g, e, qu'il n'est même plus besoin de définir! Pour certaines branches de la mécanique, on se sert de notations assez généralement adoptées, par exemple celles de Zeuner dans l'étude des

vapeurs. La fixation, bien précise, même d'un petit nombre de symboles, faite par une réunion des délégués des principales sociétés compétentes, rendrait un service plus grand qu'on ne le peut croire à première vue.

Je commencerai par l'étude des moteurs thermiques et je suivrai l'ordre adopté pour le cours de machines professé à l'École nationale supérieure des mines, cours dont le programme figure dans le tome XV de la 8e série des *Annales*, p. 246.

CHAPITRE Ier.

MOTEURS A AIR CHAUD.

L'usage des moteurs à air chaud paraît se développer depuis quelques années. Les avantages spéciaux de ces appareils, commodité et surtout sécurité dans l'emploi, même s'ils sont confiés à des conducteurs peu adroits, mise en train assez rapide, les font quelquefois adopter pour des puissances petites et moyennes, 15 à 20 chevaux au plus en général. Je citerai, entre autres, leur emploi dans les phares, en France et en Angleterre, pour l'éclairage électrique et la mise en action des sirènes en cas de brouillard. Le nombre des types de moteurs à air chaud qui ont été proposés est considérable; quelques-uns seulement de ces types se sont répandus. Ces machines doivent être étudiées et construites avec grand soin, car les joints et les garnitures sont moins étanches à l'air qu'à la vapeur, et les frottements se font entre surfaces souvent fort chaudes et par suite difficiles à lubréfier, les huiles prenant une fluidité très grande ou se décomposant aux températures élevées. La bonne étude des détails et la perfection de l'exécution sont donc indispensables au succès d'un moteur à air chaud.

Les types si nombreux de ces appareils peuvent se

ranger en trois catégories, savoir : 1° machines à masse d'air constante, alternativement chauffée et refroidie, machines caractérisées par l'absence de tiroirs, soupapes ou autres organes de distribution ; 2° machines à cylindre moteur chauffé extérieurement et muni d'un appareil de distribution ; 3° machines à foyer clos soufflé sous pression. Les deux premières catégories ont pour types caractéristiques les célèbres machines, aujourd'hui disparues, de Stirling et d'Ericsson, première forme (voir *Annales*, 5e série, t. II, p. 453 ; t. IV, p. 451 et 504 ; t. V, p. 775) ; ces machines sont remarquables par l'emploi des régénérateurs formés de toiles métalliques ou autres substances qui recueillent la chaleur des gaz à un certain moment de leur évolution pour la restituer à un autre, appareils fonctionnant bien pourvu que leur poids soit d'au moins quarante fois celui de l'air qui les traverse à chaque évolution, et que toute leur masse soit également pénétrée par le courant. J'insiste sur ces détails parce que ces appareils ont été appliqués de nouveau et peuvent l'être souvent encore. Grâce à l'emploi de ces régénérateurs, le cycle théorique de l'évolution des gaz, c'est-à-dire l'évolution idéale dont on cherche à rapprocher autant que possible leur évolution effective, a le même rendement que le cycle de Carnot entre deux températures données, sans présenter, comme ce dernier, des écarts excessifs de pressions et de volumes.

Les trois cycles de Stirling ABCD, d'Ericsson AEBC, et de Carnot AFGD, pour un gaz parfait, sont représentés *fig.* 1, Pl. XIII ; ils sont formés de deux arcs d'hyperboles équilatères, courbes isothermes correspondant aux deux températures absolues extrêmes t_1 et t_2, et de deux parallèles à l'axe des pressions pour le premier, de deux parallèles à l'axe des volumes pour le second, enfin des deux courbes adiabatiques, $pv^{1,4} =$ constante, pour le troisième ; leurs surfaces, correspondant au travail

produit, sont les mêmes, les quantités de chaleurs reçues à t_1 et cédées à t_2 sont les mêmes, et les pressions extrêmes sont les suivantes, en prenant pour unité la pression au point A, si $t_1 = 3\,t_2$:

Cycle de Stirling	3 et 1/3
Cycle d'Ericsson.	3 et 1
Cycle de Carnot.	43,6 et 1/3

L'écart des pressions montre qu'il est bien difficile, en employant un gaz, de réaliser ce dernier cycle.

On trouvera une étude complète des moteurs à air chaud dans le *Cours de machines* de M. *H. de la Goupillière.*

A la première catégorie des moteurs à air chaud appartient la machine Rider, déjà connue en 1878, mais plus répandue aujourd'hui (voir la *Revue industrielle* des 25 avril 1883, p. 165, et 17 mars 1888, p. 101, et une étude complète dans la *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, t. XXV, p. 633). Le principe de cette machine est semblable à celui de la curieuse machine Franchot, étudiée avec détail par *Combes* dans sa *Théorie mécanique de la chaleur*, et par *Pochet* dans sa *Nouvelle mécanique industrielle.* La machine Franchot, dont le modèle seulement a été construit en 1855, se compose de deux cylindres à double effet, de même dimension, dont les pistons attaquent deux manivelles calées à angle droit sur un arbre unique ; l'un des cylindres est chauffé par un foyer, l'autre rafraîchi par une circulation d'eau ; la manivelle du cylindre chaud précède, dans la rotation de l'arbre, celle du cylindre froid ; enfin, les cylindres communiquent par deux conduits contenant chacun un régénérateur. Les variations de pression des deux masses d'air égales, séparées par les pistons, masses d'air dont une fraction variable est chaude ou froide, produisent comme résultante, pour un tour complet, un travail moteur sur l'arbre.

La machine Rider est à simple effet, ce qui permet l'emploi de pistons plongeurs assez longs pour que la partie frottante soit soustraite à l'action trop énergique de la chaleur dans le cylindre chaud; la garniture de ce piston est d'ailleurs entourée d'une enveloppe à circulation d'eau. Le fond du cylindre moteur est en forme de cul de bouteille, afin d'augmenter la surface de chauffe; c'est une pièce de fonte amovible, facile à remplacer en cas d'usure. Une gaîne intérieure fixe, en tôle, force l'air, entrant dans le cylindre, à lécher toutes les parois chauffées.

Ce sont surtout les machines de la troisième catégorie, à foyer clos soufflé sous pression, qui sont répandues aujourd'hui. Dans la machine Brown (*Buckett caloric engine*), comme dans l'ancienne machine de Belou, une pompe comprime l'air dans un réservoir clos contenant le foyer; les gaz chauds travaillent dans le cylindre moteur, puis s'échappent au dehors. Dans la machine Bénier, dont plusieurs exemplaires, d'une puissance de 6 à 15 chevaux, figuraient à l'Exposition de 1889, et qui est décrite dans le *Portefeuille économique des machines* de décembre 1888, le foyer occupe le fond même du cylindre moteur, placé verticalement et à simple effet; le piston frotte contre la partie supérieure de ce cylindre, c'est-à-dire loin du feu; le piston porte d'ailleurs un appendice qui remplit à peu près complètement le cylindre comme le fait un plongeur; la surface de portée est assez longue, et le piston est étanche bien qu'il ne soit muni d'aucun segment élastique, au moins dans la machine neuve. L'air injecté par la pompe de compression se divise en deux parties, une qui traverse le combustible, l'autre qui pénètre par-dessus, entre le cylindre et le prolongement inférieur du piston, éloignant ainsi les cendres des surfaces frottantes. Cette division de l'air en deux branches, qui existe dans la plupart des moteurs

de la troisième catégorie, permet de régulariser aisément la vitesse de machine, en faisant agir le régulateur sur un papillon qui modifie la proportion des deux branches d'air et par suite la température de leur mélange. Dans le moteur Bénier, les surfaces frottantes sont maintenues en bon état par une circulation d'eau dans une chemise entourant le cylindre. C'est un remède héroïque qu'on applique dans les moteurs à gaz, et qui assure la conservation et même la marche des machines, aux dépens de leur rendement thermique. Le combustible est introduit dans le foyer à l'aide d'un distributeur mécanique qui ne laisse aucune communication ouverte avec l'atmosphère. Ce combustible est du coke de four qui doit tenir peu de cendres, le nettoyage du foyer entraînant un arrêt de la machine. Enfin un tiroir et une soupape d'échappement règlent la distribution de l'air.

La *Zeitschrift des V. Deutscher Ing.* pour 1889, p. 89, donne la relation d'intéressantes expériences faites à Cologne sur un moteur Bénier de 4 chevaux. De ces expériences il résulte que, sur 100 calories produites par la combustion du coke :

6 se transformaient en travail indiqué correspondant à la différence de la surface des diagrammes relevés dans le cylindre moteur et dans la pompe de compression;

41,5 étaient emportés par l'eau de l'enveloppe;

46,5 par les gaz d'échappement;

6 se dissipaient par conductibilité et rayonnement.

Enfin, le travail effectif sur l'arbre, mesuré au frein, était 0,69 du travail indiqué, l'appareil d'alimentation du foyer absorbant une fraction notable du travail indiqué.

Dans le moteur Todt (voir *Zeitschrift D. I.*, t. XXV, p. 341, et *Revue industrielle*, 1881, p. 201) on diminue la quantité de chaleur emportée par les gaz d'échappement, de la manière suivante : les gaz chauds provenant

d'un foyer clos soufflé poussent d'abord un piston moteur; pendant le retour, ils passent d'un côté à l'autre de ce piston dans le cylindre; ils sont refroidis par une circulation et une injection d'eau et leur pression s'abaisse au-dessous de celle de l'atmosphère, de sorte que, pendant une nouvelle course du piston, la contre-pression sur ce piston se trouve réduite pendant une partie du trajet.

Nous arrêterons ici cette description sommaire de quelques exemples choisis parmi les types si nombreux de moteurs à air chaud, types dont un grand nombre n'existent, d'ailleurs, qu'à l'état de projet. C'est surtout sous la forme de moteurs à gaz, examinés au chapitre prochain, que les moteurs à air chaud se sont développés.

CHAPITRE II.

MOTEURS A GAZ.

Si, pour les moteurs à air chaud, nous avions à signaler quelques applications récentes, nous avons à enregistrer, pour les moteurs à gaz, une extension considérable, qui porte et sur le nombre et sur la puissance des machines. Ainsi que nous venons de le dire, les moteurs à gaz ne sont qu'une variante des moteurs à air chaud : nous avons vu introduire le combustible solide dans le cylindre moteur même de ces machines; on conçoit qu'il est plus commode d'y faire pénétrer un combustible gazeux, transformant ainsi le moteur à air chaud de notre troisième catégorie en moteur à gaz.

La multiplicité des moteurs à gaz à l'Exposition de 1889, la grande puissance de certains de ces moteurs, montrent la faveur dont jouit aujourd'hui ce type de machine. M. Witz, dans la *Revue technique de l'Exposition*

universelle de 1889, a décrit vingt-cinq moteurs parmi ceux exposés, en nombre un peu plus grand. Nous les voyons employés dans trois cas différents : en premier lieu, comme petits moteurs, propres, commodes, sans dangers, avantageux pour l'emploi intermittent par la facilité de les mettre en marche et de les arrêter sans préparatifs; c'est à peu près exclusivement sous cette forme et pour cet usage qu'ils sont cités, en 1878, par M. *H. de la Goupillière* (*Annales*, 7e s., t. XVI, p. 187); en second lieu, les mêmes raisons de commodité, de propreté, de facilité du service les font parfois adopter aujourd'hui pour les puissances assez grandes de 50, 60 chevaux, surtout lorsque l'emplacement disponible est très restreint, malgré le prix élevé du gaz d'éclairage dans bien des villes : tel est souvent le cas des moteurs pour l'éclairage électrique des théâtres et autres établissements publics; les propriétaires d'usines à gaz cherchent, dans l'emploi de ces moteurs, une compensation à la suppression de l'éclairage direct par le gaz.

Les applications du troisième genre, encore assez rares, il est vrai, sont les plus importantes pour le théoricien, car elles font entrevoir une transformation possible des puissants moteurs actuels de l'industrie (c'est, d'ailleurs, toujours avec une grande réserve qu'il faut faire des suppositions en pareille matière) : je veux parler de l'emploi de grandes machines à gaz, dépassant parfois la puissance de 100 chevaux, montées au lieu de machines à vapeur sans autres motifs que l'espoir d'une économie dans l'emploi. Ces machines consomment quelquefois du gaz d'éclairage ordinaire, mais distillé dans l'usine même où elles sont montées, et plus souvent un combustible gazeux obtenu par l'action de l'air et de la vapeur d'eau sur le charbon.

Pour la description détaillée des moteurs, nous renverrons le lecteur à deux livres français importants sur

la question, le *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*, par *A. Witz* (Paris, 1886), utile surtout pour l'étude théorique de ces machines, et le bel ouvrage de *G. Richard* sur *les moteurs à gaz* (Paris, 1885), avec un atlas très complet.

Principe des moteurs à gaz. — Dans la plupart de ces moteurs, nous avons un mélange détonant d'air et de gaz combustible avec un excès d'air et d'autres gaz (azote, acide carbonique), qui occupe un volume fixé dans un cylindre où se meut un piston, ce piston étant en un point déterminé de sa course, souvent à fond de course; le volume fixé du mélange est alors celui de l'espace libre du cylindre, fait à dessein assez grand et formant une chambre spéciale. On fait détoner le mélange gazeux; sa température et sa pression s'élèvent brusquement; les gaz chauds et comprimés ainsi à plusieurs atmosphères chassent le piston en se détendant et exercent un travail moteur. La détente peut être poussée jusqu'à la pression atmosphérique. Les gaz brûlés sont alors rejetés au dehors en totalité ou en partie pendant le retour du piston.

Tel est le principe de la grande catégorie des *moteurs à explosion*, subdivisée en deux classes, suivant que le mélange gazeux, au moment où va se produire l'explosion, est à la pression atmosphérique ou a été, au préalable, comprimé à une pression supérieure (moteurs sans compression, moteurs à compression). Un type spécial du moteur sans compression était le *moteur atmosphérique*, représenté par la machine Otto-Langen, qui figurait à l'Exposition de 1867; dans cette machine, c'est la course de retour du piston qui est motrice, parce que, d'une part, le travail moteur à l'aller est seulement employé à soulever le piston, qui est très lourd, au lieu d'être immédiatement transmis à l'arbre de la machine,

et, d'autre part, la pression des gaz dans le cylindre, pendant cette course de retour, diminue au-dessous de la pression atmosphérique, par suite de leur refroidissement suffisant. L'atmosphère exerce ainsi une pression motrice; les gaz brûlés ne sont expulsés qu'à la fin de la course descendante, quand leur volume est assez réduit pour ramener leur pression à celle de l'atmosphère (voir le *Cours de machines* de M. *H. de la Goupillière*, t. I, p. 671).

A l'opposé des moteurs à explosion se place la catégorie, bien moins importante, des *moteurs à combustion*. Injectons dans un cylindre un jet d'un mélange combustible, qui brûle à mesure qu'il pénètre dans le cylindre: nous obtenons des gaz chauds à une certaine tension, qui poussent un piston; cette tension est entretenue par la combustion continue du mélange, qui, bien entendu, devra être refoulé sous une pression suffisante. Lorsque le piston a parcouru une certaine fraction de sa course, on supprime l'arrivée du mélange, et les gaz chauds du cylindre poussent le piston jusqu'au bout en se détendant; ils sont enfin expulsés pendant le retour du piston. On a trois périodes exactement comparables aux phases d'admission, de détente et d'échappement dans une machine à vapeur.

Types généralement adoptés. — Sauf de rares exceptions, tous les moteurs sont à explosion; et, sauf parfois pour les faibles puissances (moins d'un cheval, 1, 2 ou 3 chevaux), on emploie la compression préalable du mélange. Comme exemple nous citerons le moteur si connu d'Otto, qui a paru à l'Exposition de 1878 et s'est largement répandu depuis. La succession des phénomènes y forme le cycle à quatre temps, indiqué par Beau de Rochas en 1861 et reproduit dans un grand nombre de machines.

Étude théorique des machines. — Le cycle théorique du moteur Otto est représenté *fig.* 2, Pl. XIII : O*b* est le volume de l'espace libre laissé par le piston à fond de course, *ba* le volume engendré par le piston dans sa course entière; dans le premier temps, le piston aspire un volume EA de mélange combustible à la pression atmosphérique; ce volume se réunit au volume O*b* de gaz à la même pression qui restait dans l'espace libre; au second temps, le piston revient en arrière, et comprime le mélange du volume O*a* au volume O*b*, la pression croissant de *a*A à *b*B. A ce moment a lieu l'explosion : la pression s'élève subitement à *b*C; au troisième temps, les gaz à la pression *b*C poussent le piston en se détendant jusqu'au volume O*a* et à la pression *a*D; c'est la période motrice, qui ne se produit que pendant un demi-tour sur deux tours de l'arbre de la machine. Enfin, au quatrième temps, les gaz s'échappent au dehors, et le piston revient (une seconde fois) à son point de départ (parcours AE).

Un indicateur monté sur le cylindre de la machine donne un diagramme un peu différent, représenté en traits mixtes, qui montre que l'explosion n'est pas instantanée, et que les pressions à l'aspiration et à l'expulsion sont moindres et plus fortes que la pression atmosphérique, par suite du passage des gaz par des orifices nécessairement étroits.

L'un des points les plus importants de l'étude des moteurs est la détermination de la pression *b*C, après l'explosion d'un mélange gazeux de composition connue, à la pression *b*B. On arrive à des chiffres exagérés et dépassant beaucoup ceux que donne l'expérience en considérant le nombre de calories dégagées par la combustion, calories qui échauffent les gaz, et supposant constante leur chaleur spécifique aux températures élevées. Les travaux de MM. Mallard et Le Chatelier sur la combustion des mélanges gazeux explosifs (*Annales*, 8e série, t. IV, p. 274) ont mis en évidence l'augmentation de la chaleur spécifique avec la température, et ont fourni de précieux documents sur les températures de combustion et la vitesse de propagation de la flamme dans les mélanges.

En fait, la température, après l'explosion des mélanges riches en gaz combustibles, ne dépasse guère 1.800 degrés; et la pression finale *b*C, pour un mélange donné à une température donnée, est proportionnelle à la pression initiale *b*B. C'est ainsi qu'on obtient une pression après l'explosion de 5 à 7 atmosphères environ dans les moteurs sans compression, et de 15 à 20 atmosphères avec une compression de 3 atmosphères, pour des mélanges riches. Ce fait explique le principal avantage de la compression, le travail moteur se trouvant augmenté d'une quantité qui dépasse beaucoup le travail résistant de la compression. Il est avantageux de comprimer fortement les gaz avant l'explosion : on est arrêté par la nécessité de ne pas exagérer les efforts sur les pièces de la machine lors de l'explosion.

Pour que la détente CD rendît le plus grand travail possible, il faudrait qu'elle fût adiabatique, tandis qu'en réalité, une partie de la chaleur des gaz se dissipe au contact des parois du cylindre; la chute de pression est ainsi augmentée et le travail produit est diminué. Ce qui contribue à exagérer cet effet est la nécessité de refroidir le cylindre pour assurer la conservation des surfaces frottantes : à cet effet, une circulation d'eau est établie dans une enveloppe du cylindre. Pour les petits moteurs, on peut se contenter de cylindres à ailettes extérieures rafraîchies par l'air ambiant.

Afin de réduire, autant que possible, cette perte de chaleur, on cherche à ne pas obtenir, après l'explosion, une température trop élevée, en ajoutant au mélange dé-

tonant un excès d'air ou de gaz inertes provenant d'une explosion précédente : on conçoit que la perte de travail résultant d'une température initiale moins élevée puisse être plus que compensée par une moindre perte de chaleur par les parois ; en outre, on cherche parfois à effectuer la détente aussi vite que possible (voir les *Recherches expérimentales sur le moteur à gaz*, par *Salanson* dans les *comptes rendus des* 13e *et* 14e *Congrès de la Société de l'industrie du gaz*, 1886 et 1887). La proportion du gaz d'éclairage ordinaire dans les moteurs Otto est habituellement de 1 volume pour 8 à 10 volumes d'air.

Nous avons supposé l'explosion instantanée : en réalité, la combustion du gaz demande un certain temps et paraît même n'être complète que vers la fin de la course du piston. Cette circonstance est de nature à diminuer le rendement des moteurs ; mais elle rapproche la courbe de détente réelle de la courbe adiabatique, ainsi que le fait remarquer le professeur F. Jenkins dans un intéressant mémoire sur les moteurs à gaz et à air chaud (*Lectures at the inst. of civil Engineers*, 21 fév. 1884).

L'examen du diagramme montre un défaut théorique des machines Otto et analogues : la détente cesse et l'échappement commence au plus tard quand les gaz ont atteint un volume O*a* égal à leur volume primitif avant compression. Or la détente peut être poussée plus loin, jusqu'à ce que la tension des gaz devienne égale à celle de l'atmosphère ; mais il faut pour cela que la course d'aspiration du piston soit moindre que la course motrice, ou qu'on fasse usage de pistons différents.

Même avec cette détente allongée, la machine admet encore un perfectionnement : les gaz échappés au dehors auront la pression atmosphérique, mais leur température sera supérieure à leur température initiale, qui est celle de l'air ambiant. On perdra ainsi un certain nombre de calories utilisables. Disons qu'on a essayé, sans grand

succès pratique, de recueillir dans un régénérateur ces calories perdues pour les restituer aux gaz entrant dans la machine.

Modifications du genre Otto en vue d'améliorer le rendement du cycle théorique. — Le moteur Atkinson a (voir *Engineering* des 21 août 1885, p. 188, et 22 février 1889, p. 178) deux pistons qui se meuvent dans un cylindre ouvert aux deux bouts, et sont reliés à un arbre unique par une transmission telle que l'espace entre les pistons après le temps 4 du cycle (détente) est plus grand qu'après le temps 2 (aspiration). Dans le moteur Charon, qui figurait à l'Exposition, la course motrice (3e temps) est plus longue que la course comprimante (2e temps), celle-ci étant réduite de la manière suivante : la compression ne commence pas dès le retour du piston, car le cylindre reste d'abord en communication avec l'atmosphère, mais par l'intermédiaire d'un long tube où s'emmagasine la fraction du mélange combustible rejetée au dehors, pour rentrer dans le cylindre avec une nouvelle quantité d'air lors de l'aspiration suivante. M. Witz indique, pour un moteur Charon de 4 chevaux, la consommation extrêmement faible de 535 litres de gaz par cheval-heure, la température des gaz d'échappement étant abaissée jusqu'à 250 degrés.

Dans le moteur Benz, la compression ne se produit également que pendant la seconde partie de la course du retour du piston ; pendant la première partie, les gaz brûlés sont expulsés par l'action d'un courant d'air qui balaye le cylindre : cet air vient d'un réservoir où le comprime le piston de la machine travaillant dans le compartiment avant du cylindre, fermé pour servir de pompe à air. On corrige ainsi en outre un des graves défauts des moteurs du genre Otto, défaut qui provient de l'emploi du cycle à 4 temps : la machine ne donne

d'effort moteur que pendant un demi-tour sur deux, ce qui exige des volants considérables pour obtenir une vitesse régulière, et augmente beaucoup les dimensions de la machine pour une puissance déterminée.

Le moteur Dugald-Clerc est exempt également de ce défaut, mais grâce à l'usage d'une pompe à air spéciale ; de même le moteur Holt et Crossley, et plusieurs autres.

Moteurs compound. — Dans la plupart des moteurs, les gaz ont encore une pression assez élevée au moment où commence leur échappement: on conçoit qu'il est possible d'employer ces gaz en mettant en communication le premier cylindre moteur, pendant le retour de son piston, avec un autre cylindre plus grand, dont le piston effectue alors une course motrice, et rejette les gaz au dehors pendant son retour. C'est un fonctionnement analogue à celui de la machine de Woolf. Cette disposition a été essayée, mais elle paraît abandonnée aujourd'hui. Remarquons que, vu la nécessité de refroidir énergiquement les parois des cylindres des moteurs à gaz, on ne peut trouver dans leur fonctionnement à détente successive les avantages que donne, dans ce cas, pour les machines à vapeur, le moindre écart des températures extrêmes dans chaque cylindre.

Moteurs sans compression. — L'ancien moteur Lenoir, construit en 1860, fonctionnait sans compression ; on a renoncé à ce type à cause de la dépense considérable de gaz, sauf pour les faibles puissances. Tel est, par exemple, le moteur Bisschop, construit pour donner 3 à 75 kilogrammètres par seconde. Le piston aspire le mélange inflammable pendant la première moitié de sa course ; l'explosion se produit alors, et la seconde moitié de la course est motrice ; pendant le retour du piston, les gaz brûlés sont rejetés au dehors. Le cylindre n'est

pas refroidi par une circulation d'eau, des ailettes venues de fonte suffisent.

Citons encore les petits moteurs du même genre Bénier, Forest, Noël.

Rendement des moteurs. — Les bons moteurs à compression, d'une puissance un peu considérable, dépensent 600 à 800 litres de gaz par cheval-heure indiqué, le gaz ayant un pouvoir calorifique à volume constant de 5.000 à 5.500 calories par mètre cube. Un cheval-heure est un travail de 270.000 kilogrammètres, équivalent à 637 calories : on utilise donc 637 calories sur 3.000 à 4.000, soit 16 à 21 sur 100 ; environ la moitié du nombre total de calories produites est emportée par l'eau qui circule autour du cylindre ; le reste se retrouve dans les gaz d'échappement. Le rendement, ou rapport de la quantité de chaleur transformée en travail à la quantité de chaleur totale dépensée, est élevé si on le compare au rendement des machines à vapeur, mais assez faible si on la compare au rendement théorique maximum donné par la formule de Carnot $\frac{t_1 - t_2}{t_1}$, t_1 étant la température absolue (soit $1.800° + 273°$) des gaz après l'explosion, et t_2 la température ambiante absolue, soit $27° + 273°$. Ce rendement est 0,85. On suppose, en appliquant cette formule, que l'échauffement des gaz par leur combinaison chimique est assimilable à l'échauffement par une source de chaleur extérieure ; la formule du rendement théorique qu'on déduit de cette supposition ne doit donc pas être considérée comme rigoureuse, mais elle donne une indication utile. Elle nous montre que, si le rendement des bons moteurs à gaz est déjà considérable quand on le compare à celui des machines à vapeur, il est probable qu'on arrivera à l'augmenter encore.

Ajoutons que le travail effectif, disponible sur l'arbre d'un bon moteur Otto, pourra être les 0,8 du travail indiqué.

MM. W. E. Ayrton et J. Perry ont donné, dans le *Philosophical magazine*, s. 5, vol. XVIII, juillet 1884, la distribution de la chaleur totale produite dans un moteur Otto. Ajoutons que de nombreuses expériences ont été récemment faites en Angleterre sur les moteurs à gaz : on en trouvera le compte rendu dans les n^{os} des 16, 23 et 30 mars 1889 de la *Lumière électrique* (travail de G. Richard) et dans le n° du 3 août 1889 de la *Zeitschrift des V. Deutscher Ing.*

Passons à l'examen des détails les plus importants des machines.

Distribution. — Des tiroirs et des soupapes règlent l'arrivée et le départ des gaz. Dans le moteur Otto, c'est un tiroir qui permet l'entrée d'air et de gaz pendant l'aspiration; une soupape sert à l'échappement pendant le 4e temps du cycle. Dans les grandes machines, on a récemment fait la distribution entièrement par soupapes.

On ne cherche pas, en général, à doser exactement en volumes l'air et le gaz qui entrent dans le cylindre ; c'est par un réglage convenable des sections de passage, réglage fait par tâtonnements, qu'on proportionne le dosage. Ce qu'on cherche souvent, et notamment dans le moteur Otto, c'est à obtenir un mélange plus riche en gaz combustible au point où se fait l'allumage, afin qu'il se produise sûrement même avec une faible teneur moyenne.

Il est, en effet, avantageux d'employer des mélanges aussi pauvres en gaz combustibles qu'on le peut, ainsi que nous l'avons fait remarquer déjà : la seule limite est donnée par la condition d'un allumage certain. Disons ici qu'un des avantages de la compression est de permettre l'inflammation des mélanges pauvres. On ne voit donc, en principe, aucun inconvénient au mélange avec les gaz combustibles d'une fraction des gaz brûlés provenant d'une combustion précédente, mélange qui se produit dans le moteur Otto ; et il paraît difficile d'approuver le principe des moteurs à 6 temps, qui diffèrent de ceux à 4 temps par l'addition d'une période d'aspiration d'air pur (5e temps) et d'une période d'expulsion de cet air (6e temps), pour faire une sorte de lavage du cylindre avant de recommencer un nouveau cycle (sauf le cas où l'on fait usage de gaz combustibles déjà très pauvres).

Il est nécessaire de régulariser la vitesse de la machine malgré les variations du travail résistant : l'idée qui se présente d'abord à l'esprit est d'employer un régulateur à faire varier la section de passage et par suite la proportion du gaz combustible; c'est ce qui a lieu dans certaines machines. Mais si le mélange est normalement pauvre, ce qui, nous le savons, est avantageux pour l'économie, une trop forte réduction de la proportion déjà faible du gaz aurait pour effet la non inflammation du mélange. Aussi préfère-t-on souvent faire agir le régulateur de manière à fermer complètement l'arrivée du gaz combustible, quand la machine s'accélère; le travail moteur du deuxième temps du cycle ne se produit pas, mais on ne dépense pas de gaz.

Afin d'obtenir une régularité plus grande, nécessaire surtout pour la commande des machines d'éclairage électrique, et aussi afin d'augmenter la puissance des moteurs sans accroître par trop la dimension de leurs organes, ce qui présente des difficultés pratiques assez grandes, on fait usage de moteurs à deux et même à quatre cylindres. Les deux cylindres d'un moteur Otto sont accolés et commandent deux manivelles calées de même sur l'arbre, et les temps des cycles sont croisés, le troisième temps dans l'un des cylindres se produisant

au même instant que le premier temps dans l'autre. On a ainsi alternativement un demi-tour moteur et un demi-tour résistant. Les deux manivelles d'un type à deux cylindres construit par Crossley sont cependant disposées à 180 degrés, pour mieux équilibrer les pièces en mouvement; on voit aisément que la machine ainsi disposée reçoit un effort moteur pendant un tour complet sur deux. Dans les deux cas, les pièces de distribution des deux cylindres sont commandées par un mécanisme unique. Dans les moteurs Otto à quatre cylindres, une seconde paire de cylindres accolés est placée en regard de la première, de l'autre côté de l'arbre moteur, qui ne porte encore que deux manivelles. Le fonctionnement des machines à quatre cylindres est satisfaisant; on peut seulement reprocher à cette disposition d'augmenter notablement le prix des machines.

Allumage. — L'allumage des mélanges explosifs dans le cylindre se fait suivant trois modes différents, par transport de flamme, par contact avec une paroi chauffée au rouge, et à l'aide de l'étincelle électrique.

Le transport de flamme, très simple quand le mélange explosif a la pression atmosphérique, se fait aussi dans les mélanges comprimés, grâce à des dispositions ingénieuses : ainsi le tiroir de la machine Otto entraîne dans une cavité spéciale des gaz enflammés en dehors et y laisse pénétrer un jet très ténu de gaz comprimés, pour y élever la pression et nourrir la flamme jusqu'à ce qu'elle communique avec l'intérieur du cylindre par l'orifice d'admission.

Dans la machine Kœrting, un jet combustible s'échappe du cylindre par une petite tuyère divergente et s'enflamme sur un brûleur constamment allumé; la flamme remonte dans la tuyère jusqu'au point où la vitesse d'écoulement du gaz est égale à celle de la propagation de la flamme;

elle reflue dans le cylindre au moment où une soupape ferme le débouché extérieur de la tuyère. Cette disposition paraît être l'une des plus simples possibles pour transporter la flamme dans une enceinte sous pression.

Le second système d'allumage, par contact avec paroi chauffée au rouge à l'aide d'une flamme extérieure, paraît se répandre; nous le trouvons notamment adopté pour l'un des derniers types Otto, petit moteur vertical de faible puissance. Au moment où doit se produire l'explosion, le mélange pénètre dans un tube en fer porté au rouge par un bec Bunsen extérieur. On a pu, dans le petit moteur que je viens de citer, supprimer la soupape ou autre organe de distribution permettant au mélange de pénétrer dans le tube chaud au moment voulu; ce tube chaud est en communication constante avec le cylindre, mais par l'intermédiaire d'un conduit d'une certaine longueur; après le quatrième temps d'un cycle d'opération, le tube et le conduit restent remplis de gaz inertes, à la pression atmosphérique; pendant le premier temps du cycle suivant (aspiration du mélange) ces gaz inertes restent dans le conduit, sauf la diffusion d'une faible fraction à l'embouchure du conduit; pendant le second temps (compression), les gaz inertes se compriment aussi dans le conduit et le tube chaud et s'y trouvent par suite refoulés, la surface de séparation des gaz inertes et du mélange combustible restant bien marquée vu le faible diamètre du conduit (12 millimètres). On conçoit alors qu'on puisse régler les capacités du tube et du conduit, de telle sorte que le mélange explosif vienne au contact des parois rouges juste au moment où le piston de la machine arrive au fond de sa course; une vis de réglage permet de faire varier à cet effet la capacité du conduit. Dans les grandes machines, une soupape est nécessaire entre le tube chauffé au rouge et le cylindre; cette soupape s'ouvre au moment précis où l'allumage doit se produire.

Le troisième mode d'allumage, à l'aide de l'étincelle électrique, était celui des premières machines Lenoir, en 1860 ; il a été souvent repris, soit qu'il parût plus commode dans certains cas, soit surtout lorsqu'on a substitué au gaz les liquides volatils, substitution fréquente dont nous parlerons un peu plus loin. Le courant électrique est produit soit à l'aide de piles, soit par une petite machine magnéto-électrique simple, actionnée par le moteur. C'est un procédé commode d'allumage ; il exige quelques précautions, afin que les conducteurs qui doivent donner l'étincelle ne puissent se couvrir de dépôts gras ou autres.

Les trois modes d'allumage continuent à être employés simultanément.

Détails de construction. — Pour qu'un moteur à gaz fonctionne d'une manière satisfaisante, il est indispensable que tous les détails en soient bien étudiés, et que l'exécution soit très soignée. Les surfaces frottantes sont exposées à des températures élevées, les pressions sont très fortes au moment de l'explosion ; on sait d'ailleurs qu'il est plus difficile d'avoir des garnitures étanches pour les gaz que pour la vapeur, à égalité de pression. Aussi les pistons ont d'habitude une grande longueur et sont munis de plusieurs bagues élastiques. Les soupapes d'échappement, traversées par des gaz encore très chauds, doivent être l'objet de soins particuliers dans la construction pour ne pas se déformer et pour rester étanches ; elles sont fréquemment enveloppées d'eau comme le cylindre. Le graissage doit être bien distribué et abondant ; il entraîne une dépense assez considérable.

Les conditions de bonne étude et de bonne exécution se trouvent bien remplies pour certains types qui sont l'objet d'une fabrication importante dans un atelier

unique, bien outillé pour cette fabrication spéciale et où toutes les pièces sont construites par séries sur calibres.

La résistance des pièces du mécanisme et du cylindre est, bien entendu, calculée pour les efforts que ces pièces doivent supporter ; dans un moteur à quatre temps, comme l'effort moteur ne se produit que par courtes intermittences et que les pressions d'explosion sont élevées, on est conduit à des sections de pièces et à des surfaces de portée des coussinets relativement considérables pour une puissance donnée.

Moteurs au gaz de gazogène. — Une des nouveautés importantes est l'emploi de moteurs puissants alimentés, non plus par le gaz d'éclairage, mais par un gaz produit spécialement dans un gazogène. Il existe plusieurs procédés pour obtenir, avec du charbon, des gaz combustibles : pour l'emploi dans les moteurs, il convient que ces gaz ne contiennent ni soufre ni goudrons, afin d'éviter l'attaque des pièces en métal par les acides du soufre et l'engorgement par les dépôts goudronneux.

C'est l'appareil *Dawson* qui paraît le plus répandu pour alimenter les moteurs : il consiste en un petit cubilot à grille, rempli d'anthracite ou de coke. Un jet de vapeur, produite dans un serpentin chauffé, arrive sous la grille par une tuyère disposée pour entraîner en même temps de l'air. L'air donne de l'oxyde de carbone, et la combustion du charbon dégage assez de chaleur pour que la vapeur d'eau soit décomposée en hydrogène et oxygène, qui se transforme également en oxyde de carbone. Il se produit aussi parfois de l'acide carbonique ; ainsi une analyse de gaz Dawson donne, sur 100 volumes, 19 d'hydrogène, 25 d'oxyde de carbone, 7 d'acide carbonique et 49 d'azote. Le pouvoir calorifique de ce gaz est environ le quart de celui du gaz d'éclairage. Le prix de revient du mètre cube, en tenant compte des

frais de main-d'œuvre, de l'intérêt et de l'amortissement du prix des appareils, serait, suivant leur dimension, de 1 à 1,5 centimes, le coke ou l'anthracite coûtant de 16 à 20 francs la tonne.

Le moteur qui consomme ce gaz diffère du moteur à gaz d'éclairage par le réglage des proportions admises : il faut beaucoup plus de gaz pour donner un mélange combustible équivalent. C'est ainsi qu'un moteur à compression consomme environ $2^{m3},5$ de gaz Dawson par cheval-heure. On arriverait, d'après certaines expériences, à une dépense de combustible solide ne dépassant pas $0^{kg},5$ par cheval-heure indiqué.

Nous citerons le moteur Delamare-Debouteville et Malandin, dit *moteur simplex*, d'une puissance de 100 chevaux, qui fonctionnait à l'Exposition avec le gaz Dawson. Le diamètre du cylindre unique de ce moteur est de 575 millimètres, la course étant de 950 millimètres ; le nombre de tours par minute était de 107. Afin d'expulser une plus forte proportion des gaz brûlés que dans les moteurs ordinaires marchant suivant le cycle à quatre temps, l'explosion ne se produit pas quand le piston est à fond de course, mais quand la manivelle motrice a parcouru un angle de 15 degrés depuis son point mort. Dans les moteurs aux gaz pauvres, il est utile, en effet, de ne pas appauvrir encore les mélanges par l'addition d'une trop forte proportion de gaz inertes. La disposition indiquée permet de laisser une chambre moindre derrière le piston à fond de course : la compression du mélange y est considérable, trop considérable pour qu'il convienne alors de l'enflammer, car la machine serait soumise à des pressions excessives ; on commence par laisser détendre légèrement ce mélange pendant le parcours du piston correspondant à la rotation de 15 degrés faite par la manivelle motrice. Cette détente restitue l'excès de travail absorbé par la compression trop forte.

Le *moteur simplex* fonctionne aussi, bien entendu, au gaz ordinaire : l'allumage se fait à l'aide d'un tiroir qui met le cylindre en communication avec une chambre où se produit une série continue d'étincelles électriques. Cette machine a été l'objet d'une description détaillée, précédée d'un intéressant historique des moteurs à gaz, dans les *Proc. of the Inst. of mech. Engineers*, 1889, p. 500.

D'autres appareils sont parfois employés pour la production du gaz à l'eau, notamment l'appareil Strong, où l'on fait passer alternativement sur le charbon l'air qui l'échauffe, puis la vapeur d'eau surchauffée qui donne un mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone sans azote. C'est surtout aux États-Unis qu'on se sert de l'appareil Strong.

Moteurs au pétrole. — La plupart des types de moteurs à gaz peuvent être modifiés de manière à consommer, au lieu de gaz d'éclairage ou de gazogène, de l'air chargé de vapeurs de pétrole. Il suffit que l'air traverse, avant d'entrer dans le cylindre de la machine, un *carburateur* rempli de gazoline ou essence de pétrole très volatile. L'allumage électrique est alors le plus commode. Beaucoup de machines, à l'Exposition de 1889, étaient disposées pour cet usage des essences de pétrole au lieu de gaz. On obtient ainsi des moteurs qui peuvent être employés partout. La consommation paraît descendre jusqu'à 400 grammes de pétrole par cheval-heure et même au-dessous. MM. Mignon et Rouart ont aussi construit un moteur agricole qui est une locomobile sur roues marchant au pétrole. Le moteur, qui est du nouveau type Lenoir, repose sur un réservoir cylindrique qui prend la place de la chaudière d'une locomobile ordinaire. On verrait volontiers des engins de ce genre remplacer les locomobiles agricoles à vapeur,

qui, mal soignées, causent parfois de si terribles accidents.

Mais si le danger d'explosion est écarté par l'usage du moteur à pétrole, le transport et la conservation des essences légères qu'il exige n'est pas sans créer des risques d'incendie. L'emploi des huiles lourdes de pétrole est bien plus sûr; mais il est moins commode. Quelques moteurs cependant sont disposés à cet effet; dans le moteur Brayton, déjà connu en 1878, un jet d'air comprimé émulsionne le pétrole et l'entraîne dans le cylindre où il s'allume: c'est un moteur à combustion, dont nous avons indiqué le principe plus haut. Certains carburateurs sont chauffés par les gaz d'échappement de la machine, et peuvent recevoir des pétroles lourds ; tel est l'appareil Noël et Berquier. Les dispositions permettant l'emploi des huiles peu volatiles sont dignes d'intérêt.

Résumé. — L'usage des moteurs à gaz se développe beaucoup, et ils commencent à être employés pour des puissances de 100 chevaux. Le mélange combustible est presque toujours comprimé avant l'inflammation, sauf l'exception des moteurs de très faible puissance, pour lesquels on recherche avant tout la simplicité et la facilité d'emploi. Le rendement thermique de ces moteurs, c'est-à-dire la proportion de chaleur transformée en travail, est déjà considérable, puisqu'il atteint un cinquième, et la théorie permet d'espérer un accroissement notable de ce rendement. Enfin, la substitution fréquente du combustible liquide au combustible gazeux permet d'installer ces moteurs hors des villes.

CHAPITRE III.

MACHINES A VAPEUR : THÉORIE.

Nous divisons en six chapitres l'examen des machines à vapeur : théorie ; distribution et réglementation ; revue des types divers; des principaux détails mécaniques ; condensation; production de la vapeur.

Peu de questions industrielles ont été l'objet d'études aussi nombreuses et aussi approfondies que le travail de la vapeur dans les cylindres des machines, études qui comprennent à peu près toute la théorie des machines à vapeur.

Modes du travail de la vapeur dans les cylindres. — Dans les anciennes machines, qui servaient à épuiser l'eau des mines, dès le commencement du XVIIIe siècle, la vapeur était introduite sous le piston d'un cylindre vertical ouvert à sa partie supérieure, et soulevait le piston; puis la vapeur était condensée, d'abord par refroidissement extérieur du cylindre à l'aide d'eau froide, et, plus tard, par injection d'eau dans le cylindre même, et la pression atmosphérique faisait redescendre le piston, en produisant un travail moteur. Remarquons que l'atmosphère ne jouait que le rôle d'un contrepoids soulevé par la vapeur et restituant par sa descente le travail consommé pour l'élever; la seule différence, au point de vue de la marche de la machine, avec un contrepoids solide, est l'absence de masse du contrepoids atmosphérique.

Plus tard, Watt introduisit la condensation dans un récipient spécial, qui peut être éloigné du cylindre, et le double effet, avec lequel disparaît complètement l'action de la pression atmosphérique comme contrepoids. Vinrent ensuite l'élévation des pressions de la vapeur et

la suppression de la condensation, ou l'échappement libre dans l'atmosphère : on peut assimiler la machine à échappement libre à une machine dont le condenseur aurait une tension de vapeur égale à celle de l'atmosphère, c'est-à-dire une température de 100 degrés environ. La contre-pression à l'échappement et la température correspondante de la vapeur saturée peuvent toutefois être notablement moindres pour les machines à échappement libre, si elles sont installées à une altitude élevée. Ainsi, à 4.800 mètres au-dessus du niveau de la mer, la pression moyenne est de 6.200 kilogrammes par mètre carré et la température de la vapeur saturée à cette pression est de 84 degrés. Cette altitude, qui est celle du sommet du Mont-Blanc, est atteinte par les locomotives du chemin de fer de Lima à Oroya.

Dans toutes ces machines, la vapeur ne traverse qu'un seul cylindre dans son trajet de la chaudière au condenseur. Au contraire, dans la machine de Woolf (1804), dont Hornblower avait indiqué le principe dès 1776, la vapeur se détend en se transvasant d'un premier cylindre dans un second de plus grand volume. Aujourd'hui, on ne construit plus guère de machine Woolf, avec passage immédiat de la vapeur d'un cylindre dans un autre; mais c'est la compound qui est en grande faveur, machine caractérisée par l'existence d'un réservoir intermédiaire plus ou moins grand qui reçoit l'échappement d'un des cylindres et alimente l'autre.

Dans les machines à triple et quadruple expansion, la vapeur traverse successivement trois ou quatre cylindres, séparés par des réservoirs.

On trouve des détails historiques et des considérations intéressantes sur les machines à vapeur à détentes successives dans le rapport de M. Mallet au congrès de mécanique appliquée, publié *Revue tech. de l'Exp. de* 1889, n° 14, p. 7.

Cycle théorique de la machine à vapeur. — Pour étudier ces divers modes de travail et pour déterminer quelles conditions ils doivent remplir, il convient de connaître d'abord le cycle théorique de la vapeur, c'est-à-dire la succession d'opérations qui donnerait le meilleur rendement thermique. Le maximum de la température t_1, que peut prendre la vapeur, tant qu'elle reste saturée, ce qui est le cas habituel, est fixé dans chaque cas par la pression p_1 qui ne doit pas être dépassée dans la chaudière fournissant cette vapeur. Le minimum, t_2, dépend de la température et de la quantité d'eau disponible pour la condensation : nous pouvons supposer t_2 connu exactement dans chaque cas.

Les deux températures extrêmes, celle d'une *source chaude* et celle d'une *source froide*, étant ainsi fixées, le meilleur cycle de la machine à vapeur serait le cycle de Carnot, se composant des deux *isothermes* AB, CD, parallèles à l'axe des volumes pour la vapeur saturée, et des deux *adiabatiques* BC, DA (*fig.* 3, Pl. XIII). Mais si l'on réfléchit au mode de production de la chaleur de la source chaude, on reconnaît que le cycle de Carnot entre les températures extrêmes t_1 et t_2 n'est pas l'évolution la plus avantageuse possible. En effet, la chaleur étant communiquée à la source chaude par les gaz du foyer, ces gaz quittent la chaudière à une température qui ne peut être inférieure à t_1. Or on peut refroidir ces gaz jusqu'à t_2, en profitant de leur chaleur pour échauffer de t_2 à t_1 tout ou partie de l'eau provenant de la condensation de la vapeur. Il vaut évidemment mieux profiter de cette source supplémentaire de chaleur plutôt que de ramener à l'état d'eau à t_1 (point A du cycle), par compression adiabatique, un mélange d'eau et de vapeur à t_2 (point D), en consommant une partie du travail moteur de la machine. Le cycle théorique de la machine à vapeur serait alors ABCD', avec condensation

complète de la vapeur à t_2 (parcours CD') et échauffement de l'eau de t_2 à t_1 (parcours D'A), au moins partiellement, à l'aide de la chaleur autrement perdue des gaz de la combustion.

Le rendement de cette opération sera un peu plus grand que celui du cycle de Carnot entre les températures t_1 et t_2, ce qui est en parfaite conformité avec les lois de la thermodynamique, puisque nous avons une seconde source de chaleur autre que celle à la température t_1.

La différence de rendement des deux cycles ne sera pas considérable d'ailleurs : aussi est-il commode, en pratique, de conserver l'expression si simple du rendement du cycle de Carnot $\frac{t_1 - t_2}{t_1}$, comme maximum possible à atteindre ; mais on cherche, en fait, à se rapprocher du second cycle par l'usage des réchauffeurs d'eau d'alimentation.

On consultera utilement sur ce sujet l'ouvrage de M. Bienaymé sur les *Machines marines*, p. 94; citons aussi une note de M. P. W. Willans, dans l'*Engineering* (1er sem. 1890, p. 324), où est indiqué l'avantage du cycle ABCD' sur le cycle de Carnot; enfin divers articles dans le même volume de l'*Engineering*.

Réchauffage de l'eau d'alimentation à l'aide de vapeur empruntée à la machine. — Le réchauffage méthodique de l'eau d'alimentation, à l'aide des chaleurs perdues du foyer, est souvent difficile à réaliser. Tel qu'on le pratique habituellement, il conduit à des appareils coûteux et encombrants. Aussi préfère-t-on parfois, notamment sur mer, un autre mode de réchauffage de l'eau, intéressant parce qu'il correspond à un cycle théorique spécial du travail de la vapeur et parce qu'il semble donner une économie notable de combustible : on échauffe l'eau avant

son entrée dans la chaudière, à l'aide de vapeur ayant déjà accompli un certain travail dans le moteur, soit qu'on l'emprunte au réservoir d'une machine à triple expansion, comme l'a fait Weir, soit qu'on la prenne dans le cylindre à basse pression d'une compound quand le piston a parcouru la moitié environ de sa course, comme l'a fait A. Normand pour les machines du torpilleur *Avant-Garde*. La prise de vapeur se fait à l'aide d'un tiroir spécial, et le poids de la vapeur ainsi employée à réchauffer l'eau varie du 7e au 12e de la quantité traversant la machine. Le travail total qu'elle produit se trouve par là réduit; mais il est facile de s'expliquer l'avantage de l'opération : quand on ne fait pas usage de réchauffeur, on introduit dans la chaudière, où règne la température t_1, de l'eau prise à t_2 dans le condenseur; on peut supposer que cette eau est échauffée de t_2 à t_1 par la condensation d'une certaine quantité de la vapeur à t_2, mode de chauffage qui ne semble pas devoir modifier la consommation de combustible, dans les conditions où se fait l'alimentation; imaginons enfin l'opération scindée en deux parties, l'eau étant chauffée de t_2 jusqu'à une température intermédiaire t_1', puis de t_1' à t_1. Voyons maintenant ce qui se passe lorsque le chauffage de t_2 à t_1' se fait, non plus immédiatement à l'aide d'un certain poids de vapeur à t_1, mais avec un poids, un peu plus grand, de vapeur prise à t_1', qui a déjà produit un certain travail dans la machine ou même, si l'on veut, pour éclaircir le raisonnement, dans une machine spéciale, et qui a transformé en travail utile une fraction des calories qu'elle a reçues; l'utilisation est très bonne, puisque toutes les calories fournies à la dérivation de vapeur considérées sont employées à chauffer l'eau de t_2 à t_1' ou transformées en travail, tandis que, dans le fonctionnement de l'ensemble de la machine, des calories en grand nombre sont nécessairement rejetées au dehors avec les eaux de

condensation. Nous pouvons ainsi profiter de l'opération du chauffage de l'eau de t_2 à t_1' pour transformer en outre quelques calories en travail sans aucun départ de chaleur au dehors. Si même on ne craignait de compliquer outre mesure les appareils, on pourrait, avec avantage, faire subir à l'eau d'alimentation une série d'échauffements successifs, chaque fois à l'aide d'une dérivation de vapeur à température convenable prise à un certain point de son évolution dans la machine; en rapprochant indéfiniment les températures successives, on arrive à un fonctionnement analogue à celui que donnent les régénérateurs de chaleur (voir *Engineering*, 1er sem. 1890, p. 527).

Revenons au cas pratique d'un seul réchauffeur, et cherchons à nous rendre compte de l'avantage qu'il peut effectivement procurer. Soit une machine sans réchauffeur fonctionnant entre les températures de 40 et 160 degrés avec une consommation de 8 kilogrammes d'eau par cheval-heure. Imaginons maintenant une petite machine supplémentaire qui prend la vapeur à 160 degrés et la condense à 100 degrés, en échauffant l'eau d'alimentation de 40 à 100 degrés. Vu le moindre écart des températures, supposons que cette machine exige deux fois plus d'eau par cheval-heure; cela veut dire que pour un travail de 270.000 kilogrammètres ou 637 calories, il faudra fournir à l'eau $16 \times (161{,}7 - 100{,}5 + 493{,}6)$ ou 8.900 calories, dont le reste, 8.563 calories, passe au réchauffeur; en d'autres termes, on recueille en travail supplémentaire 75 calories pour 1.000 employées à chauffer l'eau d'alimentation de 40 à 100 degrés. Dans l'espèce nos 8 kilogrammes d'eau exigent pour ce réchauffage 480 calories; nous en changerons donc 36 en travail qui viennent s'ajouter aux 637 transformées par la machine principale pour chaque cheval-heure; c'est une augmentation de travail de 5,5 p. 100.

Nous examinerons successivement les principales causes

qui réduisent le rendement effectif des machines à vapeur.

Détente incomplète. — Sauf pour des machines à échappement dans l'atmosphère, la détente n'est pas poussée jusqu'à la pression p_2 de l'isotherme CD' (*fig.* 3, Pl. XIII), mais elle est interrompue plus tôt; le cycle se rapproche de la *fig.* ABEFD', et le travail représenté par l'aire ECF est perdu. L'impossibilité d'une détente complète tient à la très faible tension de la vapeur aux températures usuelles de condensation; à 40 degrés, par exemple, cette tension n'est que de 747 kilogrammes par mètre carré, ou environ un quatorzième d'atmosphère. Doit-on chercher à réduire autant qu'on le peut cette perte de travail ECF? Les recherches expérimentales faites sur les machines ont montré que non. En voulant pousser trop loin la détente, on augmente les pertes de rendement provenant d'autres causes, notamment de l'influence des parois, et l'effet résultant devient défavorable. Pour une machine à un cylindre, recevant la vapeur à une pression absolue de 6 ou 7 kilogrammes par centimètre carré, on s'en tient en général à une détente de cinq ou six fois le volume primitif; l'emploi d'une détente plus considérable ne paraît guère justifié que pour une machine dont on est conduit à restreindre la puissance. On retrouve à peu près les mêmes rapports de détente dans les compound, quand la pression dans la chaudière reste la même. Avec des pressions plus élevées, de 11 à 13 kilogrammes absolus par centimètre carré, on admet des rapports de détente de 8 à 12 en général, notamment dans les machines à triple expansion. On trouve, bien entendu, des exemples de détentes plus considérables, mais elles ne paraissent pas augmenter le travail produit par un poids donné de vapeur. M. Sinigaglia, dans son *Traité des Machines à vapeur*, qui vient d'être traduit par M. Ed. de Billy, a examiné avec

beaucoup de soin cette question du meilleur rapport de détente à adopter pour une machine déterminée.

Espace libre des cylindres. — L'espace libre des cylindres, tenant au jeu nécessaire du piston à fond de course et aux conduits de vapeur, augmente notablement la consommation de vapeur pour un travail déterminé, surtout si l'on ne le remplit pas de vapeur comprimée jusqu'à la pression initiale pendant le retour du piston, en supprimant à temps la communication du cylindre avec l'échappement. La compression ne peut d'ailleurs être complète que dans les machines à échappement libre ou dans les machines à plusieurs cylindres successifs (sauf dans le dernier). Même si l'on corrige par la compression l'effet nuisible de l'espace libre sur la consommation de vapeur, on aura toujours l'inconvénient d'un cylindre plus grand pour un travail donné, et une augmentation indirecte de la consommation de ce chef. Disons toutefois que la réduction du travail fourni par coup de piston dans un cylindre donné, due à la compression, est avantageuse dans certains cas, pour les locomotives notamment : à grande vitesse, sans la compression, la dépense de vapeur y serait supérieure à la production de la chaudière, et d'autre part, la réduction du volume des cylindres rendrait la machine absolument insuffisante pour les démarrages.

Sauf dans des cas de ce genre, il y a évidemment avantage à réduire au minimum l'espace libre des cylindres, comme on le fait dans les machines à distribution Corliss et analogue. On peut seulement se demander si l'on n'a pas, dans ces machines, trop négligé la compression : ainsi l'on trouve souvent, dans les Corliss, un espace libre égal ou supérieur aux 0,03 du volume engendré par le piston. Quand la vapeur à l'échappement a une pression voisine de la pression atmosphérique, il

semble avantageux de la comprimer dans cet espace libre. Cette conclusion est confirmée par quelques essais avec compression faits au Creusot sur une machine Corliss, essais décrits par M. Delafond dans les *Annales des mines*, 8e s., t. VI, p. 226.

Influence des parois. — La plus active des causes qui augmentent la consommation de la vapeur pour un travail donné est l'influence des parois, mise en évidence par les recherches de l'illustre Hirn et de ses élèves. Pendant l'admission, un poids souvent considérable de vapeur se condense sur les parois du cylindre ; cette eau se revaporise partiellement pendant la détente, augmentant par là la pression à chaque instant, de telle sorte que les courbes de détente des machines se rapprochent ordinairement de l'hyperbole équilatère, tandis que la courbe de détente adiabatique a pour équation $pv^{1,135} = \text{const.}$; mais la revaporisation a lieu surtout pendant l'échappement, refroidissant les parois et préparant la condensation pour la course suivante. Ces faits, aujourd'hui bien connus, rendent compte de l'avantage des enveloppes de vapeur, qui, d'une part, réduisent, au prix d'une faible dépense de vapeur, la quantité totale d'eau condensée, et, d'autre part, augmentent la quantité revaporisée pendant la détente, et des machines compound et à plusieurs expansions, où les phénomènes de condensation dans chaque cylindre ont moins d'importance par suite du moindre écart des températures extrêmes de la vapeur.

M. Dwelshauvers-Déry a publié des travaux intéressants sur l'action des parois des cylindres : il a notamment donné des représentations graphiques de cette action dont l'aspect est saisissant. Nous donnons *fig.* 4, Pl. XIII, une de ces représentations. Le diagramme 1-2-3-4, relevé à l'indicateur sur le cylindre d'une machine à

vapeur, représente le *travail indiqué* de la machine; il correspond à un nombre déterminé de kilogrammètres, ou, à une échelle connue, à un nombre de calories équivalent (quotient par 424 du nombre de kilogrammètres). Le rectangle ABCD représente, à la même échelle, le nombre de calories cédées aux parois du cylindre par la vapeur pendant l'admission (période 2-3). Pendant la détente (3-4), les parois cèdent au contraire de la chaleur à la vapeur; le nombre de calories cédées est représenté, toujours à la même échelle, par le rectangle BEFG. Pendant l'échappement anticipé et pendant l'échappement (périodes 4-1), les parois cèdent encore les nombres de calories représentés par les rectangles GHIJ et JKLM. Enfin pendant la compression (1-2), les parois reçoivent la petite quantité de chaleur MNOA. Dans l'état de régime, il y a égalité entre les quantités de chaleur reçues et cédées par les parois; aux quantités reçues déjà énumérées il faut ajouter la chaleur cédée par la vapeur dans l'enveloppe, et aux quantités cédées la quantité perdue au dehors par rayonnement et conductibilité. En faisant abstraction de ces deux termes correctifs, on aurait égalité entre les surfaces ABCD + MNOA, chaleur reçue par les parois, et la surface MLKIHFEBM (trait pointillé), chaleur cédée à la vapeur.

La figure, choisie parmi un des exemples donnés par l'auteur, montre bien quelle énorme quantité de chaleur, comparée à celle transformée en travail, est cédée aux parois, et quelle est la perte de chaleur, inutilement transportée au condenseur pendant l'échappement (*refroidissement au condenseur* de Hirn).

Comment obtient-on les éléments de cette représentation graphique? L'indicateur donne le diagramme 1-2-3-4, que nous divisons en quatre parties : pendant les périodes 2-3 et 4-1, le cylindre communique avec la chaudière et avec le condenseur; pendant les périodes de détente et de

compression, 3-4 et 1-2, le cylindre n'a aucune communication extérieure, et le poids total de vapeur et d'eau qu'il renferme ne peut varier. L'observation, portant sur un nombre suffisant de coups de piston, donne le poids ϖ de vapeur (sèche ou à un degré d'humidité connu), qui pénètre dans le cylindre pendant la période d'admission, 2-3. L'expérience semble prouver (cette question a prêté à de longues discussions) qu'au moment où cesse l'échappement (point 1) la vapeur est sèche et saturée dans le cylindre : comme on connaît, par le diagramme d'indicateur, sa pression et son volume, on en déduit immédiatement son poids ϖ'. On a donc, en 1 et 2, un poids ϖ' connu dans le cylindre, et en 3 et 4, un poids également connu, $\varpi + \varpi'$. Connaissant, en chacun de ces points, le poids, la pression et le volume du mélange d'eau et de vapeur, on peut calculer les proportions de vapeur et d'eau de ce mélange. Nous avons ainsi, du point 1 au point 2, un poids ϖ de vapeur qui passe d'un état connu à un autre état connu, en absorbant un travail externe qu'on mesure sur le diagramme d'indicateur : on en déduit par un calcul simple le nombre de calories échangées avec les parois. Du point 2 au point 3, il y a encore passage d'un état connu à un autre état connu, avec production d'un travail externe mesuré sur le diagramme, et apport d'un nombre déterminé de calories par la vapeur entrant dans le cylindre : on en déduit la quantité de chaleur cédée aux parois. Pour la période 3-4, où il n'y a pas d'apport de chaleur par la vapeur, même calcul que pour 1-2. Enfin pendant l'échappement, 4-1, on détermine le nombre de calories cédées par les parois d'après la remarque faite plus haut : la quantité de chaleur cédée par les parois (y compris la perte à l'extérieur) égale la quantité reçue (y compris celle cédée par la vapeur de l'enveloppe). Ces calories, cédées par les parois pendant l'échappement,

se retrouvent d'ailleurs parmi celles reçues par le condenseur.

On peut même pousser plus loin cette analyse, en subdivisant les périodes 3-4 et 1-2, pendant lesquelles le poids du mélange ne varie pas, en autant de parties qu'on le désire : on calcule ainsi les échanges de chaleur entre les parois et la vapeur pour une série de positions du piston. En opérant de la sorte, M. Dwelshauvers-Déry a trouvé que souvent, vers la fin de la détente, l'échange changeait de sens, c'est-à-dire que les parois recevaient de nouveau de la chaleur au lieu d'en céder comme au début.

Plus la marche d'une machine est rapide, plus il semble probable que l'action des parois s'affaiblira. C'est ce qu'ont prouvé les expériences de M. Willans (voir *Revue univ. des mines de Liège*, 1889, 1er trim., p. 1), qui montraient un échange de chaleur avec les parois bien moindre par coup de piston pour une même machine, quand le nombre de tours par minute passait de 100 à 400.

On peut étudier le mouvement de la chaleur dans l'intérieur des parois de fonte des cylindres, en partant des formules de Fourier. C'est ce qu'a fait le docteur Kirsch, dans son ouvrage *Die Bewegung der Warme in den Cylinderwandungen des Dampfmaschine* (Leipzig, 1886), analysé par MM. Henrotte et Schepper dans la *Revue univ. de Liège* (1889, 2e trim., p. 44). L'une des difficultés de ces recherches est l'action différente des diverses parois qui constituent le cylindre : les unes, telles que les fonds, les faces des pistons, sont constamment en contact avec la vapeur du même côté du piston ; les autres, telles que la majeure partie de la surface cylindrique, sont alternativement baignées par la vapeur des deux côtés du piston ; enfin il est une petite portion des parois, celle que recouvrent les segments du piston à fond de

course et celle de la tige, qui n'est pas constamment en contact avec la vapeur, mais sans rentrer dans la seconde classe. On trouvera un excellent résumé de la question, ainsi qu'une étude approfondie sur l'ensemble de l'action des parois, dans l'ouvrage de M. Madamet sur la *Thermodynamique et ses applications aux machines à vapeur* (Paris, 1889). Nous empruntons à cet ouvrage les *fig.* 5 et 6, Pl. XIII, qui montrent les variations de température dans l'épaisseur de la paroi d'un cylindre, sans enveloppe et avec enveloppe de vapeur. La température de la face baignée par la vapeur oscille entre α' et α : la variation pénètre en se réduisant jusqu'à une faible profondeur et cesse au point N (*fig.* 5), où s'établit la température moyenne constante θ, dans le cas du cylindre revêtu d'un enduit isolant, et sans chemise de vapeur. S'il y a une chemise de vapeur (*fig.* 6), entretenant la température θ_1 voisine de α sur la face extérieure de la paroi, les courbes MN, NM′ de la variation des températures auront une allure différente : le flux de chaleur entrant dans la paroi pendant l'admission, qu'on peut approximativement déduire de la variation des températures, va se trouver réduit.

On trouvera l'exposé des importants travaux que nous venons de signaler sur l'action des parois dans le *Bulletin de la Soc. ind. de Mulhouse* (1888, p. 88 ; 1889, p. 85), dans l'*Engineering* (1888, 2d s., p. 99 et 518 ; 1889, 2d s., p. 691), dans la *Revue univ. des mines de Liège* (1889, 3e tr., p. 59 et 287), dans les ouvrages déjà cités de MM. Sinigaglia et Madamet. Voir aussi dans la *Zeitschrift des V. D. Ing.* une étude de M. Brauer (1883, p. 649).

On rend même directement visible l'action des parois. M. Bryan Donkin, de Londres, a construit un petit appareil *révélateur*, qui se monte sur le cylindre d'une machine et se compose de deux cylindres en verre concentriques : le cylindre de verre intérieur communique avec le cylindre

à vapeur et l'on y voit l'eau se condenser et s'évaporer suivant les phases de la distribution. L'espace annulaire entre les deux cylindres de verre est plein d'air et sert d'enveloppe isolante. Une modification récente de l'appareil a pour but de permettre la mesure du nombre de calories cédées à une paroi en fonte qui remplace le verre intérieur, en établissant la communication avec la machine pendant l'une des phases seulement de la distribution. Le révélateur de M. Donkin est décrit et figuré dans le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, 1889, p. 128 et 458, et aussi dans l'*Engineering* du 22 novembre 1889, p. 607.

Nous terminerons ce paragraphe en appelant l'attention sur l'avantage évident de la réduction au minimum de la surface des parois d'un cylindre donné, réduction qu'on peut obtenir surtout en évitant les longs conduits de vapeur en communication constante avec le cylindre. Sous ce rapport, la machine ordinaire à tiroir a l'inconvénient d'une énorme surface de métal formant les parois des lumières.

Enfin l'idée ingénieuse et déjà ancienne de modifier la nature des parois en les rendant moins conductrices, dans les parties où ne se produit aucun frottement, ne paraît guère avoir été appliquée. Lissignol proposait le plomb ou la porcelaine (*Annales*, 7e série, t. XVI, p. 122), Kennedy, la vulcanite (*Mechanical Engineers*, 1887, p. 524). Quelques expériences à ce sujet seraient intéressantes.

Enveloppes de vapeur. — Afin d'atténuer l'action des parois, presque tous les constructeurs sont aujourd'hui d'accord sur l'utilité des enveloppes de vapeur; mais on constate des divergences dans le mode d'application de ces enveloppes. Fréquemment on y fait circuler la vapeur même qv doit travailler dans le cylindre, au lieu d'avoir

une dérivation spéciale de vapeur dont l'installation peut être plus compliquée. La vapeur arrive alors plus humide dans le cylindre. Nous dirons plus loin quelques mots à ce sujet.

Dans les machines à un cylindre, on ne peut guère adopter que l'une ou l'autre de ces deux dispositions; mais deux ou plusieurs cylindres successifs se prêtent à des combinaisons bien plus variées pour l'alimentation des enveloppes.

D'une manière générale, le problème se pose comme il suit : étant donné un cylindre de basse ou moyenne pression, où la vapeur est admise à une température θ'_1 inférieure à la température θ_1 qu'elle a dans la chaudière, on peut choisir pour la vapeur de l'enveloppe toutes les températures entre θ'_1 et θ_1; comment fera-t-on ce choix? Plus la vapeur dans l'enveloppe sera chaude, plus le travail augmentera pour un poids donné de vapeur admis dans le cylindre; mais aussi plus la dépense de vapeur dans l'enveloppe augmentera en même temps; ce qui importe, c'est la réduction au minimum de la dépense totale. Il serait, je crois, difficile de donner aujourd'hui une réponse satisfaisante au problème aussi général. Ce qu'on peut dire, c'est que la pratique actuelle semble être de ne pas exagérer l'action de l'enveloppe par un trop grand excès de température de la vapeur qui y pénètre. Si l'on voit assez fréquemment les enveloppes des deux cylindres de machines compound, marchant à une pression initiale modérée, desservies également par la vapeur de la chaudière, on trouve de nombreux exemples de dispositions contraires. C'est ainsi que dans les machines compound Sulzer, la vapeur circule successivement autour de chacun des deux cylindres avant d'y pénétrer, la vapeur de la chaudière autour du cylindre à haute pression, et celle du réservoir intermédiaire autour du cylindre à basse pression.

L'emploi de la vapeur du réservoir au lieu de vapeur de la chaudière dans l'enveloppe du grand cylindre semble diminuer la consommation totale de ces machines. D'après les résultats de quelques essais qui m'ont été obligeamment communiqués par MM. Carels, essais qui, il est vrai, portaient sur des machines différentes, la consommation dans le premier cas était de 6,15 à 6,9 kilogrammes de vapeur par cheval-heure indiqué, et de 7 à 7,8 kilogrammes dans le second (chauffage à haute pression du grand cylindre), pour des moteurs de 120 à 300 chevaux.

Dans les machines à triple expansion construites par Weyher et Richemond, nous trouvons une circulation préalable de vapeur, prise à 10 kilogrammes, autour du cylindre à haute pression, puis au cylindre moyen une enveloppe spécialement alimentée par la vapeur à 10 kilogrammes; cette vapeur passe ensuite, après être détendue à 5 kilogrammes, dans l'enveloppe des cylindres à basse pression. C'est à la suite d'expériences méthodiques qu'on a fixé ces pressions.

Dans les grandes machines, notamment dans les appareils marins de puissance considérable, l'alimentation indépendante des enveloppes a le grand avantage pratique de permettre le réchauffage des cylindres avant la mise en marche et d'éviter ainsi au départ des condensations dangereuses. En outre, l'alimentation par circulation préalable de la vapeur dans l'enveloppe conviendrait peu pour la marche à vitesse fortement réduite, utile dans la marine militaire, à cause de la grande proportion d'eau qui serait alors introduite dans le cylindre de détente. Les pressions élevées admises aujourd'hui doivent, d'ailleurs, être réduites dans les enveloppes des cylindres de détente, pour éviter une trop forte consommation, et surtout pour ne pas alourdir extrêmement ces grands cylindres en les mettant en état de résister à la pression maxima. Par

exemple, dans les derniers croiseurs commandés par la marine française, nous trouvons les pressions de 12, 6 et 4^{kg} pour les enveloppes des petits, moyens et grands cylindres. Des détendeurs réduisent convenablement la pression de la vapeur, prise à 12^{kg}. Il est prudent, en outre, de munir les enveloppes de soupapes de sûreté.

Lorsque les enveloppes sont alimentées par une branche spéciale de vapeur, il est indispensable de donner un écoulement à l'eau condensée. Si la machine est installée à un niveau supérieur à celui de la chaudière, rien n'est plus simple que d'y ramener l'eau par l'action de la gravité. Dans le cas contraire, on fait usage de purgeurs automatiques, appareils souvent capricieux, ou d'une pompe de purge, plus sûre et ayant l'avantage de renvoyer l'eau chaude et distillée à la chaudière. L'*Engineering* du 13 juin 1890, p. 712, indique une curieuse disposition de tuyaux, pour le retour spontané de l'eau des enveloppes à la chaudière, située à un niveau plus élevé.

Ces détails sont souvent négligés dans des machines, même soignées d'autre part : on voit trop fréquemment au bas des enveloppes un simple robinet purgeur que le conducteur de la machine manœuvre sans pouvoir se rendre compte de ce qu'il fait, soit qu'il laisse le cylindre s'entourer d'une chemise d'eau, soit qu'il établisse une fuite de vapeur à l'égout. On a peine à comprendre qu'après avoir fait la dépense considérable d'une enveloppe au cylindre, on néglige les détails qui rendent cette enveloppe efficace et économique; néanmoins les exemples de cette négligence sont fréquents.

Une question qui se lie à la précédente est celle des enveloppes de vapeur de la chaudière au réservoir intermédiaire des machines compound. Par suite des dispositions générales, ce réservoir se trouve souvent en contact avec la face extérieure des enveloppe de cylindres; mais lorsqu'il est séparé des cylindres, on le munit parfois

d'une chemise de vapeur et même d'un faisceau tubulaire en communication avec la chaudière. Cette disposition existe notamment dans les machines élévatoires Worthington. On prend ainsi une certaine quantité de chaleur à la vapeur à la température la plus élevée, pour la communiquer à la vapeur moins chaude du réservoir; cette vapeur se trouve ainsi asséchée; on conçoit même qu'elle puisse être surchauffée. A priori, l'opération ne paraît pas avantageuse : on y a renoncé pour les machines Sulzer. D'après une expérience sur une machine de ce type, d'une puissance de 400 à 500 chevaux, dont le résultat m'a été communiqué par MM. Carels, qui l'ont construite, la consommation de vapeur par cheval-heure a été de 0,223 kilogrammes plus élevée quand on a réchauffé le réservoir intermédiaire.

Il faut éviter, bien entendu, de donner à un cylindre une enveloppe de vapeur à température moins élevée que celle qui y travaille; cette réflexion semble presque inutile; cependant on trouve cette disposition vicieuse dans certaines machines compound, où le réservoir intermédiaire entoure plus ou moins complètement le cylindre à haute pression dépourvu de chemise. Dans les machines à tiroir, sans chemise, le conduit d'échappement est le plus souvent en contact avec une portion plus ou moins grande du cylindre qu'il contourne; il importe de réduire autant que possible cette surface de contact; on peut critiquer spécialement, à ce point de vue, la disposition adoptée dans quelques locomotives à cylindres intérieurs, et qui consiste à faire du conduit d'échappement une ceinture complète autour du cylindre, faute de place entre les cylindres.

Effet de l'eau mélangée à la vapeur. — La vapeur qui arrive aux machines contient une proportion d'eau variable suivant les cas et qu'il est intéressant de connaître, tant pour l'étude théorique des machines que pour l'appréciation pratique, qui se fait d'après le poids de vapeur consommé par cheval-heure; pour une même machine, ce poids augmentera si la proportion d'eau dans la vapeur augmente. D'autre part, on apprécie la chaudière d'après le poids de vapeur produit par 1 kilogramme de combustible; la chaudière sera, en apparence, d'autant meilleure que la vapeur entraînera plus d'eau. Plusieurs méthodes sont employées pour doser les proportions d'eau dans la vapeur; la plus sûre paraît être la méthode calorimétrique de Hirn.

Il est difficile de dire avec précision quel est l'effet de l'eau mélangée à la vapeur qui pénètre dans un cylindre; quand la proportion en est minime, la diminution de rendement qui en résulte paraît faible; ainsi la circulation préalable de la vapeur dans l'enveloppe augmente la proportion d'eau qu'elle contient quand elle entre au cylindre, et nous avons vu cette disposition adoptée par de bons constructeurs. Le séjour permanent de l'eau dans les cylindres paraît surtout à craindre, parce que son action s'ajoute à celle des parois.

Laminage de la vapeur. — En principe, le laminage de la vapeur, c'est-à-dire l'abaissement de la pression par le passage à travers un orifice restreint, sans production de travail externe, n'est pas avantageux; on retrouve bien dans la vapeur (s'il n'y a pas de chaleur reçue ou cédée au passage de l'orifice) la même quantité de chaleur; la vapeur renferme une moindre proportion d'eau ou bien elle est surchauffée si elle était tout à fait sèche au début; mais sa température s'est abaissée et le maximum du travail qu'elle peut fournir se trouve par là réduit. Cependant en pratique le laminage est largement employé et non sans avantages. On le trouve en trois points du trajet de la vapeur : entre la chaudière et la

boîte à vapeur de la machine ; au passage des organes réglant l'admission dans le cylindre ; au passage des organes d'échappement. Ce premier laminage donne le moyen le plus simple de régulariser la vitesse des machines. Avec certains types de générateurs qui peuvent supporter des pressions fort élevées, on élève à dessein la pression dans la chaudière au-dessus de celle admise pour la machine (par exemple de 10 à 14 kilogrammes par centimètre carré) et l'on fait usage d'un *détendeur*, afin d'obtenir la vapeur plus sèche. Étant admis que la pression de 10 kilogrammes ne doit pas être dépassée à la machine, l'opération peut être avantageuse ; toutefois la température plus élevée dans la chaudière (197 au lieu de 183 degrés dans l'espèce) doit laisser perdre des gaz un peu plus chauds dans la cheminée.

Une question intéressante se pose parfois en pratique : lorsqu'une machine donnée doit marcher à puissance réduite, convient-il d'augmenter beaucoup le rapport de détente ou bien de conserver une détente modérée en réduisant la pression par laminage avant l'arrivée à la machine ? La réponse dépendra des circonstances de chaque cas ; mais aujourd'hui on ne préconise plus uniquement la détente et toujours la détente, ainsi qu'on le faisait autrefois. Surtout avec les machines à grands espaces libres et sans compression, on aura souvent avantage à laminer la vapeur et à ne faire qu'une détente modérée dans le cylindre.

Le laminage à l'admission entraîne une certaine perte sur la surface du diagramme, c'est-à-dire une réduction du travail produit, mais compensée en partie par un léger assèchement de la vapeur. Il a surtout l'avantage pratique d'augmenter la détente effectivement obtenue dans les machines à tiroir, comme nous le rappellerons au chapitre IV, détente qui serait souvent trop faible.

Enfin le laminage à l'échappement est sans compensation thermique dans les machines à un cylindre ; dans les machines à détentes successives, l'assèchement de la vapeur à l'échappement d'un cylindre augmente l'effet utile du suivant. Dans les machines à tiroir, l'effet indirect du laminage à l'échappement est de réduire la perte de travail provenant de l'échappement anticipé.

D'une manière générale, on peut dire que beaucoup des constructeurs ne semblent pas redouter les effets d'un laminage modéré.

Effet des fuites. — Les fuites ont, sur la consommation de vapeur, un effet comparable à l'action des parois ; ou plutôt l'action des parois peut se comparer à une fuite importante de vapeur de la chaudière au condenseur. La plupart des machines peuvent donner lieu à des fuites de vapeur par les organes de distribution et autour des pistons. Rien ne révèle ces fuites, à moins qu'elles ne prennent une grande importance ; c'est l'un des défauts de toutes ou de presque toutes les machines à vapeur ; il peut exister des fuites de vapeur qui augmentent par l'usure, sans que rien les fasse remarquer.

Dans les machines à plusieurs détentes, les fuites sont atténuées par la moindre différence des pressions des deux côtés des organes de distribution et des pistons, et la vapeur qui fuit n'est complètement perdue que si elle fuit dans le cylindre à basse pression, qui seul communique avec le condenseur.

Conversion du travail indiqué en travail effectif. — La dernière des causes de diminution du rendement du cycle théorique n'est pas l'une des moins importantes. Jusqu'ici nous avons examiné le travail produit par la pression de la vapeur sur les pistons, travail que fait connaître l'indicateur, et qu'on nomme pour cette raison *travail indiqué*. Ce qui importe en définitive c'est le *tra-*

vail effectif, disponible sur l'arbre de la machine, et qu'on peut mesurer au frein de Prony. Le travail effectif est notablement inférieur au travail indiqué, qui doit fournir en outre le travail absorbé par les résistances passives de la machine, et par certaines pompes indispensables à sa marche, telles que la pompe alimentaire des chaudières et les pompes du condenseur. On pourrait soustraire au préalable du chiffre du travail indiqué la valeur de ces travaux nécessaires pour la marche de la machine, afin de n'avoir à comprendre dans le coefficient de réduction, qui permet de déduire le travail effectif du travail indiqué, que la part des résistances passives; mais la correction n'est pas de grande importance. Dans une machine à air chaud, où une pompe de compression nécessaire à la marche absorbe le tiers ou la moitié du travail fourni par le cylindre moteur, il est au contraire indispensable de faire cette soustraction, et l'on doit entendre par travail indiqué celui qui est donné par la différence des diagrammes relevés sur les deux cylindres moteur et compresseur.

Comme c'est, en somme, une convention qui détermine exactement ce qu'on doit comprendre dans le travail indiqué, disons que les habitudes de la marine française, et aussi, je crois, de la marine des autres pays, sont d'additionner le travail sur les pistons des machines principales et de servitude, moteurs de pompes alimentaires, pompes à air, de circulation et même des ventilateurs s'ils sont nécessaires pour le service des chaufferies; c'est le total de tous ces travaux indiqués, rapprochés du poids de combustible brûlé, après déduction de ce qui correspond à la production de la vapeur employée à d'autres usages, qui donne la consommation de charbon par cheval-heure, sauf indication contraire.

Dans la machine à vapeur, et prenant en bloc toutes les résistances, le travail effectif ne s'élève guère, dans

les cas les plus favorables, au-dessus de 0,9 du travail indiqué. Quant au minimum du coefficient de réduction, on ne saurait le donner; disons seulement que pour bien des machines un coefficient de 0,75 est encore assez favorable.

Que devient le travail qui disparaît ainsi? D'abord la pompe alimentaire peut absorber au moins 0,005 du travail indiqué; la condensation en prend environ 0,035; c'est une perte de rendement qui n'existe pas dans les machines à échappement dans l'atmosphère, et qu'on doit considérer quand on pèse les avantages et les inconvénients de la condensation dans chaque cas particulier. La distribution, surtout quand elle se fait à l'aide de tiroirs et que ces tiroirs ne sont pas équilibrés, consomme un travail notable. Disons ici un mot d'une théorie qui a été quelquefois singulièrement étendue : l'effet du frottement d'une pièce telle qu'un tiroir se trouverait compensé par suite de la conversion du travail consommé en chaleur, chaleur qui se retouverait dans la vapeur à son entrée dans le cylindre. Remarquons qu'une très bonne machine à vapeur transformera en travail 12 calories sur 100 fournies par la chaudière; si une partie de ce travail se retransforme en chaleur, en admettant même que cette chaleur soit entièrement communiquée à la vapeur motrice, la compensation sera minime; l'opération complète donnera une perte de 88 calories sur 100.

La difficulté de la mesure du travail effectif des machines puissantes rend assez rares les documents précis sur le coefficient de réduction du travail indiqué. Citons, parmi les recherches les plus récentes, les expériences faites au Creusot sur une Corliss d'une centaine de chevaux, rapportées dans le travail déjà cité de M. Delafond (*Annales des mines*, 1884, 2e sem.); la formule proposée pour donner, en chevaux, la puissance effective T_e

en fonction de la puissance indiquée Ti est

$$Te = -16 + 0{,}9\,Ti,$$

ou

$$Te = -12 + 0{,}95\,Ti,$$

suivant que la machine marche avec ou sans condensation.

Le professeur Thurston arrive à des conclusions différentes : d'après ses expériences, les résistances passives d'une machine seraient constantes malgré les variations du travail effectif produit. On peut alors déterminer les résistances passives en communiquant le mouvement de rotation à la machine à étudier à l'aide d'une autre machine et mesurant le travail transmis avec un dynamomètre de rotation; on doit seulement enlever les plateaux du cylindre de la machine à étudier afin d'éviter la résistance due à la compression de l'air. On peut enfin déterminer séparément les diverses résistances passives en démontant successivement les organes de la machine étudiée. M. Thurston a ainsi trouvé que le frottement de l'arbre moteur constituait le tiers ou même la moitié des résistances passives totales; puis vient le frottement des tiges de piston et de tiroir dans les garnitures, et ensuite le frottement du tiroir, qu'on peut réduire beaucoup par l'emploi des compensateurs.

Les travaux de M. Thurston ont été communiqués en 1888 à la Société américaine des ingénieurs mécaniciens; on en trouve l'analyse dans l'*Engineering*, vol. XLVII, p. 48 et 68, et dans la *Revue universelle des mines*, 1889, t. IV, p. 218.

M. Aspinall a mesuré expérimentalement le travail absorbé par les tiroirs de locomotives en intercalant sur la tige un appareil qui enregistre l'effort transmis par l'intermédiaire d'un piston et d'un cylindre rempli d'un liquide, un indicateur ordinaire donnant la pression du liquide. Les chiffres donnés par M. Aspinall (voir *Min. of*

Proceedings of the Inst. of Civil Engineers, XCV, p. 167) sont très faibles; il trouve le coefficient de frottement égal à 0,05 ou 0,07 de la pression supportée sur le tiroir, ce qui le conduit, dans les exemples choisis, à une consommation par les tiroirs de 0,0134 à 0,0226 du travail indiqué.

Rendement des machines à vapeur. — Quel est le rendement, ou proportion de la chaleur cédée à l'eau qui se transforme en travail, le plus élevé donné par les essais? Disons que ce rendement s'évalue d'habitude sur le travail indiqué, et qu'il faudrait encore lui appliquer le coefficient de réduction signalé ci-dessus. D'abord le rendement théorique maximum, évalué, comme nous l'avons dit au début de ce chapitre, d'après la règle simple déduite du théorème de Carnot, sera, pour les limites de température de 180 et 40 degrés, 0,31, et 0,36 pour les limites extrêmes de 200 et 30 degrés. Le maximum du rendement pratique paraît approcher de la moitié de ces chiffres; le travail indiqué serait donc la moitié du maximum qu'il ne peut dépasser d'après les lois de la thermodynamique. On s'est même approché davantage du rendement du cycle de Carnot dans des machines avec moindres écarts des températures extrêmes.

Recherches expérimentales sur les machines à vapeur. — Nous avons mentionné quelques-unes des nombreuses expériences récemment faites sur les machines à vapeur. De toutes parts, en effet, on poursuit avec ardeur les recherches de ce genre. Les phénomènes étant complexes, il est difficile de reconnaître la part de chacun d'eux; la multiplicité des observations et le soin qu'on y apporte augmentent chaque jour nos connaissances sur ce sujet complexe. Dans divers établissements d'enseignement,

on a installé des machines d'expériences, disposées pour marcher dans des conditions variées. Citons notamment celle qui existe à Londres à la *Central Institution of the City and Guilds of London Technical Institute*. Cette machine a deux cylindres de 222 et 400 millimètres de diamètre, avec course de 534, qui peuvent fonctionner séparément ou en compound; elle est munie d'un condenseur à surface. La distribution à tiroirs superposés permet une variation des périodes d'admission. Enfin, on peut modifier le volume des espaces libres des cylindres et du réservoir intermédiaire de vapeur. Cette machine est décrite et figurée dans l'*Engineering*, 2e sem. 1888, p. 475.

Emploi de la vapeur surchauffée. — On sait que l'avantage de la surchauffe est surtout de réduire l'action des parois; une partie de la chaleur reçue par les parois pendant l'admission provient de la chaleur de surchauffe, cédée sans condensation; la quantité d'eau à évaporer pendant la détente et l'échappement, et le refroidissement des parois qui en résulte, sont, par suite, moindres. On ne peut d'ailleurs évaluer le rendement théorique de la vapeur surchauffée d'après le théorème de Carnot appliqué entre les températures extrêmes, car il n'y a qu'une faible fraction de la quantité de chaleur reçue par la vapeur qui soit cédée à la température supérieure; la plus forte partie de cette chaleur est communiquée, en effet, à la température de saturation de la vapeur.

Malgré les avantages théoriques de la surchauffe, confirmés par l'expérience, elle n'est que bien rarement employée, à cause des difficultés pratiques qu'on éprouve à surchauffer convenablement la vapeur. Je ne parle pas ici de la surchauffe légère qui peut parfois se produire dans les appareils destinés surtout à sécher la vapeur. Mais, pour obtenir une surchauffe notable, il faut de

grandes surfaces fortement chauffées, d'un entretien coûteux et gênant. On peut regretter de voir la question presque abandonnée par les praticiens.

Machines à vapeur autres que celles de l'eau. — Quelquefois on emploie dans les machines à vapeur d'autres substances volatiles que l'eau. Rappelons d'abord les anciennes machines à vapeur combinées de du Tremblay, si intéressantes pour le théoricien. Dans ces appareils, le cylindre à éther ou à chloroforme tient la place du cylindre à basse pression des machines à plusieurs expansions actuelles, mais avec l'avantage de dimensions bien moindres. Supposons, dans une machine à plusieurs expansions, un cylindre donnant de la vapeur à 60 degrés, ou à la tension de $0^{atm},2$; nous voulons détendre cette vapeur dans un nouveau cylindre jusqu'à 30 degrés, température de la source froide; ce nouveau cylindre devrait avoir un volume supérieur à quatre fois celui du précédent. On arriverait ainsi à des cylindres si grands pour une vapeur à très faible tension, que l'action des parois et des frottements rendraient l'opération impraticable. Au contraire, la vapeur d'eau à 60 degrés renferme assez de chaleur pour vaporiser 5,5 fois son poids d'éther pris à 30 degrés; cette quantité de vapeur d'éther, détendue de 60 à 30 degrés, occuperait 2,55 fois son volume primitif; son volume final ou volume du cylindre où elle travaillerait, ne serait que le tiers du volume du cylindre d'où s'échappe la vapeur d'eau à 60 degrés. En d'autres termes, la faible valeur de la tension de la vapeur d'eau au-dessous de 60 degrés ne permet pas de profiter convenablement d'une source froide à basse température; nous examinerons ce point avec plus de détails en parlant de la condensation; avec des liquides plus volatils, au contraire, on peut tirer parti de l'abaissement de température de la source froide.

Mais, en pratique, on n'abaisse guère les températures de condensation au-dessous de celles où la vapeur d'eau convient encore à la rigueur; ce qui explique, avec les difficultés d'exécution, les pertes de chaleur lors de l'échange d'un liquide à l'autre, la disparition des machines à vapeur combinées, auxquelles on a substitué avec avantage les compound, qu'on peut appeler des machines à vapeurs combinées du même liquide. Mais si l'on disposait facilement d'une source froide à la température de zéro ou même inférieure (par exemple si la navigation s'établissait normalement dans les mers polaires), on aurait une nouvelle application possible du principe des machines à vapeur de deux liquides différents.

Aujourd'hui on fait usage dans quelques petites machines, notamment pour des canots, de la vapeur de pétroles légers au lieu de vapeur d'eau; on a l'avantage d'employer le même corps comme combustible dans la chaudière et comme liquide à vaporiser. Par exemple, dans la machine Quillfeldt (un canot muni d'un appareil de ce système était exposé par la Société des anciens établissements Cail) la vapeur de pétrole, après avoir travaillé dans le cylindre, se condense dans des tubes baignés le long de la quille, et le liquide retourne au réservoir qui le contient. On brûle un jet de vapeur emprunté à la chaudière. La consommation de ces appareils (6,7 litres par heure pour une machine de quatre chevaux), est supérieure à celle d'un moteur à gaz marchant au pétrole.

Yarrow a employé de même les essences de pétrole dans la chaudière, avec un combustible liquide distinct moins volatil. Ce qui donne un intérêt théorique à ces machines, c'est que, d'après certaines expériences, la consommation du combustible serait notablement réduite, tout restant égal d'ailleurs, par la substitution de

l'essence de pétrole à l'eau dans la chaudière. Disons qu'a priori on ne doit pas regarder ces résultats comme inadmissibles. Dans les petites machines à vapeur surtout, le travail de la vapeur se fait dans des conditions très éloignées du cycle de Carnot; il est donc possible que certains liquides puissent donner moins de pertes de rendement que l'eau, et se trouver ainsi plus avantageux même avec un moindre écart des températures extrêmes (à égalité de pression, les liquides employés auront, en général, une température bien inférieure à celle de l'eau). Il convient de remarquer que, dans les petits moteurs alimentés par ces vapeurs, on n'utilise guère que le travail de pleine pression; or, le travail de pleine pression est une fraction du travail total que peut donner la vapeur, fraction variable suivant la nature du liquide vaporisé; pour une machine sans détente, le meilleur liquide serait celui pour lequel cette fraction est la plus forte. La vitesse de la machine était, en outre, plus grande dans les essais avec vapeur de pétrole (voir *Portefeuille économique des machines*, 1888, p. 139).

Indicateurs. — Pour l'étude des machines à vapeur, comme pour reconnaître si elles sont bien réglées et quel travail elles produisent, on fait partout usage de l'indicateur. Les constructeurs d'appareils de précision ont établi des types nombreux de cet instrument, disposés pour fonctionner aux grandes vitesses, qui dépassent parfois 400 tours par minute, sans donner ces oscillations du crayon qui déforment le diagramme. Malgré l'habileté avec laquelle certains artistes ont résolu le problème, nos préférences restent toujours au type M. Deprez [nous n'entendons pas, bien entendu, trancher la question de priorité relative au principe de cet instrument qui a été soulevée dans le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse* (sept. 1875); on sait combien

il est fréquent, dans les recherches sur les mêmes sujets, que des solutions analogues soient trouvées par plusieurs savants].

L'indicateur M. Deprez, que M. Haton a décrit en détail dans les *Annales* (7e s., t. XVI, p. 202), donne le diagramme points par points, un point étant tracé au moment où la pression sur le piston de l'appareil devient égale à la tension d'un ressort, tension qu'on fait varier lentement à la main ; c'est l'instrument qui semble laisser le moins de doute sur la sincérité de ses indications, aux grandes vitesses.

Grâce à l'emploi de l'indicateur, on peut contrôler efficacement le réglage de la distribution des machines : d'intéressants détails à ce sujet existent dans des ouvrages spéciaux, notamment celui de von Pichler (traduit par Séguela) sur l'*Indicateur et son diagramme*.

Mais en voyant les diagrammes si clairs, si faciles à comprendre, de l'indicateur, il ne faut pas oublier ce qu'il ne donne pas ; il ne fournit aucun renseignement (si ce n'est indirectement et par des déductions compliquées) sur la quantité de vapeur consommée par une machine. Il ne montre pas l'importance des condensations à l'admission, et des vaporisations à l'échappement, mises en lumière sur les tracés graphiques tels que ceux de la *fig.* 4, Pl. XIII. Il ne faut donc demander à l'indicateur que ce qu'il peut donner, et ne pas juger la valeur d'une machine uniquement d'après l'aspect de son diagramme.

Dynamomètres. — L'emploi du dynamomètre, qui permet de mesurer le travail effectif des machines, n'est pas aussi fréquent qu'il serait désirable, à cause des frais et des difficultés d'installation. On distingue les dynamomètres d'absorption, dont le type est le frein de Prony, et les dynamomètres de transmission, qui mesurent et souvent enregistrent graphiquement le travail communiqué par un moteur. Les petites machines sont souvent essayées au frein de Prony, varié de mille manières. Parmi les modifications les plus intéressantes, je citerai celles qni ont pour but d'empêcher l'échauffement de l'appareil à l'aide d'une circulation d'eau, qui peut se faire à l'intérieur de la poulie sur laquelle frotte le frein, l'eau pénétrant et sortant par l'axe. On doit retrouver en chaleur communiquée à l'eau la majeure partie du travail absorbé : M. Garrett, d'après quelques essais, donne les chiffres de 0,65 à 0,75 pour la proportion ainsi retrouvée dans l'eau, le reste de la chaleur se dissipant par rayonnement ou conductibilité (voir *Minutes of Proceedings of the Inst. of Civil Engineers*, t. XCV, p. 14, dans un intéressant travail sur les dynamomètres).

On trouvera dans le même travail une description du levier d'Appold, qui bute contre un point fixe et relâche ou serre les bandes appliquant les sabots du frein, suivant que le poids suspendu est entraîné ou s'abaisse, de manière à régler automatiquement l'appareil ; les causes d'erreur qu'introduit cette disposition, les moyens d'éviter ces erreurs, y sont l'objet d'une discussion.

Je citerai encore les *balances dynamométriques* Raffard, où le frottement est produit par des sangles passant sur des poulies de renvoi et tendues par des poids ; ces sangles peuvent être métalliques (voir *Bulletin de la Société des élèves des écoles d'arts et métiers*, avril 1889, p. 283) ; le frein équilibré Minary, soutenu par un galet placé sous l'axe de la poulie, afin de soustraire l'arbre de la machine au supplément de frottement provenant du poids du frein même (*Bul. Soc. ind. de Mulhouse*, 1889, p. 153).

On emploie plus rarement les dynamomètres de transmission. Nous citerons une installation importante faite à Creil en 1886, d'après une étude de M. Contamin. La puissance, dépassant 100 chevaux, est transmise par

l'intermédiaire de deux roues d'angle égales placées en regard l'une de l'autre, avec un axe géométrique commun; ces deux roues sont reliées par deux autres roues d'angle égales, montées folles sur un arbre spécial, dont l'axe est perpendiculaire au premier et le rencontre; cet arbre spécial peut pivoter autour de ce premier axe et, dans chacune de ses positions, il est soumis à l'action d'un poids connu à l'extrémité d'un bras de levier variable. Il y a à chaque instant équilibre entre l'action de ce poids et les pressions sur les dents des roues d'angle; ces pressions, proportionnelles au travail transmis, se trouvent ainsi déterminées pour chaque position du système. Cet appareil est représenté dans le *Portefeuille écon. des mach.*, mai 1887. Je terminerai en citant une revue des dynamomètres par G. Richard dans les t. II, VI, VII et VIII de la *Lum. électrique*, et l'appareil optique de M. Mascart, pour la lecture directe du déplacement relatif des deux poulies d'un dynamomètre, avec enregistreur photographique (*C. R. Acad.* mars 1890, p. 605).

CHAPITRE IV.

DISTRIBUTION DE LA VAPEUR.

Bien des systèmes divers distribuent la vapeur dans les cylindres des machines; leur nombre s'augmente sans cesse, car, à côté des appareils nouveaux qui apparaissent tous les jours, les anciens continuent leur service sans qu'on songe à les remplacer. Outre les constructeurs, qui multiplient ainsi les systèmes, beaucoup de théoriciens se livrent à l'étude de la distribution, à en juger par la quantité et l'importance des ouvrages publiés sur cette question. Nous sommes loin de donner, dans le présent chapitre, une liste complète des systèmes aujourd'hui usités.

Chacun des deux compartiments du cylindre que sépare le piston doit être, à certains moments, en communication avec l'arrivée de la vapeur et avec l'échappement, et, à d'autres moments, complètement isolé, pour la détente et pour la compression de la vapeur. Les quatre phases principales de la distribution, pour chacun des compartiments du cylindre, se subdivisent en six, en considérant le sens de la marche du piston, admission, détente, échappement anticipé, échappement, compression, admission anticipée. Souvent les limites réelles de ces périodes ne sont pas nettement marquées et ne coïncident pas exactement avec l'ouverture et la fermeture des organes de distribution : nous avons déjà fait remarquer que, dans les machines rapides à tiroir, la détente commence avant la fermeture complète de l'admission, et se prolonge pendant l'échappement anticipé; de même la compression commence avant la fermeture de l'échappement.

Sections de passage de la vapeur. — La différence de pression qui existe à un instant quelconque entre le cylindre et l'enceinte avec laquelle il communique dépend de la section de passage et de la vitesse qu'y prend la vapeur. La section est facile à connaître dans chaque cas; mais il est malaisé de déterminer la vitesse de la vapeur, puisqu'elle dépend non seulement de la vitesse du piston et de sa section, mais aussi des condensations et vaporisations dans le cylindre. Aussi se contente-t-on souvent d'appliquer une règle simple : on considère une vitesse fictive de la vapeur, en supposant le piston constamment animé de la vitesse moyenne $\frac{4\,n\,\mathrm{R}}{60}$ (n, nombre de tours par minute, R, rayon de la manivelle motrice), en admettant que la quantité de vapeur correspond simplement au volume qu'il engendre, et en négligeant tout

effet de contraction de la veine. Cette vitesse fictive ne doit pas dépasser 50 à 55 mètres par seconde quand les conduits sont courts, et 40 mètres quand ils sont sinueux (règle donnée par *Cornut* dans son *Étude géométrique des principales distributions*). Pour les machines marines, M. Bienaymé indique des vitesses de 30 à 40 mètres. La vitesse à admettre pourra d'ailleurs varier beaucoup suivant les cas : c'est surtout pendant l'échappement qu'il convient d'avoir de larges passages, pour ne pas accroître inutilement la contre-pression sur les pistons.

Distribution par tiroir. — Le tiroir continue à être largement employé; il reste presque exclusivement, sous des formes diverses, l'organe de distribution des machines marines, des locomotives, des locomobiles, des machines rapides, très en faveur aujourd'hui. La connaissance du mouvement d'un tiroir, conduit par une manivelle ou un excentrique, est la base de l'étude des distributions ; un grand nombre de méthodes ont été données pour la détermination des lois de ce mouvement. C'est, en somme, un problème simple de cinématique : on peut presque s'étonner qu'il ait donné lieu à tant de travaux, et se demander si la multiplicité même de ces travaux ne fait pas paraître le problème plus compliqué qu'il ne l'est en réalité.

Épures de distribution. — Parmi les nombreux procédés d'épures, les uns, connus depuis longtemps, continuent à être employés pour l'étude des distributions; quelques autres sont nouveaux : nous citerons la méthode des gabarits, de MM. Coste et Maniquet, qu'ils ont exposée dans leur *Traité théorique et pratique des machines à vapeur au point de vue de la distribution* (Paris, 2e édition, 1886) : à l'aide de quelques gabarits simples, cette méthode permet de tracer des épures ri-

goureuses à la grandeur d'exécution ou amplifiées, sans sortir du cadre ordinaire des feuilles de dessin. Nous mentionnerons aussi le procédé de M. Dubost (voir *Comptes rendus de l'Académie des sciences* du 3 décembre 1888 et *Portefeuille économique des machines* de mars 1890) pour trouver la position exacte d'un point conduit par une bielle et une manivelle : L étant la longueur de la bielle, R celle de la manivelle, si l'on prend $\frac{PQ}{OP} = \frac{R}{L}$ (*fig.* 7, Pl. XIII), le mouvement rectiligne de la petite tête de bielle sera celui du point m', obtenu en joignant IP, I étant le point où Qm coupe la circonférence. M est l'extrémité de la manivelle et m sa projection.

Une autre épure simple est celle des *Cercles de Müller*, donnée par M. Cornut dans son *Étude géométrique* citée un peu plus haut. Décrivons deux cercles O et C (*fig.* 8, Pl. XIII) de rayons L — R et L, tangents intérieurement en B. Si l'on mène OP faisant avec OB l'angle ω dont a tourné la manivelle motrice depuis son point mort, PQ sera le chemin parcouru par le piston.

Lorsque le tiroir est conduit par une coulisse ou par l'un des nombreux appareils équivalents en usage aujourd'hui, on peut assimiler par approximation son mouvement, pour chacune des positions de l'arbre de relevage de l'appareil, au mouvement que lui donnerait un certain excentrique fictif. L'étude approchée d'un système de coulisse consiste à déterminer la variation de l'excentrique fictif. M. Guinotte a donné une méthode fort simple pour résoudre ce problème, méthode dérivée de la règle du *parallélogramme des excentriques* (voir p. 479); le centre de l'excentrique fictif divise la droite qui joint les centres des excentriques réels comme le point qui conduit le tiroir divise la coulisse elle-même, supposée droite. La méthode est décrite dans les *Annales*, 2e sem. 1877, p. 5, et dans l'ouvrage de M. Pichault sur

les *Appareils de distribution par tiroirs*, etc. M. Madamet l'expose dans ses *Considérations géométriques relatives aux systèmes de distribution Marshall, Joy*, etc. (1887), en montrant comment elle s'étend aux cas où la coulisse n'est plus conduite par des excentriques réels.

Après l'examen approché d'un appareil de distribution, on a souvent recours, pour l'étude minutieuse, en vue de l'exécution, à un modèle exact : c'est la méthode la plus sûre et peut-être la plus rapide, si le modèle est bien construit et se prête aisément à des modifications permettant de déterminer par quelques essais les éléments tels que longueurs des bielles de suspension des coulisses, position des points de suspension, etc. L'ouvrage de M. Pichault, cité un peu plus haut, donne des détails minutieux sur l'exécution et l'emploi de ces modèles.

Types divers de tiroirs. — Le tiroir se présente sous des formes diverses qu'on peut appeller géométriquement équivalentes, parce qu'elles ne changent pas les lois de la distribution. Citons les *tiroirs à double orifice*, d'un emploi fréquent dans les grandes machines marines, et qui découvrent à la fois deux lumières parallèlement placées au lieu d'une seule; les *tiroirs solidaires*, qui dérivent d'un tiroir unique supposé coupé en deux parties, reportées vers les extrémités du cylindre, afin de réduire la longueur des passages de vapeur; l'ingénieux *tiroir de Trick*, à canal (*fig.* 9, Pl. XIII). Dans le *tiroir de Thom* (*fig.* 10), les deux lumières du canal sont rapprochées de manière à faire communiquer les deux côtés du cylindre au moment où le tiroir passe par sa position moyenne : c'est l'effet du découvert du tiroir, mais en conservant le recouvrement intérieur pour la communication avec l'échappement. Le canal laisse passer un peu de vapeur d'un côté à l'autre du piston et augmente ainsi la compression, insuffisante dans les cylindres qui échappent

dans un condenseur (voir *Engineering*, 1er sem. 1885, p. 485). Ce tiroir est, en outre, à double orifice pour l'échappement seul.

On emploie quelquefois le tiroir à canal pour la distribution des machines Woolf à cylindres en tandem; les cinq lumières doivent déboucher sur une table unique, au milieu l'échappement, puis les deux lumières du cylindre à basse pression et, aux extrémités, celles du cylindre à haute pression.

Le canal, dont la section doit être assez grande, établit la communication des deux cylindres. Tel est le tiroir de Hick (voir Reuleaux, trad. Debize, le *Constructeur*, 3e éd., p. 1140); celui de la locomotive Nord type Woolf à l'Exposition de 1889 (*Revue générale des chemins de fer*, 2e sem. 1888, p. 298). Dans le tiroir Rennie (*Bienaymé*, *Machines marines*, p. 190), le canal présente une ouverture centrale qui permet de disposer plus commodément les cinq lumières, les deux lumières du petit cylindre étant voisines et suivies des deux lumières du grand, encadrant la lumière d'échappement.

Les dispositions les plus intéressantes sont celles qui permettent d'équilibrer en partie la pression sur le tiroir et de réduire le frottement considérable qui en résulte. Cette pression varie à chaque instant suivant la position du tiroir sur la table; il est, d'ailleurs, difficile de savoir si, par suite d'inégalité des surfaces frottantes, la pression de la vapeur ne s'exerce pas sur une fraction de la surface qui devrait être en contact parfait avec la table.

Quoi qu'il en soit, le travail de frottement du tiroir est toujours notable, et peut absorber 0,02 à 0,03 du travail indiqué, transformé en chaleur et en usure de pièces. Aussi les tiroirs des grandes machines sont-ils presque toujours équilibrés. On continue à employer, dans la marine surtout, pour les tiroirs ordinaires, les compensateurs formés d'une couronne portée par le plateau de

boîte à vapeur et appuyée contre une face plane, que présente le dessus du tiroir, par des ressorts dont on règle la tension à l'aide de vis. Il doit, bien entendu, exister un joint étanche entre le compensateur et le plateau afin qu'on puisse soustraire à la pression de la vapeur d'admission l'espace qu'il isole sur le tiroir.

Avec cet appareil, on peut supprimer le conduit d'échappement qui contourne le cylindre, en faisant sortir la vapeur à travers le compensateur par un conduit monté sur le plateau; c'est la disposition simple et déjà ancienne du *tiroir à dos percé* (voir Couche, *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, t. III, p. 400), généralement abandonnée parce qu'une avarie du compensateur peut mettre la machine complètement hors de service. On la retrouve cependant dans les dernières locomotives compound de Webb.

Avec une forme différente, le tiroir intermédiaire de la machine Quéruel est construit d'après le même principe. Cette machine est du type Woolf, la vapeur doit passer directement d'un petit cylindre dans un grand; les deux cylindres sont munis de lumières placées en regard l'une de l'autre sur deux tables parallèles; le tiroir est formé de deux parties réunies par un soufflet métallique et porte sur les deux tables; il présente une ouverture qui se place devant les lumières et établit la communication au moment voulu (*Buchetti*, *Machines à vapeur à l'Exposition de* 1889, p. 53).

Certains tiroirs plans sont équilibrés de même parce qu'ils frottent sur deux glaces parallèles, mais sans aucun ressort; c'est une pièce unique ajustée à frottement doux entre les tables. Telle est, par exemple, la disposition de la *Straight line engine*, exposée dans la section des États-Unis et par la maison Ducommun (voir *Buchetti*, même ouvrage, p. 67). Cette machine, qui marche à grande vitesse, a des tiroirs séparés pour l'admission et l'échappement, disposés comme il vient d'être dit.

Quand on fait usage du compensateur à ressort, il peut être porté par le tiroir et frotter sur le plateau de la boîte à vapeur, comme dans la disposition Adams, parfois appliquée aux locomotives. La *fig.* 9, Pl. XIII, en montre l'emploi sur un tiroir à canal (locomotive à grande vitesse de la compagnie du Nord à l'Exposition de 1889). Pour les locomotives, la surface soustraite à la pression de la vapeur ne doit guère dépasser la moitié du rectangle formé par la face frottante.

On peut aussi relier le compensateur, soit au tiroir, soit au plateau, à l'aide d'une lame métallique mince et flexible, qui remplace une garniture (compensateur Cadiat). Cette lame peut former en même temps ressort (compensateur Normand. Voir à ce sujet *les Machines marines* de *Bienaymé*, p. 188).

Tiroirs cylindriques. — On obtient un équilibre complet des pressions en faisant usage des tiroirs cylindriques ou pistons, de plus en plus employés aujourd'hui. La boîte à vapeur devient un cylindre où se meuvent deux pistons solidaires, conduits par la tige du tiroir; ces pistons présentent les recouvrements convenables sur deux lumières annulaires; les lumières sont coupées par une série de barrettes obliques qui guident toujours les pistons. La difficulté est d'obtenir des pistons à segments élastiques bien étanches, et d'une longueur exactement déterminée. On fait usage parfois de quatre segments minces par piston, groupés deux par deux vers ses deux extrémités, avec joints croisés: plus simplement on emploie un segment unique de la largeur voulue, avec pièce rapportée pour fermer le joint des deux bouts. On peut même, comme dans la machine à grande vitesse Armington et Sims (*Portefeuille économique des machines*, 1888, p. 131), supprimer les segments en

ajustant exactement, à frottement doux, les pistons dans leur cylindre. Il serait intéressant d'avoir des détails précis sur le temps pendant lequel de tels pistons peuvent fonctionner sans fuite importante; avec des métaux durs et une exécution irréprochable, ce temps peut sans doute être assez long.

On considère souvent les tiroirs cylindriques comme moins étanches que les tiroirs plans; aussi, dans les machines à plusieurs expansions, voit-on parfois les tiroirs plans conservés sur le cylindre à basse pression seul, où les fuites de la vapeur, qui se perd dans le condenseur, sont le plus à craindre. Ajoutons cependant que cette réserve n'est pas générale et que de grands appareils à triple expansion récemment construits ou en cours de construction sont munis à tous les cylindres de tiroirs cylindriques, souvent au nombre de deux pour le cylindre à basse pression. Les grandes machines de la « City of Paris », dont une a été à moitié détruite le 25 mars dernier par un accident extraordinaire, ont un tiroir cylindrique au cylindre à haute pression, deux au cylindre à moyenne pression, et quatre au cylindre à basse pression (du diamètre de $2^{m},870$).

L'application des tiroirs cylindriques aux locomotives donne lieu à quelques difficultés spéciales, qui ont été indiquées par M. Ricour dans les *Annales des mines* (8e s., t. VI, p. 11).

Les tiroirs cylindriques permettent d'intervertir les côtés d'admission et d'échappement, en changeant de 180 degrés le calage de l'excentrique de commande. Cette interversion, ou échappement par les bords extérieurs du tiroir, soumet à une pression moindre la garniture de la tige. Ajoutons enfin que le tiroir cylindrique se prête à la double admission par des dispositions équivalentes à celle du tiroir plan à canal (exemple, Machine Armington et Sims, citée un peu plus haut).

Équilibre du poids des tiroirs. — Dans les grandes machines pilon, on équilibre facilement le poids des tiroirs et de leurs organes de commande à l'aide d'un piston constamment pressé en dessous par la vapeur d'admission. Si l'on fait usage de tiroirs cylindriques, on peut aussi obtenir le même effet en donnant une légère différence de diamètres aux deux pistons qui les composent, comme dans la machine pilon à grande vitesse de Lecouteux et Garnier (*Buchetti, Machines à vapeur à l'Exposition de* 1889, p. 73). Dans de grandes machines horizontales, on fait parfois usage, afin de diminuer l'effort demandé aux mécanismes de distribution, d'un cylindre à vapeur auxiliaire, qui aide à pousser ou à tirer le tiroir. On en voit un exemple dans la machine du Tage, construite par les *Ateliers et Chantiers de la Loire* en 1889, pour le tiroir plan du cylindre à basse pression.

Distributions à coulisses. — Les machines qui doivent tourner dans les deux sens ont le plus souvent des distributions à tiroir conduit par des coulisses ou par des systèmes articulés divers, et l'on fait un emploi fréquent, spécialement sur les locomotives, de la propriété qu'ont ces appareils de donner des admissions et des détentes variables.

On continue à employer la coulisse de Stephenson, la coulisse retournée de Gooch, la coulisse droite d'Allan, la distribution Walschaert, fréquemment usitée surtout en Belgique. On sait que la principale différence dans la distribution donnée par ces divers systèmes réside dans la constance ou la variation, aux différents crans de marche, de l'avance linéaire du tiroir, c'est-à-dire du degré d'ouverture de la lumière d'admission quand le piston est à fond de course. Cette avance est invariable avec les distributions Gooch et Walschaert, propriété qui peut être avantageuse ou non suivant les cas; la coulisse

Stephenson donne une avance linéaire croissante depuis la marche à fond de course de la coulisse jusqu'à la marche à son point mort ou milieu, quand les barres d'excentriques sont droites, et décroissante quand les barres sont croisées, propriétés qui peuvent être commodes : ainsi, pour les locomotives, l'accroissement des avances linéaires vers le point mort de la coulisse, position de marche aux grandes vitesses, est logique, car il y a intérêt à augmenter alors la section de passage de la vapeur, qui se trouve forcément bien réduite. Au contraire, dans certaines machines qui fonctionnent toujours avec la marche à fond de course dans un sens ou l'autre, les barres croisées pourront rendre l'avance linéaire nulle ou négative au point mort ; les lumières ne se découvriront plus du tout, et l'on pourra faire stopper la machine en mettant au point mort le levier de changement de marche.

A côté des mécanismes déjà anciens que je viens de rappeler, on fait aussi un fréquent usage de systèmes plus nouveaux pour la plupart, où un seul excentrique conduit la coulisse (comme dans la distribution Walschaert), ou bien qui n'ont même plus d'excentriques. Nous citerons quelques-uns de ces systèmes.

Dans la distribution Marshall (*fig.* 11, Pl. XIII), appliquée souvent à des machines marines, la bielle AB du tiroir est conduite par un point A d'un levier (ou barre d'excentrique) T_1KA, dont le point T_1 décrit un cercle autour de l'axe de l'arbre, et le point K un arc de cercle autour d'un centre d'oscillation H, extrémité du levier de l'arbre de relevage C (C se projette sur K) : en manœuvrant l'arbre de relevage, on déplace H sur l'arc $H_{AV}H_0H_{AR}$, depuis la marche avant jusqu'à la marche arrière. On remarquera l'extrême simplicité du système. Des appareils analogues sont ceux de Bremme, de Hackworth et l'ancienne distribution de de Solms (1842. Voir

Bienaymé, *Machines marines*, p. 253). Dans les deux derniers appareils, l'articulation autour d'un centre H est remplacée par une coulisse circulaire qui guide le point K, coulisse qu'on peut fixer dans diverses positions.

Parmi les systèmes qui suppriment complètement l'excentrique, nous citerons la distribution Joy, souvent employée en Angleterre pour les bateaux et les locomotives. La bielle AB du tiroir (*fig.* 12, Pl. XIII) est conduite par le point A du levier AKE, dont le point K est guidé par la coulisse CC′, et le point E décrit une courbe à peu près circulaire E_1E_4 ; la coulisse CC′ peut tourner autour de l'axe J et être fixée dans toutes les positions entre CC′ et C_1C_1', pour les marches avant et arrière. La courbe à peu près circulaire E_1E_4 est décrite par un point choisi sur un second levier GH, articulé en G_1 sur la bielle motrice M_1B_1, et en H à l'extrémité du levier HF, oscillant autour d'un centre fixe F. On voit que le mouvement du levier AKE qui conduit le tiroir est analogue à celui de la barre d'excentrique de la distribution Marshall.

On trouvera dans l'*Engineering* (2e sem. 1889, p. 613 et 641) une intéressante étude sur ces distributions, dites *radiales*, à un excentrique ou sans excentrique. La distribution Joy est décrite dans le *Portef. écon. des mach.*, 1886, col. 33.

Citons encore l'emploi d'une coulisse spéciale pour faire varier la course du tiroir, sans changement de marche, dans les machines construites par Chaligny. La coulisse est un arc de cercle CQP (*fig.* 13, Pl. XIII) décrit de T_1 comme centre avec un rayon égal à T_1E, T_1E étant la barre d'excentrique commandée par l'excentrique de rayon OT_1 ; cette coulisse oscille autour d'un de ses points, C, situé sur OC perpendiculaire à OT_1. E est fixé en un point quelconque de la coulisse, entre deux limites P et Q, suivant les degrés d'admission qu'on désire. La

bielle du tiroir est conduite par un point K invariablement relié à la coulisse. Après une rotation de 180°, OT_1 vient en OT'_1, et la coulisse en $CQ'P'$; son centre est en T'_1, puisque CT'_1 est égal à CT_1 et à T_1E', rayon de la coulisse. OT_1 et OT'_1 étant les rayons de l'excentrique quand la manivelle est à ses points morts, on voit que le déplacement de E sur la coulisse n'amène alors aucun mouvement du tiroir : donc les avances linéaires restent constantes quelle que soit la course du tiroir. Il est facile de tracer les excentriques fictifs dans chaque position.

Comment comparer entre eux les systèmes si nombreux de distributions à changement de marche ? En premier lieu, si l'étude approchée ramène toujours le mouvement du tiroir à celui que donnerait un excentrique fictif, l'étude exacte de la loi de ce mouvement peut indiquer des avantages pour certains systèmes, tels qu'ouverture et fermeture plus rapide des lumières. Mais on peut dire que ces avantages sont d'ordre secondaire et le plus souvent négligeables en pratique.

En second lieu, il faut considérer la simplicité plus ou moins grande des mécanismes, et surtout les efforts qu'ils ont à supporter, des efforts trop grands entraînant une usure rapide et des risques d'accidents. Pour les locomotives il convient aussi que les oscillations verticales n'apportent pas une trop grande perturbation au mouvement du tiroir; l'application de la distribution Joy n'est pas absolument satisfaisante à ce point de vue.

Le plus souvent, ce sont les conditions générales d'établissement d'une machine et les commodités de construction plus ou moins grandes dans chaque cas que donne un système qui en déterminent le choix. C'est ainsi que les coulisses de Stephenson, de Gooch, d'Allan, conviennent surtout si les tiges des tiroirs sont placées dans le même plan que les tiges des pistons, ou, plus généralement, si leur direction rencontre l'arbre moteur. Quand les tiges

de tiroir sont au contraire dans un plan parallèle à celui des tiges de piston, ces coulisses conviennent moins pour leur commande directe ; on est conduit à des balanciers de renvoi, ou même à un arbre auxiliaire portant les excentriques et monté dans le plan des tiges de tiroir, disposition qui a été adoptée pour plusieurs machines marines. Dans ce cas, les distributions Walschaert, Joy, Marshall, se prêtent à une commande directe des tiroirs; les dernières ont seulement l'inconvénient de soumettre leurs pièces à des efforts considérables. En somme, ce sont les conditions cinématiques de la construction plutôt que la considération de la distribution elle-même qui guident dans le choix du système.

Nous devons encore citer un mode simple de distribution applicable aux machines à trois cylindres commandant trois manivelles calées à 120°, disposition fréquente des appareils à triple expansion. Chaque manivelle a, sur celle qui la suit, une avance angulaire convenable pour conduire le tiroir du cylindre correspondant à cette seconde manivelle. Il suffit d'un simple renvoi par balancier réduisant convenablement la course, pour commander chaque tige de tiroir par une tige de piston. Cette distribution a été appliquée par Shand, Mason et C° et par Wilson. (*Engineering*, 1er sem. 1890, p. 99 et 206.)

Distribution elliptique. — Nous ne pouvons passer sous silence l'ingénieuse distribution elliptique, sur laquelle M. H. de la Goupillière a donné des détails étendus (*Annales*, 7e s., t. XVI, p. 140), construite par M. M. Deprez et par M. Lissignol (voir Pichault, ouvr. cité, p. 137). Dans ce système, la rapidité plus grande du tiroir, au moment de l'ouverture et de la fermeture des lumières d'admission, donne un effet analogue à celui du tiroir à orifices multiples. Malgré l'élégance de la solution, elle ne paraît pas s'être répandue dans la pratique.

Distributions par excentrique à calage et rayon variables. — Nous savons que, dans tous les systèmes de coulisses, le mouvement du tiroir, à chaque cran de marche, est à peu près celui qu'il recevrait d'un excentrique fictif, dont le centre se déplace sur une ligne droite ou voisine d'une droite. Si l'on réalise cet excentrique fictif, à calage et rayon variables, on obtiendra les variations cherchées de la distribution, en supprimant tout l'attirail intermédiaire de coulisse et annexes.

Tel est le principe de l'excentrique sphérique Tripier, employé par la compagnie d'Anzin pour des machines d'extraction : la poulie présente une surface sphérique extérieure sur laquelle porte le collier, le centre de la sphère étant le centre de l'excentrique qui conduit le tiroir. Ce centre peut se déplacer entre les positions extrêmes A′ et A (*fig.* 14, Pl. XIII), dans un plan parallèle à l'axe de l'arbre, la poulie étant articulée autour d'un axe K sur l'arbre, et l'un de ses points, D, pouvant recevoir un déplacement DD′ quand on fait glisser sur l'arbre un manchon N relié à D par la bielle ND. On conçoit que ce glissement soit facile à produire, même pendant la marche de la machine.

Les excentriques à calage variable par l'action du régulateur sont souvent employés dans les machines à grande vitesse pour faire varier le degré d'admission.

Cette disposition est assez ancienne; déjà, à l'exposition de Vienne, en 1873, M. Dw.-Déry signalait les régulateurs Friedrich, Hartnell et Guthrie, agissant de la sorte. (*Revue univ. des mines, etc.*, 1873, p. 166 et 169.)

L'une des dispositions les plus simples consiste à articuler la poulie d'excentrique autour d'un centre K (*fig.* 15, Pl. XIII), sur un plateau calé sur l'arbre de la machine, de manière que le centre de l'excentrique, dans la rotation autour de K, se déplace de T_0 à T_1 ; le rayon d'excentricité varie ainsi de OT_0 à OT_1, la manivelle motrice

étant en OM_1. La poulie est en outre sollicitée par deux forces opposées : l'une, P, provenant d'une masse métallique reliée au plateau et que la force centrifuge éloigne du centre O quand la vitesse augmente, et l'autre, R, produite par un ressort antagoniste. Pour chaque vitesse comprise entre un maximum et un minimum, qui peuvent être fort rapprochés d'ailleurs, le système prend une position d'équilibre et le centre d'excentricité s'arrête en un point donné sur T_0T_1. Pour que l'appareil fonctionne bien, la troisième force appliquée à la poulie et provenant de la résistance du tiroir, ne doit pas dépasser une certaine valeur; aussi fait-on usage de tiroirs équilibrés, le plus souvent cylindriques.

La variation du rayon d'excentricité est aussi obtenue en composant la poulie d'excentrique de deux poulies superposées E et E′ (*fig.* 16, Pl. XIII); deux masses, P et P′, articulées en C et C′ sur un plateau tournant avec la machine, s'écartent par l'action de la force centrifuge (elles sont représentées dans la position de plus grand écart) et sont sollicitées en sens contraire par des ressorts suivant R et R′; ces masses sont reliées par les bielles IJ, I′J′, à la poulie intérieure E, qu'elles font tourner dans un sens en s'éloignant du centre, quand la vitesse s'accélère; la bielle KL fait tourner en sens contraire la poulie extérieure E′, qui commande le collier; il en résulte un déplacement du centre de E′ de T_1 à T_0, c'est-à-dire une variation du rayon d'excentricité de OT_1 à OT_0, quand la vitesse passe d'un minimum à un maximum.

La plupart des machines à grande vitesse sont aujourd'hui munies de ces régulateurs agissant sur le calage de l'excentrique; plus la vitesse de rotation est grande, plus il est facile de donner au régulateur une puissance suffisante pour que la distribution ne soit pas troublée par la résistance du tiroir.

Tiroirs oscillants. — Au lieu de donner au tiroir un mouvement rectiligne alternatif sur une table plane, on peut le faire osciller autour d'un axe, les lumières débouchant sur une glace cylindrique : la distribution reste la même ; on compte alors la course du tiroir suivant la section circulaire de la table au lieu de la compter en ligne droite. Cette disposition est assez rare : nous citerons comme exemples le tiroir pendule Dutheil, appliqué sur une locomotive P. O. à l'Exposition et le tiroir oscillant Proell-Dorfel (*Port. écon. des mach.*, fév. 1889). Ces appareils forment la transition entre les tiroirs ordinaires et les distributeurs des machines Corliss et dérivées.

Emploi des distributions par tiroir unique. — Les distributions à un tiroir conviennent lorsqu'on recherche la simplicité sans désirer de grandes détentes dans un seul cylindre ; elles conviennent aussi pour les machines rapides, telles que les locomotives et certains moteurs aujourd'hui fort employés : nous savons qu'on peut obtenir dans ce cas une détente assez forte, grâce au laminage de la vapeur ; il faut alors que le moteur s'accommode d'une compression considérable. Faisons remarquer l'harmonie qui existe entre les diverses parties de l'appareil : la distribution ordinaire par tiroir donne à la fois de grands espaces libres, formés par les conduits de vapeur, et une forte compression, qui remplit ces espaces de vapeur vers la fin d'une course ; si d'aussi fortes compressions n'avaient pas été données, en quelque sorte spontanément, par le tiroir, il est probable qu'on n'eut pas eu l'idée de les produire.

Pour les machines à plusieurs expansions, la détente étant peu considérable dans chaque cylindre et une certaine compression utile, le tiroir s'applique très bien.

Recouvrement intérieur des tiroirs. — Nous dirons

quelques mots d'un des éléments les plus variables du tiroir, le recouvrement intérieur. Parfois ce recouvrement est nul, l'échappement anticipé d'un côté du piston commençant au même instant que la compression de l'autre. Plus souvent on trouve un recouvrement intérieur de quelques millimètres, retardant un peu l'échappement anticipé et avançant la compression. Enfin on voit, plus rarement, le recouvrement intérieur négatif ou *découvert*, qui retarde la compression en augmentant l'avance à l'échappement. Rarement ce découvert atteint une valeur aussi forte que sur les tiroirs des machines compound construites par Chaligny (dont un spécimen figurait à l'Exposition de 1889), où nous trouvons pour la somme des deux découverts (inégaux) du tiroir du cylindre à basse pression, le chiffre de 19,5 millimètres, la somme des recouvrements extérieurs étant 60,5 millimètres : aussi l'échappement anticipé commence-t-il dès que le piston a parcouru les trois quarts de sa course, l'admission moyenne, sur les deux faces, ayant lieu pendant la moitié de la course.

Soupapes Normand pour limiter la compression. — Quelquefois la compression donnée par le tiroir, dans les cylindres à haute pression des compound, est trop considérable, notamment lorsqu'on veut y obtenir une grande détente avec la coulisse. A. Normand a remédié à cet inconvénient, dans ses machines de torpilleurs, en plaçant sur les conduits des lumières en communication constante avec le cylindre, des soupapes légères qui s'ouvrent dans la boîte à vapeur et se soulèvent dès que la pression dans le cylindre dépasse celle de la boîte. Ces soupapes peuvent remplacer celles qu'on monte souvent sur les fonds des cylindres pour parer aux coups d'eau, et, dans ce cas, ne compliquent pas la construction.

La compound du système Bonjour, construite par la

Cie de l'Horme, présente sur le dos du tiroir des plaques destinées à se soulever de même dès que la compression devient trop forte (*Buchetti, M. à vap. à l'Exp. de* 1889, p. 31).

Distributions à deux tiroirs. — Lorsqu'on veut obtenir une détente considérable ou variable avec un degré déterminé de compression, on peut faire usage de la distribution à deux tiroirs, qui a l'avantage de rendre indépendants l'admission et l'échappement, tout en se prêtant à la marche à grande vitesse. Les deux tiroirs se trouvent fréquemment sur le cylindre à haute pression d'une machine compound, le cylindre à basse pression n'ayant qu'un tiroir simple qui donne toujours la même distribution.

Les deux tiroirs peuvent être montés sur des tables différentes, chacune avec ses lumières, et commmandés par deux excentriques différents, la commande du tiroir d'admission se faisant par un mécanisme de détente variable : tel est, par exemple, le cas de la *Straight line engine* citée plus haut. Toutefois, on dit dans ce cas que la machine est à tiroirs séparés pour l'admission et l'échappement, réservant le nom de distributions à deux tiroirs à celles que nous allons indiquer.

On continue à voir quelques applications récentes de la plus simple des distributions à deux tiroirs, l'ancienne détente Gonzenbach, où une glissière vient fermer à un moment donné l'entrée de vapeur dans la boîte où se meut le tiroir, boîte qui agrandit ainsi l'espace libre pendant la détente. On retrouve notamment cette distribution, sous une forme élégante, dans la compound à grande vitesse exposée en 1889 par la Société de construction d'Oerlikon : le tiroir est cylindrique, et avec admission par ses arêtes intérieures, c'est-à-dire entre ses pistons; la vapeur accède dans le cylindre où ils se meuvent par

des ouvertures que découvre et masque un troisième piston, placé entre les deux autres et commandé par une tige concentrique à la tige, creuse, du tiroir. Le dessin de cette machine se trouve dans le *Port. écon. des machines*, d'avril 1890.

Pour réduire l'espace libre supplémentaire de la glissière Gonzenbach, Paxman applique directement sur le dos du tiroir la cloison qui porte la glissière; cette cloison est guidée de manière à ne prendre aucun déplacement suivant le sens du mouvement des tiges; la pression de la vapeur l'applique toujours sur le tiroir malgré l'usure (voir *Buchetti, M. à vap. à l'Exp. de* 1889, p. 11). La machine Olry et Grandemanche présente de même un tiroir plat entre deux glaces fixes, avec obturateurs fermant, aux moments voulus, les orifices de la glace supérieure (*Revue univ. des mines*, 3e trim. 1889, p. 241).

On supprime presque entièrement l'espace libre supplémentaire donné par la glissière Gonzenbach, en montant le taquet ou la tuile de détente sur le dos même du tiroir, convenablement prolongé et muni pour l'admission de deux canaux que découvre ou referme le taquet. L'étude de la distribution paraît un peu plus compliquée, puisqu'il faut déterminer le mouvement relatif du taquet par rapport au tiroir; en réalité, cette étude est aussi simple que celle de la distribution à un seul tiroir, grâce au théorème de la composition des excentriques, donné par M. Guinotte : si OT et OT′ sont, en grandeur et direction, les rayons des excentriques conduisant les deux tiroirs, le mouvement relatif sera le même que le mouvement absolu donné par un excentrique dont le rayon OT″ serait égal et parallèle à TT′, en négligeant l'effet de l'obliquité des bielles.

Nous voyons peu d'applications récentes du taquet simple sur le tiroir, comme dans les systèmes ingénieux de Guinotte (voir *Revue de M. H. de la G., Annales*,

7e série, t. XVI, p. 151), et de Polonceau (voir *Couche, voie, mat. roulant*, etc., t. III, p. 366). Citons cependant la détente cinématique Bonjour, appliquée par la compagnie de l'Horme (*Buchetti, M. à vap. à l'Exp.*, p. 32) : le collier d'excentrique unique porte trois articulations, une qui reçoit la bielle de commande du tiroir principal, l'autre pour le tiroir de détente; la troisième est guidée par une tige de suspension articulée à l'extrémité d'un levier d'une sorte d'arbre de relevage commandé par un régulateur; suivant la position de cet arbre, le mouvement des tiroirs se modifie et l'admission est interrompue plus ou moins tôt.

Par contre, la détente Meyer, à deux taquets commandés par une vis à pas opposés, continue à être souvent employée; rappelons que l'appareil Meyer convient bien pour une variation assez étendue de l'admission autour d'une valeur moyenne choisie à volonté, et qu'il s'applique aux machines à changement de marche, en calant l'excentrique des taquets à 180 degrés de la manivelle motrice, bien que le calage avec une avance angulaire un peu moindre puisse mieux convenir si la machine n'a qu'un sens de marche. On continue aussi à appliquer la détente Rider, qui dérive de la précédente, et où le taquet est un cylindre avec bords en hélice se mouvant sur une face correspondante du tiroir; une rotation d'un petit nombre de degrés du taquet autour de sa tige produit les variations de la détente. On peut supposer que la surface cylindrique, avec bords en hélice, dérive d'un triangle plan enroulé, le taquet triangulaire plan recevant un déplacement perpendiculaire à la tige qui le commande, quand on veut faire varier la distance de ses bords à ceux des lumières. L'auteur de la présente revue a appliqué la détente Meyer sous cette dernière forme au cylindre à haute pression d'une locomotive compound, exposée en 1889; c'est le tiroir qu'on

peut à volonté déplacer sous le taquet, et comme de plus les bords intérieurs du tiroir ainsi que ceux de la lumière d'échappement du cylindre sont obliques, ce déplacement transversal fait varier en même temps le recouvrement intérieur. On peut ainsi modifier la période de compression suivant la pression du réservoir intermédiaire, pression qui dépend de la détente dans le premier cylindre (voir la *Revue gén. des ch. de fer*, 2e sem. 1889, p. 164).

Comme variante de la distribution Rider, nous citerons la disposition adoptée pour la machine pilon des anciens établissements Cail (*B., M. à vap. à l'Exp.*, p. 1), où le taquet de détente à bords en hélice est un cylindre complet, entièrement contenu dans le tiroir. La machine à grande vitesse Bürgin (*même ouvr.*, p. 46) possède deux tiroirs cylindriques concentriques.

Tiroirs avec taquets de détente à fermeture brusque. — Au lieu d'être commandés par un mécanisme analogue à celui du tiroir, les taquets peuvent interrompre l'admission que donne le tiroir par l'action d'une butée qui les arrête, comme dans l'ancienne machine Farcot, ou bien qui fait agir un déclic, comme dans la disposition plus récente de MM. Weyher et Richemond. La position de la butée varie à la main ou par l'action du régulateur. Des systèmes analogues sont ceux des machines Tangye (*Engineering*, 2e sem. 1886, p. 314), Hertay (*Buchetti, M. à v. à l'Exp. de* 1889, p. 17). Tous ces appareils ne se prêtent pas à une très grande vitesse de rotation.

Dans le système Bonjour, le tiroir de détente se ferme brusquement, non plus par l'action d'un ressort, mais par celle d'un petit piston auquel un robinet spécial distribue la vapeur; ce robinet est commandé par une coulisse en relation avec un régulateur (*Coste et Maniquet, distribution*, p. 212).

Distributions par soupapes. — Les distributions par soupapes tiennent toujours une place honorable, et sous des formes déjà anciennes, notamment dans les belles machines du type Sulzer. La grande machine d'extraction exposée en 1889 par la Société de Marcinelle et Couillet est également munie d'une distribution à soupapes, les soupapes d'admission se fermant par l'action d'un déclic, à la commande du régulateur (système Lelong), comme dans les machines Sulzer.

Plusieurs types de machines à soupapes ont été exposés à Vienne en 1888 : on en trouvera la description dans le *Port. écon. des machines*, février 1888. Les ouvrages de *Buchetti*, *les Machines à vap. actuelles* (1881) et de *Uhland* (*trad. par de Laharpe*), *les Nouvelles mach. à vapeur* (1879), donnent de nombreux détails sur ce genre de machines.

Distributions Corliss et dérivées. — Les distributions de ce genre sont en grande faveur aujourd'hui, et cette faveur est justifiée par la dépense modérée de vapeur de ces machines et par leur bonne marche : malgré la complication des mécanismes, il faut reconnaître que l'entretien en est facile et peu coûteux, quand ils sont constamment bien soignés. On peut se demander toutefois si l'emploi du *dash-pot* ou ressort pneumatique pour le rappel des obturateurs d'admission est bien un progrès, et si les ressorts d'acier ne sont pas tout aussi efficaces tout en étant plus simples à entretenir.

On sait que la distribution Corliss est caractérisée par la fermeture brusque de l'admission, variable au régulateur, et la très faible étendue des périodes d'échappement anticipé et de compression.

En outre, le déclenchement du déclic qui cause la fermeture de l'admission ne peut se produire que pendant le mouvement d'aller de l'obturateur, dans le mouvement

oscillatoire qu'il reçoit de la machine, et non pendant son retour : il en résulte que l'admission ne peut varier qu'entre les limites 0 à 0,35 ou 0,40 de la course du piston; au delà, elle dure pendant la course presque entière. Une étude détaillée des anciens mécanismes Corliss se trouve dans les *Nouvelles mach. à vap.*, de *Uhland*, *traduction de La Harpe* (1879).

Comme exemple de Corliss pure, nous citerons la machine du Creusot exposée en 1889 (*Buchetti*, *M. à v. à l'Exp. de* 1889, p. 114) : nous nous permettrons seulement de critiquer la commande des quatre obturateurs à l'aide d'une sorte de grande étoile en fonte oscillante, disposition qui se retrouve d'ailleurs sur d'autres machines : cette pièce est disgracieuse, et il est toujours à craindre que la rupture d'un bras ne vienne paralyser la machine et obliger à une réparation coûteuse.

On peut trouver que la limite de l'admission au tiers environ de la course du piston est parfois gênante, par exemple s'il s'agit d'une machine appelée à donner quelquefois des coups de collier, comme le moteur d'un laminoir (la Corliss est parfois employée à cet usage), et surtout si l'on applique ce mode de distribution aux machines compound, qui exigeront souvent une plus longue admission dans chaque cylindre. Or ce genre d'application était remarquable à l'Exposition de 1889 : tandis que jusqu'à présent on se contentait d'habitude des distributions à tiroirs pour les compound, nous avons vu à l'Exposition l'emploi fréquent des mécanismes à déclic sur ces machines. Il est naturel de chercher à obtenir sur les compound les bons effets que ces mécanismes ont donné sur les machines à un cylindre : seulement le bénéfice sera moindre, car l'un des avantages importants de la compound est de bien se prêter à l'emploi des tiroirs, en n'exigeant pas de grandes détentes dans chaque cylindre et en pouvant recevoir, au moins pour

le cylindre à haute pression dans les machines à condensation, une compression qui réduit beaucoup l'influence nuisible de l'espace libre.

Les modifications les plus intéressantes du système Corliss sont donc celles qui permettent d'allonger la période d'admission. Sans entrer dans la description des mécanismes, qui nous entraînerait trop loin, nous en citerons quelques-uns.

Disons d'abord qu'en 1880 et 1885, Corliss lui-même construisit de nouveaux types à longue admission. La distribution de la grande machine exposée par Farcot donne une admission variant de 0 à 0,8; une autre particularité de cette remarquable machine est la position des distributeurs dans les fonds, qui a permis de réduire au strict minimum, c'est-à-dire presque uniquement au jeu indispensable du piston, l'espace libre. Les dessins de cette machine se trouvent dans l'*Engineering* du 3 janvier 1890 et dans *les Mach. à vap. à l'Exp. de* 1889, par *Buchetti*, p. 105.

La machine exposée par Lecouteux et Garnier (*B. M. à v. à l'Exp.*, p. 110), donne également une variation de l'admission entre 0 et 0,8; elle dérive du type Corliss de 1868, dont une longue expérience a bien établi les qualités.

La distribution Frikart, représentée à l'Exposition sur les machines compound de la Société alsacienne et d'Escher Wyss et C° donne des admissions de 0 à 0,75 (Voir *Buchetti*, *M. à v. à l'Exp. de* 1889, p. 119 et 121).

La distribution Stoppani, qui figurait sur la machine exposée par Dickhoff, de Bar-le-Duc, mérite d'être citée, parce que les obturateurs ont été réduits à deux, un pour chaque côté du cylindre. Chaque obturateur, qui est en principe un demi-tiroir oscillant sur une table cylindrique, sert à l'échappement et à l'admission, avec addition d'un déclenchement et d'un ressort qui produit une

fermeture rapide. La période d'admission varie, par l'action du régulateur, entre les limites étendues de 0 à 0,78 de la course; le taquet d'entraînement du distributeur est, à cet effet, disposé pour buter contre un toc en relation avec le régulateur, soit à l'aller, soit au retour. Cette distribution est figurée dans la *Revue univ. des Mines*, 3e trim. 1889, p. 229; ajoutons que le constructeur en modifie le mécanisme de manière à réduire le frottement des obturateurs et éviter le choc qui se produit lorsque les taquets d'entraînement les saisissent. La simplicité de cette machine est remarquable.

Le nombre de tours par minute d'une machine Corliss ne dépasse guère 70. Désirant obtenir une machine analogue mais pouvant tourner plus vite, Lecouteux et Garnier ont supprimé le déclic des obturateurs d'admission, en commandant les quatre obturateurs Corliss à l'aide de deux excentriques : les machines de ce type qu'ils exposaient en 1889 font 180 tours (*B.*, *M. à v. à l'Exp.*, p. 76). L'excentrique des obturateurs d'admission est à calage variable par le régulateur.

Distributions par tiroirs plans à déclic. — On emploie fréquemment, dans les distributions à déclic, des tiroirs plans au lieu d'obturateurs à mouvement oscillatoire. Telle est, par exemple, la machine de la Compagnie de Fives-Lille : les deux tiroirs d'échappement sont conduits par un excentrique; un autre excentrique actionne les tiroirs d'admission par l'intermédiaire de leviers à déclic, pouvant faire varier l'admission de 0 à 0,60 de la course du piston.

Dans la machine Jean et Peyrusson, également exposée en 1889, les deux tiroirs d'admission, à fermeture par déclic, sont mus chacun par un excentrique spécial, et l'admission peut varier de 0 à 0,75; les deux tiroirs d'échappement, montés sur une tige unique, sont

actionnés par une came fixée à la crosse du piston moteur; leur déplacement a lieu aux fins de course du piston. Signalons une commande analogue des tiroirs d'échappement dans la machine Hoyois et Pornitz (*Port. écon. des machines*, 1889, p. 20).

La nouvelle machine Wheelock, qui a reçu d'assez nombreuses applications en France pour commander des pompes et comme moteur d'extraction, rentre aussi dans cette classe. Elle présente deux tiroirs à grille à chaque bout du cylindre, deux pour l'admission, deux pour l'échappement. Les mouvements à déclic qui commandent les deux premiers font varier l'introduction de 0 à 0,4 de la course environ, d'après l'action du régulateur. Ces tiroirs sont fort habilement placés avec leurs tables dans des logements cylindriques montés sous le cylindre, perpendiculairement à son axe; le tout forme un ensemble compact et peu encombrant, dont le démontage est aisé. Cette machine est décrite dans B., *les M. à vap. à l'Exp.*, p. 128. En apparence, elle est semblable à l'ancienne machine Wheelock, de l'Exposition de 1878; mais cette ancienne machine est munie de quatre obturateurs cylindriques oscillants, deux jouant le rôle d'un tiroir ordinaire à longue introduction, et les deux autres fonctionnant comme glissières Gonzenbach, pour couper l'arrivée de vapeur.

Quels sont les avantages des distributions à déclic que nous venons de passer rapidement en revue? L'un de ces avantages est une certaine indépendance des périodes d'admission et d'échappement, la variation de la première n'entraînant pas celle de la seconde, comme dans la distribution par tiroir; remarquons que cet avantage se trouve également dans les machines à deux tiroirs. Toutefois, dans beaucoup de machines à déclic, il reste une relation entre la commande des obturateurs d'admission et d'échappement qui ne permet pas de régler la

distribution absolument comme on pourrait le désirer; c'est ainsi que dans la Corliss, la fermeture anticipée des obturateurs d'échappement entraîne une réduction du maximum d'admission (voir *Annales*, 8e série, t. VI, p. 226). La diminution du volume des espaces libres, dans la plupart des machines à déclic, est évidemment favorable, puisque tout ce qu'on peut faire est de pallier plus ou moins l'effet nuisible de ces espaces lorsqu'ils sont grands. La réduction de l'espace libre entraîne la réduction de la surface des parois, par la suppression des conduits de passage de vapeur en communication constante avec le cylindre; en outre, la séparation des orifices d'admission et d'échappement, qu'on trouve dans la plupart de ces machines, réduit l'action réfrigérante de la vapeur d'échappement qui se produit à travers les tiroirs; cette atténuation de l'action des parois est l'un des mérites les moins contestables de la classe de machines qui nous occupe. En dernière ligne, nous placerons l'action du déclic pour interrompre brusquement l'admission; la diminution de consommation, pour un même travail, provenant de la suppression d'un léger laminage à la fin de l'admission, est bien faible; mais la variation facile de la période d'admission rend ces machines d'un emploi commode, puisqu'elles se règlent le plus souvent d'elles-mêmes, par l'action du régulateur, pour des puissances variables entre des limites étendues. Il faut plus de soins et de peine pour obtenir un effet aussi bon des machines à détente variable à la main et à régulateur agissant sur un papillon dans le tuyau d'arrivée de vapeur, puisqu'on doit à chaque instant régler la détente pour la puissance moyenne nécessaire. Nous trouvons d'ailleurs cette commodité de la variation automatique de la détente dans beaucoup d'autres types de machines.

Si nous voulons maintenant comparer entre eux les

divers systèmes de machines à déclic, nous voyons que les différences essentielles portent sur la dimension des espaces libres et sur la limite supérieure de la période normale d'admission, très étendue dans certains systèmes, et ne dépassant guère le tiers de la course dans d'autres; les autres différences, d'ordre secondaire, si l'on considère surtout le mode d'action de la vapeur, seront la complication plus ou moins grande des mécanismes, l'usure plus ou moins rapide, les facilités d'entretien et de réparation. Beaucoup de types de ces machines sont étudiés et construits avec un tel soin qu'il est difficile de désigner les meilleurs. Comme nous le disions un peu plus haut, c'est la fermeture de l'admission par déclic qui paraît avoir le moins d'importance; c'est aussi ce genre de fermeture qui complique le plus les mécanismes et qui limite la vitesse. La suppression des mouvements à déclic, tout en conservant les autres caractères du type, présentent donc un intérêt spécial. Ajoutons que M. Bonnefond a réalisé une distribution de machine à grande vitesse par tiroirs plans à déclic, rappelés par pression de vapeur : cette distribution, montée sur une locomotive, a pu fonctionner à 340 tours par minute.

Distributeurs à rotation continue. — En donnant un mouvement continu de rotation à une clef de robinet, on peut s'en servir pour distribuer la vapeur sur les deux faces d'un piston. Dans le distributeur Biétrix, la vapeur arrive par l'extrémité la plus étroite du boisseau conique; l'échappement se fait par l'extrémité opposée; les deux lumières du cylindre débouchent sur la partie conique du boisseau, et la clef présente des cavités convenablement disposées pour établir les communications voulues. Enfin un boisseau de détente spécial, qui peut se déplacer par l'action du régulateur, interrompt l'admission de vapeur dans la clef plus ou moins tôt. Le distributeur Biétrix existe aussi sur des machines Woolf avec cylindres en tandem; quatre lumières, deux pour chaque cylindre, débouchent sur la partie conique du boisseau; la clef en tournant établit les diverses communications nécessaires. Cette distribution conduit à des espaces libres assez grands et à d'étroits passages de vapeur; elle est simple; néanmoins le réglage de la clef dans le boisseau est délicat : il faut éviter des fuites ou un frottement trop dur. (Voir *Revue univ. des mines*, 3e trim., 1889, p. 262, et *Buchetti*, *M. à vap. à l'Exp.*, p. 91.)

On trouve aussi des distributeurs, analogues à des tiroirs, tournant autour d'un axe et portant sur une table cylindrique à trois lumières, tel que le tiroir rotatif Meyer (*fig.* 17, Pl. XIII). Une particularité intéressante est l'existence d'une série de bandes symétriquement disposées sur la périphérie de ce tiroir rotatif, bandes qui fonctionnent successivement, de telle sorte qu'un seul tour du tiroir correspond à plusieurs tours de l'arbre de la machine, six dans l'exemple donné. (Voir *Port. écon. des machines*, 1889, p. 8.)

Le moteur pilon Mégy, qui figurait à l'Exposition, est muni de deux distributeurs tournants, un pour chaque côté du cylindre, percés chacun de quatre évidements (*fig.* 18, Pl. XIII, près de la *fig.* 2). Chaque évidement livre alternativement passage à la vapeur d'admission, qui pénètre par A, traverse les fentes F, F' d'un petit cylindre central fixe, et entre dans le cylindre par la lumière L, et à la vapeur d'échappement qui sort par E. Chaque distributeur fait un tour pendant que la machine en fait quatre. (Voir *B.*, *M. à vap. à l'Exp.*, p. 98). En déplaçant le cylindre fixe central on fait varier le moment où cesse l'admission, qui commence quand le tiroir tournant démasque la lumière L.

Nous citerons encore le distributeur tournant Carlile pour machines Woolf (voir *Tr. de M. à vap.*, *Uhland*, *trad. Jarry*, p. 101), les tiroirs coniques Pfaff, percés d'une série de fentes et déplacés à chaque course par un rochet (*Port. écon.*, 1889, p. 23).

Dans la machine Brotherhood, trois cylindres à simple effet, avec axes à 120 degrés l'un de l'autre, attaquent une manivelle unique ; les trois lumières L_1, L_2, L_3, aboutissent à deux tables entre lesquelles tourne un disque calé sur l'arbre moteur (*fig.* 19, Pl. XIII); ce disque met successivement chaque lumière en communication avec l'admission, pendant la moitié de la course du piston correspondant, puis avec l'échappement, pendant les 5 derniers centièmes de la course motrice et les 60 centièmes de la course de retour. La vapeur arrive tout autour du disque en AA, et s'échappe par le centre EE. Les trois lumières L_1, L_2, L_3 sont couvertes de hachures sur la figure. Le disque tournant montre une fenêtre *aa'* pour l'admission et une autre *ee'* pour l'échappement. Afin que la machine puisse démarrer dans toutes les positions, de petits trous donnent une admission supplémentaire quand aucune des trois lumières ne reçoit directement la vapeur.

Nous passons sous silence un grand nombre d'appareils de distribution, qui se rapprochent plus ou moins des types que nous avons indiqués. Il serait difficile et peu intéressant de comparer entre eux tous ces types. En parlant des distributions à tiroirs et à déclic, nous avons signalé les principales différences que peuvent présenter les divers systèmes, à considérer seulement le travail de la vapeur ; quant aux mécanismes mêmes, c'est un examen de détail à faire dans chaque cas ; il faut se rendre compte de la construction, des efforts auxquels les pièces sont soumises, du travail absorbé en frottement, de l'usure et de ses effets, des chances d'avaries. C'est une étude d'une grande importance pratique, mais

qui touche peu à la théorie des machines à vapeur ; si cette étude est bien faite, on obtient, presque à coup sûr, des mécanismes satisfaisants ; si l'on néglige quelque détail, si l'on compte sur un heureux hasard pour résoudre une difficulté de construction, on risque de ne pas réussir, ou d'être conduit à des modifications coûteuses et embarrassantes d'appareils mal construits au début.

Distribution des machines à mouvement rectiligne non transformé. — On emploie fréquemment, pour commander des pompes ou des compresseurs d'air, des machines à action directe, sans arbre tournant, où le piston à vapeur et le piston foulant sont montés sur une tige unique. La distribution diffère alors de toutes celles que nous venons de voir (à l'exception de la machine de Cornouailles) qui empruntent leur mouvement à l'arbre animé d'une rotation continue. On fait encore usage du tiroir qu'il s'agit de déplacer quand le piston arrive à ses fonds de course : la détente de la vapeur est en effet souvent sacrifiée dans ces appareils, où la résistance est à peu près constante pendant toute la course et qui n'ont pas de volant.

Dans les petits appareils, on peut faire déplacer le tiroir par un levier contre lequel butte la tige de piston à fond de course, comme dans le cheval alimentaire Belleville. Mais on peut craindre, avec cette disposition, les chocs ou l'arrêt de la machine, si la vitesse est insuffisante pour pousser le tiroir à bout de course et s'il reste arrêté dans sa position moyenne. Aussi préfère-t-on souvent commander le tiroir par un piston à vapeur auxiliaire : le piston principal distribue à son tour la vapeur dans le cylindre auxiliaire, en manœuvrant un organe de petites dimensions ; tel est le cas de beaucoup de pompes et des compresseurs montés sur les locomotives pour actionner les freins à air comprimé. Nous n'entrerons

pas dans le détail, assez minutieux, de ces appareils, simples en principe; on en trouvera une revue intéressante dans *le Constructeur de Reuleaux, trad. Debize* (3e éd., p. 929). Signalons seulement quelques particularités intéressantes qui se trouvent réunies dans la machine élévatoire Worthington (voir *Engineering* d'oct. 1886, p. 339, de janvier et mai 1889, p. 9 et 497; *Zeitschrift des V. D. I.*, 1888, p. 736, 1889, p. 54) : deux groupes semblables sont réunis sur un bâti commun, le piston d'un groupe commandant le tiroir de l'autre d'un mouvement continu; lorsqu'un piston est au milieu de sa course, l'autre piston est au fond de la sienne, son tiroir au milieu de sa course et sur le point d'ouvrir l'admission. Une disposition spéciale de la machine, que nous indiquerons plus loin, permet l'emploi de la détente; voici comme on la réalise :

Chaque lumière est divisée en deux conduits, servant l'un pour l'admission, l'autre pour l'échappement : un obturateur oscillant se trouve sur le conduit d'admission, relié à la tige du piston, qui le ferme en un certain point de sa course et le rouvre en temps utile, avant le commencement d'une course nouvelle, en repassant au même point. Le conduit d'échappement débouche à une certaine distance du fond du cylindre, ce qui laisse une chambre où le piston comprime la vapeur; il est ainsi certainement arrêté, même en cas de retard dans la manœuvre de son tiroir. On peut être surpris de la précision avec laquelle les deux groupes croisent leur mouvement sans être réunis par une liaison mécanique telle qu'un arbre avec deux manivelles à angle droit; on s'explique aisément cette précision en remarquant que si l'un des pistons arrive un peu trop tôt à fond de course, il ne repart qu'au moment où son tiroir et par conséquent l'autre piston passent par une position déterminée. Ajoutons que dans certaines machines Worthington la même distribution est réalisée à l'aide de quatre obturateurs oscillants par cylindre.

Démarrage des machines. — Pour qu'une machine se mette en marche, il faut non seulement que la vapeur pénètre dans le cylindre et presse le piston, mais encore que l'effort sur l'arbre, produit par cette pression, soit suffisant pour surmonter les résistances qui s'opposent à son mouvement. Ces résistances varient beaucoup suivant les cas; tantôt ce ne sont que les résistances passives des appareils, comme dans les machines de laminoirs, de bateaux; tantôt, au contraire, il faut, dès le premier instant de la mise en marche, produire un travail considérable, comme dans une machine d'extraction quand le câble est tendu, dans une locomotive reliée par des attelages rigides à un lourd train.

Suivant les cas aussi, il faut que le démarrage se fasse immédiatement et sans hésitation dans toutes les positions de la machine (exemple : machine d'extraction); ou bien, il suffit qu'il soit facile dans la plupart des positions, sans qu'une difficulté de mise en marche qui se produira quelquefois ait grand inconvénient (exemple : locomotive); ou bien, enfin, on sera libre de placer d'avance la machine dans la position la plus favorable pour le démarrage; tel est le cas de certains moteurs d'ateliers qui ne sont mis en marche que deux ou trois fois par jour; le conducteur a l'adresse de les arrêter dans une position convenable, ou bien on les déplace au préalable à l'aide de vireurs commandés à bras d'hommes et agissant sur la jante du volant. Ces appareils, fort simples, doivent être disposés de manière que les hommes ne risquent pas d'être blessés si la machine se met en marche pendant la manœuvre.

Dans les deux premiers cas, on doit faire usage de deux cylindres au moins, agissant sur deux manivelles

calées à angle droit, et la distribution doit être disposée pour donner une longue période d'admission.

Une construction simple permet de déterminer, pour les diverses positions de la machine, l'effort moteur sur l'arbre au moment de l'ouverture de la valve de mise en marche; les minima de cet effort ont lieu quand un des pistons est arrêté juste au point où cesse l'admission, parce qu'alors l'autre piston seul est moteur dans la position la plus voisine de son point mort.

La considération du démarrage conduit parfois à donner aux cylindres un volume plus grand qu'il ne serait autrement nécessaire, notamment dans les machines d'extraction. Une puissance en apparence excessive de ces machines est d'ailleurs utile pour communiquer rapidement à la charge une vitesse suffisante. De même, pour le service de ces trains légers, à fréquents arrêts, dits trains tramways, qui se sont multipliés depuis peu en France, on est obligé d'employer les mêmes locomotives que pour les trains ordinaires, parce que, si le poids remorqué est faible, il est nécessaire de lui imprimer une accélération rapide.

Les longues périodes d'admission nécessaires pour assurer le démarrage excluent en outre presque complètement l'usage de la détente, à moins qu'elle ne soit obtenue par la manœuvre d'un appareil à la disposition du conducteur de la machine, tel que la coulisse des locomotives. Mais si l'on désire une manœuvre entièrement automatique, il faut des dispositions spéciales modifiant la distribution une fois que la machine est en marche : tel est le cas des moteurs des pompes refoulant l'eau sous un accumulateur; ils doivent s'arrêter, par la fermeture de la prise de vapeur, dès que l'accumulateur atteint le haut de sa course, pour se remettre en marche, quand il redescend, par la réouverture de la prise de vapeur. Voici comme on a résolu le problème dans les

machines du port de Calais, construites par la compagnie de Fives-Lille : les deux cylindres, attaquant deux manivelles à angle droit, sont munis d'une distribution Meyer réglée pour le degré convenable de détente; dans chaque cylindre, un troisième tiroir, de petites dimensions, reçoit le mouvement du tiroir de distribution principal et se meut sur une table spéciale; ce tiroir auxiliaire donne les longues admissions permettant le démarrage dans toutes les positions, et une fois la machine en marche, elle ferme un papillon qui supprime l'arrivée de vapeur sur ce petit tiroir.

Démarrage des machines compound. — Si les deux cylindres qui attaquent les manivelles calées à angle droit sont ceux d'une machine compound, les conditions de démarrage se modifient profondément. Il faut d'abord pouvoir admettre directement la vapeur de la chaudière, en réduisant au besoin sa pression, dans le réservoir intermédiaire ou receiver, si la distribution du cylindre à haute pression n'est pas placée de manière à y admettre la vapeur; mais la vapeur du receiver reflue alors dans le petit cylindre par ses conduits d'échappement et y exerce une contre-pression considérable sur son piston : il en résulte un abaissement important du minimum de l'effort moteur total, sensible surtout dans les machines qui doivent vaincre une grande résistance dès la mise en marche. Ce fait explique la difficulté de l'emploi du système compound, avec deux cylindres seulement, dans les locomotives, les machines d'extraction et autres appareils à démarrage en pleine charge. Cette difficulté a été résolue, surtout pour les locomotives, grâce à quelques dispositions en somme assez simples. On peut, par exemple, isoler complètement les deux cylindres en donnant un échappement indépendant au cylindre à haute pression (dispositif de M. Mallet). On a un tiroir spécial,

manœuvré par le mécanicien, qui établit à volonté la communication de l'échappement du cylindre à haute pression avec le receiver ou avec l'extérieur; on emploie souvent dans ce cas un détendeur pour établir dans le receiver une pression déterminée à priori. Souvent on se contente d'une valve qui peut fermer la communication de l'échappement du cylindre à haute pression et du receiver : cette valve empêche la vapeur admise pour le démarrage dans le receiver de refluer au cylindre à haute pression, et se rouvre automatiquement, par l'effet de l'échappement de ce cylindre; tels sont les appareils de von Borries, Worsdell, Schichau, Lindner, dont il est parlé, ainsi que de celui de Mallet, dans la *Revue générale des chemins de fer* (1879, 1er sem., p. 212; 1885, 2e s., p. 392; 1886, 2e s., p. 321; 1887, 1re s., p. 232; 1889, 1er sem., p. 194 et 407; 1890, 1er sem., p. 371. *Engineering*, av. 1890, p. 413). Dans les compound à trois cylindres, où le cylindre à basse pression est divisé en deux (dispositif Dupuy de Lôme), on annihile quelquefois presque complètement le cylindre à haute pression lors du démarrage en établissant une communication constante entre les deux côtés du piston : on trouve des exemples de cette disposition dans des machines de paquebots des Messageries maritimes et sur la locomotive à trois cylindres de la compagnie du Nord, citée p. 480.

Les applications du système compound aux machines d'extraction sont fort rares : W. Galloway a établi, au puits de Llanbradach (pays de Galles), une petite machine de ce système.

Régularisation du mouvement des machines. — A l'étude de la distribution de la vapeur se lie celle de la régularisation du mouvement. La plupart des moteurs de l'industrie doivent tourner à une vitesse à peu près uniforme; dans les machines de filature et d'éclairage électrique, il convient que les variations de la vitesse soient faibles et surtout très lentes. Cet effet s'obtient à l'aide des volants et des régulateurs; les volants renferment entre des limites aussi rapprochées qu'on le veut les variations incessantes de la vitesse, qui résultent de ce que les efforts moteurs ne sont pas uniformes pendant un tour de la machine; les régulateurs maintiennent la vitesse entre deux limites déterminées, malgré les variations du travail résistant.

Au sujet des volants, nous signalerons seulement un travail de M. Liébaut, dans le *Bulletin des anciens élèves des écoles d'arts et métiers* d'avril 1889, sur le cas de transmissions compliquées : il faut que les organes qui précèdent un engrenage, en partant du moteur, aient une puissance vive supérieure à celle des organes qui suivent, pour éviter des chocs dans la denture.

Les régulateurs ont fait l'objet d'études importantes de M. G. Marié, dans les *Annales* (1878, 2 et 1887, 2). M. Marié établit clairement que, pour leur bon fonctionnement, il faut qu'à chaque position du manchon du régulateur corresponde une position déterminée de l'organe de réglage de la machine; les diverses positions du manchon correspondent d'ailleurs à une série de vitesses différentes comprises entre deux limites, qui peuvent être fort rapprochées si le volant de la machine est assez puissant. Cette condition exclut l'emploi des régulateurs rigoureusement isochrones, c'est-à-dire marchant à la même vitesse pour toutes les positions de leur manchon : ces appareils, souvent essayés, n'ont en effet jamais bien fonctionné. Elle exclut aussi les régulateurs à embrayages, pour produire des efforts considérables; l'action de l'embrayage est trop lente : il en résulte que si le travail résistant vient à diminuer, par exemple, le régulateur mettra un certain temps à réduire d'autant le travail moteur : pendant ce temps la machine s'accélé-

rera, et l'embrayage continuera à agir dans le même sens, réduisant induement le travail moteur jusqu'à ce que la machine reprenne la vitesse de régime. Mais alors le travail moteur est trop faible : les mêmes effets se produisent en sens inverse et finalement la machine est soumise à des variations continuelles et étendues de vitesse.

Le second travail de M. Marié donne des détails utiles sur la construction des valves d'admission de vapeur commandées par régulateur, sur l'établissement des régulateurs et les moyens d'améliorer ceux qui fonctionnent mal.

Le *Bulletin de la Soc. ind. de Mulhouse* (1889, p. 33 et 81) a publié une intéressante étude de M. Dwelshauvers-Déry sur les régulateurs. La relation qui existe entre les vitesses et les positions du manchon mobile y est représentée graphiquement, en prenant pour ordonnées les courses du manchon et pour abscisses les vitesses de rotation. Comme la résistance provenant des organes que doit manœuvrer le régulateur agit tantôt dans le même sens que le poids du manchon, tantôt en sens opposé, suivant que ce manchon tend à monter ou à descendre, il en résulte sur le diagramme deux courbes, ayant pour abscisses, l'une les vitesses à la montée, l'autre les vitesses à la descente.

M. Dwelshauvers-Déry conclut que ces courbes doivent autant que possible se rapprocher de droites non parallèles à l'axe des *y;* il appelle régulateur astatique celui qui permet à la machine de produire une puissance quelconque comprise entre zéro et un certain maximum, en marchant à la vitesse de régime et sans que cette vitesse puisse franchir certaines limites fixées à l'avance. Il montre que cette condition peut être remplie si le diagramme est tel qu'il y ait égalité entre les abscisses correspondant à l'ordonnée la plus grande de l'une des courbes et à la plus petite de l'autre.

Les régulateurs agissent, soit en étranglant plus ou moins l'admission de vapeur, soit en modifiant la détente. Si les variations de la puissance doivent être faibles, le premier système, qui a l'avantage d'une grande simplicité, n'augmente pas sensiblement la dépense de vapeur; on peut d'ailleurs souvent rentrer dans ce cas en agissant à la main sur un organe de détente variable lorsque la puissance doit notablement changer. Toutefois le second système, action directe du régulateur sur l'organe de détente, est appliqué dans la plupart des machines récentes. Cette action se produit de trois manières différentes, soit par liaison continue avec un organe de manœuvre, soit en provoquant un déclenchement qui interrompt l'admission, soit, dans les machines rapides, à l'aide d'un excentrique à calage variable.

Dans le premier cas, il faut que l'effort nécessaire pour manœuvrer l'organe de détente variable soit faible, afin que le régulateur puisse le produire, condition souvent difficile à réaliser. On peut y arriver quelquefois, avec la détente Rider par exemple. Lorsque la résistance à vaincre est trop forte, on fait parfois usage d'un servomoteur commandé par le régulateur; c'est aussi dans ce cas qu'on a essayé, sans succès, les embrayages.

La seconde disposition se trouve dans les machines Corliss et dans les nombreux systèmes à déclics en usage aujourd'hui : le manchon du régulateur commande une came qui, suivant sa position, provoque plus ou moins tôt la fermeture par déclenchement du distributeur d'admission. Le régulateur n'a d'autres résistances à vaincre que ses frottements propres : mais au moment où il provoque le déclenchement il reçoit un contre-coup plus ou moins fort suivant les systèmes : pour supprimer ou réduire l'effet de ces contre-coups, on relie le manchon à un frein à huile.

Dans ces deux premiers cas on fait usage, avec suc-

cès, de divers types de régulateurs, déjà anciens pour la plupart; toutefois la vieille disposition de Watt et celle de Porter, qui en diffère par le poids considérable du manchon, sont au moins aussi bonnes que les autres, dans presque tous les cas. Disons ici quelques mots du compensateur Denis (*Annales*, 7e s., t. XIV, p. 503), qui continue à être employé : cet appareil ramène toujours la machine rigoureusement à la même vitesse, quelle que soit la position où s'arrête le manchon du régulateur, par variation automatique de la longueur de la tige qui relie ce manchon à l'organe qu'il commande; cette variation se produit dès que la machine n'a plus sa vitesse de régime.

Enfin le troisième mode d'action des régulateurs, variation du calage de l'excentrique, se trouve dans beaucoup de machines rapides récentes. Nous en avons parlé p. 474. On trouvera des exemples de ces régulateurs, composés de masses rappelées par des ressorts, dans les *Proceedings Inst. mechanical eng.*, 1882, p. 408, dans le *Supplément aux Machines à vapeur actuelles*, par *Buchetti*, 1888, dans la *Lum. électrique*, 1889, *Richard.*

CHAPITRE V.

TYPES PRINCIPAUX DE MACHINES A VAPEUR.

L'une des parties les plus délicates de l'étude des machines à vapeur est la comparaison de leurs types si nombreux. Nous pouvons bien les énumérer, les classer d'après leurs analogies; mais il faudrait pouvoir mettre en balance leurs avantages et leurs défauts et désigner les meilleures. Or, entre plusieurs machines capables de rendre les mêmes services, comment faire cette comparaison? L'embarras est réel, et l'auteur qui les décrit n'est pas seul à l'éprouver : l'industriel qui veut installer

un moteur se heurte aux mêmes difficultés, et des motifs futiles déterminent souvent son choix. Quelle est la cause de cette difficulté de choisir entre les appareils si nombreux que nous offrent les constructeurs? Si bien des types de machines ne présentent que des différences secondaires et peuvent être justement considérés comme équivalents, ce qui manque presque toujours, ce sont des éléments sérieux d'appréciation.

Comment, en effet, juger les machines? Nous devons, d'une part, considérer les services qu'elles nous rendent, et, d'autre part, le prix de ces services. Nous chercherons donc, en premier lieu, celles qui conviennent le mieux pour le travail demandé, certaines conditions spéciales devant être remplies dans chaque cas. Une fois ce triage fait, c'est la question de dépense qui nous décidera. Bien entendu, on ne peut séparer absolument ces deux côtés de la question : car si, pour obtenir une convenance un peu plus grande, il nous faut accroître beaucoup la dépense, nous pourrons nous contenter d'un appareil un peu moins satisfaisant; néanmoins cette séparation est utile et nous allons dire quelque mots des points principaux à considérer dans ce double examen.

Convenance d'une machine pour le service demandé. — En premier lieu, on ne doit, bien entendu, jamais oublier d'assurer la sécurité de ceux qui se servent ou qui approchent d'une machine, aussi complètement qu'il est possible, tant par la bonne construction générale que par une série de précautions faciles à prendre dans toute construction neuve. Citons à cette occasion l'utile ouvrage de l'association de Mulhouse pour prévenir les accidents de fabrique : *Collection de dispositions et d'appareils destinés à éviter les accidents de machines.* On y trouvera l'indication d'une quantité de mesures de précaution souvent fort simples, non seulement pour les machines

à vapeur, mais pour un grand nombre de machines-outils.

Ensuite on examinera si la puissance du moteur doit être constante ou variable. Remarquons que les machines compound se prêtent un peu moins facilement que les autres à une variation très étendue de la puissance. La vitesse, le plus souvent, doit être à peu près constante; mais les variations qu'on peut admettre diffèrent suivant les cas; pour certaines applications, le travail des filatures et l'éclairage électrique notamment, il importe surtout que, si la vitesse varie un peu, les variations en soient fort lentes : on résout le problème en faisant usage de volants et de régulateurs convenables, et aussi en multipliant le nombre des cylindres qui attaquent le même arbre. Dans d'autres cas, pour l'extraction des mines, par exemple, la facilité de la manœuvre a une grande importance : il faut que la machine obéisse sûrement et sans hésitation à son conducteur. Enfin la certitude de la marche demande à être assurée d'une manière plus ou moins complète; certains services peuvent s'accommoder de périodes d'arrêt à des moments quelconques : au contraire, l'arrêt du moteur d'une manufacture importante cause un dommage considérable; il est essentiel d'éviter les interruptions d'un éclairage électrique public; enfin les machines marines doivent parfois fonctionner sans interruption pendant plusieurs semaines consécutives, et leur arrêt par un gros temps peut entraîner la perte des navires qui les portent. La nécessité d'assurer la marche conduit parfois à installer plusieurs moteurs au lieu d'un seul, division qui peut être désirable pour d'autres motifs.

Prix de revient de la puissance motrice. — L'étude de la convenance d'une machine pour le service demandé conduit en général à plusieurs solutions : c'est alors le

prix de revient de la puissance motrice qui doit guider dans le choix d'une de ces solutions. L'établissement de ce prix de revient est malheureusement long et difficile; il exige dans chaque cas une étude minutieuse. Si nous prenons toutes ces belles machines que nous voyons dans les expositions, et qui souvent nous semblent capables de rendre les mêmes services, nous avons grand peine à nous faire idée de l'avantage réel que peuvent présenter certains types; il est fâcheux que le programme des expositions ne comporte pas, pour ceux qui prennent part au concours et qui peuvent obtenir des récompenses, l'établissement du prix de revient de l'unité de puissance motrice dans certaines conditions types.

Mais un programme équitable de concours pour les machines est sans doute difficile à poser, ou plutôt à imposer : déjà, à la suite de l'Exposition de 1878, le jury avait regretté que les machines soumises à son appréciation n'eussent pu être l'objet d'expériences comparatives et exprimé « le vœu formel que, si jamais pareille occasion se présentait de procurer à la science des constructions les données certaines dont elle a si grand besoin, on prît à l'avance toutes les mesures nécessaires pour ne pas la laisser échapper ». (*Rapports du jury international; Machines et appareils de la mécanique générale*, par M. *Hirsch*, p. 25).

Le prix de revient de la puissance motrice comprend bien des éléments divers. En premier lieu, l'installation d'un moteur exige des dépenses de premier établissement, dont il faut payer l'intérêt et l'amortissement. Cet amortissement doit être autant que possible rapide, car il faut prévoir non seulement le remplacement total d'un moteur, au bout d'un certain temps, mais aussi de grandes réparations par suite, soit d'usure, soit d'avaries accidentelles : l'amortissement doit comprendre une sorte de prime d'assurance contre les accidents possibles. Dans

les dépenses de premier établissement figure, bien entendu, le prix, non seulement de la machine à vapeur seule, mais aussi de ses fondations et annexes, des générateurs, des prises d'eau pour la condensation, en un mot de tout ce qui est nécessaire pour la production de la puissance motrice. On doit y comprendre aussi la valeur du terrain occupé, qui, toutefois, n'a pas besoin d'être amortie, et celle des bâtiments qui abritent l'appareil. Le prix de la machine seule proprement dite, prise chez le constructeur, n'est souvent qu'une fraction assez faible de la dépense totale de premier établissement.

Viennent ensuite les dépenses d'exploitation, comprenant le prix du combustible, de l'eau, des matières de graissage et de nettoyage, celui de la main-d'œuvre de conduite (salaire des chauffeurs et mécaniciens), enfin les frais d'entretien courant et de menues réparations des appareils. La dépense du combustible est parfois l'une des plus fortes : néanmoins on est souvent porté à lui attribuer une importance excessive. Il faut avoir soin de compter, pour évaluer la dépense du combustible, les quantités souvent considérables consommées pour l'allumage et l'entretien des feux pendant les arrêts. On doit tenir compte, bien entendu, dans les prévisions de dépenses, des variations possibles du prix des charbons.

Suivant les cas, on devra chercher à réduire les frais de premier établissement, ou, au contraire, les frais d'exploitation, par l'emploi d'appareils coûteux, mais à faible consommation. Si la machine ne doit fonctionner que rarement, il est clair qu'il faut surtout chercher l'économie dans l'installation; si, au contraire, la durée du fonctionnement est considérable, on recherchera l'économie dans la marche. Les dépenses de premier établissement entraînent en effet une charge constante chaque année, tandis que les frais d'exploitation sont à peu près proportionnels à la durée du fonctionnement.

Il est fâcheux que cette manière d'évaluer le travail des machines n'entre pas dans les usages, et que les constructeurs ne donnent pas le prix de l'unité de puissance des machines dans certaines conditions types, au lieu de se contenter d'indiquer la consommation de vapeur, c'est à dire un seul des éléments de la dépense totale.

Ouvrages spéciaux sur les machines à vapeur exposées en 1889. — La plupart des machines qui figuraient à l'Exposition de 1889 ont été décrites et représentées dans des ouvrages spéciaux tels que : *les Machines à vapeur à l'Exposition de* 1889, par *Buchetti*, auquel nous avons déjà plusieurs fois renvoyé le lecteur; *la Revue technique de l'Exposition universelle de* 1889, comprenant le travail de M. *Polonceau*, présenté au Congrès international de mécanique appliquée. En parlant des machines exposées, nous nous dispenserons de citer chaque fois ces ouvrages.

Nous classerons les machines comme il suit :

1° Grands moteurs d'atelier, dont le nombre de tours par minute ne dépasse guère 70;

2° Moteurs à moyenne vitesse (200 tours environ au plus);

3° Machines à grande vitesse, employées surtout pour l'éclairage électrique; la division entre les classes 2 et 3 est, d'ailleurs, souvent peu marquée;

4° Locomobiles et machines demi-fixes;

5° Machines pour usages spéciaux, tels qu'extraction et épuisement dans les mines, élévation d'eau, compression de l'air, laminage;

6° Locomotives (que nous citons pour mémoire seulement);

7° Machines marines;

8° Machines spéciales et diverses, rotatives, à réaction, servo-moteurs, etc.

Nous rappelons que nos énumérations sont loin d'être

complètes et que nous ne citons pas tous les types de machines.

1° Grands moteurs d'ateliers. — Lorsqu'on désire surtout la sûreté et la régularité de la marche, et qu'on dispose d'emplacements et de capitaux suffisants, on préfère généralement comme moteurs des machines à marche lente.

Machines à balancier. — Le type de la classe de machines qui nous occupe était autrefois la machine à balancier; aujourd'hui on n'en construit plus guère. Tandis qu'on en voyait plusieurs à l'Exposition de 1878, l'Exposition de 1889 n'en montrait que deux, celles de Powell et de MM. Casse, cette dernière d'un système tout spécial, avec articulation oscillante du balancier. Cet abandon s'explique aisément : il paraît difficile de justifier, par des motifs autres que l'attachement aux anciennes traditions, la complication de l'attirail de ces machines, qui rappellent que la vapeur a été d'abord employée à l'épuisement de l'eau des mines. Les machines à balancier, il est vrai, ont longtemps fonctionné et fonctionnent encore aujourd'hui pour ainsi dire sans usure : il faut reconnaître toutefois que cette précieuse qualité ne tient pas uniquement au système, mais aussi à la grande lenteur de la marche et aux faibles pressions adoptées autrefois. Ce n'est pas, d'ailleurs, sans un certain regret que nous voyons disparaître cette belle machine à la marche majestueuse.

Parmi les plus grands appareils fixes à balancier qui aient été construits, je citerai la machine Corliss, de l'Exposition de Philadelphie, en 1876, à deux cylindres de $1^m,016$ de diamètre, avec une course de $3^m,050$, réglée à 36 tours par minute. Cette machine actionne aujourd'hui les ateliers Pullman, à Pullman, près Chicago.

Machines horizontales à un cylindre. — Comme moteur d'atelier de puissance moyenne, la machine horizontale à un cylindre continue à être fréquemment employée, à cause de sa simplicité; la distribution se fait surtout par mécanismes à déclic commandant des soupapes, des distributeurs oscillants ou des tiroirs plans.

Farcot a exposé une machine de ce genre de dimensions exceptionnelles : le diamètre du cylindre est de 1 mètre, la course de $1^m,800$. La jante du volant, d'un diamètre de 10 mètres, pèse 21.000 kilogrammes.

Les applications d'un moteur fixe de pareilles dimensions sont rares, et, le plus souvent, il y aura avantage, pour les grandes puissances, à faire usage de plusieurs moteurs séparés. Mais on voit aujourd'hui qu'on peut établir en toute certitude des moteurs fixes de 1.000 chevaux et plus, puissance faible, d'ailleurs, si on la compare à celle des machines marines. Un très grand cylindre a l'avantage d'offrir une surface de parois réduite relativement à son volume, ce qui doit diminuer la consommation de vapeur; il est vrai que la dimension de la machine en limite la vitesse, et l'augmentation de vitesse est, comme nous l'avons vu, un autre moyen d'atténuer l'action des parois.

Machines horizontales à deux cylindres attaquant deux manivelles. — La machine compound horizontale à deux cylindres attaquant deux manivelles à angle droit calées aux extrémités d'un arbre unique, et avec distribution de la vapeur par mécanismes à déclic, semble être le type favori du moteur d'atelier, à en juger par l'Exposition de 1889. L'extension de ce type est un des faits saillants que nous puissions signaler dans la construction des machines; il n'est d'ailleurs pas nouveau : on voit dans l'*Engineering* du 19 mai 1876, p. 412, le dessin d'une Corliss compound horizontale de 1.000 chevaux.

Citons, entre autres, à l'Exposition de 1889, les machines à soupapes Sulzer, exposées par les frères Sulzer

et par Carels; à détente Frikart, construites par la Société alsacienne et par Escher, Wyss et C°; à détente Corliss modifiée par Berger André; à tiroirs plans Wheelock, exposée par de Quillacq. Quelques-unes de ces machines conservent cependant la distribution à deux tiroirs, par exemple celles de Davey, Paxman et du Phœnix (distribution Hertay).

Ces machines fonctionnent avec des pressions initiales modérées et à condensation (on prévoit en général aussi un échappement à l'air libre); le régulateur agit sur l'admission au petit cylindre, l'admission dans le grand cylindre ne devant pas varier. Le tableau de la page 516 en donne quelques dimensions principales.

Pour les puissances moyennes, ces machines compound sont-elles préférables à des machines à un seul cylindre, coûtant moins cher? D'après certains essais rapportés par W.-Meunier dans le *Bull. de la Soc. ind. de Mulhouse* (1889, p. 141), la différence de consommation des deux types semblerait plus faible qu'on ne devrait s'y attendre, cinq machines compound ayant dépensé en moyenne $7^{kg},2$ de vapeur par cheval-heure indiqué contre $7^{kg},84$ pour cinq machines à un seul cylindre; et le travail effectif des compound était 0,88 du travail indiqué, tandis qu'il atteignait 0,91 dans les machines à un cylindre. D'après ces essais, la machine à un cylindre serait préférable, à en juger par les consommations, pour les puissances inférieures à 200 ou 250 chevaux. Ces chiffres sont de nature à surprendre; ils montrent quel intérêt s'attache à la multiplicité des essais de machines. Peut-être la faible économie des compound étudiées par M. Meunier tient-elle à l'emploi de pressions trop faibles aux chaudières, pour lesquelles la machine à un cylindre peut suffire.

Machines horizontales à cylindres en tandem. — Au lieu de leur faire commander deux manivelles, on peut

placer en tandem, avec une tige de piston commune, les deux cylindres d'une machine compound (machine Windsor à l'Exp. de 1889); on obtient ainsi les avantages du système compound par l'addition d'un cylindre seulement, sans avoir à doubler la manivelle, la bielle et le mécanisme de commande de la distribution. Par contre, on n'a pas la régularité d'efforts moteurs donnée par les deux manivelles. On trouve même parfois deux groupes compound en tandem attaquant deux manivelles à angle droit du même arbre, complication qui peut quelquefois se justifier pour les grandes puissances par la facilité des démarrages. La disposition en tandem se trouve aussi dans les machines à triple expansion; celle de Powell, par exemple, a deux manivelles commandées chacune par un groupe tandem composé d'un cylindre à basse pression (on divise en deux cylindres égaux le cylindre à basse pression) et du cylindre à haute pression pour un groupe et à moyenne pression pour l'autre.

La machine à triple expansion Märky-Bromovsky et Schulz (*Port. écon. des machines*, fév. 1889) n'a que trois cylindres, les deux premiers en tandem, et le cylindre à basse pression attaquant une seconde manivelle. L'emploi de trois cylindres seulement est évidemment préférable en principe, quand on peut le concilier avec une répartition convenable des efforts moteurs.

Les frères Sulzer ont exposé une machine à triple expansion à trois cylindres en tandem; le cylindre à basse pression est au milieu des deux autres, qui travaillent à simple effet et sont complètement remplis par leurs pistons du côté où ils communiquent avec le cylindre médian. Les diamètres des cylindres sont de 350, 525 et 700 millimètres; mais la partie utile du dernier cylindre se compose de deux volumes annulaires ayant le diamètre extérieur de 700 et des diamètres intérieurs de 525 et 350. La course est de 750, le nombre des tours de 85.

Les volumes successivement occupés par la vapeur dans les trois cylindres sont comme 1, 2,25 et 4,75.

Nous retrouverons d'autres formes de machines motrices à triple expansion; c'est un second fait important à signaler que l'emploi de la détente dans trois cylindres successifs pour les moteurs de l'industrie. En 1878, la compound était d'un usage général dans la marine et commençait à se répandre pour les machines fixes; en 1889, nous voyons de même la triple expansion, couramment employée sur mer, faire son apparition sur terre. Cet emploi semble justifié quand on dispose de vapeur à une pression assez élevée, 8 à 10 kilogrammes au moins.

Rhodes et Critchley ont superposé les cylindres d'une machine à triple expansion, en reliant les trois tiges de piston sur une traverse qui conduit une bielle unique (*Engineering*, 1er sem. 1889, p. 264). Baldwin a appliqué récemment une disposition analogue pour les cylindres d'une locomotive compound. On peut toujours craindre, avec cette disposition, des pressions considérables sur les glissières, résultant de l'inégalité des efforts sur les pistons. La machine horizontale à triple expansion de W. Theiss a trois cylindres, commandant trois manivelles à 120 degrés (*Buchetti*, *Mach. à vap. actuelles*, Supplément, p. 21).

2° Moteurs a moyenne vitesse. — Les machines faisant de 100 à 200 tours par minute sont souvent employées soit comme moteurs d'atelier, soit surtout pour l'éclairage électrique. Pour cette application, fréquente aujourd'hui, les grandes machines lentes conviennent rarement, à cause de la vitesse que doivent avoir les dynamos, et surtout parce que les emplacements disponibles pour les machines sont restreints.

Machines horizontales. — Ces moteurs peuvent être horizontaux et à un cylindre (exemple : machine de Le-

couteux et Garnier à quatre distributeurs sans déclic, déjà citée); fréquemment compound à deux cylindres, soit en tandem (machine Deville-Châtel, également à quatre distributeurs par cylindre), soit avec un arbre à deux coudes [exemples : machines de Chaligny, de Weyher et Richemond, de la compagnie de l'Horme (distribution Bonjour), de Biétrix et Ce, à distributeur tournant, types analogues aux machines locomobiles et demi-fixes].

Machines-pilon. — Ils se présentent souvent sous la forme de machines-pilon; nous ferons remarquer l'adoption fréquente de cette forme, imitée des appareils marins. Déjà, en 1878, le Creusot avait exposé une compound pilon. Plusieurs machines de ce type figuraient à l'Exposition de 1889, notamment les compound des établissements Cail, de la compagnie de Fives-Lille, avec détentes Rider et Meyer au petit cylindre; celle de Farcot; les machines à triple expansion des frères Sulzer, avec distribution à soupapes, de Boulet, de Weyher et Richemond, à quatre cylindres; le cylindre à basse pression de cette machine est divisé en deux : deux groupes en tandem formés, l'un du cylindre à haute pression et d'un des cylindres à basse pression, l'autre du cylindre à moyenne pression et du second cylindre à basse pression, commandent deux manivelles à angle droit; les tiges des deux tiroirs de chaque groupe sont commandées par un excentrique unique. On a ainsi deux mécanismes au lieu de trois, mais quatre cylindres au lieu de trois. Plusieurs exemplaires de cette machine fonctionnent à Paris pour l'éclairage électrique.

3° Machines a grande vitesse. — L'augmentation du nombre de tours par minute des moteurs n'a, pour ainsi dire, pas de limites, surtout lorsqu'on veut qu'ils commandent directement des machines électriques, et l'on atteint les chiffres de 600 et 700 tours. Les moteurs

très rapides ont l'avantage évident d'être petits et par suite peu coûteux pour des puissances même considérables; l'influence des parois, qui augmente la consommation, y est moindre; seulement il est à craindre que les frottements n'y soient plus grands et l'usure plus rapide. Pour bien établir ces machines, il faut surmonter des difficultés sérieuses d'ordre mécanique; grâce aux efforts des constructeurs, ces difficultés disparaissent de jour en jour.

Souvent les machines très rapides ne diffèrent pas essentiellement des machines à vitesse moyenne; elles sont à double effet, horizontales ou verticales pilon à un ou deux cylindres et alors souvent compound; mais quand le nombre de tours est considérable, la course du piston est faible, de sorte que sa vitesse linéaire n'est pas excessive; quand il y a deux cylindres, ils attaquent fréquemment deux manivelles calées à 180 degrés, afin de diminuer les efforts que les pièces en mouvement exercent sur les bâtis. Nous avons déjà vu que la distribution s'y fait souvent à l'aide d'un excentrique à calage variable commandé par le régulateur.

Machines horizontales. — Parmi les machines horizontales rapides, nous citerons la straight line engine, exposée dans la section américaine et par la maison Ducommun, faisant jusqu'à 340 tours par minute avec un cylindre de 178 millimètres de diamètre sur 305 millimètres de course, à tiroirs plans séparés pour l'admission et l'échappement; la machine Armington et Sims, à tiroir cylindrique, soit à un cylindre, soit compound à deux cylindres avec manivelles à 180 degrés. Le nombre de tours est de 150 à 350 suivant les dimensions. L'une de ces machines, à un cylindre, sans condensation, a dépensé 14 kilogrammes de vapeur par cheval indiqué heure, en développant 20 chevaux (*Bul. soc. ind. de Mulhouse*, 1889, p. 10).

Machines pilon. — Plus fréquemment on donne aux moteurs à grande vitesse la forme pilon; telles sont, avec un cylindre, les machines de Boulet, de la société d'Oerlikon, de Lecouteux et Garnier (le plus petit modèle faisant 600 tours avec une course de 120 millimètres), celle de Mégy avec distribution par tiroir rotatif. Parmi les moteurs compound pilon, nous citerons la belle machine construite à Oerlikon, faisant 300 tours, avec manivelles calées à 180 degrés, et distribution à deux tiroirs cylindriques concentriques (voir p. 478); celles de Sautter-Lemonnier, de Bréguet (350 tours). Nous donnons, dans le tableau de la page 516, les dimensions principales de plusieurs de ces machines.

Machines à simple effet. — Les machines à double effet sont exposées aux chocs produits par le changement périodique du sens des efforts du piston, à cause du jeu des articulations, jeu qui augmente avec l'usure. Aux grandes vitesses, ces chocs peuvent devenir violents et destructeurs. Dans les machines à simple effet, la pression de la vapeur, motrice pendant une course simple du piston sur deux, est toujours dirigée dans le même sens; la bielle se trouvera donc toujours appuyée contre l'arbre, pourvu que, pendant la course de retour, la force d'inertie du piston et de la bielle ne dépasse à aucun moment la pression résistante de la vapeur. Cette force d'inertie croit de zéro à son maximum quand la manivelle motrice décrit le quart de tour qui l'amène à son point mort, c'est-à-dire environ pendant la moitié de la course de retour du piston; pour que, pendant tout ce parcours, la contre-pression de la vapeur surpasse la force d'inertie, il faut une période de compression étendue donnant une pression finale élevée; la pression d'admission de la vapeur, qui doit être au moins aussi forte, devra donc être considérable dans les machines très rapides à simple effet.

Citons, par exemple, la machine Westinghouse; elle a deux cylindres attaquant des manivelles calées à 180 degrés, avec distribution unique par tiroirs cylindriques, commandés par un excentrique à calage variable par le régulateur. Les pistons ont une longue portée sur le cylindre et servent de glissières, la bielle étant articulée directement sur le piston; enfin, l'arbre de la machine avec ses coudes et l'excentrique tourne dans l'intérieur d'une caisse en fonte, close et partiellement remplie d'huile. Les machines à cylindres de 115 millimètres de diamètre avec course de 100 font 500 tours par minute, celles à cylindres de 458 sur 407 en font 250.

D'autres machines présentent des dispositions analogues, parfois avec deux cylindres inégaux et fonctionnement Woolf.

Enfin, les cylindres, toujours à simple effet, peuvent être au nombre de trois, soit à axes parallèles, agissant sur des manivelles calées à 120 degrés (machine de Willans), soit à axes inclinés à 120 degrés l'un sur l'autre, avec manivelle unique, comme dans la machine Brotherhoodd ont nous avons décrit la distribution (page 490). La distribution de la machine de Willans est curieuse, chacun des trois pistons servant de tiroir pour celui qui commande la manivelle suivant la sienne; ces pistons ont une grande longueur et présentent deux rainures qui établissent les communications voulues avec des lumières ménagées dans les cylindres. La nouvelle machine Willans, compound ou à triple expansion, a, au contraire, ses cylindres en tandem, avec distribution par une tige creuse centrale (*Rev. univ. des mines*, 1889, 3, p. 60; *Sinigaglia, tr. de Billy, mach. à vap.*, p. 279).

Nous signalerons encore les machines de Dodd et de Newall, où la distribution se fait par le tourillon d'articulation de la bielle sur le piston (voir *Engineering*, vol. 46, p. 330 et vol. 47, p. 391); la machine Bürgin, où

deux pistons se meuvent dans un cylindre unique ouvert aux deux bouts, s'écartant ou se rapprochant, et commandent des manivelles à 180 degrés, le piston inférieur par une bielle directe, le piston supérieur par une traverse aux tiges en retour à l'extérieur du cylindre et deux bielles symétriques; la machine Brown, où les pièces à mouvement alternatif sont équilibrées par l'emploi de la détente Woolf dans deux cylindres concentriques. Voir sur mach. rapides *Richard*, *Lum. électrique*, 1889.

4° Locomobiles et machines demi-fixes. — Les locomobiles de puissance un peu grande ont généralement deux cylindres, fonctionnant souvent en compound. Les chaudières continuent à être de forme locomotive ou à foyer cylindrique avec tubes en retour. Parfois les mêmes modèles, avec un simple changement du bâti, servent comme machines locomobiles et fixes.

La machine demi-fixe, dérivée de la locomobile, dont on a retiré les roues, est un type de moteur simple, économique, facile à installer, car il n'exige pas de fondations. Dans cette classe, on peut comprendre des appareils où le mécanisme est porté par un bâti placé sous le corps cylindrique d'une chaudière de forme locomotive, et occupe la place du mouvement intérieur de la locomotive; la Société alsacienne exposait un beau spécimen de ce genre de machine, fonctionnant en compound avec détente Rider au petit cylindre.

On continue à construire de petites machines portatives à chaudière et cylindres verticaux.

Nous donnons ci-après les tableaux des dimensions principales de quelques machines fixes compound et à triple expansion. La quadruple expansion a été, jusqu'à ce jour, rarement employée dans les moteurs fixes; on en trouve cependant quelques exemples (voir machine

Rankin et Blackmore à deux groupes tandem, dans l'*Engineering* du 10 janv. 1890, p. 36).

Dimensions de quelques machines fixes compound récentes.

TYPE ET CONSTRUCTEUR	DIAMÈTRE DU CYLINDRE H. P.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE B. P.	COURSE DES PISTONS	ADMISSION approximative au cylindre H. P.	RAPP. DES VOLUMES des cylindres	NOMBRE DE TOURS par minute
MACHINES HORIZONTALES A DEUX CYLINDRES; MANIVELLES A 90°.	mm.	mm.	mm.			
Distribution Sulzer à soupapes, des frères Sulzer	500	800	1.400	0 à 0,7	2,56	75
Distribution Sulzer à soupapes, par Carels	525	825	1.200	0 à 0,7	2,46	60 à 70
Distribution Wheelock à tiroirs plans, par de Quillacq	540	840	1.066	0 à 0,8	2,42	50 à 60
Distribution Corliss, Berger André	355	560	910	0 à 0,7	2,49	70
Distribut. Frikart, Escher Wyss et Co.	370	550	800	0 à 0,7	2,21	80
— Société alsacienne.	440	660	1.000	0 à 0,7	2,25	80
Distribution à deux tiroirs, Davey Paxman	559	888	1.220	0 à 0,8	2,52	65
Distribution à deux tiroirs, système Hertay, par le Phœnix	500	800	1.000	0 à 0,7	2,56	70
Distribution à un tiroir, avec coulisse Chaligny	400	690	700	0 à 0,7	2,97	80
Distribution à tiroir, machine demi-fixe, Société alsacienne	260	400	500	0 à 0,8	2,36	135
Distribution Biétrix, à robinet unique tournant	230	380	420	»	2,73	120
Distribution Bonjour, Compagnie de l'Horme	200	345	400	0 à 0,6	2,98	150
Distribution à tiroir cylindrique, Armington et Sims, Société alsacienne	330	480	380	0 à 0,7	2,11	255
MACHINES PILON.						
Distribution genre Rider (cyl. H. P.), des anciens établissements Cail	435	700	700	0 à 0,5	2,59	100
Distribution Meyer (cyl. H. P.), compagnie de Fives-Lille	400	700	450	0,2 à 0,6	3,06	100 à 120
Distribution à soupapes, des frères Sulzer, manivelles à 180°	275	400	350	0,2 à 0,65	2,11	260
Distribution Hoffmann (tiroirs cylindriques concentriques, H. P.), Société d'Œrlikon. Manivelles à 180°	400	600	450	0,05 à 0,5	2,25	300
Distribution Meyer au cylindre H. P. Sautter-Lemonnier. Manivelles à 90°	206	310	170	0,2 à 0,6	2,26	350

Dimensions de quelques machines fixes à triple expansion.

Constructeurs	Powell.	M.-Bromovsky et Schulz.	Frères Sulzer.	Weyher et Richemond.	Boulet.
Type	Horiz., 4 cyl. 2 groupes tandem.	Horiz., 3 cyl. 2 en tandem.	Pilon, 3 cyl., B. P. au milieu.	Pilon, 4 cyl., 2 groupes tandem.	Pilon, 3 cyl.
Diamètres des cylindres. H. P.	280mm	200mm	400mm	390mm	280mm
Diamètres des cylindres. M. P.	470	330	600	580	440
Diamètres des cylindres. B. P.	400 et 510	520	900	720 et 720	760
Course des pistons	900	700	600	450	400
Rapports des volumes des cylindres	1 / 2,82 | 1 / 5,36 | 1,90	1 / 2,72 | 1 / 6,75 | 2,48	1 / 2,25 | 1 / 5,07 | 2,25	1 / 2,21 | 1 / 6,80 | 3,08	1 / 2,47 | 1 / 7,36 | 2,98
N. de tours par minute	70	104	100 à 125	130	150
Distribution	4 distribut. oscillants par cylindr.; détente Correy au cylindre H. P.	Soupapes aux cylindres H. P. et M. P., distribution Corliss au cylindre B. P.	Soupapes. Admission variable au régulateur au cylindre H. P.	Tiroirs cyl. pour H. P. et M. P., plans pour B. P. Régulateur avec compensateur Denis.	Tiroirs cyl. pour H. P. et M. P., plan pour B. P. Excentrique à calage variable pour H. P.

5° MACHINES POUR USAGES SPÉCIAUX. — Nous ne pouvons ici décrire avec détails les applications spéciales de la machine à vapeur, où l'effet à produire entraîne des dispositions particulières du moteur, telles que l'extraction et l'épuisement dans les mines, les élévations d'eau, la compression de l'air, le laminage; nous donnerons seulement des indications sommaires sur quelques-unes de ces applications, en laissant de côté ce qui se rattache spécialement à l'exploitation des mines, qui pourrait faire l'objet d'une autre étude fort étendue.

Élevations d'eau. — Lorsqu'il s'agit d'élever une certaine quantité d'eau à une hauteur donnée, le travail que doit fournir la machine est bien déterminé; il augmente toutefois quand on accélère la vitesse, ce qui accroît le

frottement dans les conduites. Il importe que le refoulement soit aussi régulier et aussi continu que possible, les réservoirs d'air montés près des pompes ne compensant qu'incomplètement leur irrégularité.

La machine de Cornouailles a été souvent employée pour élever l'eau des villes; on en trouverait même, en Angleterre, des applications récentes. La maîtresse tige est remplacée par une lourde masse en fonte; à moins d'imprimer à cette masse une vitesse dangereuse, la détente se trouve forcément réduite, et la machine marche à pleine admission pendant presque toute la course, avec pression diminuée. Le refoulement est d'ailleurs intermittent.

On préfère aujourd'hui une machine motrice à volant actionnant les pompes et parfois des appareils à commande directe.

La machine motrice à volant ne présente pas de dispositions spéciales résultant du service des pompes; on peut d'ailleurs admettre sans inconvénient une certaine irrégularité du mouvement de rotation. Ce sera par exemple une machine horizontale à détente Farcot, Meyer, Corliss, Wheelock, à un ou deux cylindres, compound ou non. Les pompes foulantes sont généralement commandées directement par une contre-tige du piston; les pompes Girard à double piston plongeur font un excellent service. Remarquons que la détente variable au régulateur ne présente guère d'avantages pour le moteur, vu la constance du travail. Il convient aussi, pour l'économie de la vapeur, de ne pas pousser trop loin la détente (5 à 6 fois le volume primitif pour une pression initiale modérée), comme dans toute machine à vapeur; sous ce rapport, quelques installations récentes laissent un peu à désirer, les dimensions trop grandes du cylindre à vapeur conduisant à une très longue détente peu avantageuse.

Les appareils à commande directe n'ont ni bielle, ni arbre, ni volant, le piston à vapeur poussant directement celui de la pompe. On les emploie souvent avec de faibles dimensions, notamment comme petit cheval alimentaire. Mais, avec de grandes dimensions, ils ont l'inconvient d'une énorme dépense de vapeur, qui ne travaille qu'à pleine pression. Ce défaut a été corrigé dans quelques appareils, notamment dans la pompe Worthington; le système est double et comporte deux pompes à double effet qui croisent leurs mouvements, d'où résulte une grande régularité de refoulement. Nous avons vu comment chaque groupe commandait la distribution de l'autre. Pour réduire la dépense de vapeur, on a d'abord fait usage de deux cylindres compound placés en tandem, travaillant chacun à pleine admission, l'un à la pression de la chaudière, l'autre à celle du réservoir intermédiaire; mieux vaut encore détendre la vapeur dans chaque cylindre, en interrompant l'admission en un point convenable de la course; mais alors l'effort moteur va en décroissant du commencement à la fin de la course, tandis que l'effort résistant de la pompe est constant. On emmagasine l'excès de travail moteur pendant la première moitié de la course et on le restitue pendant la seconde moitié à l'aide de deux petits pistons se mouvant dans deux cylindres oscillants à simple effet et soumis à une pression d'eau convenable; au milieu de la course, l'axe de ces cylindres auxiliaires est perpendiculaire à l'axe des cylindres principaux.

Machines soufflantes, compresseurs. — La compression de l'air à une pression plus ou moins élevée n'exige pas, plus que l'élévation de l'eau, de dispositions spéciales de moteur. On emploie soit les machines horizontales à deux cylindres attaquant deux manivelles à angle droit d'un arbre à volant et commandant en tandem les cylindres à vent, soit les machines à balancier. La ma-

chine soufflante de la société J. Cockerill mérite une mention spéciale; déjà ancienne, elle figurait encore à l'Exposition de 1889. Cette machine est verticale avec deux cylindres Woolf en bas et un cylindre à vent à la partie supérieure; une traverse commande un arbre passant sous les cylindres moteurs et portant deux volants. Le tout forme un ensemble ramassé en plan et bien groupé.

Dans le compresseur Burckhardt et Weiss, pour mieux proportionner à chaque instant la résistance et la puissance, le cylindre à air et le cylindre à vapeur sont reliés à deux manivelles du même arbre calées à 50 degrés, la manivelle du cylindre à air précédant l'autre (*Armengaud, Pub. ind.*, 3e s., vol. 1, p. 559).

Machines de laminoirs. — La commande des laminoirs exige parfois des moteurs d'une puissance considérable. Si la rotation est continue, toujours dans le même sens, la barre étant ramenée par-dessus les cylindres ou les trains ayant trois cylindres comme aux États-Unis, le moteur ne présente guère de dispositions spéciales : il est seulement muni d'un volant puissant; on fait usage de machines horizontales à un cylindre (quelquefois de Corliss comme à l'usine Russery, à Lorette (Loire), où la puissance est transmise au laminoir par courroie), ou à plusieurs cylindres, par exemple, avec trois groupes compound tandem au même train (à Bethlehem en Pennsylvanie), ou bien de machines pilon, occupant moins de place autour des laminoirs. Mais si la rotation doit changer de sens à chaque passage de la barre à laminer, on fait usage d'un type de machine réversible créé à Seraing et remarquable par la facilité et la rapidité de la manœuvre, malgré les dimensions considérables de l'appareil. La machine a deux cylindres attaquant deux manivelles à angle droit; elle n'a pas de volant; la distribution se fait par coulisse avec servo-moteur pour commander l'arbre de relevage.

Une machine de ce genre, aux aciéries du Nord et de l'Est, a des cylindres de $1^m,250$ de diamètre, avec course de $1^m,400$; elle fait jusqu'à 150 tours par minute.

6° Locomotives. — Nous laissons de côté l'étude des locomotives; une note que nous avons publiée dans le *Bulletin de l'assoc. amic. des élèves de l'École des mines* (nos de janvier et février 1890), donne une énumération des locomotives à l'Exposition de 1889 avec indication de leurs caractères les plus importants. Le mécanisme de la locomotive peut atteindre facilement de fortes vitesses de rotation, malgré la course assez grande de ses pistons (600 à 650 millimètres d'ordinaire) et le poids souvent considérable de ses bielles; c'est ainsi que dans des expériences qui viennent d'être faites par la compagnie du chemin de fer P.-L.-M., des locomotives de types divers faisaient sans fatigue 320 à 350 tours par minute. Ce sont surtout les conditions d'établissement de la voie et la nécessité de remorquer des charges assez lourdes qui limitent leur vitesse.

7° Machines marines. — L'étude des machines marines est particulièrement intéressante, car ce sont les plus puissants moteurs qui existent, ceux pour lesquels la réduction du poids et de l'emplacement de l'appareil complet, y compris les chaudières, a le plus d'intérêt, ainsi que l'économie de combustible; enfin, leur marche est continue souvent pendant plusieurs semaines, et leurs pièces doivent être simples et robustes pour diminuer les chances d'avaries. A considérer l'effet qu'on veut obtenir, on peut ranger ces machines en quatre catégories : les moteurs des bateaux de commerce, *cargo-boats*, pour lesquels on recherche la simplicité et la facilité de la conduite, avec des vitesses modérées; ceux des paquebots rapides, pour lesquels on désire obtenir des vitesses souvent considérables; pour ces deux caté-

gories le travail demandé est toujours à peu près constant. Une troisième classe est celle des machines des marines militaires, pour laquelle on demande tantôt une allure à outrance, tantôt une marche à puissance réduite; en outre, la nécessité de protéger les machines contre l'artillerie leur impose souvent des sujétions spéciales, telles que d'être entièrement au-dessous de la ligne de flottaison. Enfin, la marine militaire comprend des bateaux légers et rapides, dont les torpilleurs sont le type, pour lesquels la machine doit avoir une puissance considérable avec des dimensions et des poids extrêmement réduits.

A l'exception de quelques paquebots à roues, c'est l'hélice qui est universellement employée, sur mer, à la propulsion des navires; et, sauf les sujétions militaires mentionnées plus haut, la machine qui commande l'hélice est toujours du système pilon. La plupart des constructions récentes de quelque importance sont caractérisées par l'emploi des pressions élevées, 8 à 12 kilogrammes aux chaudières, et de la triple expansion, tandis qu'en 1878 on faisait généralement usage de machines compound avec des pressions de 4 à 5 kilogrammes. Dans les années qui ont suivi 1878, on a continué à construire beaucoup de compound, avec des pressions de 5 à 7 kilogrammes, tandis que la triple expansion, aujourd'hui généralement adoptée, se répandait de plus en plus. Comme on le voit par ces chiffres, l'étude des machines se lie à celle des chaudières, dont nous parlerons au chapitre VIII. Enfin, la quadruple expansion est appliquée dans un certain nombre de machines. On en trouvera quelques exemples dans la *Zeitschrift des V. D. I.*, 1888, Pl. 19. Il semble que, pour que son emploi devînt général, il faudrait que les chaudières donnassent de la vapeur à la pression de 15 kilogrammes environ, ce qui n'est pas impossible.

Grâce à l'emploi des pressions élevées et de la triple détente, les consommations des bons appareils sont descendues à environ $0^{kg},750$ de houille par cheval-heure indiqué, tandis que les compound de 1878 dépensaient 1 kilogramme. Ce chiffre était déjà faible comparé aux consommations des appareils à faible pression et avec extractions périodiques de l'eau des chaudières, avant l'emploi de la condensation par surface, qui permet le retour aux générateurs de l'eau distillée.

Nous donnerons quelques indications sur les principaux types d'appareils appartenant aux quatre catégories que nous avons citées.

Bâtiments de commerce. — Le type de la machine simple à triple expansion pour les bâtiments de commerce est à trois cylindres agissant sur trois manivelles à 120 degrés. Les tiroirs plans ou cylindriques sont souvent placés avec avantage sur le côté des cylindres et non dans l'axe longitudinal de la machine, afin d'en réduire la longueur. Les mécanismes tels que ceux de Joy, de Marshall, conviennent bien alors pour les conduire. La pompe à air et la pompe de circulation du condenseur peuvent être commandées par la machine principale elle-même, dont la vitesse n'est pas très grande.

La triple expansion n'est cependant pas adoptée absolument sans conteste pour la classe de navires qui nous occupe (*cargo-boats* ou bateaux de charge). Je résume dans les lignes qui suivent entre guillemets, des observations à ce sujet empruntées à des journaux techniques :

« Un mouvement de réaction se produit en ce moment en Écosse parmi quelques armateurs. L'emploi de la triple expansion nécessite celui des chaudières timbrées à 9 kilogrammes au moins, et aujourd'hui à 10, 11 et 12 kilogrammes, et, dans la chaudière, celui de l'eau douce. L'appareil moteur a trois équipages; le personnel de

conduite des machines doit être augmenté dans un grand nombre de cas.

« L'obligation absolue de l'eau douce dans les chaudières crée celle de l'emploi des récupérateurs d'eau douce, c'est-à-dire de distillateurs pour compenser les pertes de vapeur normales et occasionnelles.

« De sorte que, tous comptes faits, de premier établissement, de conduite, de réparations, d'usures, de charbon dépensé à refaire de l'eau douce, de durée des chaudières, on finit par trouver qu'un appareil moteur de bateau de charge établi en compound coûterait moins cher à tous égards et ne dépenserait pas sensiblement plus de charbon par cheval, aujourd'hui qu'on a beaucoup réduit les espaces libres et que les organes des machines sont plus parfaits. »

Grands paquebots. — Le même type de machines (à triple expansion) convient pour les grands paquebots. Mais la pompe de circulation est commandée par un petit moteur indépendant, pour dégager l'appareil principal de tout accessoire et obtenir une circulation continue, sans chocs, de grandes masses d'eau, les pompes étant rotatives. On trouve aussi des groupements différents des cylindres; on divise parfois en deux le cylindre à basse pression : la machine a quatre cylindres, groupés deux par deux en tandem et attaquant deux manivelles seulement; cette disposition des cylindres se prête bien à l'emploi de la quadruple expansion; on trouve aussi (machine de *la Champagne*) trois groupes tandem composés de un cylindre à haute pression, deux cylindres à moyenne pression, et trois cylindres à basse pression (voir *Génie civil* du 13 mars 1886). On évite ainsi des cylindres de dimensions excessives et des efforts trop considérables transmis par une seule bielle. On divise aussi assez fréquemment aujourd'hui l'appareil moteur en

deux parties distinctes, actionnant chacune séparément une hélice.

Les paquebots fournissent quelques exemples de bateaux à roues, avec machines compound récemment construites. Tel est par exemple le *Calais-Douvres*, où les deux cylindres sont, l'un horizontal, l'autre légèrement incliné (*Engineering*, juin 1889, p. 667), disposition préférée aux cylindres oscillants malgré la place considérable qu'elle exige. On trouve même aux États-Unis des exemples récents de puissantes machines à un seul cylindre vertical à grande course, commandant l'arbre des roues par l'intermédiaire d'un balancier au-dessus du pont, type bien ancien, d'une grande simplicité, qui s'est conservé jusqu'à nos jours.

C'est aussi aux États-Unis que nous trouvons l'emploi d'autres organes de distribution que le tiroir, pour la navigation fluviale ou côtière : la distribution est souvent à soupape; les tiroirs-plans à grille Wheelock y ont été appliqués à une machine Woolf à balancier de 5.000 chevaux. On peut s'étonner de voir si rarement essayer, pour les machines marines, des organes de distribution autres que les tiroirs avec leurs grands espaces libres. La compression ne peut en effet compenser entièrement l'effet nuisible de l'espace libre; dans le cas le plus favorable, il n'en faut pas moins des cylindres plus grands pour un travail déterminé. Un mécanisme de distribution simple et d'un fonctionnement certain, à faible espace libre, remplacerait avec avantage le tiroir.

Marine militaire. — Avec les poids énormes des cuirasses et des canons aujourd'hui adoptés, la réduction du poids total des appareils moteurs des bâtiments de guerre a une extrême importance. En outre, la nécessité de faire fonctionner les machines de la marine militaire à des allures différentes, depuis la marche à outrance jusqu'aux vitesses très réduites, rend plus difficile l'établis-

sement de ces machines, car un appareil disposé pour une marche économique aux grandes vitesses se prête moins bien à l'allure réduite, et inversement. On prendra en général une solution intermédiaire entre les deux extrêmes. M. Widmann, ingénieur de la marine et de la Société des forges et chantiers de la Méditerranée, dans une note à laquelle nous avons fait plusieurs emprunts, donne pour volume final de la vapeur dans le dernier cylindre de détente, par cheval et par seconde, les chiffres de $0^{m3},004$ à $0^{m3},0027$: on prendra la valeur la plus petite si l'on attache le plus d'importance aux allures réduites, et la plus forte pour les paquebots marchant toujours à grande allure. Je dois citer aussi le nom de M. P. Carié, ingénieur de la même Société, qui m'a fourni beaucoup de renseignements utiles.

La variation est d'ailleurs considérable, puisque les machines ont à développer des puissances variables de 1 à 10 et au delà pour les torpilleurs, et de 1 à 5 et 6 pour les bâtiments de grand tonnage.

Le moyen le plus simple consiste à faire varier le degré d'admission au cylindre de haute pression, et la pression aux chaudières. La variation demandée est assez grande pour exiger souvent l'emploi simultané de ces deux moyens. Ils paraissent d'ailleurs suffisants et se prêtent à une répartition satisfaisante des efforts moteurs entre les trois cylindres aux diverses allures. Cependant d'autres procédés ont été employés et sont même encore aujourd'hui en cours d'essai.

On peut établir des appareils économiques à triple expansion aux faibles vitesses, et les transformer en compound pour les grandes puissances, en admettant directement la vapeur à la fois dans les petits et moyens cylindres. On sacrifie ainsi, aux allures d'exception, la consommation de charbon par cheval. Cependant les approvisionnements des grands bâtiments de guerre sont telle-

ment limités que toute consommation excessive des machines réduit d'une manière fâcheuse les distances qu'ils peuvent atteindre sans ravitaillement. Malgré cet inconvénient, la solution que nous venons d'indiquer a été adoptée pour les grands garde-côtes japonais *Itsukushima* et *Matsushima*.

Lors de l'apparition des machines compound, on avait abordé le même problème et cherché à employer la compound en service courant, en se réservant la faculté d'introduire dans les deux cylindres pour réaliser les puissances d'exception. On y a vite renoncé.

Une solution que l'on peut appeler inverse est la suivante : la machine à triple expansion étant établie pour la grande vitesse, on craint que la détente ne soit par trop considérable aux petites allures, et par suite peu économique (le volume final de la vapeur étant toujours le même). On supprime alors dans ce cas le cylindre à basse pression, en débrayant la portion d'arbre sur laquelle il agit, et la machine fonctionne en compound avec les petits et moyens cylindres seuls. L'accouplement des deux groupes, après les altérations d'ajustage qu'entraîne un service prolongé du groupe principal, n'est pas sans présenter de sérieuses difficultés. En somme, le mieux paraît être de s'en tenir à la triple expansion pour toutes les allures.

La pompe de circulation des grands bâtiments militaires est commandée par un moteur spécial; quelquefois on a aussi une machine auxiliaire pour la pompe à air, complication moins souvent justifiée.

Quand on veut installer la machine en dessous de la ligne de flottaison, on la place horizontalement : la longueur de la machine suivant l'axe des cylindres étant alors forcément faible, on a été conduit, dans ce cas, aux solutions ingénieuses mais compliquées du fourreau et de la bielle en retour. Cette difficulté est moindre au-

jourd'hui, grâce à l'emploi fréquent de deux hélices : chacune des deux machines, légèrement inclinée sur l'horizontale, peut avoir une longueur supérieure à la demi-largeur du bâtiment et n'exige plus de dispositions spéciales pour les bielles.

Torpilleurs. — Pour donner de très grandes vitesses à des bâtiments de petite dimension tels que les torpilleurs, on doit y installer un appareil moteur très puissant pesant peu et occupant peu de place. Si l'établissement de chaudières répondant à ce programme a donné lieu à d'assez graves difficultés, qui ne sont même pas toutes entièrement résolues, il n'en est pas de même des machines, pour lesquelles on a obtenu un fonctionnement irréprochable. Ce sont des moteurs pilon à grande vitesse (300 tours environ), compound ou à triple expansion ; la triple expansion est souvent préférée aujourd'hui ; cependant on annonce pour des machines compound récemment construites par M. A. Normand des chiffres de consommation extraordinairement faibles (0,5^{kg} environ par cheval-heure indiqué), malgré des pressions initiales assez faibles (5^{kg}).

Les bâtis des machines de torpilleurs sont légers et en fer. Toutes les pièces doivent d'ailleurs être étudiées minutieusement en vue de la légèreté ; les détails et surtout le graissage doivent être prévus avec grand soin ; enfin il faut une exécution irréprochable avec des matériaux de choix.

La pompe de circulation, centrifuge, est commandée par un petit moteur spécial ou parfois supprimée, l'eau circulant dans le condenseur par l'effet de la vitesse du bâtiment.

Nous donnons ci-après un tableau des dimensions principales de quelques machines marines récemment construites dans les ateliers des Forges et Chantiers de la Méditerranée, extraites pour la plupart de la note de M. Widmann citée plus haut.

Dimensions de quelques machines marines récentes.

SYSTÈME DE LA MACHINE.	PAQUEBOTS FRANCHE-COMTÉ, ETC. Triple expansion, 3 cylindres pilon.	PAQUEBOTS DORDOGNE, ETC. Triple expansion, 3 cylindres pilon.	PAQUEBOT AUSTRALIEN. Triple expansion, 3 cylindres pilon.	CROISEUR LE CHARNER. 2 mach. pr. horizontales, triple expans. 3 cylindres.	CUIRASSÉ CHILIEN. 2 machines pilon, triple exp., 3 cylind.	TORPILLEURS DE 27 MÈTRES. Compound, 3 cylindres pilon. (1 H. P., 2 B. P.)	TORPILLEURS DE HAUTE MER AUDACIEUX, ETC. Triple expansion, 3 cylindres pilon.
Puissance totale présumée (chevaux indiqués)	760	1.450	6.600	7.600	12.000	320	1.100
Pression de régime (kg.)	9	10	12	12	10	8,4	12
Diamètre cyl. H. P.	490	700	1.120	780	1.010	350	440
Diamètre cyl. M. P.	780	1.120	1.700	1.150	1.470	»	640
Diamètre cyl. B. P.	1.250	1.780	2.700	1.750	2.260	2 de 420	1.000
Course des pistons	900	1.200	1.350	1.000	1.050	350	420
Rapport cyl. H. P. à M. P.	2,53	2,56	2,30	2,17	2,12	»	2,12
Rapport cyl. H. P. à B. P.	6,51	6,47	5,81	5,03	5,01	2,88	5,16
Nombre de tours max. prévu.	88	76	81	124	120	320	300
Coefficient de détente	10,66	10,43	8,67	8,11	7,47	4,30	7,91

Comme exemples de machines de grands paquebots, nous citerons celles de la City of Paris (deux machines avec cylindres de 1^{m},143, 1^{m},803 et 2^{m},870 de diamètre, et course de 1^{m},523), et de la Touraine (deux machines avec cylindres de 1^{m},040, 1^{m},540 et 2^{m},540, et course de 1^{m},660). Voir le *Génie civil* du 10 mai 1890.

8° MACHINES SPÉCIALES ET DIVERSES. — Une classe de machines qui semble bien abandonnée aujourd'hui, sans être d'ailleurs jamais sérieusement entrée dans la pratique, est celle des machines rotatives. Il existait cependant quelques types de cette classe à l'Exposition de 1889.

La machine rotative n'a d'ailleurs aucun avantage spécial sur la machine à piston; elle ne serait préférable que si elle était plus simple que cette dernière : or elle présente en général des pièces frottantes difficiles à ajuster et à maintenir en bon état. Certaines machines à pistons, telles que la machine Brotherhood, par exemple, qu'on pourrait appeler pseudo-rotatives, en tiennent facilement lieu et se prêtent à une commande facile des axes à rotation rapide.

Machines à réaction. — La machine à réaction avait été autrefois essayée sans succès, les dispositions adoptées laissant beaucoup à désirer. Aujourd'hui, bien mieux étudiée, elle a reçu quelques applications.

La turbine à vapeur de Parsons se compose d'une série de couronnes mobiles montées sur un même axe, séparées par des distributeurs fixes. Un distributeur et la couronne mobile qui le suit forment une turbine parallèle, actionnée par le courant de vapeur. Considérons deux distributeurs consécutifs : la vapeur passe de l'un à l'autre avec une certaine vitesse en relation avec la pression dans chacun des distributeurs; la variation de la pression d'un distributeur au suivant est assez faible, vu leur grand nombre, pour que la vitesse puisse être utilisée dans la turbine. L'ensemble est comparable à un système de turbines hydrauliques installées les unes au-dessous des autres sur une chute élevée, et employant chacune une fraction de la chute totale. Mais à mesure que la pression de la vapeur diminue, par suite de son passage à travers les turbines, son volume augmente ; et si toutes les turbines ont les mêmes dimensions, la vitesse doit aussi augmenter d'une turbine à la suivante; et si la vitesse de rotation est celle qui convient le mieux pour l'une des couronnes de la série, comme elles tournent toutes ensemble, cette vitesse sera trop grande pour les couronnes placées en en amont, trop faible pour celles d'aval. Ce défaut est en

partie corrigé, dans les grands appareils, par la variation de diamètre des turbines, qui sont partagées en deux ou trois séries de diamètres croissants. Il semblerait plus logique de faire varier d'une manière continue ces diamètres, l'ensemble des turbines formant un cône. Pour éviter les poussées longitudinales sur l'arbre, il y a toujours deux parties symétriques par rapport à un plan perpendiculaire à cet arbre, la vapeur arrivant dans ce plan et s'écoulant des deux côtés.

Les aubes des distributeurs et des couronnes sont de très petite dimension.

Malgré la division du courant par un grand nombre de distributeurs, la vitesse d'écoulement d'un distributeur à l'autre est considérable, et, par suite, la vitesse de rotation de l'appareil est très grande. On a dépassé le nombre de 10.000 tours par minute et même atteint celui de 18.000. On mesure cette vitesse d'après la note produite par une plaque vibrante frappée à chaque tour par une saillie de l'arbre. Ajoutons que le compteur Deschiens permet de mesurer des vitesses de 10.000 tours. Ce nombre de tours serait d'ailleurs réduit si l'on construisait des appareils puissants de grand débit, avec même tracé des aubes et même vitesse linéaire des couronnes mobiles.

Pour tourner à ces vitesses vertigineuses, les appareils doivent être parfaitement équilibrés autour de leur axe; le graissage est assuré par une circulation abondante d'huile produite par la machine elle-même.

Ces appareils sont exclusivement employés à produire l'électricité à l'aide d'une dynamo montée sur le même arbre, et formant un ensemble unique avec le moteur. La construction de la dynamo est encore plus délicate que celle du moteur, car elle comprend une série de fils enroulés qui doivent rester en place. La régulation se fait d'une manière ingénieuse, à l'aide d'un système magnétique composé d'une aiguille en fer déviée plus ou

moins par le courant et obstruant plus ou moins l'orifice d'aspiration d'un petit ventilateur monté sur l'arbre de la machine. Suivant l'obstruction plus ou moins grande de cet orifice, le ventilateur produit un vide plus ou moins fort sous un diaphragme, qui commande un papillon sur l'admission de vapeur.

La consommation de vapeur de ces appareils est considérable, mais sans être extravagante comme dans les anciennes machines à réaction, puiqu'on arrive au chiffre de 20 kilogrammes environ par cheval-heure. La turbine à vapeur Parsons est décrite dans le *Port. écon. de mach.*, t. XIV, p. 54; l'*Engineering* du 2e sem. 1888, p. 478; la *Z. des V. D. I.*, 1889, p. 606, etc.

La turbine à vapeur de Dow (*Rail road gazette* du 24 janvier 1890) se compose d'une série de turbines centrifuges concentriques, montées sur un axe unique, et séparées par des distributeurs fixes; cette disposition tient compte de la dilatation continue de la vapeur à mesure qu'elle se détend. Deux groupes semblables sont montés symétriquement sur un même axe, et pour éviter tout frottement en bout, résultant de poussées longitudinales inégales sur cet arbre, l'admission de vapeur se fait entre les deux groupes par une fente circulaire en partie obstruée par un disque plein monté sur l'arbre; si ce disque se déplace légèrement d'un côté, il augmente l'admission de vapeur du côté opposé; il en résulte une augmentation de poussée longitudinale qui ramène le disque à sa position moyenne.

Pulsomètres. — Un mode intéressant de travail de la vapeur, pour l'élévation de l'eau, se voit dans le pulsomètre, où tout mécanisme est supprimé, à l'exception d'une soupape fort simple qui distribue la vapeur dans l'une ou l'autre chambre de l'appareil, de petites soupapes de rentrée d'air et des clapets d'aspiration et de refoulement de l'eau. Le fonctionnement en a été décrit avec

détail par M. H. de la Goupillière (*Annales*, s. 7, t. XVI, p. 101, et *Cours d'exploitation des mines*, t. II, p. 325). On emploie fréquemment cet appareil commode, dont on construit des types assez nombreux. On trouvera dans les *Machines marines* de Bienaymé, p. 331, des renseignements sur leur fonctionnement, d'où il résulte que la consommation de vapeur par cheval en eau élevée et par heure diminue avec la hauteur du refoulement. On annonce que certains pulsomètres consomment 1,5 kilogrammes de vapeur pour élever 1.000 litres d'eau à 10 mètres.

Servo-moteurs. — Les servo-moteurs sont fréquemment employés pour la commande du changement de marche des grandes machines (marine, laminoirs réversibles, moteurs d'extraction, quelquefois même locomotives, application parfois moins justifiée), pour la commande par un régulateur de mécanismes de détente variable, pour la manœuvre du gouvernail des navires, et de divers engins, quelquefois de treuils. On peut les classer en deux catégaries, suivant qu'ils consistent essentiellement en un piston avec simple déplacement rectiligne plus ou moins étendu, ou en une machine à mouvement de rotation. Nous n'insisterons pas sur les mécanismes simples qui conviennent au premier cas; nous dirons quelques mots du principe de la disposition la plus fréquente dans le second: le servo-moteur a deux cylindres attaquant deux manivelles à angle droit, avec distribution par tiroirs sans recouvrements; on peut intervertir les côtés de l'admission et de l'échappement, à l'aide d'un système composé de deux tiroirs superposés, l'un commandé par un levier de manœuvre, l'autre par le servo-moteur même. Dans leur position moyenne, tout passage de vapeur est interrompu; si l'on déplace le tiroir supérieur d'une quantité déterminée, on produit une admission de vapeur pour la marche avant ou arrière, suivant le sens du déplacement; le servo-moteur se met

en mouvement et déplace à son tour le tiroir inférieur; quand celui-ci a parcouru un chemin égal au déplacement du tiroir supérieur, tout passage de vapeur est de nouveau intercepté et la machine stoppe, après avoir fait un nombre de tours dans un sens ou dans l'autre, en relation précise avec le déplacement du levier de manœuvre. C'est ainsi que les machines à gouverner répètent, avec une docilité étonnante, les mouvements que le timonier imprime à une roue en miniature qu'il peut pousser du bout du doigt.

Les dispositions principales des servo-moteurs sont décrites dans le *Constructeur* de Reuleaux, trad. Debize, 3e éd., p. 957. On ne recherche nullement, dans ces appareils, l'économie de vapeur. Travaillant toujours à pleine pression, sans détente, ils conviennent aussi pour l'emploi de l'eau en charge au lieu de vapeur.

CHAPITRE VI.

DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES MACHINES A VAPEUR.

Nous ne pourrions, sans allonger outre mesure notre travail, nous étendre sur les détails de construction des machines, malgré l'intérêt du sujet. Nous signalerons quelques points qui nous paraissent caractériser la pratique actuelle. A peu d'exceptions près, d'ailleurs, les principales dispositions adoptées aujourd'hui ne sont pas nouvelles : nous les trouvons déjà décrites dans les *Rapports du jury de l'Exposition de* 1878 (*Machines, etc., par M. Hirsch*, p. 165 à 168).

Bâtis. — Les machines horizontales ont souvent le bâti à baïonnette ou américain, reliant solidement le fond du cylindre au palier de l'arbre moteur; le cylindre ne fait guère que poser sur la fondation. Dans les petites

machines, la liaison est encore plus satisfaisante, lorsqu'on fait usage d'un arbre coudé porté entre deux paliers placés de part et d'autre de l'axe du cylindre ; ces paliers peuvent être venus de fonte avec le bâti; le cylindre, de faibles dimensions, se monte parfois en porte-à-faux. Dans les machines pilon, marines et fixes, on remplace souvent aujourd'hui l'un des deux jambages en fonte qui portent le cylindre par des colonnettes en fer, plus légères et permettant une visite plus facile du mécanisme. On voit même, dans les petits appareils, les cylindres entièrement portés sur colonnettes en fer.

Cylindres. — L'exécution des cylindres exige une grande expérience et pour le tracé des modèles et pour le choix des fontes. Trop souvent dans les pièces un peu compliquées il se produit des cassures ou des fentes plus ou moins graves. La chemise intérieure, sur laquelle frotte le piston, est une pièce rapportée dans les grands appareils, avec joints aux deux extrémités; on la coule en fonte dure. On a même fait quelques essais d'acier trempé, sans que le procédé soit encore entré dans la pratique. Tout le reste des cylindres est coulé en fonte douce ; il convient alors de rapporter la table du tiroir, sujette à usure, ou du moins de prévoir le montage d'une table rapportée après usure. Comme précaution pour éviter les cassures, citons la construction de cylindres de machines horizontales en deux moitiés assemblées à brides, la jonction se faisant sur un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre dans lequel, bien entendu, on rapporte une chemise. Dans le montage des grandes machines marines, on tient compte des dilatations inégales des cylindres et l'on ménage en conséquence des jeux lors de leur assemblage à froid.

Pistons. — On coule en acier les grands pistons. Pour

les garnir on emploie généralement les anneaux élastiques en fonte du système suédois. Avec les grands diamètres, il devient nécessaire d'appuyer les anneaux contre le cylindre par une série de ressorts.

Garnitures des tiges. — La garniture de chanvre ou de coton, assez dispendieuse, disparaît de plus en plus devant les nombreuses garnitures métalliques, composées le plus souvent d'anneaux de métal blanc tendre à bords coniques, présentant une arête circulaire qui vient presser contre la tige.

Pièces frottantes. — On emploie aussi différents alliages dits métaux blancs, antifriction, pour les coussinets et autres pièces frottantes, le plus souvent en enchâssant l'alliage dans le bronze. On arrive ainsi à rendre les chauffages plus rares et moins destructeurs.

Pour le graissage, l'usage des huiles minérales se répand beaucoup, non seulement pour les pièces travaillant dans la vapeur (pistons et tiroirs), mais aussi pour les mécanismes extérieurs aux cylindres. Sur certaines machines, on installe avec beaucoup de soin des appareils permettant le graissage en marche, à l'aide de tuyaux amenant l'huile sur les articulations (M. pilon Sulzer), de lécheurs comme ceux de la marine, prenant une goutte d'huile à chaque révolution de la manivelle motrice. Une disposition simple et ingénieuse pour graisser la grosse tête de bielle des machines horizontales, avec manivelle à l'extrémité de l'arbre, consiste à amener l'huile sur le tourillon à l'aide d'un tuyau formant contre-manivelle et se terminant par un godet placé sur l'axe de l'arbre ; le godet tourne mais sans se déplacer et peut recevoir l'huile débitée par un graisseur fixe, huile que la force centrifuge envoie sur le tourillon à lubréfier.

Signalons encore sur quelques machines l'emploi de la

graisse pâteuse, contenue dans un godet avec couvercle à vis qui refoule la graisse dans les conduits et pattes d'araignée, quand on le tourne. On reproche parfois à ce système d'exiger une manœuvre fréquente des couvercles des godets ; il n'évite d'ailleurs pas toujours autant qu'on pourrait l'espérer les projections de matières grasses.

Pour le graissage continu des cylindres et tiroirs, on emploie les divers systèmes de graisseurs à condensation ; on préfère souvent aujourd'hui les appareils mécaniques qui refoulent l'huile à l'aide d'un plongeur à descente très lente réglable à volonté.

Joints. — Le joint au minium, long à exécuter, exigeant ensuite un séchage prolongé, est remplacé de plus en plus par d'autres systèmes plus commodes. Citons surtout l'emploi des cartons d'amiante, soit avec découpage complet suivant les parties en contact, soit plus simplement avec une bande mince enroulée. On fait aussi les joints à l'aide d'anneaux ou de lentilles en cuivre serrés entre les deux brides, qui présentent des gorges correspondant à l'anneau, procédé plus coûteux, mais plus satisfaisant. MM. Meunier avaient notamment exposé des joints très soignés exécutés de la sorte.

Étude des machines. — Les études des machines sont aujourd'hui, d'une manière générale, l'objet de soins extrêmes : la diffusion de l'instruction technique, la multiplicité des publications faisant connaître les travaux des constructeurs du monde entier, contribuent à ce progrès.

Parfois les études deviennent très difficiles et minutieuses : pour les machines à grande vitesse notamment, la nécessité d'alléger autant que possible toutes les pièces en mouvement conduit à reprendre le calcul des

conditions de résistance dans chaque cas, au lieu de suivre les règles empiriques longtemps adoptées. Comme exemples de pièces légères, nous citerons les tiroirs cylindriques formés d'une gaîne de tôle reliant deux têtes d'acier moulé, les plateaux de cylindre faits d'un moulage d'acier et d'une tôle entretoisés, pièces employées pour des machines marines en construction.

Exécution des machines. — C'est en considérant l'exécution qu'on voit le progrès le plus marqué de la construction des machines. Une précision qui était, il y a peu d'années, l'apanage de quelques ateliers seulement est devenue générale chez tous les bons constructeurs. Les pièces de machines sont souvent exécutées au dixième de millimètre ; pour des travaux spéciaux, tels que ceux de l'artillerie, on mesure le centième de millimètre. Les machines très rapides ne peuvent fonctionner d'une manière satisfaisante que si les assemblages sont irréprochables. On peut distinguer une exactitude relative des pièces qui s'assemblent ou frottent l'une contre l'autre, exactitude qui permet aux parties en contact de porter parfaitement l'une sur l'autre, mais sans que les parties similaires de deux machines, pareilles en apparence, puissent s'échanger, et une exactitude absolue, telle que toutes les pièces puissent être choisies au hasard pour être assemblées.

Chose remarquable ! cette extrême précision, qui semblait exiger des soins spéciaux et entraîner des dépenses considérables, devient, au contraire, le procédé le plus économique, en supprimant tout travail d'ajustage, lors du montage : c'est ainsi qu'on exécute les machines à coudre, les pistolets, les fusils par millions ; le procédé s'applique de plus en plus à des appareils de grande dimension, tels que les locomotives, les moteurs à vapeur, lorsqu'on peut construire un nombre suffisant d'exemplaires. Grâce à ces procédés d'exécution précise, qui se répandent de plus en plus, non seulement le montage est facilité, mais le remplacement des pièces avariées devient aisé.

Nous signalerons enfin l'emploi des pièces en acier trempé ou en fer cémenté, rectifiées à la meule d'émeri, pour les articulations des machines, telles que celles des mécanismes de distribution, et l'usage croissant des pièces en acier coulé ; l'acier coulé non seulement remplace la fonte quand on veut augmenter la résistance ou diminuer le poids d'une pièce, mais on l'emploie même là où le métal forgé semblait indispensable ; citons, par exemple, les roues à rais de locomotives, que plusieurs usines livrent aujourd'hui et même les arbres à leviers de freins, qui sont couramment fondus dans les ateliers du Lancashire and Yorkshire railway, à Horwich.

CHAPITRE VII.

CONDENSATION.

Température du condenseur. — L'étude théorique de la condensation est peu avancée ; on ne peut dire dans chaque cas quelle est la meilleure température à donner aux condenseurs, et, en pratique, leur réglage peu satisfaisant se ressent du défaut de données théoriques. En parlant des machines à vapeur combinées, nous avons déjà indiqué pourquoi l'on ne gagnait guère à abaisser beaucoup la température de condensation de la vapeur d'eau ; on ne peut donner aux cylindres des dimensions suffisantes pour détendre la vapeur jusqu'à la pression d'un condenseur très froid, de sorte qu'en abaissant la température de condensation, on réduit seulement un peu le travail de la contre-pression sur le piston, sans

recueillir celui que donnerait la détente prolongée de la vapeur.

Fixons les idées par un exemple : les tensions de vapeur d'eau sont, de 10 en 10 degrés, entre 0 et 100 degrés, en kilogrammes par mètre carré : 63 (à 0 degré); 125; 236; 429; 747; 1.251 (à 50 degrés); 2.023; 3.169; 4.822; 7.144; 10.334 (à 100 degrés). Supposons une machine fonctionnant avec une température de 50 degrés au condenseur et donnant un travail correspondant à une ordonnée moyenne du diagramme de 20.000 kilogrammes par mètre carré; voyons de combien s'accroîtra ce travail quand on abaissera la température de condensation. En passant de 50 à 40 degrés, la contre-pression se réduit de 1.251 à 747 kilogrammes, l'ordonnée moyenne s'accroît de 504 sur 20.000 ou de 0,025; de 40 à 30 degrés, on gagne 318 kilogrammes ou 0,016; de 30 à 20 degrés, 193 kilogrammes ou 0,010. On gagnerait au total, en abaissant la température de 50 à 20 degrés (ce qui serait souvent impraticable), 0,05 sur l'ordonnée moyenne, soit 5 p. 100 du travail de la machine.

Mais, à moins qu'on n'agrandisse la pompe à air, ce qui augmentera ses résistances passives, cet accroissement de travail va se trouver réduit, parce que le poids d'air dégagé dans le condenseur augmentera avec la quantité d'eau d'injection; le travail résistant de la pompe à air croîtra d'ailleurs avec les quantités d'eau et d'air à extraire; si l'on fait usage du condenseur à surface, c'est le travail absorbé par la pompe de circulation qui augmentera.

En outre, l'eau d'alimentation prise à la température du condenseur sera plus froide; la chaudière devra lui fournir un plus grand nombre de calories (ces calories peuvent toutefois être cédées par les gaz perdus du foyer si l'on fait usage de réchauffeurs); Bienaymé trouve que cette considération conduit à limiter à 40 degrés la température du condenseur (*Machines marines*, p. 278). D'autre part, l'abaissement de la température inférieure, d'où résulte un plus grand écart des températures extrêmes, doit augmenter l'activité des parois et par suite la consommation de vapeur.

Nous pensons donc que souvent les températures des condenseurs sont trop basses; plusieurs raisons, en l'absence de données théoriques, poussent à abaisser ainsi d'une manière excessive ces températures : les moyens imparfaits de réglage de la quantité d'eau, la conservation meilleure des clapets des pompes à air, s'ils sont en substances altérables à la chaleur; la certitude d'une condensation facile même si la quantité de vapeur fournie par la machine vient subitement à augmenter par l'action du régulateur, dans le cas où l'eau est aspirée par le condenseur : si l'arrivée d'eau vient à cesser, le condenseur s'échauffe, l'eau ne peut plus y accéder et il est difficile de rétablir le vide; enfin l'aspect du diagramme d'indicateur : on a tendance à prendre les dispositions qui en augmentent la surface autant que possible, parce qu'il ne laisse voir que le travail produit et non la quantité de vapeur dépensée.

Arrivée d'eau de condensation. — L'entrée d'eau dans les condenseurs par mélange se fait presque toujours d'une manière continue par un robinet que le mécanicien règle à volonté; dans les machines lentes, il semblerait plus logique de laisser entrer l'eau en plus grande abondance au commencement de l'échappement, moment où la quantité de vapeur à condenser augmente beaucoup; mais il faudrait pour cela des dispositions compliquées, dont l'effet serait sans doute peu appréciable. On prend seulement la précaution de diviser, autant que possible, le jet d'eau dans le condenseur. De même, dans les condenseurs à surface, la circulation d'eau est généralement

continue. L'eau passe d'ordinaire, en France du moins, à l'intérieur des tubes, ce qui permet de mieux diriger le courant et d'éviter les parties stagnantes. La disposition inverse offre cependant un avantage théorique; la quantité de chaleur qui passe de la vapeur à condenser dans l'eau pendant un temps donné est proportionnelle à la surface condensante, à l'écart des températures et à un coefficient de transmission; or, ce coefficient est réduit surtout par suite de la résistance opposée au passage de la chaleur du métal dans l'eau, les résistances à la transmission de la chaleur de la vapeur au métal et à travers le métal étant notablement moindres (*Annales*, 8e s., t. XIV, p. 387). Il y aurait donc avantage à mettre l'eau en contact avec la surface la plus grande, c'est-à-dire avec l'extérieur des tubes. Il est vrai que si la vitesse de l'eau s'en trouvait réduite, le coefficient de transmission diminuerait de ce chef. La différence des surfaces est d'ailleurs importante, les tubes ayant souvent un diamètre extérieur de 20^{mm} et intérieur de 18^{mm}.

Condenseurs mixtes. — On trouve quelquefois des appareils mixtes, formés d'un condenseur à surface que la vapeur traverse d'abord, puis d'un condenseur par mélange où s'achève la condensation; le but est de réchauffer l'eau d'alimentation dans le condenseur à surface au-dessus de la température qu'elle a en sortant du condenseur par mélange. A priori, l'efficacité du système paraît douteuse; la même pression régnant dans tout l'appareil et dans le cylindre, il semble que la température de la vapeur doive être partout la même. Mais, en réalité, la température de la vapeur dans le cylindre est supérieure à celle du condenseur, parce que la pression dans le condenseur est égale à la somme des pressions de la vapeur et de l'air dégagé par l'eau d'injection; dans le cylindre, si les garnitures sont étanches et si l'on

n'introduit pas d'air dans la chaudière, il y a seulement de la vapeur, dont la tension et la température sont par suite plus élevées que dans le condenseur. Par exemple, on trouvera une contre-pression d'un septième d'atmosphère (1.470^{kg} par m^2) dans le cylindre, avec une tension de 700^{kg} pour la vapeur et de 700 pour l'air dans le condenseur, ce qui donne pour la vapeur des températures de 53 et 39 degrés. Il est possible aussi que, vu l'afflux continu de l'eau, une portion en soit mal utilisée, et refroidisse le mélange sortant du condenseur.

Pompes à air. — On emploie de plus en plus les pompes à air à piston plongeur se mouvant dans une grande masse d'eau; on peut donner à ce piston une vitesse considérable, pourvu que les clapets aient une section suffisante; l'extrémité en est effilée pour réduire les tourbillonnements de l'eau et la résistance qu'ils opposent au mouvement; enfin, il convient que la densité moyenne du plongeur, qui est creux, soit égale à celle de l'eau, afin de réduire la fatigue de ses garnitures, du moins dans le cas ordinaire des pompes horizontales. La vitesse du piston ordinaire est, au contraire, nécessairement faible; car il faut que l'eau, qui pénètre dans le corps de pompe sous l'action d'une faible pression, puisse le suivre.

Grâce à la vitesse que peut prendre le piston plongeur, on le monte souvent en tandem sur la tige du piston dans les machines horizontales. On peut rendre la pompe à double effet en faisant passer le plongeur à travers une garniture intérieure séparant deux corps de pompe, comme dans les machines horizontales Lecouteux et Garnier, qui font 170 tours par minute. Les mêmes constructeurs font même conduire directement par l'arbre d'une machine pilon marchant à 300 tours la pompe à air à double effet. Les machines de torpilleurs offrent aussi des exemples de pompes menées à grande vitesse.

Clapets. — Souvent on multiplie le nombre des clapets de manière à ce que chacun d'eux soit petit et n'ait qu'une faible levée. Ces petits clapets sont soit entièrement métalliques (exemple : Corliss du Creusot, *Public. indust. d'Armengaud*, 2e s., vol. 9, pl. 35), soit en gutta-percha ou autre matière d'origine végétale.

Pompe à air seul. — La *pompe à air* ordinaire du condenseur par mélange sert aussi à extraire l'eau ; elle aspire, avec l'eau, un mélange d'air et de vapeur. M. Weiss décrit (dans la *Zeitschrift des V. D. I.*, 1888, p. 9 et autres, et 1889, p. 768), un condenseur disposé d'une manière ingénieuse afin de réduire au minimum la quantité d'eau d'injection et la dimension de la pompe à air pour une contre-pression déterminée sur les pistons. Ce condenseur se compose d'un cylindre vertical placé à une hauteur suffisante pour que l'eau puisse en sortir spontanément par un tuyau de 10 mètres de hauteur plongeant dans une bâche. La vapeur arrive à la partie inférieure du cylindre, l'eau à la partie supérieure ; elle circule à l'encontre de la vapeur et une série de chicanes ralentissent son mouvement. Enfin une vraie pompe à air exerce son aspiration à la partie supérieure de l'appareil, près de l'arrivée d'eau. La pression dans l'intérieur du condenseur, égale à la somme des pressions de l'air et de la vapeur, est constante ; mais la pression de l'air atteint son maximum au haut de l'appareil, au point d'arrivée de l'eau qui le dégage, tandis que la pression de la vapeur s'accroît depuis le haut jusqu'au bas du condenseur à mesure que l'eau s'échauffe davantage. La vapeur est ainsi refroidie méthodiquement, avec une quantité d'eau aussi faible que possible, et la pompe à air est bien placée pour aspirer la quantité d'air la plus grande. L'appareil est étudié d'une manière plus rationnelle que le condenseur ordinaire, où l'on jette pêle-mêle l'eau et la vapeur, pour en extraire sans plus de précautions l'eau et l'air.

Une pompe doit élever l'eau d'injection à la hauteur de ce condenseur Weiss, et absorbe un travail à peu près égal à celui qui est nécessaire pour extraire l'eau d'un condenseur ordinaire ; on peut toutefois profiter de l'aspiration exercée par le condenseur pour réduire le travail de cette pompe ; des dispositions simples assurent dans ce cas l'arrivée de l'eau jusqu'au condenseur à la mise en marche et en cas de désamorçage.

Un appareil de ce genre ne peut convenir, bien entendu, que pour une installation importante ; il permettra la condensation avec peu d'eau, à température assez élevée, qui offre de sérieux avantages, bien que rarement réalisée.

Dispositions diverses des condenseurs et pompes à air. — Nous signalerons quelques dispositions que nous avons remarquées à l'Exposition de 1889. Les condenseurs des machines Wheelock, construites par de Quillacq, sont munis de glaces qui permettent de voir les clapets. Dans la machine Corliss compound, construite par Berger-André, le condenseur est en dessous des cylindres ; une soupape de rentrée d'air, commandée par un flotteur, s'ouvre quand l'eau s'élève au-dessus d'un certain niveau, pour éviter qu'elle ne puisse, par suite d'une fausse manœuvre, remonter jusqu'au cylindre. La machine à détente Frikart, de la Société alsacienne, a une pompe à air à double effet sans clapets d'aspiration ; le condenseur communique avec le cylindre de cette pompe par des ouvertures rectangulaires étroites placées au milieu de ce cylindre ; le piston a une épaisseur presque égale à sa course, de sorte qu'il ne démasque ces ouvertures, par lesquelles l'air et l'eau pénètrent dans la pompe, que lorsqu'il atteint ses fonds de course.

Condenseurs indépendants. — Le condenseur est parfois indépendant de la machine motrice qu'il dessert, sa pompe à air étant commandée par un moteur auxiliaire; il peut alors recevoir la vapeur de plusieurs machines séparées, et l'on est libre de donner à la pompe à air la vitesse qu'on juge convenable, vitesse qui peut varier suivant les besoins. Nous citerons des exemples de cette disposition, qui avait été recommandée par Callon dans son *Cours de machines*, aux mines de Lens, et dans des installations d'éclairage électrique par Weyher et Richemond.

Dans les grandes machines marines, nous avons vu que la pompe de circulation du condenseur à surface est généralement commandée par un moteur auxiliaire, dont la vitesse peut varier suivant la température de l'eau de mer et l'allure de la machine. La pompe à air, dans le cas du condenseur à surface, peut être de dimensions fort réduites; on préfère cependant ne pas la diminuer autant qu'il serait possible, afin de pouvoir, au besoin, condenser par mélange.

Refroidissement de l'eau de condensation. — Lorsque la quantité d'eau disponible est faible, on peut la faire repasser indéfiniment au condenseur après l'avoir refroidie, en la mettant en contact avec l'air à l'état de pluie. A cet effet, on la fait souvent couler sur des fagots disposés en étages superposés; on remplace parfois les fagots par des tôles perforées ou quelque disposition analogue pour diviser l'eau. On peut même simplement envoyer l'eau dans un bassin par une série de jets très divisés, comme l'ont fait E. et P. Sée, de Lille. Dans tous les cas, l'emplacement occupé est considérable et le voisinage de l'appareil est désagréable par la buée qu'il dégage. On évite ces deux inconvénients en employant un courant d'air forcé par un ventilateur à travers un appareil réfrigérant beaucoup plus petit, enfermé dans une enveloppe en tôle, avec cheminée de dégagement de l'air et de la vapeur. Tel est le condenseur Chaligny, décrit dans le *Bulletin de la Société d'encouragement d'août* 1888.

Lorsqu'on doit faire usage de ces appareils réfrigérants, il y a intérêt évident à élever le plus possible la température de condensation.

Condenseurs-éjecteurs. — Le condenseur-éjecteur, qui ne tient pour ainsi dire pas de place, peut remplacer le condenseur par mélange et sa pompe à air. C'est une sorte d'injecteur, qui reçoit la vapeur d'échappement et l'eau, et donne un jet animé d'une vitesse suffisante pour sortir d'un milieu où règne une faible pression, en surmontant celle de l'atmosphère. Les appareils récents, construits notamment par MM. Grau et Körting, n'ont plus le jet auxiliaire de vapeur prise à la chaudière, qui rendait peu économique le condenseur-éjecteur Morton : une soupape, sur le tuyau d'arrivée de vapeur d'échappement, s'oppose à tout retour d'eau dans le cylindre. Ces appareils donnent un bon vide, mais ils exigent beaucoup d'eau. Pour le meilleur fonctionnement, il convient que l'eau pénètre dans l'éjecteur avec une pression de 5 à 6 m., et s'écoule librement au débouché. La marche en est cependant possible avec une légère aspiration de l'eau et un refoulement à une faible hauteur. Le condenseur-éjecteur s'applique aisément à des machines qui échappent dans l'atmosphère, lorsqu'on dispose d'un courant d'eau.

(*A suivre.*)

NOTE

SUR

L'ACCIDENT DE LA MINE DE MAURICEWOOD

Par M. L. AGUILLON, Ingénieur en chef des mines.

Le 5 septembre 1889 un feu, dû à une cause fortuite, et qui paraît avoir été insignifiant, à son origine du moins, a fait périr soixante-trois personnes sur les soixante-cinq que contenait en ce moment la mine de Mauricewood (Écosse). Les circonstances de cet accident et les appréciations officielles auxquelles il a donné lieu sont de nature à jeter un jour assez vif sur les pratiques et les opinions en matière d'exploitation de mines de l'autre côté de la Manche. Aussi nous a-t-il paru intéressant de donner ici les renseignements que nous avons puisés dans le rapport dressé par la Commission qui avait été chargée de procéder à une *formal investigation* (*) sur cet événement. Plusieurs points ne semblent

(*) L'article 45 de la nouvelle loi anglaise sur les mines de houille de 1887 (traduite dans les *Annales*, t. XII de la 8e série, p. 98) a consacré le système de *formal investigation* ou enquête approfondie, introduit en Angleterre, en matière de mines, par la loi du 25 juin 1886 (*Annales*, 8e série, t. X, p. 419). C'est une enquête, plus solennelle que les enquêtes administratives ordinaires, que le ministre a la faculté de provoquer; elle est confiée à une commission spéciale, instituée *ad hoc*, qui fonctionne publiquement comme un tribunal judiciaire et en a tous les pouvoirs au point de vue de l'instruction. Sa décision reste toutefois un document à consulter; mais elle peut être publiée, et elle l'est toujours.

pas avoir été complètement élucidés dans le rapport qui a été imprimé et remis au Parlement suivant l'usage; de là diverses lacunes que contient forcément notre travail. Nous nous abstiendrons, d'ailleurs, de toute discussion ou appréciation; nous pensons que les faits et l'avis de la Commission parlent suffisamment d'eux-mêmes; les lecteurs français, un peu au courant des mines, feront d'eux-mêmes, à coup sûr, les réflexions que nous aurions pu présenter.

Situation de la mine. — On exploitait principalement à Mauricewood, dans le bassin du Midlothian, une couche dite *great Seam* qui fournissait, avec de la houille, le classique minerai de fer écossais, le *blackband*. La composition de la couche était, du toit au mur, la suivante :

	mètres
Minerai de fer (*blackband*)	0,50
Schistes avec rognons de minerai de fer	0,66
Charbon	0,48
Schistes	0,60
Charbon	0,68
	2,92

A 40 centimètres au-dessus de la grande couche se trouve une couche de houille, dite *Wee coal*, de $0^m,40$; et à 5 mètres au-dessous, la *Gillespie coal*, de 1 mètre de puissance.

La couche incline de 50 degrés environ depuis les affleurements jusque vers la profondeur de 372 mètres (*), au-dessous de laquelle elle s'aplatit de plus en plus pour devenir sensiblement horizontale. Les premières exploitations, ouvertes il y a une quinzaine d'années, furent prises en vallée à partir des affleurements. On fonça

(*) Nous avons transformé toutes les cotes des plans anglais en cotes verticales, mesurées en descendant à partir de l'orifice du puits de Mauricewood.

ensuite deux puits verticaux, celui de Mauricewood (*z* de la *fig.* 1 de la Pl. XIV) et celui de Greenlaw (*y*), distants de 1.200 mètres environ. Ces puits furent poussés jusqu'à la cote 154; à ce niveau, ils rejoignirent tous deux la couche par des travers-bancs, et ils furent mis en communication l'un avec l'autre. Au-dessous de ce niveau, l'exploitation se poursuivit à nouveau en vallée en redevenant distincte pour chacun des puits. Nous n'avons à nous occuper que des travaux de Mauricewood.

Un grand plan incliné double *ab* et *cd* (*fig.* 1, Pl. XIV) avait été établi suivant le pendage, du niveau 154 au niveau de fond 372, par deux galeries jumelles, dites: celle de l'Ouest qui était la plus importante, (*ab*), plan n° 1; et celle de l'Est (*cd*), plan n° 2. Ces galeries laissaient entre elles un massif de 3 mètres qui avait été recoupé tous les 6 mètres par des traverses pour le service de l'aérage et de l'épuisement pendant leur traçage. Ces traverses avaient été successivement remblayées; à quelques-unes, cependant, on avait placé une porte dans un mur en briques pour laisser des communications entre les deux plans inclinés. On peut voir une de ces portes en A dans la *fig.* 3 de la Pl. XIV.

Le plan incliné n° 1, de 4 mètres de large, servait à l'extraction; le plan incliné n° 2, de 2 mètres de large, devait servir à la circulation des hommes et contenir les tuyaux d'amenée de vapeur et de conduite d'eau pour les machines d'épuisement intérieures dont il va être parlé.

Ce plan n° 2 fut ultérieurement doublé. Du niveau 266 au niveau de fond on établit, à 10 mètres plus à l'est, un autre plan incliné, dit n° 3, *ef*, et, du niveau 266 à 154, un autre plan vertical, *gh*, à 60 mètres à l'ouest. Celui-ci ne servait que pour la circulation des hommes et comme voie partielle de retour d'air, ainsi qu'il sera dit ultérieurement.

Au moment de l'accident, on ne travaillait plus à Mauricewood qu'à l'étage du fond, par deux *long-walls*, ou grandes tailles chassantes, qui s'étendaient respectivement à 500 mètres (côté est) et 400 mètres (côté ouest) du plan incliné, comme le montre un coup d'œil jeté sur la *fig.* 1 de la Pl. XIV.

Pour le service de l'épuisement, on avait établi deux machines intérieures en relai, l'une au niveau de 372 et l'autre au niveau de 266. Ces machines recevaient toutes deux leur vapeur du jour. La machine inférieure, du niveau 372, était placée, comme l'indique la *fig.* 2 de la Pl. XIV, au bas du plan incliné n° 3 (*ef* des *fig.* 1, Pl. XIV et *fig.* 2, Pl. XIV) dans le retour d'air général du quartier est (*). La machine du niveau 266 était également placée dans le retour d'air en EE dans les conditions que représente en détail la *fig.* 3 de la Pl. XIV.

La machine inférieure ne marchait que la nuit; la machine supérieure fonctionnait jour et nuit.

L'aérage était déterminé par un ventilateur Waddle (**), de $5^{m},472$ de diamètre, aspirant sur un compartiment établi dans le puits de Mauricewood. Ce puits rectangulaire avait $5^{m},943$ de long sur $1^{m},676$ de large. Le grand compartiment, servant d'entrée d'air, avait $4^{m},419$ de long, laissant $1^{m},524$ pour le petit compartiment de retour d'air. Les sections d'entrée et de sortie étaient donc respectivement de $7^{mq},4062$ et $2^{mq},5542$.

L'air, descendu par le grand compartiment du puits de Mauricewood, arrivait par le travers-bancs du niveau de 154 à la tête du grand plan incliné n° 1, par lequel il descendait à l'étage du fond où il se divisait en deux cir-

(*) La *fig.* 2 de la Pl. XIV est la reproduction textuelle du plan annexé au rapport officiel de l'enquête. On aura omis certainement d'y marquer les portes (ou tout au moins la porte) qui devaient nécessairement séparer le retour d'air du quartier Est de l'entrée de l'air du quartier Ouest.

(**) Nous avons figuré et décrit le ventilateur Waddle dans notre *Rapport de mission en Angleterre*, p. 209-210.

cuits aérant l'un le quartier Ouest et l'autre le quartier Est. Le circuit de l'Est se détachait du plan incliné n° 1 au niveau de 319, en traversant en *v* (*fig.* 1, Pl. XIV) par un de ces inévitables *crossings* anglais la voie générale de retour d'air; ce courant revenait en rabat-vent au niveau de fond de 372 au bas du plan incliné n° 3 (*ef*) qui constituait la voie de retour d'air général des travaux d'exploitation.

Le circuit aérant le quartier de l'Ouest partait du bas du plan incliné n° 1 au niveau de 372 et revenait au bas du plan incliné n° 3, à ce même niveau, en traversant en *t* (*fig.* 2, Pl. XIV), par un autre *crossing*, le retour d'air du quartier Est.

Le retour d'air général réuni dans le plan incliné n° 3 se divisait au niveau de 266 comme l'indique en détail la *fig.* 3 de la Pl. XIV. Une partie remontait au compartiment de sortie du puits en passant par la galerie de circulation *hg* de l'Ouest; l'autre partie suivait le plan incliné n° 2, *dc*, accolé au grand plan incliné n° 1, et une branche de cette division passait par la machine d'épuisement du niveau 266 (EE, *fig.* 3, Pl. XIV).

Les conséquences d'une semblable organisation de l'appareil général de l'aérage se traduisent brutalement par ces deux chiffres : la quantité d'air frais arrivant par le travers-bancs du niveau de 154 était de $6^{mc},608$ à la seconde; au bas du plan incliné n° 1, il ne restait disponible pour l'aérage de tous les chantiers que $1^{mc},652$. La perte montait à 75 p. 100! Sans méconnaître cette *very great loss of air*, la commission d'enquête a pensé qu'il n'y avait rien à redire, puisque ces $1^{mc},652$ laissaient encore $23^{l},5$ par seconde et par homme. La mine n'était pas grisouteuse et était exploitée à feu nu.

Si l'on se reporte à la *fig.* 3 de la Pl. XIV, qui représente en détail les installations du niveau 266, on remarquera la porte A qui séparait à ce niveau la voie générale d'entrée d'air de la voie de retour. Les mécaniciens occupés à la machine d'épuisement en EE, dans un retour d'air surchauffé par les tuyaux de vapeur qui y étaient placés, avaient, paraît-il, l'habitude de laisser cette porte plus ou moins fortement entr'ouverte pour déterminer à leur profit une déviation d'air frais. Dans ce but, et pour mieux régulariser la situation, un guichet avait été percé dans la porte et un canar partant de ce guichet amenait l'air frais à la chambre de la machine.

Circonstances de l'accident. — Le 5 septembre 1889, à 11 heures 1/2 du matin, un conducteur de chevaux, revenant par la voie de fond du quartier Est, crut apercevoir du feu à la chambre de la machine inférieure; il en avertit l'enchaîneur du fond, Robb, qui, en montant sur la machine, reconnut en effet que la porte régulatrice *u* (*fig.* 2, Pl. XIV), au bas du plan incliné n° 3, *ef*, était en feu. Tandis que Robb envoyait immédiatement prévenir les ouvriers travaillant dans les deux quartiers Est et Ouest, il se faisait remonter par la machine du plan incliné pour demander au mécanicien de la machine d'épuisement du niveau de 266 de lâcher de l'eau dans le plan incliné n° 3 afin d'éteindre l'incendie. A peine au-dessus du niveau de 319, Robb trouva la voie d'entrée d'air déjà si remplie de fumée et de gaz irrespirables qu'arrivé au niveau de 266, il ne put que faire le signal pour se faire remonter jusqu'au niveau de 154, au bas du puits vertical. Robb devait être le seul ouvrier sauvé de tous ceux travaillant au fond.

Au niveau de 266, trois ouvriers étaient à ce moment occupés à la machine d'épuisement supérieure. Dès qu'ils virent arriver la fumée et les gaz irrespirables montant par le plan incliné n° 3 (*ef*), ils prirent la fuite vers l'entrée d'air ou le grand plan incliné n° 1, par la traverse où était établie la porte A (*fig.* 3, Pl. XIV). Deux d'entre eux

purent à peine franchir cette porte et tombèrent un peu au delà pour ne plus se relever. Seul le mécanicien Gall put gagner le grand plan incliné et le remonter en partie malgré la fumée qui l'avait envahi déjà au-dessus du niveau de 266. A ses cris, les deux freinteurs de la tête du plan incliné lui vinrent en aide et il put être sauvé.

Robb, l'enchaîneur du fond, arrivé au niveau de 154, avait renvoyé immédiatement la cage en bas; elle ramena quatre hommes dont deux étaient déjà morts et dont les deux autres moururent sans reprendre connaissance. On continua quelque temps à faire descendre et remonter la cage; mais plus personne n'en devait profiter. Robb, du niveau de 372, et Gall, du niveau de 266, devaient être les deux seuls survivants de cette catastrophe. Des 63 hommes qui avaient succombé, 27 cadavres furent assez promptement retirés dans le sauvetage, 36 n'avaient pas été relevés lorsque la Commission d'enquête achevait son travail à la fin de décembre et déposait son rapport le 21 février dernier (*). On avait laissé monter les eaux et la mine était inaccessible au-dessous du niveau de 266 mètres.

Conclusions de la Commission d'enquête. — L'enquête n'a pu déterminer la cause originelle du feu; mais il n'est pas contesté qu'il a pris dans le bas du plan incliné n° 3, vers le niveau de 372. Ce plan incliné était particulièrement chaud par suite de la présence de tuyaux de vapeur dans un retour d'air; il contenait des matières facilement inflammables, bois desséchés, toiles d'aérage, etc. On a pensé qu'elles avaient pu être allumées par la lampe à feu nu qu'un surveillant portait à son

(*) Le rapport de la commission ne donne aucune indication, même indirecte, sur les travaux de sauvetage, les circonstances dans lesquelles ils ont eu lieu et les faits qu'ils ont permis de relever.

chapeau dans ses tournées. Le feu à son origine a dû être en tout cas sans aucune importance.

Le désastre a été occasionné par le passage de la fumée et des gaz irrespirables du retour d'air dans la voie d'entrée; de cette voie ils se sont naturellement répandus dans toute la mine. Le passage a eu lieu, ainsi que l'établissent les dépositions des deux survivants, Gall et Robb, tant par la porte à guichet A qui séparait au niveau de 266 les deux voies d'aérage, que par les différentes traverses, plus ou moins mal bouchées, ouvertes du niveau 266 au niveau 154, entre les deux plans inclinés accolés n° 1 et n° 2. La Commission a assez vivement blâmé la construction tout à fait négligée de la porte A; mais elle n'a relevé ni l'existence d'une seule porte, au lieu de deux, dans cette traverse relativement importante, ni les vices évidents d'établissement qui semblent résulter de ces deux voies principales d'aérage ainsi accolées et pour ainsi dire mélangées l'une à l'autre.

La Commission a signalé comme inopportun et même fautif l'établissement de machines intérieures dans des retours d'air; elle a pensé que ces machines devraient toujours être établies dans un circuit d'aérage qui leur fût spécial. Elle n'a pas cru toutefois devoir de ce chef blâmer les exploitants, à cause de l'usage si répandu en Angleterre d'installations analogues à celles de Mauricewood.

Les représentants des ouvriers, au cours de l'enquête, avaient spécialement reproché aux exploitants d'avoir violé la loi, parce que cette exploitation de Mauricewood constituait, suivant eux, une exploitation à puits unique, interdite par l'article 16 de la loi de 1887. La Commission a formellement déclaré qu'il n'y avait, dans l'espèce, aucune contravention à imputer aux exploitants. Les deux puits de Mauricewood et de Greenlaw ont paru à la commission constituer les *two shafts or outlets* dont

toute couche doit être munie. Vainement les représentants des ouvriers ont-ils fait observer qu'au-dessous du niveau de 154 il n'y avait qu'un seul puits incliné pour desservir l'ensemble des travaux, qui constituait toute l'exploitation au-dessous dudit niveau. La Commission leur a répondu qu'un plan incliné (*an incline*) n'était pas un puits (*a shaft*); que la couche exploitée, la *great seam* avait indubitablement ses deux puits (*shafts*) dans les puits Mauricewood et Greenlaw. Que la Commission ait pour elle la lettre de la loi, on doit le croire puisqu'elle le dit; mais il est vraisemblable qu'en France du moins, l'exploitation de Mauricewood aurait été réputée présenter, au point de vue technique, sinon légal, les caractères les plus indubitables d'une exploitation à puits unique, et l'on pourrait ajouter, d'une exploitation à puits unique mal agencée dans son ensemble.

On avait également reproché aux exploitants, dans l'enquête, de n'avoir pas donné suite au projet qu'ils avaient eu de mettre en communication, dans la couche, au niveau de 372, comme ils l'avaient fait au niveau de 266, les deux puits Mauricewood et Greenlaw; l'un de ces puits eût servi exclusivement à l'entrée de l'air et l'autre à la sortie. La Commission n'a pas retenu non plus cette critique. Elle a fait observer que, dans certaines circonstances, qu'elle n'a du reste pas indiquées, cette jonction aurait pu avoir des inconvénients au lieu d'avoir des avantages; que d'ailleurs « il était clairement établi que toutes les considérations commerciales étaient contre ce projet » (*).

(*) « It was clearly proved that all commercial considerations were against the project. »

LES CONDITIONS DU TRAVAIL ET LA GRÈVE DE 1889 DANS LES HOUILLÈRES PRUSSIENNES

Par M. O. KELLER, Ingénieur en chef des mines.

La grève qui s'est déclarée en mai 1889 dans les houillères prussiennes, principalement en Westphalie, mérite un examen circonstancié. Elle a l'importance d'un fait historique, parce qu'elle a motivé les rescrits de l'empereur Guillaume II, où les questions sociales les plus difficiles à résoudre ont été vainement agitées, mais qui ont abouti à la Conférence de Berlin, événement d'une haute portée dont l'avenir seul fera connaître les conséquences.

Dans les réunions de mineurs qui ont eu lieu pendant cette grève, le programme des huit heures de travail a été nettement proposé. La Conférence internationale, qui s'est tenue en juillet 1889, à Paris, l'a adopté, en l'étendant inconsidérément à l'industrie tout entière. Récemment au Congrès des mineurs de différents pays accourus en grand nombre à Jolimont, en Belgique, la limitation du travail à huit heures par jour a de nouveau été réclamée, et une agitation a été créée en faveur d'une nouvelle grève, universelle, dans le cas où les mineurs n'obtiendraient pas gain de cause dans un délai peu éloigné.

Au commencement de 1889, les circonstances étaient favorables à l'expansion de la grève et aux revendications ouvrières, en Prusse.

Jamais les houillères n'avaient été aussi actives, les commandes affluaient et les prix du charbon se maintenaient à un niveau relativement élevé.

La production annuelle était, en effet, la suivante :

En 1885	65.266.000	tonnes.
1886	65.048.000	—
1887	67.245.000	—
1888	72.683.000	—

L'accroissement était continu et avait atteint le chiffre inouï de 5.438.000 tonnes dans le cours de 1888.

En même temps, d'après les statistiques officielles, le prix moyen de la tonne sur le carreau des mines (houille et lignite réunis), était de 5f,65 en 1885, 5f,57 en 1886, 5f,49 en 1887, et remontait à 5f,57 en 1888.

Pendant le premier trimestre de 1889 l'activité des exploitations augmentait encore et nécessitait le recrutement de nouveaux mineurs, comme on peut en juger par les chiffres ci-dessous, qui permettent de comparer la situation des houillères prussiennes pendant le premier trimestre de 1889 et le trimestre correspondant de 1888:

SUBSTANCES EXTRAITES	PRODUCTION		NOMBRE DES MINEURS	
	1er trimestre de 1888	1er trimestre de 1889	1er trimestre de 1888	1er trimestre de 1889
Houille	14.727.000 t.	15.757.000 t.	195 636	210.195
Lignite	3 136.000	3 389.000	22.988	24.715
Ensemble	17 863.000 t.	19.146.000 t.	218.624	234 910

— La grève a éclaté en Westphalie le 3 mai, à l'un des puits de la compagnie « Kœnig Wilhelm », dans le district de Borbeck, et le lendemain s'est étendue dans celui de Gelsenkirchen tout entier, pour gagner en quelques jours celui de Dortmund.

Dès le 22 avril, dans une réunion pacifique, les mineurs de Gelsenkirchen s'étaient entendus pour réclamer :

1° Une augmentation de salaire de 15 p. 100 pour tous les mineurs ;

2° La suppression de la *surproduction*, grâce à la journée limitée à huit heures, savoir :

Par la suppression des heures de travail supplémentaires (*Ueberschicht*) et par l'établissement du poste de huit heures, y compris le temps nécessaire pour l'entrée et la sortie ;

3° Les mesures de détail suivantes :

a. L'emploi de wagon jaugés avec une mesure exacte de leur contenu ;

b. Une ventillation bonne et salubre ;

c. Un passage couvert du vestiaire au puits ;

d. La livraison des bois dans la mine.

On décida aussi, dans cette réunion et dans une autre qui eût lieu à Wattenscheid, qu'un congrès général des mineurs appartenant à toutes les houillères de l'arrondissement minier (*Oberbergamtsbezirk*) de Dortmund se réunirait pour appuyer les résolutions précédentes.

La grève surprit les exploitants, d'autant plus qu'elle ne fût précédée d'aucune négociation préalable et qu'il ne s'en était plus produit en Westphalie depuis 1872.

Un mot d'ordre était évidemment donné par des agitateurs. Car les mêmes revendications ne tardèrent pas à être formulées de tous côtés, dans le bassin de la Sarre, dans la Haute et dans la Basse-Silésie, et même en Saxe.

La grève était générale en Westphalie les 14 et 15 mai, et plus de 100.000 mineurs chômaient. Elle se répercutait et atteignait son maximum à Aix-la-Chapelle le 17 mai et en Silésie le 21. Toutefois le nombre des grévistes n'atteignit nulle part plus de 39 p. 100 du personnel, dans les houillères de la Basse-Silésie, et seulement 15 à 16 p. 100 dans la Haute-Silésie.

On peut évaluer, pensons-nous, à 150.000 le nombre total des grévistes dans le milieu du mois de mai.

Ce n'est qu'au commencement de juin que la grève s'est terminée complètement en Prusse.

Les journaux allemands ont rendu compte de ses manifestations extérieures, des collisions sanglantes avec les troupes qui ont eu lieu sur quelques points, et de l'intervention de l'empereur d'Allemagne pour pacifier les esprits et amener une entente entre les ouvriers et les patrons.

D'autre part les Ministères des travaux publics et de l'intérieur ont procédé conjointement à une *enquête* sur les doléances des ouvriers et les conditions du travail dans les districts houillers. Prescrite tardivement par un arrêté du 25 mai, elle a eu lieu en juin. Des Commissions mixtes, composées d'Ingénieurs des mines et de fonctionnaires dépendant du Ministère de l'intérieur, se sont transportées sur les houillères et ont reçu, dans la forme juridique, les dépositions des mineurs et des exploitants, en petit nombre d'ailleurs, qui ont demandé à être entendus.

Le document officiel qui rend compte de leurs investigations est la principale source à laquelle nous avons puisé les détails techniques et les chiffres consignés dans cette étude relativement aux causes et aux résultats immédiats de la grève des mineurs prussiens.

Il est à peu près muet sur le rôle de l'empereur Guillaume. Mais on sait, par la presse allemande, que c'est dans une réunion de quatre ou cinq mille grévistes, sur le champ de manœuvre de Bochum, le 9 mai, qu'on résolut de solliciter de l'Empereur une audience pour trois délégués des mineurs. La demande ayant été transmise par le Gouverneur, cette audience fut accordée par dépêche et fixée au 14. Dans l'intervalle, le Ministre de l'intérieur, le Président supérieur de la province et le Général commandant le 7e corps faisaient chacun leur enquête et renseignaient l'Empereur.

Le ferme langage que les délégués ont dû entendre mérite d'être cité :

« Chacun de mes sujets, s'il a un vœu ou une prière à exprimer, est assuré d'être écouté de son Empereur. Je vous l'ai prouvé, puisque j'ai permis à votre députation de venir à Berlin et de m'apporter elle-même les vœux des mineurs.

« Mais vous vous êtes conduits d'une façon illégale; votre attitude est illégale puisque vous avez cessé le travail sans respecter le délai de quinzaine auquel vous êtes tenus.

« Vous êtes donc en rupture de contrat. Il est très compréhensible que cette conduite ait irrité vos patrons par suite des dommages qu'elle leur cause.

« Il y a plus : des ouvriers qui ne voulaient pas se mettre en grève et désiraient continuer à travailler ont été contraints par violences et menaces de cesser leur travail. Quelques-uns ont résisté aux autorités et se sont attaqués à des propriétés particulières; de sorte que la force militaire appelée pour protéger ces propriétés a dû parfois intervenir. Et après tout cela, vous voudriez donc que le travail ne soit repris nulle part avant d'avoir obtenu satisfaction sur toutes vos réclamations!

« Quant à vos réclamations, je les ferai examiner avec grande attention par mon administration, et il vous sera donné connaissance des résultats de cette enquête par les autorités compétentes.

« Mais s'il devait se produire des résistances contre l'autorité; si la tranquillité devait être troublée; s'il s'établissait des relations entre vous et les groupes démocratiques et socialistes, — alors ne comptez en aucune façon sur la bienveillance de votre roi; car pour moi tout démocrate socialiste est un ennemi de l'Empire, un ennemi de la Patrie. Si je remarque dans votre attitude la moindre tendance vers les principes démocratiques socialistes, si

vous sortez en rien de la légalité, alors on procédera contre vous avec la plus grande énergie ; et toute ma puissance — et vous savez si elle est grande — sera dirigée contre vous !

« Allez, retournez dans vos maisons, et rapportez ce ce que je vous ai dit. Agissez sur vos camarades et qu'ils rentrent en eux-mêmes et réfléchissent. Mais avant tout, qu'il ne soit rien fait ni tenté contre ceux de vos camarades qui veulent reprendre leur travail. »

Une parole que les délégués rapportèrent, aussitôt après leur sortie de l'audience, ne figure pas au compte rendu officiel, mais n'en est pas moins restée pour le peuple, l'expression de la pensée impériale : « *Aussi longtemps que l'ordre et la paix seront maintenus, soyez assurés de ma bienveillance et de ma protection royale* (*). »

L'Empereur avait accordé une audience aux propriétaires des mines pour le lendemain 16.

« Je ne saurais trop, leur dit-il, recommander à tous les intéressés que les directeurs des mines et leurs employés se tiennent à l'avenir en relation aussi étroite que possible avec les ouvriers ; de la sorte il ne pourra pas se produire de ces mouvements inattendus. Je vous recommande vivement d'apporter toute votre attention à toujours écouter les réclamations des ouvriers ; ayez toujours devant l'esprit que les grandes compagnies, qui occupent un grand nombre de mes sujets et les font travailler, participent aux devoirs de l'État et de son gouvernement. Comme lui, elles doivent avoir en vue d'assurer par tous les moyens possibles le bien de l'ouvrier, et elles doivent agir de façon que, sous aucun prétexte, de pareilles difficultés ne puissent surgir à nouveau dans toute une province.

(*) Extrait de la Circulaire du Comité central des houillères de France, du 23 mai 1889.

« Je considère comme mon devoir royal d'accorder ma protection aux patrons aussi bien qu'aux ouvriers, dans la mesure où chacun d'eux se sera préoccupé du bien de tous et aura agi en vue de prévenir de pareilles crises. »

La veille, le président de l'Association des intérêts miniers était entré en pourparlers avec les délégués, à Berlin, et avait arrêté, de concert avec eux, après plusieurs heures de débats, les résolutions suivantes, pour servir de base à une transaction entre les propriétaires et les mineurs (Nous les traduisons littéralement, en respectant la contradiction incluse au paragraphe 5).

Résolutions de Berlin.

« 1° Les directeurs des houillères de l'arrondissement minier de Dortmund doivent s'engager à ne pas faire travailler leurs ouvriers au delà du poste normal de huit heures.

« 2° Des postes supplémentaires peuvent avoir lieu par exception, quand la sûreté de la mine ou la sécurité des mineurs exigent un travail pressant et impossible à différer.

« 3° Dans le cas où l'on doit faire des heures supplémentaires à cause d'un surcroît de commandes exceptionnel, les mesures ne seront prises qu'après entente préalable entre les exploitants, d'une part, et une délégation des hommes de confiance des ouvriers intéressés, d'autre part.

« 4° Cette délégation sera élue librement, chaque année, par les mineurs âgés de plus de vingt-cinq ans.

« 5° L'entrée et la sortie ne seront pas comprises dans le poste normal de huit heures. L'entrée, aussi bien que la sortie, ne doit pas exiger normalement plus d'une demi-heure. En tous cas, l'entrée et la sortie doivent être

réglés de façon que le mineur ne reste pas plus de huit heures sous terre.

« 6° L'Association des intérêts miniers de l'arrondissement minier de Dortmund voudra bien s'entremettre pour que, après l'accomplissement des vœux ci-dessus, les salaires des mineurs soient augmentés proportionnellement à la hausse produite sur le prix du charbon.

« 7° Les mineurs soussignés expriment la confiance que cette Association s'emploiera pour que les exploitants ne mettent pas obstacle au départ du mineur par la forme et la rédaction du bulletin de libération.

« 8° Les mineurs tiennent pour convenable que la poudre, l'huile et les mèches soit portés en compte au mineur, de la part des exploitants, seulement au prix d'achat, et qu'on ne comprenne pas dans leur valeur un bénéfice artificiel destiné à être versé au fonds de secours.

« 9° Les exploitants ne devront pas rechercher les mineurs, après la reprise du travail, pour faits relatifs à la présente grève. »

Le 18 mai le bureau de l'Association, comprenant tous les directeurs des mines de la Ruhr, accepta les conditions ci-dessus, sauf l'élection de délégués ouvriers spéciaux prévue au paragraphe 2, dans le but de traiter les questions d'heures supplémentaires. Il admit la durée de huit heures pour le poste normal, la sortie et l'entrée demeurant en dehors et ne devant d'ailleurs pas exiger plus d'une demi-heure chacune. Mais il rejeta le paragraphe 6 relatif à la hausse des salaires en proportion de celle du charbon.

Des promesses furent toutefois faites aux mineurs, quant au relèvement des salaires en général.

C'était là, en effet, le nœud de la grève ; et le document suivant le montre clairement, en même temps qu'il fait connaître les plaintes secondaires des mineurs du bassin houiller de Sarrebruck.

Procès-verbal de la réunion tenue par les mineurs à Bildstock le 15 *mai* 1889.

Il a été résolu ce qui suit :

« 1° La durée du travail doit être fixée à huit heures, y compris l'entrée et la sortie.

« 2° Les accords doivent être établis de façon que l'ouvrier puisse gagner 4 marcs (5 francs) dans cet espace de temps et, de plus, que les rouleurs soient déchargés de trois postes par mois, cependant seulement pour trois ans.

« 3° Les portes servant à fermer les galeries d'entrée et de sortie seront supprimées.

« 4° Les enfants au-dessous de seize ans doivent être payés 1^{M},50 (1^{f},875) et ceux au-dessus de seize ans de 2^{M},20 au minimum jusqu'à 2^{M},40 (2^{f},75 à 3^{f},00).

« 5° Il n'y aura plus de retenues sur les salaires pour la Caisse d'épargne du district.

« 6° Un tiers de la mine comprendra des wagons légers, c'est-à-dire, sur trois wagons, deux du compagnonnage et un de la mine ; de même, pour les wagons de charbon sale. D'ailleurs on continuera à admettre une amende de 25 pfennigs par wagon pour le sale.

« 7° Il est résolu qu'un homme qui a travaillé vingt ans au moins dans le charbon doit être pris pour décider si le charbon est sale.

« 8° Il est admis à l'unanimité que dans les cas où il n'est pas responsable, l'ouvrier ne doit plus être puni ; cependant, celui qui aura chômé plusieurs postes pourra être frappé d'une amende allant jusqu'à 3 marcs (3^{f},75).

« 9° Il est résolu qu'on doit supprimer la double punition infligée au mineur, lorsqu'il a subi la peine d'emprisonnement.

« 10° Les lundi et lendemain de fête, le moment de

la descente dans les travaux sera fixé à huit heures du matin. Par contre, les samedis, on travaillera de quatre heures du matin jusqu'à midi.

« 11° Tous les mineurs renvoyés jusqu'à présent seront rétablis dans leurs droits antérieurs, après l'issue de la réunion, à l'exception de ceux qui sont condamnés pour vol de charbon dans la mine.

« 12° L'admission des enfants des mineurs doit avoir lieu par numéro d'ordre, comme le comportent les inscriptions ; en outre, deux anciens mineurs seront préposés au contrôle dans chaque inspection.

« 13° En cas de rejet de ces propositions, le personnel se mettra unanimement en grève après un délai donné.

« On attend la réponse dans les huit jours.

« Étaient présent plus de 3.000 hommes. Inspections diverses.

« Le Congrès a été clos par un triple vivat en l'honneur de Sa Majesté l'Empereur.

« Clôture à six heures cinq minutes de l'après-midi.

« Ce procès-verbal doit, à l'issue de la réunion, passant par-dessus la filière administrative, parvenir à Sa Majesté l'Empereur. L'assemblée a décidé de le revêtir de la signature de trois ouvriers de chaque inspection.

« Lu à l'assemblée et signé à Bildstock le 15 mai 1889. »

(Suivent les signatures des membres du bureau et de trois ouvriers appartenant à chacune des inspections 5, 6, 7 et 9).

Cependant les esprits tendaient à s'apaiser; la généralité des ouvriers comprenait l'importance des concessions obtenues et l'inutilité de prolonger la grève. Le 21 mai, les trois quarts des mineurs de la Westphalie revenaient sur leurs chantiers. Les autres, excités par un comité central, continuaient à faire entendre de vives

réclamations. Après avoir demandé 15 p. 100 d'augmentation des salaires, ils en exigeaient 20 et jusqu'à 30 p. 100. L'arrestation des sept principaux membres du comité central, dans la nuit du 26 au 27, l'interdiction des réunions, en vertu de la loi concernant les socialistes, et l'affichage sur toutes les mines d'un avis relatif à l'exclusion de tout ouvrier qui n'aurait pas opéré sa rentrée le 31 mai, déterminèrent la reprise du travail, qui, comme nous l'avons dit précédemment, put être considérée comme générale, le 1er juin, dans toute l'Allemagne.

Ainsi qu'on a pu en juger par l'exposé qui précède, les principales revendications des mineurs, celles qui se sont produites presque unanimement, ont consisté dans :

1° La journée de huit heures;

2° L'augmentation des salaires.

Il est intéressant de rechercher quelles étaient les conditions du travail, dans quelle mesure satisfaction a été effectivement donnée aux grévistes, ce qu'ils ont finalement gagné dans la lutte qu'ils ont engagée contre les exploitants.

Examinons d'abord quelle était la longueur de la journée, quand on ne faisait pas d'heures supplémentaires.

La durée du poste, avant la grève, était plus ou moins longue suivant les districts houillers. Elle s'élevait, normalement, à dix heures dans la plupart des houillères du bassin de la Sarre, y compris l'entrée et la sortie; dans quelques autres elle atteignait douze heures. Dans le bassin d'Aix-la-Chapelle le poste durait ordinairement dix heures; de même dans la basse Silésie, mais parfois davantage. Il comprenait jusqu'à douze heures (dont, à la vérité, une heure réservée au repas) dans la haute Silésie.

Il en était tout autrement dans le bassin de la Ruhr,

où la grève a pris naissance. Une ancienne ordonnance minière du 29 avril 1766 avait fixé la durée du travail des mineurs à huit heures, et était restée strictement en vigueur jusqu'au milieu de ce siècle. Plus tard le poste s'était allongé, mais dans quelques houillères seulement, jusqu'à huit heures et demie, neuf heures et même neuf heures et demie. En général, il était demeuré de huit heures. Mais l'enquête a constaté que fréquemment, il fallait consacrer à l'entrée ou à la sortie plus d'une demi-heure. On peut admettre que les pertes de temps pour attendre son tour de se placer dans les cages, lors de la descente dans les puits et de la montée au jour, devenaient de plus en plus grandes et fastidieuses pour les mineurs, à mesure que le personnel augmentait en nombre. Dans les périodes de grande activité, il y avait encombrement, et les mineurs voyaient leur temps de repos se raccourcir, sans aucune compensation pécuniaire. C'est pour cela que le débat a été si âpre en Westphalie, sur la question des huit heures, devant comprendre l'entrée et la sortie.

Les *heures supplémentaires* venaient d'ailleurs, très fréquemment, allonger la journée normale des mineurs, dans une large mesure, comme on peut en juger d'après les renseignements suivants :

Par poste supplémentaire, littéralement *surposte* (*Ueberschicht*) on désigne, dans le langage des mineurs, l'excédent de la durée normale de la journée de travail, causé par des circonstances plus ou moins exceptionnelles. Cet excédent comprend au moins deux heures et se compte par quarts, moitiés ou trois quarts de poste. Presque partout, en Westphalie, les mineurs faisaient des heures supplémentaires plusieurs fois par semaine. Dans la plupart des houillères la journée de travail s'allongeait pendant les mois d'hiver où les commandes abondent.

« Le nombre des *surpostes* qui ont été faits dans les houillères de l'arrondissement minier de Dortmund, du 1er octobre 1888 au 1er avril 1889, n'a pas dépassé 2 à 4 par semaine, dans la plupart des mines. Parfois le nombre en est monté à 6. La durée des *surpostes* a été le plus souvent de 2 ou 4 heures, et s'est même élevé, de temps à autre, à 6 et 8 heures. »

C'est dans ces termes que s'exprime le rapport officiel prussien au sujet des heures supplémentaires de travail; et l'on voit par là que les mineurs faisaient fréquemment des journées, non pas de 9 ou 10 heures, mais bien de 12 à 14 heures, parfois même de 16 heures.

Au reste, on trouve la preuve que les mineurs de la Westphalie se livraient à un travail très prolongé, et avaient été particulièrement *surmenés* dans les deux derniers trimestres de 1888 — et cette circonstance contribue à l'explication de la grève — si l'on prend la peine de comparer le nombre des ouvriers et la production correspondante du charbon, données que les statistiques officielles prussiennes fournissent par trimestre. Une simple division permet d'obtenir le montant de la production, par ouvrier, dans l'arrondissement minier de Dortmund, pendant chacun des trimestres de 1888 et de 1889.

DÉSIGNATION DES TRIMESTRES	PRODUCTION	NOMBRE des ouvriers	PRODUCTION par ouvrier
1888	tonnes		tonnes
1er trimestre	8.085.300	102.798	78,6
2e —	7.737.300	102.784	75,3
3e —	8.443.600	104.432	80,9
4e —	8.935.000	111.198	80,4
Année entière	33.201.200	105.303	315,2
1889			
1er trimestre	8.756.200	114.114	76,7
2e — (grève)	6.762.100	111.967	60,4
3e —	8.997.100	114.148	78,8
4e —	9.335.800	121.200	77,0
Année entière	33.851.200	115.357	292,9

On voit que la production moyenne du mineur s'est élevée presque à 81 tonnes pour le 3e trimestre de 1888 et à 80 tonnes et demie pour le 4e, tandis qu'auparavant elle ressortait à 78,6 et à 75,3. Dans le 1er trimestre de 1889 on a embauché environ 3.000 mineurs de plus; et le travail est ainsi rentré dans des conditions moins anormales.

D'autre part, les chiffres relatifs au 3e et au 4e trimestre de 1889 font voir que la grève n'a pas eu pour effet de diminuer la production du mineur, par rapport au 1er trimestre de la même année, ni par conséquent, selon toute probabilité, le nombre des heures consacrées au travail quotidien.

En effet, pour mettre fin à la grève, les mineurs ont cédé sur la question de suppression des heures supplémentaires et ont consenti finalement à travailler normalement huit heures en Westphalie; — dans un très petit nombre de houillères, par exemple au puits Pluton, les patrons ont réduit le poste à sept heures et demie. — Le temps nécessaire pour l'entrée et la sortie devait d'ailleurs être raccourci, grâce à de meilleures installations des engins dans les puits, de façon à ne pas excéder une demi-heure.

Le document officiel auquel nous empruntons ces renseignements, a soin de faire remarquer que les fonctionnaires, dans l'état actuel de la législation, n'ont pas à s'immiscer dans la question de la durée journalière du travail, qui résulte des libres conventions des intéressés, sauf dans les cas où il s'agit de la sûreté ou de la santé des ouvriers; et on y rappelle que c'est à ce point de vue seulement qu'une ordonnance de police, dans l'arrondissement minier de Dortmund, a limité le poste à six heures, pour les mineurs qui sont exposés à une température supérieure à 29 degrés.

Dans les houillères royales de Sarrebruck, un nouveau

règlement, du 25 mai 1889, que nous reproduisons plus loin, a établi un maximum de 10 heures pour la journée de travail, *y compris* le temps employé à l'entrée et à la descente des ouvriers. La durée effective du poste a été ainsi réduite à 9 heures, dans la plupart de ces exploitations.

Dans le bassin d'Aix-la-Chapelle, la journée a été fixée communément à 9 heures ou 9 heures 1/2, y compris l'entrée et la sortie.

En Silésie, les mineurs ont été moins exigeants et se sont contentés de voir leur présence dans la mine réglée sur le pied de 10 ou 11 heures par jour, en général.

En résumé, partout où le besoin s'en faisait sentir, des mesures semblent avoir été prises pour abréger le temps employé à l'entrée ou à la sortie. De plus, la durée du poste a été fréquemment diminuée. Mais nulle part la journée n'a été réduite à 8 heures, y compris l'entrée et la sortie; et c'est à 9 ou 10 heures par jour qu'on doit évaluer le temps que le mineur prussien sacrifie réellement, dans la majorité des houillères, sans parler des heures supplémentaires, qui n'ont été l'objet d'aucune stipulation de la part des patrons, à la suite de la grève.

Le principal objectif des grévistes était l'augmentation des salaires, et l'on a vu que, dans les *résolutions de Berlin*, les délégués des mineurs demandaient la *participation aux bénéfices*.

Le gain annuel moyen des mineurs de la Westphalie s'était cependant accru dans une forte proportion, pendant les dix années précédentes, comme le montrent les chiffres officiels suivants, cités dans une circulaire du comité central des houillères de France. Le marc (divisé en 100 pfennigs) vaut 1f,25.

Années.	Salaire annuel moyen.	Gain par poste.
	marcs	marcs
1879	740	2,34
1880	798	2,42
1881	822	2,46
1882	866	2,62
1883	905	2,72
1884	875	2,68
1885	864	2,66
1886	841	2,58
1887	883	2,57
1888	910	»

Jamais le salaire moyen annuel n'avait été aussi élevé qu'en 1888, et la progression s'accentuait encore au commencement de 1889.

D'après la statistique officielle des salaires dans l'arrondissement minier de Dortmund, le gain *net* par poste, pendant le premier trimestre de 1889, comparé au premier trimestre de 1888, a été en augmentant, pour les ouvriers de différentes catégories. Nous consignons ce renseignement dans le tableau comparatif suivant, où nous indiquons d'ailleurs la classification des mineurs et le nombre moyen des postes, par ouvrier, durant trois mois :

CLASSEMENT DES MINEURS de l'arrondissement minier de Dortmund	PREMIER TRIMESTRE 1888			PREMIER TRIMESTRE 1889		
	Nombre des ouvriers	Postes par ouvrier	Gain par poste	Nombre des ouvriers	Postes par ouvrier	Gain par poste
			marcs			marcs
1re *classe.* Ouvriers employés au fond, à la préparation, à l'abatage et à l'exploitation.	63 555	79	2,86	71.620	78	3,07
2e *classe* Ouvriers employés au fond aux travaux secondaires et accessoires.	14 443	81	2,30	15.215	80	2,40
3e *classe.* Ouvriers de la surface, non compris les femmes et les enfants	16.446	84	2,34	18,610	82	2,41
4e *classe.* Enfants (de 14 à 16 ans).	3.419	75	1,00	3.927	75	1,05
Ensemble.	97.863			109.372		

Pour avoir le salaire brut, payé par poste, il faut ajouter au gain net inscrit dans le tableau ci-dessus les retenues suivantes :

		1888	1889
Dans la 1re classe.	Pour la poudre.	11 pfennigs.	8 pfennigs.
	Pour l'éclairage	8 —	8 —
	Pour la caisse de secours.	12 —	13 —
	Ensemble.	31 —	29 —
Dans la 2e classe.	Pour l'éclairage	8 —	8 —
	Pour la caisse de secours.	12 —	13 —
	Ensemble.	20 —	21 —
Dans les 3e et 4e cl., pour la caisse de secours.		12 —	13 —

Les chiffres du tableau font connaître que le nombre de postes effectué a été sensiblement le même, par ouvrier, dans les deux trimestres soumis à la comparaison, et que, par suite, le salaire moyen journalier des mineurs a réellement augmenté, comme le prix du poste, pour les quatre classes d'ouvriers, et notamment pour la première, qui comprend la majorité des mineurs.

C'est dans l'arrondissement minier de Dortmund que le travail était le mieux rétribué.

La progression des salaires a d'ailleurs été générale, en 1888. M. Ed. Gruner a eu l'heureuse idée de relever le salaire moyen des mineurs pour les années 1887 et 1888, dans les comptes rendus de l'Office impérial d'assurances, institué en Allemagne pour l'exécution de la loi du 6 juillet 1884 relative aux indemnités attribuées aux victimes des accidents industriels. Nous reproduisons ci-dessous ces données officielles :

ARRONDISSEMENTS MINIERS	SALAIRE ANNUEL MOYEN	
	1887	1888
	marcs	marcs
Dortmund.	840,33	910,23
Bonn (bassins d'Aix-la-Chapelle et de Sarrebruck)	730,74	759,38
Clausthal	669,24	685,46
Halle.	758,51	782,82
Basse-Silésie	666,75	680,15
Haute-Silésie	540,09	549,21

Ainsi, il est absolument démontré que la grève éclaté dans une période de grande activité des travau où les salaires avaient universellement augmenté, co trairement à ce qui se produit d'ordinaire. On sait, d'a tre part, que la vie est devenue de plus en plus chère e Allemagne à mesure que le régime militaire a reçu da ce pays un développement croissant. Les énormes d penses faites annuellement pour l'armée et la marine o atteint des proportions incompatibles avec la prospéri matérielle de la Prusse. La facilité avec laquelle la grè s'est propagée, le nombre considérable d'adhéren qu'elle a recrutés, donnent à penser que le taux des s laires des mineurs, tout en augmentant, ne répondait p au renchérissement général de l'existence. L'enquê faite par le gouvernement a constaté que, presque pa tout, la cause première de l'agitation avait été attribu à l'exiguïté des salaires.

La plupart des mineurs sont payés, non pas à la jou née, mais d'après la tâche accomplie. La manière do étaient dressés et appliqués les tarifs, dont étaient co sentis, plus ou moins librement, les *accords* entre l ouvriers et les contremaîtres pour un ouvrage détermi les conditions du règlement du prix des travaux à tâche, ont donné lieu à des plaintes très nombreus Mais les grévistes n'ont pu les condenser dans une fo mule simple; et c'est pourquoi ils ont dû se conten lors de leur rentrée dans les mines, de simples promes de la part des exploitants, dans le sens, soit du relè ment des tarifs, soit de leur application et du règlem final des travaux exécutés à la tâche, d'une façon p avantageuse qu'auparavant pour les ouvriers.

Sous ce rapport, les mineurs n'ont pas été déçus da leurs espérances. En outre, les plaintes d'autre nature

relativement secondaires, qu'ils ont formulées, ont été prises en considération, lorsqu'elles étaient fondées.

On peut se rendre compte des améliorations qui ont été apportées dans les rapports des ouvriers avec le personnel dirigeant, et des abus qui se commettaient, en vertu des anciens usages, dans certaines houillères, par la lecture du document suivant, dont nous donnons la traduction *in extenso*, en raison de son intérêt.

Modification du Règlement du travail dans les houillères royales de Sarrebruck du 6 *août* 1877.

Art. 1er. — La journée de travail, y compris le temps employé à l'entrée et à la sortie des ouvriers, n'excédera pas 10 heures. Les samedis et les lundis, on aura égard aux trains de chemins de fer pour les mineurs ne résidant pas dans la localité.

Art. 2. — L'admission des enfants des mineurs, dont le développement physique est suffisant, a lieu dans l'ordre régulier des inscriptions. Des exceptions ne peuvent être faites que dans le cas d'indigence particulière des parents.

Les plaintes concernant des incidents quelconques doivent être adressées à l'inspection des mines.

Art. 3. — Les permissions sont données : pour un jour par le maître mineur du chantier; pour une durée supérieure jusqu'à un mois, par le maître mineur en chef (*Obersteiger*), et au delà d'un mois par l'inspection des mines.

Art. 4. — Le fait d'avoir manqué une seule journée, dans les cas de nécessité où il n'y a pas de la faute de l'ouvrier, après excuse valable, ne doit jamais donner lieu à une punition.

Art. 5. — Pour la mise aux enchères des travaux à la tâche, on doit toujours partir des tarifs normaux. Les

marchés consentis à trop bas prix par certaines équipes ne doivent pas être acceptés.

L'inspection des mines fera, de temps en temps, des essais au sujet de la convenance des tarifs normaux; elle modifiera ces derniers, en cas de besoin.

Les accords ordinaires (au mois) doivent être conclus au plus tard le dixième jour du mois, portés à la connaissance des mineurs et inscrits dans le livre des accords.

Art. 6. — Le maximum d'une amende est désormais réduit à 6 marcs (7ᶠ,50).

Art. 7. — La peine de la dégradation, prévue jusqu'à présent, est supprimée.

Art. 8. — Les mineurs qui sont condamnés judiciairement, à raison d'actes passibles des peines correctionnelles ordinaires, ne seront plus punis pour ce motif.

Toutefois est toujours punissable :

1° Celui qui a perdu ses droits civiques en vertu d'un jugement;

2° Celui qui dans une rixe, même en dehors de la mine, s'est servi d'un couteau ou d'une lampe de mineur;

3° Celui qui emporte, en sortant de la mine, de la dynamite ou des explosifs analogues, ou bien qui en fait un usage nuisible;

4° Celui qui trompe ses camarades au sujet des wagons de charbon.

Les présentes dispositions ne mettent pas obstacle à l'exercice des droits d'investigation mutuels, qui appartiennent légalement, d'une part au propriétaire de la mine et d'autre part aux mineurs.

Art. 9. — Après six années complètes de services, ou au plus tard après l'âge de 22 ans révolus, la faculté de travailler à la tâche ne sera plus enlevée aux rouleurs.

La 3ᵉ classe de rouleurs est supprimée, là où elle existe encore. Les rouleurs correspondants passent dans la 2ᵉ classe.

Art. 10. — Avant et après le poste, le mineur doit se rendre à l'appel, à moins d'ordres contraires.

Les portes de la galerie d'entrée restent ouvertes durant le poste.

Art. 11. — L'excédent correspondant à des wagons trop légers et rayés en conséquence, sera attribué à toute l'exploitation, comme jusqu'à présent; la répartition de cet excédent entre les différentes équipes employées à l'exploitation du charbon sera faite par les soins de l'inspection des mines.

Le contrôle, quant à la pureté des charbons extraits, sera réglé par l'inspection des mines.

Art. 12. — Les présentes dispositions entreront immédiatement en vigueur. Toutes les prescriptions contraires du Règlement du travail, en date du 6 août 1877, sont abrogées.

Sarrebruck, le 25 mai 1889.

La Direction royale des mines,

Signé : Nasse.

On remarquera, en particulier, dans le règlement ci-dessus, la teneur des articles 5 et 9, qui ont pour conséquence d'augmenter le gain quotidien du mineur. Mais on ne peut en tirer le montant de l'augmentation réalisée, en moyenne, par l'ouvrier, après la cessation du chômage.

D'autres documents, produits dans l'enquête administrative qui a suivi la grève, nous ont permis de combler cette lacune, et de dresser, pour les bassins de la Sarre, de la Westphalie et de la haute Silésie, les trois tableaux suivants :

Salaires nets des ouvriers des houillères royales de Sarrebruck avant et après la grève.

DIVISION DU TRAVAIL	1er TRIMESTRE 1889	JUIN 1889
	Salaires moyens marcs	Salaires moyens marcs
1° Piqueurs.		
Employés à l'avancement	3,62	3,83
— au déblaiement des chantiers	3,05	3,15
— à l'achèvement des fouilles et aux travaux accessoires	3,11	3,35
— au transport, au chargement et au déchargement du charbon	2,83	2,97
Moyenne	3,49	3,69
2° Rouleurs.		
Employés à l'avancement	2,71	2,87
— au déblaiement des chantiers	2,35	2,45
— à l'achèvement des fouilles et aux travaux accessoires	2,09	2,29
— au transport, au chargement et au déchargement du charbon	1,82	1,90
Moyenne	2,42	2,54
3° Autres ouvriers.		
Employés aux machines	2,71	2,87
— aux forges et ateliers de réparation	3,16	3,32
— aux constructions et semblables travaux à la surface, y compris la fabrication du gaz	2,66	2,87
— à la laverie de charbon et aux fours à coke	2,96	3,15
Moyenne générale	3,21	3,41

Il y a lieu d'observer que le tableau ci-dessus indique les salaires nets par poste de travail effectif. Le salaire moyen des mineurs, pendant le premier trimestre de 1889, est ressorti à $2^m,56$ par jour du calendrier.

Classement des mineurs du district houiller de Dortmund suivant le montant des salaires, avant et après la grève.

Ont gagné, par poste, sur l'ensemble des mineurs :	EN MARS 1889		EN JUILLET 1889	
	Nombre des mineurs	Proportion	Nombre des mineurs	Proportion
4 marcs et au-dessus	7.682	7,1	26.916	25,3
De $3^m,50$ à 4 marcs inclusivement	19 719	18,3	21.382	20,1
De 3 marcs à $3^m,50$	26.066	24,2	16.472	15,5
De $2^m,50$ à 3 marcs	21.353	19,8	20.511	19,3
De 2 marcs à $2^m,50$	25.004	23,1	16.796	15,7
De $1^m,50$ à 2 marcs	8.089	7,5	4.427	4,1
Ensemble	107.913	100,0	106.504	100,0

OBSERVATIONS. — Le tableau ci-dessus ne comprend ni les employés, ni les enfants (de 14 à 16 ans).

Les salaires *nets* s'obtiennent en déduisant la poudre, l'huile d'éclairage et le versement à la caisse de la corporation, soit en moyenne 7 pour 100 environ des salaires bruts sus-indiqués.

Salaires des mineurs dans différentes houillères de la Westphalie et de la Silésie, avant et après la grève.

NOM DES MINES	PIQUEURS			ROULEURS		
	1er trimestre 1888	1er trimestre 1889	Juin 1889	1er trimestre 1888	1er trimestre 1889	Juin 1889
Westphalie.	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs
Houillère Anna, à Alsdorf (puits Hermann et Franz)	3,07	3,10	3,55	2,29	2,40	2,65
Houillère Anna, à Alsdorf (puits Wilhelm)	3,03	3,12	3,54	2,48	2,52	2,56
Houillère du Centre (puits Louise)	2,42	2,47	3,19	1,99	2,16	2,68
Houillère de la Réserve (Nothberg)	2,50	2,52	3,16	1,76	1,88	2,47
Haute Silésie.						
Comtesse-Laura	2,78	2,71	2,97	1,69	1,71	2,04
Max	2,40	2,66	2,66	1,54	1,59	1,85
Ferdinand	2,79	2,87	3,32	1,61	1,69	1,88
Myslowitz	2,38	2,48	2,74	1,37	1,56	1,71
Cleophas	2,91	2,94	3,03	1,78	1,59	1,85
Brandenburg	2,43	2,62	3,10	1,55	1,59	1,91

Nous avons sous les yeux des renseignements analogues, relatifs à d'autres mines encore. Les exemples ci-dessus semblent suffisants pour donner un aperçu de

l'augmentation des salaires des mineurs, à la suite de la grève de mai 1889.

Les plus fortes majorations ont été attribuées aux rouleurs dans les houillères où le gain de ces ouvriers était notoirement insuffisant (mines du Centre, de la Réserve), et la hausse des salaires, dans ces circonstances, a atteint jusqu'à 0f,60 et 0f,75 par jour. Ailleurs ce sont les piqueurs qui ont été spécialement favorisés; leur gain quotidien s'est accru de 40 à 50 pfennigs, soit de 0f,50 à 0f,60, dans un certain nombre d'exploitations de la Westphalie et de la Silésie.

Dans le premier de ces bassins, comme l'indique l'un des tableaux précédents, un grand nombre de mineurs ont eu, en quelque sorte, de l'avancement. La proportion de ceux qui gagnaient plus de 4 marcs (5 francs) par jour est montée de 7 à 25 p. 100, de mars à juillet 1889. En même temps, celle des manœuvres (les deux dernières catégories du tableau réunies) qui gagnaient moins de 2 marcs 1/2 (3f,125) quotidiennement, est descendue de 31 à 20 p. 100 environ.

Dans le bassin de la Sarre, les avantages faits aux mineurs des houillères royales paraissent un peu moins importants. Le salaire net moyen, qui était de 4f,01 pendant le premier trimestre de 1889, est monté à 4f,26 en juin, d'après les relevés officiels, augmentant ainsi de 0f,25 pour l'ensemble des ouvriers.

Finalement, la grève de 1889 a eu pour résultat immédiat une hausse générale des salaires, que les mineurs travaillent à la tâche (*à l'accord*) ou que ce soit à la journée. C'était l'objectif principal des ouvriers.

Il n'a été rien innové, en ce qui concerne les heures supplémentaires, dont la suppression n'avait pas fait, du reste, l'objet des demandes générales.

De même pour la participation aux bénéfices.

Les conditions particulières du travail des enfants et des femmes n'étaient pas visées par les grévistes, et n'ont pas été modifiées.

Le chômage du dimanche et des jours fériés, qui n'a soulevé aucune protestation, a été maintenu.

Le temps dépensé par les mineurs, tant pour descendre dans la mine ou pour en sortir, que pour travailler sur les chantiers, c'est-à-dire la journée effective, a été l'objet d'une réduction générale. Cependant sa durée est demeurée, dans toutes les houillères, supérieure à 8 heures : le minimum est de 9 heures. Aujourd'hui encore la journée de 10 heures est usuelle, bien que peu de travaux soient aussi pénibles que celui des mineurs.

La grève n'a pas empêché la production du charbon de se développer en 1889, d'abord en Westphalie, comme l'ont déjà montré les chiffres que nous avons donnés pour ce bassin, en traitant la question des heures supplémentaires, ensuite (et surtout) dans les autres districts houillers de la Prusse.

L'extraction totale du charbon, dans ce pays, en 1888 et en 1889, a été la suivante :

	1888	1889
Houille.	59.475.351 tonnes	61.436.991 tonnes
Lignite.	13.207.888 —	14.205.967 —
	72.683.239 tonnes	75.642.038 tonnes

L'excédent de 1889 est de près de 2 millions de tonnes de houille et de 1 million de tonnes de lignite.

D'un autre côté, la grève a déterminé une hausse générale du prix de la houille. Suivant le tableau ci-après, qui a été dressé par l'Association des intérêts miniers, en Westphalie, les prix se sont énormément élevés.

Prix des combustibles, avant et après la grève.

QUALITÉS	PRIX DE LA TONNE		AUGMENTATION	
	29 oct. 1888	28 oct. 1889	par tonne	p. 100
	fr. fr.	fr. fr.	fr. fr.	
Charbon à gaz.	9,00 à 11,25	15,62 à 18,75	6,62 à 7,50	61 à 73
Tout-venant à flamme . .	7,50 à 9,25	12,50 à 15 00	5,00 à 5,75	62 à 66
— gras	7,37 à 8,25	11,25 à 13,12	3,88 à 4,87	52 à 59
Menu lavé pour coke. . .	6,75 à 7,50	11,87 à 13,75	5,12 à 6,25	75 à 83
Tout-venant maigre. . . .	6,75 à 7,50	11,87 à 12,50	5,12 à 5,00	66 à 75
Gros maigre.	13,12 à 15,00	18,75 à 22,50	5,63 à 7,50	50
Menu sortant maigre . . .	3,75 à 4.50	10,00 à 11,00	6,25 à 6,50	144 à 166
Coke de fonderies.	12,50 à 15,00	25,00 à 27,50	12,50	83 à 100
Coke de hauts-fourneaux.	11,25 à 12,50	23,12 à 25,00	12,87 à 12.50	100 à 114
Briquettes.	9,62 à 10,62	14,37 à 17,50	4,75 à 6,88	49 à 64

Ainsi, dans l'espace d'un an, le prix de la houille a augmenté, d'après ce document, de 50 à 75 p. 100; celui du coke a doublé.

Toutefois il ne s'est pas produit une hausse, aussi exagérée, dans les autres bassins houillers. En effet, si l'on consulte la statistique officielle de la Prusse (*), on trouve pour la valeur totale de l'extraction :

1888

Houille . . . . . 364.899.000 francs
Lignite . . . . . 40.199.000 —

1889

Houille . . . . . 415.726.000 francs
Lignite . . . . . 44.160.000 —

Ces chiffres, rapprochés de ceux de la page précédente, qui sont empruntés à la même source, font ressortir le prix moyen de la tonne de charbon, sur le carreau des mines, comme il suit :

	1888	1889	Augmentation
	fr.	fr.	fr.
Houille.	6,135	6,766	0,631
Lignite.	3,043	3,109	0,066

(*) *Production der Bergwerke, Salinen und Hütten des preussischen Staates im Jahre* 1889.

L'augmentation générale, en Prusse, pour les différentes qualités de houille réunies, d'après la statistique officielle, n'a donc guère excédé, en 1889, 10 p. 100 du prix moyen constaté pour 1888; elle a été insignifiante pour le lignite. Mais il convient de remarquer que les moyennes soumises à la comparaison s'appliquent aux douze mois de chaque année réunis; on comprend que le prix moyen de la houille, pendant le second semestre de 1889, c'est-à-dire après la grève, est nécessairement ressorti à un chiffre supérieur à celui qui se rapporte à l'année entière.

En résumé, la grève a été avantageuse pour les mineurs; elle leur a procuré une augmentation générale des salaires. Elle a eu pour contre-coup un renchérissement de la houille, nuisible aux consommateurs et à l'industrie allemande.

ÉTUDE DES MODIFICATIONS

APPORTÉES A LA

LÉGISLATION DES MINES DE HOUILLE (*)

DE LA SAXE ROYALE

EN VERTU DES LOIS DE L'EMPIRE ALLEMAND

SUR L'ASSURANCE CONTRE LA MALADIE ET LES ACCIDENTS

Par M. MAURICE BELLOM, Ingénieur au Corps des mines.

Les lois allemandes d'assurance obligatoire contre la maladie et les accidents, tout en étant des lois d'Empire, ont dû prévoir, dans leur application, la modification des organes locaux qu'elles laissaient subsister. L'industrie minière, en particulier, avait organisé depuis longtemps des caisses de secours, dont des lois spéciales avaient réglé le fonctionnement, et notamment dans le royaume de Saxe qui avait sa législation minière propre, l'application des lois d'Empire a nécessité, dans cette législation même, des transformations dont l'étude fera l'objet du présent travail.

Pour se rendre compte de la nécessité et de la nature

(*) La situation toute spéciale des mines métalliques exige une distinction qui s'impose dans le titre même de cette étude. Dans une conférence en date du 14 avril 1890 faite à la Société d'Économie sociale, l'auteur du présent mémoire a traité la question au point de vue des mines métalliques du district de Freiberg.

de ces modifications, il convient de définir l'état des caisses de secours avant l'entrée en vigueur de la première des lois d'Empire, de montrer ensuite la situation nouvelle qui en résultait pour ces caisses, et enfin de les suivre jusqu'à l'époque actuelle, c'est-à-dire postérieurement à la promulgation de la deuxième de ces lois. La première loi (du 15 juin 1883) est la loi relative aux maladies, la seconde (du 6 juillet 1884) est la loi relative aux accidents.

Cette étude comprendra donc trois parties :

1re Partie. — État des anciennes caisses minières jusqu'à l'entrée en vigueur de la loi relative à la maladie;

2e Partie. — État des caisses minières depuis l'entrée en vigueur de la loi relative à la maladie;

3e Partie. — État des caisses minières depuis l'entrée en vigueur de la loi relative aux accidents.

PREMIÈRE PARTIE.

ÉTAT DES ANCIENNES CAISSES MINIÈRES JUSQU'A L'ENTRÉE EN VIGUEUR DE LA LOI RELATIVE A LA MALADIE.

Les mines de houille du royaume de Saxe sont réparties entre les trois inspections ou districts de Chemnitz, Dresde et Zwickau. Le nombre des ouvriers attachés à chacune de ces trois inspections est bien différent. Celle de Zwickau comprend environ la moitié du nombre total, celle de Chemnitz le tiers et celle de Dresde le sixième. Il y a déjà une quinzaine d'années que le bassin de Zwickau a conquis ce rang; mais, à cette époque, le district de Dresde comptait encore presque autant de houilleurs que celui de Chemnitz.

Période antérieure à la loi du 16 juin 1868.

— Les houillères saxonnes ont été régies jusqu'en 1868 par une ordonnance ou mandat du 10 décembre 1822, et l'obligation de fonder une caisse de secours pour chaque exploitation ou de s'affilier à une caisse existante, que la loi du 22 mai 1851 avait imposée aux mines métalliques, ne se trouve écrite, pour les exploitations de combustibles, dans aucun texte législatif antérieur à la loi du 16 juin 1868.

Ces exploitations n'avaient cependant pas attendu que le législateur leur enjoignît de secourir leurs ouvriers, pour y pourvoir par une généreuse initiative. Toutefois, leurs efforts étant individuels, les résultats manquaient d'uniformité, et une étude « générale » du fonctionnement de ces caisses à cette époque serait impraticable : c'est à la méthode monographique qu'il faut avoir recours, et l'une des exploitations qui peuvent servir de modèle à ce point de vue, est le charbonnage d'Oberhohndorf, près de Zwickau (Zwickau - Oberhohndorfer-Steinkohlenbauverein). Ce charbonnage est, par sa production, le premier des charbonnages saxons (il a extrait, en 1888, 316.805 tonnes) et il occupe le second rang par le nombre de ses ouvriers (1.269).

Premiers statuts de la caisse d'Oberhohndorf (1857). — C'est en 1855 que l'on étudia le projet de fonçage du premier puits d'Oberhohndorf, et, dès le 15 avril 1857, la direction du charbonnage portait à la connaissance des ouvriers les bases d'une association minière (knappschaftsverband), comprenant tout le personnel (ingénieurs et mineurs) et destiné à :

1° Assurer, non seulement le bien-être des membres de l'association, mais encore le succès de l'exploitation, dont « la prospérité, disaient les statuts, était intimement liée au bonheur du personnel » ;

2° Procurer, par la création d'une caisse, des secours aux associés et à leurs veuves ou orphelins.

1° *Organisation administrative.* — La surveillance de l'association et l'administration de la caisse étaient confiées à la direction du charbonnage. Cette dernière se réservait le droit de modifier, au besoin, les statuts et de trancher les difficultés d'interprétation de ce texte après avoir consulté le comité de l'association dont il sera question plus loin. Appel pouvait, d'ailleurs, être interjeté des décisions de la direction devant l'autorité administrative qui n'était autre que le chef de cercle résidant à Zwickau. C'était également celui qui devait approuver les modifications des statuts dont la rédaction primitive avait été soumise à son contrôle.

Les membres de l'association étaient de deux sortes : les uns ordinaires, les autres extraordinaires ; il n'y avait, d'ailleurs, qu'un seul membre extraordinaire ; c'était le « premier employé technique », c'est-à-dire l'ingénieur en chef des travaux. La caisse ne lui devait aucune rétribution : il portait le titre de président de l'association. — Pour être membre ordinaire de l'association, il suffisait d'être employé au service ou aux travaux de l'exploitation. On n'acceptait que les ouvriers embauchés à titre temporaire pour l'exécution d'un travail déterminé, ou les manœuvres attachés au service d'entrepreneurs qui travaillaient à forfait pour le compte du charbonnage.

Les conditions à remplir étaient la présentation : 1° d'un certificat de bonne santé délivré par un médecin de la société ; 2° d'un certificat de moralité. L'admission au sein de l'association, et l'admission aux travaux du charbonnage étaient concomitantes. De même, tout associé qui quittait le service du charbonnage, cessait de faire partie de l'association, et perdait pour lui-même et ses ayants droit les titres acquis en raison des versements successifs, sans pouvoir répéter le montant de ces derniers.

L'administration courante était aux mains d'un comité composé de cinq membres : 1° l'ingénieur en chef des travaux, président; 2° un secrétaire, qui pouvait ne pas être un associé; 3° trois « anciens » élus au second degré par une commission de neuf membres nommés au suffrage universel. Tout membre valide de l'association était électeur et éligible pour le premier degré; mais, pour être éligible au second, il fallait savoir lire, écrire et compter. La direction du charbonnage appréciait si ces conditions étaient remplies : au premier degré la majorité relative suffisait; la majorité absolue était nécessaire au second et le nombre de votants devait être au moins égal à six. Si la majorité absolue n'était pas obtenue au premier tour de scrutin, on procédait à un second tour, pour lequel la majorité relative suffisait; dans tous ces votes le sort décidait en cas de partage. Les votes étaient d'ailleurs secrets; ils avaient lieu au scrutin de liste. La durée du mandat de tous ces délégués était de trois ans.

L'ingénieur en chef représentait l'association en justice. Comme président du comité, il avait pour suppléant le secrétaire de ce comité. — Les anciens, indépendamment de la surveillance de l'ensemble de l'association, étaient chargés :

1° De visiter les malades et les pensionnaires, afin de contrôler le service médical et d'éviter la simulation; 2° de vérifier les comptes de la caisse; 3° d'avertir le président de toute infraction aux statuts.

On exigeait, d'ailleurs, de ces « anciens » une conduite et une tenue irréprochables.

Les membres du comité n'avaient droit qu'au remboursement de leurs dépenses, mais le charbonnage donnait à ceux de ces agents qui faisaient partie du comité, l'autorisation de vaquer aux occupations qui leur incombaient de ce chef, sans prélever aucune retenue sur

leurs appointements ou salaires normaux. Le comité devait se réunir au moins une fois par an; des réunions extraordinaires pouvaient être provoquées soit par le président, soit par les trois « anciens ». Chaque membre y avait une voix. Les décisions, pour être valables, devaient avoir été prises en présence de trois membres au moins et adoptées par la majorité absolue des membres présents. Le président avait voix prépondérante en cas de partage. Les décisions relatives à une dépense annuelle applicable à plusieurs exercices, ou à une dépense applicable à un seul exercice, mais supérieure à 20 thalers (60 marcs) devaient être approuvées par la direction du charbonnage.

Telle était l'organisation administrative de l'association.

2° *Organisation financière.* — Les ressources et les dépenses de la caisse étaient réglées de la manière suivante :

I. **Ressources.** — Les ressources étaient de trois sortes : versements des associés, versements du charbonnage, intérêt du fonds de réserve.

1° Les *versements des associés* comprenaient :

(*a*) Un droit d'admission qui, pour les ouvriers, s'élevait au salaire de quatre journées de travail, et, pour les employés appointés, aux 4/300 de leur traitement annuel.

(*b*) Une cotisation de 12 pfennigs par thaler de salaire (4 p. 100 du salaire).

(*c*) Une cotisation extraordinaire versée par les membres âgés de plus de 45 ans lors de leur admission; ces membres devaient verser une cotisation égale au double de la cotisation ordinaire pendant un nombre d'années égal à celui dont leur âge, à l'époque de leur admission, surpassait 45 ans.

(*d*) Les amendes pour infraction aux règlements de tout genre.

(*e*) Les salaires ou appointements non réclamés dans l'année, celle-ci étant comptée à partir du jour où ils étaient devenus exigibles.

Ces sommes, perçues par retenue sur le salaire, étaient versées par la direction du charbonnage à la caisse de l'association dans la première quinzaine de chaque trimestre.

2° Les *versements du charbonnage* étaient de 3 pfennigs par berline extraite dont le contenu n'était pas employé au chauffage des chaudières de l'exploitation. Toutefois, comme à cette époque (1857), on n'avait pas encore commencé l'extraction à Oberhohndorf, le charbonnage s'engageait, en attendant, à donner annuellement à la caisse une somme égale au montant total des versements des associés pendant le même temps. Il était, en outre, décidé que si, lors de la mise en exploitation, les versements du charbonnage calculés sur les bases indiquées surpassaient, au bout de l'année, ceux des membres, l'excédent pourrait être employé par le charbonnage en secours individuels distribués aux associés ou à leurs ayants droit. Indépendamment des versements à la caisse, le charbonnage s'engageait à payer le salaire aux associés atteints d'une maladie qui, en raison de sa cause ou de sa durée, ne leur assurait aucun secours de la caisse de l'association.

3° Quant aux *intérêts du fonds de réserve*, ils résultaient des placements effectués, entre les mains de la direction du charbonnage, d'une partie de l'encaisse de l'association, lorsque le comité jugeait que cette encaisse était supérieure à la somme nécessaire pour faire face aux besoins de l'année courante.

II. **Dépenses.** — Les dépenses étaient de six sortes : secours en cas de maladie, pensions aux invalides, pensions aux veuves, aux orphelins, frais d'enterrement, secours extraordinaires à des associés indigents et à leur famille ou même à des mineurs ne faisant pas partie de l'association.

1° *Secours en cas de maladie.* — Tout associé ordinaire, à l'exception des employés et des maîtres-mineurs, avait droit à un secours en cas de maladie, à moins qu'il ne fût tombé malade pendant un congé et qu'il ne fût la victime d'une imprudence manifeste. La maladie devait être de plus de trois jours, et le malade ne devait pas être dans un des cas qui donnaient droit à une pension. Le secours, qui était dû à partir du premier jour de maladie, s'élevait à la moitié du salaire : il atteignait la valeur du salaire complet, dans le cas où la maladie résultait d'un travail exécuté pour le compte du charbonnage ; le salaire complet n'était jamais accordé aux célibataires pendant la première semaine. Dans le cas du transport du malade à l'hôpital, l'association, au lieu de lui donner le secours prévu, devait payer à l'administration de l'hôpital les frais de traitement ; le comité pouvait allouer à la famille du malade un secours extraordinaire qui ne devait pas dépasser la moitié des secours ordinaires. Les secours de toute nature, en cas de maladie, n'étaient dus que pendant vingt semaines. Les secours médicaux ou pharmaceutiques étaient accordés aux malades qui n'avaient pas droit à la pension ou qui ne la recevaient qu'à la suite d'une maladie de plus de vingt semaines, que le médecin officiel de l'association ne considérait pas comme incurable. Pour avoir droit à ce genre de secours, il fallait d'ailleurs que le malade s'adressât au médecin de l'association.

2° *Pensions aux invalides.* — Tout associé que l'âge, les blessures ou la maladie plaçaient dans un état d'incapacité de travail constaté par certificat de médecin, était déclaré invalide et recevait une pension, s'il faisait

partie de l'association depuis trois années; étaient dispensés de cette dernière condition les ouvriers blessés au service du charbonnage et ne se trouvant pas dans un des cas qui donnaient droit à un secours de maladie. Le cumul des secours de maladie et des pensions était en effet interdit. C'est ainsi qu'au bout de vingt semaines, les associés, qui avaient été secourus comme malades, passaient de droit dans la classe des invalides; ceux qui avaient reçu les secours du charbonnage, et non de l'association (employés et maîtres-mineurs), ne devenaient pensionnaires que sur l'avis favorable de la direction. Le taux des pensions dépendait de l'époque depuis laquelle l'invalide faisait partie de l'association. Le tableau suivant donne le tarif de la pension par semaine :

NOMBRE D'ANNÉES écoulées entre l'admission dans l'association et la déclaration d'invalidité	VALEUR de la pension par semaine en thalers de 3 marcs et groschen de 10 pfennigs	NOMBRE D'ANNÉES écoulées entre l'admission dans l'association et la déclaration d'invalidité	VALEUR de la pension par semaine en thalers de 3 marcs et groschen de 10 pfennigs
3 à 5 ans	0 thalers 16 groschen	Plus de 20 ans	1 thalers 0 groschen
5 à 10	0 19	21	1 1
Plus de 10	0 20	22	1 2
11	0 21	23	1 3
12	0 22	24	1 4
13	0 23	25	1 5
14	0 24	26	1 6
15	0 25	27	1 7
16	0 26	28	1 8
17	0 27	29	1 9
18	0 28	30	1 10
19	0 29		

Ce tarif s'appliquait non seulement aux ouvriers, mais encore aux employés; on devait toutefois, aux termes des statuts, s'attacher à maintenir, entre la valeur des pensions des premiers et des seconds, le même rapport qu'entre le salaire journalier moyen de l'ouvrier et le 1/300 des appointements de l'employé. Le salaire moyen était calculé d'après les trois dernières années, et les appointements d'après la dernière année, ou, si elle n'était pas une année normale, d'après la moyenne des cinq dernières années.

On distinguait en outre la demi-invalidité qui n'était autre chose que l'état d'un mineur incapable de descendre dans les travaux souterrains, mais capable de travailler au jour. Le montant de la pension, qui était fixé par le président de l'association, devait atteindre au moins le tiers de celle à laquelle l'associé aurait eu droit en cas d'invalidité complète.

3° *Pensions aux veuves.* — Le droit à une pension n'appartenait qu'aux veuves des associés qui auraient eu droit eux-mêmes à la pension à l'époque de leur mort. N'étaient privées de ce droit que : 1° les veuves âgées de moins de vingt-cinq ans que leur mari; 2° les veuves dont le conjoint, au moment du mariage, était déjà invalide ou sexagénaire; 3° celles qui avaient provoqué un jugement de séparation de corps passé en force de chose jugée à l'époque du décès de leur époux; 4° celles que leur mari, se fondant sur un article de loi, avait déshéritées soit expressément, soit en fait, ou qui se trouvaient par rapport à cette succession dans un des cas d'indignité prévus par la loi. — Étaient également déchues : 1° les veuves qui se remariaient; 2° celles qui encouraient des peines correctionnelles pour immoralité. — Enfin, les veuves qui, lors de la mort de leur mari, n'étaient pas entrées dans leur trente-sixième année, n'avaient pas d'enfants et étaient capables de travailler, ne recevaient une pension que pendant deux ans.

Le montant de la pension d'une veuve dépendait : 1° de celle que touchait son mari au moment de son décès ou de celle qu'il aurait reçue s'il avait survécu, dans un état d'invalidité, à l'accident qui avait causé la mort; 2° de l'âge de la veuve; si elle n'avait pas trente-cinq ans révolus à l'époque de la mort de son mari, elle touchait le quart de la pension de celui-ci. Sinon elle n'en recevait

que le tiers. Une veuve, qui se remariait avant d'avoir atteint l'âge de quarante-cinq ans, sans appartenir à la troisième catégorie de veuves privées de pensions, recevait 25 thalers à l'occasion de son second mariage.

4° *Pensions aux orphelins.* — Les enfants légitimes ou légitimés, même posthumes, des associés qui avaient ou auraient eu droit à une pension, recevaient des secours jusqu'à l'âge de quatorze ans révolus, sauf dans le cas où leur père s'était marié étant âgé de soixante ans ou frappé d'invalidité : pour les enfants légitimés, la légitimation faisait remonter l'époque du mariage de leurs parents à celle de leur naissance. Ces secours, qui subsistaient, même en cas de déchéance ou d'exclusion de leur mère supposée veuve pensionnée, dépendaient : 1° de la pension du père évaluée de la même façon que pour le calcul de la pension des veuves ; 2° de l'âge de l'enfant ; 3° de la survivance de la mère. Le tableau suivant donne les éléments de ce calcul.

AGE DE L'ORPHELIN	FRACTION de la pension paternelle à laquelle s'élève la pension de l'orphelin	MINIMUM de la pension par semaine
1er CAS. — La mère vit encore :		
Enfant de moins de 6 ans révolus. . .	1/20	1gr,5pf
— de plus de 6 — . . .	1/10	3 ,5
2e CAS. — La mère est morte :		
Enfant de moins de 6 ans révolus. . .	1/15	2gr,5pf
— de plus de 6 — . . .	1/6	5 ,5

5° *Frais de sépulture.* — Les frais de sépulture étaient remboursés en cas de décès des associés actifs ou invalides et de leurs femmes ou enfants ainsi que de leurs ayants droit (veuves et orphelins). Le tarif était le suivant :

	thalers
Associé actif ou invalide décédé de mort naturelle.	12
Épouse d'un associé vivant.	6
Veuve d'un associé	7
Enfant d'un associé vivant décédé. . . . avant l'âge de 7 ans révolus.	2
Enfant d'un associé vivant décédé. . . . entre 7 et 14 ans.	4
Orphelin d'un associé décédé . . . . . avant l'âge de 7 ans révolus.	4
Orphelin d'un associé décédé . . . . . entre 7 et 14 ans.	6

Dans le cas d'employés, on appliquait les mêmes principes que pour le calcul des pensions.

En cas de décès résultant d'un accident survenu au cours du travail, tous les frais étaient payés par la caisse.

Résultats. — Les détails qui précèdent sont indispensables pour comprendre la valeur des documents statistiques donnés en annexe (tableau I) qui définissent l'état de la caisse de l'association depuis le 15 avril 1857, époque de l'entrée en vigueur de ces statuts, jusqu'au 24 janvier 1870, date de l'homologation conférée par l'administration saxonne à de nouveaux statuts. Il est d'ailleurs intéressant de constater qu'à une époque à laquelle le droit saxon se réduisait, pour les mines de combustibles, au « mandat » de 1822, on ait pu créer une organisation que les lois subséquentes n'ont pas détruite.

Loi du 16 juin 1868. — La loi du 16 juin 1868 a rendu obligatoire, dans son article 84, la fondation de caisses de secours pour les houillères, sans enlever aux exploitants le droit de se rattacher à des caisses préexistantes. Nul ouvrier ne devait plus être admis à travailler dans une mine de houille, s'il ne s'inscrivait à une caisse. Celle-ci n'était obligée de fournir que des secours en cas de maladie et des indemnités pour funérailles. L'ordonnance du 2 décembre 1868, rendue en exécution de la loi, déclarait d'ailleurs (art. 91) que les secours en cas de maladie devaient consister, non seulement en frais de

médecin et de pharmacien, mais encore en un secours. Les secours aux invalides, aux veuves et aux orphelins n'étaient que facultatifs. La loi exigeait de plus que les contributions des patrons fussent au moins égales à la moitié du montant total de celles des associés. Elle fixait en outre le cadre des statuts que devait avoir chaque caisse. Il nous suffira de dire que les statuts de 1857 de la caisse d'Oberhohndorf, qui viennent d'être analysés, y étaient absolument conformes. L'ordonnance donnait d'ailleurs aux exploitants, pour faire homologuer les statuts, un délai qui expirait le 1er juillet 1869.

En vertu de la loi, c'était à l'autorité administrative locale qu'était confiée la surveillance de la caisse; elle pouvait, à cet effet, en vérifier les livres, en contrôler les opérations financières et imposer les modifications de statuts que la situation de la caisse rendrait nécessaires; un commissaire du gouvernement était investi du droit d'assister à toutes les réunions des organes chargés de l'administration de la caisse; il avait le pouvoir de suspendre l'exécution des décisions contraires aux statuts et de les soumettre à l'appréciation de l'autorité administrative.

Les exploitants devaient retenir sur le salaire les cotisations des ouvriers et les remettre aux caisses de secours auxquelles ceux-ci s'étaient affiliés. Les différends entre patrons et ouvriers étaient de la compétence des tribunaux ordinaires.—Cette dernière disposition n'a pas subsisté, comme on le verra plus loin, la loi du 2 avril 1884 ayant déféré ces contestations à des tribunaux spéciaux.

Les sanctions de ces prescriptions de la loi étaient: 1° une amende de 900 marcs pour le retard apporté à la rédaction ou à la présentation des statuts (art. 84, § 3 de la loi); 2° une amende pouvant atteindre 60 marcs pour les infractions aux prescriptions de l'ordonnance

du 2 décembre 1868 relatives à l'ingérence du commissaire du gouvernement dans les affaires de la caisse (art. 96 de l'ordonnance).

Période comprise entre la loi du 16 juin 1868 et la loi du 28 février 1882. — Nouveaux statuts de la caisse d'Oberhohndorf (1870). — Les statuts modifiés de la caisse d'Oberhohndorf, présentés le 20 avril 1869 à l'administration saxonne ne différaient de ceux de 1857 que par l'augmentation des pensions aux veuves et aux orphelins et des frais d'enterrement.

Les pensions aux veuves furent portées du quart au tiers de celle qu'aurait eue le mari, dans le cas où elles avaient moins de trente-cinq ans, et du tiers à la moitié, dans le cas contraire.

Les pensions aux orphelins furent doublées.

Les frais d'enterrement furent augmentés comme l'indique le tableau suivant :

SECOURS DANS LE CAS DE LA MORT D'UNE DES PERSONNES SUIVANTES		STATUTS de 1857	STATUTS de 1870
		thalers	thalers
Associé actif ou invalide décédé de mort naturelle.		12	15
Epouse d'un associé vivant.		6	10
Veuve d'un associé.		7	9
Enfant d'un associé vivant décédé.	avant l'âge de 7 ans	2	4
	entre 7 et 14 ans	4	5
Orphelin d'un associé décédé.	avant l'âge de 7 ans	4	5
	entre 7 et 14 ans	6	7

Cette augmentation du taux des secours était le résultat du développement de l'industrie houillère. C'était l'époque des grands bénéfices pour les mines saxonnes : ils ne firent qu'augmenter pendant les années suivantes. Ces mines avaient extrait, en 1873, 38.842.203 hectolitres de houille représentant une valeur de 32.972.971 marcs. En particulier, le charbonnage d'Oberhohndorf avait extrait 1.556.737 hectolitres valant 971.900 marcs, c'est-à-

dire plus d'un million de francs. La prospérité de l'industrie amena une dépréciation de l'argent, c'est-à-dire une élévation du prix de toutes choses; les charbonnages furent donc conduits à de nouveaux sacrifices en faveur de leur personnel, et, dès le commencement de 1874, les statuts de 1870 subirent à Oberhohndorf les modifications suivantes opérées en vue d'améliorer le sort des invalides.

Statuts d'Oberhohndorf modifiés en 1874. — D'après les statuts de janvier 1874, on substitua au délai de trois ans celui d'une année pour le laps de temps donnant droit à la pension, et l'échelle des pensions fut réglée conformément au tableau ci-dessous, dans lequel l'ancien tarif a été rapproché du nouveau.

NOMBRE D'ANNÉES ÉCOULÉES entre l'admission dans l'association et la déclaration d'invalidité		VALEUR DE LA PENSION par semaine (en marcs et pfennigs)	
Statuts de 1857 et 1870	Statuts de 1874	Statuts de 1857 et 1870	Statuts de 1874
		marcs	marcs
3 à 5 ans	1 à 5 ans	1,60	1,60
5 à 10	5 à 10	1,90	2,00
Plus de 10	Plus de 10	2,00	2,50
11	11	2,10	2,75
12	12	2,20	3,00
13	13	2,30	3,25
14	14	2,40	3,50
15	15	2,50	3,75
16	16	2,60	4,00
17	17	2,70	4,25
18	18	2,80	4,50
19	19	2,90	4,75
20	20	3,00	5,00
21	21	3,10	5,25
22	22	3,20	5,50
23	23	3,30	5,75
24	24	3,40	6,00
25	25	3,50	6,25
26	26	3,60	6,50
27	27	3,70	6,75
28	28	3,80	7,00
29	29	3,90	7,25
30	30	4,00	7,50

Toutefois, comme, d'une part, le nombre des invalides se trouvait accru et que, d'autre part, on avait à craindre

les effets de la simulation, on diminua le taux des secours aux malades qui furent réglés comme suit :

SALAIRE	SECOURS AUX MALADES	
	Maladie	Blessure
marcs marcs	marcs	marcs
1,60 à 1,70	0,60	1,20
1,80 à 1,90	0,70	1,40
2,00 à 2,10	0,80	1,60
2,20 à 2,30	0,90	1,80
2,40 et au-dessus	1,00	2,00

Comme on le voit, les secours en cas de simple maladie étaient inférieurs à la moitié du salaire, tarif adopté dans les anciens statuts.

Projets de statuts (1881). — Le tableau I permet d'apprécier les résultats de ces modifications des statuts. Il montre qu'au bout de quelques années l'augmentation des secours, que ne contrebalançait pas une élévation correspondante des cotisations, conduisit au déficit pour la caisse de l'association. Dès la fin de l'année 1879, on pouvait se rendre compte du déficit probable pour l'année suivante. L'actif se composait :

1° Du capital (C) en caisse au 31 décembre 1879;

2° De la valeur (V) actuelle des cotisations dues à la caisse;

3° Des droits d'admission et des amendes.

Le tableau I donne $C = 175.270^{M},70$. Quant à V, on sait que chaque ouvrier payait une cotisation de 4 pfennigs par marcs soit 4 p. 100 du salaire. A cette époque, on évaluait à 700 marcs le salaire moyen annuel d'un ouvrier; les 4 p. 100 de ce nombre (soit 28 marcs) représentaient la cotisation moyenne de l'ouvrier. Le charbonnage payait une cotisation égale à la moitié de celle des ouvriers, soit 14 marcs par ouvrier. On pouvait donc évaluer à $28 + 14 = 42$ marcs, la somme que la caisse

recevait par ouvrier et par an à titre de cotisation, tant de la part de l'ouvrier que de la part du charbonnage. Comme d'ailleurs les secours aux malades, évalués par les statistiques des six dernières années avant le 31 décembre 1879, accusaient pour la caisse une dépense de 27ᴹ,31 par associé, on obtenait, pour la valeur *nette* de l'accroissement annuel du capital par tête d'ouvrier, le chiffre de 42 — 27,31 = 14ᴹ,69.

C'est d'après ces bases que le professeur Haym, de Leipzig, chargé par la direction du charbonnage d'étudier la situation financière de la caisse, put dresser le bilan au 31 décembre 1879. Il trouva un excédent du passif sur l'actif égal à 521.719ᴹ,32 et conclut en conséquence à la nécessité d'augmenter la contribution versée par le charbonnage.

Ce fut le 20 janvier 1881 qu'il déposa son rapport entre les mains de M. Steindel, directeur du charbonnage. Ce dernier rédigea à son tour un projet de réforme des statuts accompagné d'un exposé de motifs en date du 1ᵉʳ juillet de la même année. Le déficit ne mettait pas sans doute en péril l'existence de l'association, qui ne devait se dissoudre qu'après le déhouillement complet de la concession, et celui-ci doit, selon toute vraisemblance, exiger encore une cinquantaine d'années. Mais l'application normale des statuts qui permettaient, d'une part, d'accroître au besoin le montant des cotisations, et qui, d'une autre, exigeaient une revision décennale de l'état financier de la caisse, avait déjà donné lieu, en 1869, à la rédaction d'un rapport confié aux soins d'un expert qui avait été désigné par le tribunal de Zwickau. C'était d'un travail analogue que le professeur Heym avait été chargé. Mais les conclusions auxquelles il arrivait étaient bien différentes de celles qui terminaient le rapport de 1869 : au lieu d'une affirmation rassurante au sujet de la prospérité de la caisse, c'était la constatation d'un déficit. La

situation florissante de 1869 n'avait d'ailleurs été que de bien courte durée. Dès le 1ᵉʳ janvier 1872, les dépenses étaient presque doublées (elles étaient accrues dans le rapport de 1 à 1,875). Au lieu de 616ᴹ,47 distribués en 1871 à huit invalides, on avait, en 1880, réparti 9.215ᴹ,05 entre vingt-sept invalides. Le nombre de ces derniers s'était donc accru dans le rapport de 1 à 3,375, et la valeur totale des pensions avait augmenté dans le rapport de 1 à 14,948. Une telle situation demandait une réforme, et M. Steindel déclarait dans son rapport que, si l'époque de la liquidation n'avait pas été aussi éloignée, il n'eût pas hésité à demander le rétablissement du tarif de 1857. Il préférait proposer une simple diminution de 20 p. 100 dans les secours, qui, ainsi modifiés, seraient encore restés supérieurs de 50 p. 100 à la valeur qu'ils atteignaient avant l'entrée en vigueur des statuts de 1870. De plus, il portait la cotisation de 4 à 5 p. 100 du salaire. Le salaire annuel moyen, qui avait décru depuis 1875 pour atteindre en 1879 un minimum de 655 marcs, était en voie d'augmentation en 1881, et en 1880 il avait déjà atteint 755 marcs ; on se trouvait donc dans d'excellentes conditions pour exiger des associés des sacrifices plus considérables. Ce double remède : diminution des secours, élévation des cotisations, n'aurait pas suffi, d'après les calculs de M. Steindel, pour couvrir le déficit ; les autres modifications à apporter aux statuts lui étaient inspirées par la comparaison qu'il établit, au point de vue des secours alloués aux malades, entre la caisse d'Oberhohndorf d'une part, les caisses prussiennes et les autres caisses saxonnes d'autre part. J'ai réuni dans le tableau suivant les résultats de cette comparaison :

DÉSIGNATION DE LA CAISSE	SECOURS en cas de maladie distribué par tête d'associé pendant l'année 1879
	marcs
Caisses d'Oberhohndorf	26,97
— prussiennes	14,50
Caisses saxonnes. 1° Zauckerode	15,24
Caisses saxonnes. 2° Burgk	12,51
Caisses saxonnes. 3° Bockwa	14,66
Caisses saxonnes. 4° Bürgergewerkschaft de Zwickau.	19,68

Les motifs de ces différences résultaient des deux dispositions suivantes, qui existaient dans les statuts de la caisse d'Oberhohndorf, mais que l'on ne retrouvait pas dans ceux des autres caisses :

1° Les secours n'étaient pas accordés pour les maladies dont la durée n'excédait pas trois jours, mais si elle dépassait ce laps de temps, le secours était dû à partir du premier jour de la maladie. Les autres caisses, au contraire, n'allouaient aucun secours pour les trois premiers jours.

2° En cas de blessure, on obtenait un secours presque égal au montant du salaire, quelle que fût la gravité de la blessure. Dans les autres caisses, un tarif spécial était fixé pour les blessures graves, les blessures légères donnant lieu à des allocations moins élevées.

Ces deux dispositions avaient eu pour la caisse d'Oberhohndorf des résultats qui se passent de commentaires.

La première était un véritable encouragement à la simulation jusqu'au quatrième jour, attendu qu'un ouvrier malade pendant trois jours n'avait droit à aucun secours, tandis qu'une maladie de quatre jours assurait une allocation pour quatre journées d'incapacité de travail. Les autres caisses ne donnant, dans ce dernier cas, les secours que pour une seule journée (la quatrième), l'ouvrier qui se sentait en état de reprendre son travail au bout du troisième jour, n'avait aucun intérêt à simuler une prolongation de maladie. Les chiffres suivants en sont la meilleure preuve.

Tandis qu'en Prusse, dans l'année 1879, le rapport du nombre des cas de maladie à celui des associés était de 0,419 et le rapport du nombre de jours de maladie à celui des associés de 7,8, les mêmes rapports, évalués pour la même année à Oberhohndorf, atteignaient 0,870 et 14,5. En outre, dans l'année 1880, à Oberhohndorf, 57 p. 100 des maladies avaient duré moins d'une semaine. Il était, par suite, évident que l'abrogation de la première disposition devait procurer une sérieuse économie.

Quant à la deuxième, l'utilité de faire varier le montant des secours suivant la gravité de la blessure ressortait de ce fait que, en 1880, sur 611 blessés, 224 (soit 36,7 p. 100) avaient pu reprendre leur travail, et sur ces 224, 40 p. 100 étaient rétablis au bout de huit jours, 34 p. 100 seulement avaient été malades pendant plus de deux semaines et 12 p. 100 pendant plus de quatre.

En raison de ces faits il convenait :

1° De supprimer, dans tous les cas, les secours pendant les trois premiers jours ;

2° De donner, à partir du quatrième jour, un secours égal aux 4/10 ou aux 6/10 du salaire, suivant que la maladie avait duré moins ou plus de deux semaines.

On comptait, grâce à cette double mesure combinée avec l'augmentation de la cotisation de 1 p. 100 du salaire et la diminution de 20 p. 100 des secours aux invalides, veuves et orphelins, combler le déficit de la caisse (*).

M. Steindel avait, en effet, recommencé les calculs de

(*) Cette situation de la caisse d'Oberhohndorf rappelle la crise qu'ont traversée, à la même époque, les caisses régionales des mines belges. Dans une communication à la Société d'Économie politique, le 5 mars 1888, sur l'*Assurance des ouvriers contre les*

M. Heym en prenant 15 marcs pour maximum des frais de maladie par tête d'associé, et en substituant au chiffre de 700 marcs adopté par M. Heym comme moyenne du salaire annuel le chiffre de 750 que l'on pouvait admettre, en raison de l'augmentation des salaires. Chaque associé devait dès lors verser annuellement une contribution de 37^{M},50; le charbonnage versant 18^{M},75 par tête d'associé, la somme de ces deux chiffres donne 56,25. Les frais de maladie étant de 15 marcs, la caisse recevait par associé et par an 56,25 — 15 = 41^{M},25. Le bilan dressé sur ces bases par M. Steindel se chiffrait par un déficit de 7.539^{M},56, qu'il considéra comme négligeable en présence du déficit (521.719^{M},32) prévu par M. Heym.

M. Steindel ne se contentait pas, d'ailleurs, de proposer des modifications au tarif des contributions et des secours, il critiquait l'absence de distinction entre les ouvriers stables et les ouvriers instables, et la perte de tous les versements effectués que subissaient les ouvriers qui quittaient même volontairement le service du charbonnage.

Loi du 28 février 1882. — Bien que la loi d'assurance obligatoire contre la maladie ait conduit à un

accidents, M. E. Cheysson a cité, à ce sujet, des chiffres qu'il est intéressant de rappeler ici : « A partir du 1er juillet 1881, pour la caisse de Charleroi, les pensions des ouvriers vieux et infirmes ont été réduites de 25 p. 100 et celles des veuves d'ouvriers vieux et infirmes de 50 p. 100. A partir du 1er octobre 1885, nouvelle réduction de 33 p. 100 pour les premières pensions, de 50 p. 100 pour les secondes, et de 10 p. 100 pour toutes les autres pensions de secours (réduction totale, 55 p. 100 et 75 p. 100 en quatre ans sur les deux premières catégories de pensions). La caisse de Liège a préféré le relèvement des cotisations des exploitants à cette réduction des pensions et secours et a élevé de 1 3/4 à 2 p. 100 des salaires le taux des versements à partir de 1886. » (*L'Assurance des ouvriers contre les accidents*, par M. E. Cheysson, p. 12; extrait du numéro du 15 mars 1888 du *Journal des Économistes*.)]

remaniement intégral des statuts, il m'a semblé intéressant de rendre compte du projet de revision élaboré par M. Steindel; l'étude de ce document nous éclaire, en effet, sur la situation des caisses minières à la veille de la première loi de socialisme d'État; de plus, une partie des dispositions de ce projet a passé dans la loi saxonne du 28 février 1882 portant modification des articles 69 et 84 de la loi du 16 juin 1868. Ces deux articles étaient relatifs aux questions du personnel minier : le premier s'applique au cas de renvoi des employés; le second qui, consacré aux caisses de secours, mérite seul une mention détaillée, était modifié en vue de sauvegarder les droits acquis par les associés lorsqu'ils quittaient le charbonnage au bout de cinq ans de service (*). « Lorsque leur retraite avait un motif autre que ceux qui sont prévus dans les onze premiers paragraphes de l'alinéa (*a*) de l'article 80 de la loi de 1868, ou lorsqu'ils se retiraient dans une des circonstances définies dans les cinq premiers paragraphes de l'alinéa (*b*) du même article, le charbonnage devait, aux termes de l'article 1er de la loi de 1882, ou bien leur restituer les versements effectués, ou bien leur assurer pour eux-mêmes et leurs ayants droit le maintien des droits à une pension, à condition qu'ils continueraient à verser leurs cotisations calculées

(*) L'article 80 de la loi de 1868 est spécial aux ouvriers : il comprend les cas de résiliation du contrat de travail : *a*) par le fait de l'exploitant; *b*) par le fait de l'ouvrier. L'alinéa (*a*) comprend douze paragraphes dont les onze premiers visent les cas où l'ouvrier est dans son tort, et le douzième le cas de chômage résultant d'une catastrophe. L'alinéa (*b*) se compose de six paragraphes dont les cinq premiers se rapportent à des hypothèses dans lesquelles le bon droit est du côté de l'ouvrier, tandis que le sixième vise le cas de l'incapacité corporelle. — Quant à l'article 69, qui ne s'applique qu'aux employés, il prévoit le cas de renvoi : *a*) pour crime entraînant la réclusion; *b*) pour faux, abus de confiance, manquement grave dans l'exercice des devoirs professionnels.

sur la moyenne des 75 dernières journées de travail. Du total des cotisations à restituer on devait retrancher la valeur, rapportée à une tête d'associé et évaluée pendant le séjour de l'associé au charbonnage, qu'aurait atteinte la moyenne des sommes distibuées à titre de secours en cas de maladie, mais on ne devait pas en retrancher la valeur calculée de la même manière pour les sommes allouées à titre de pensions d'invalides, de veuves et d'orphelins. Si, au contraire, on ne leur restituait pas les versements effectués, la pension accordée devait être égale à une fraction de la pension normale, fraction égale au rapport que l'on obtient en divisant la cotisation des ouvriers par la somme des contributions des patrons et des ouvriers.

La même loi de 1882 visait, dans son article 6 et dernier, les employés qui abandonnaient le service pour un motif différent de ceux qui étaient énumérés dans l'article 69 de la loi de 1868.

Période comprise entre la loi du 28 février 1882 et la loi du 2 avril 1884. — La loi du 28 février 1882 ne devait s'appliquer qu'aux ouvriers ou employés qui auraient quitté le charbonnage après le 1er janvier 1883. D'ailleurs la loi du 2 avril 1884, qui entra en vigueur le 1er décembre 1884, abrogeait, par son article 91, la loi de 1882. Celle-ci ne resta donc que bien peu de temps en vigueur. Elle mérite toutefois d'être signalée, parce qu'elle dénote une tendance du gouvernement saxon à régler de son côté la question des caisses de secours, alors que le gouvernement impérial avait entrepris, depuis le 8 mars 1881, les travaux préparatoires qui devaient aboutir à la loi du 15 juin 1883.

Observation générale. — Dans cette première partie de notre étude, nous avons dû, eu égard aux motifs donnés plus haut, nous attacher à l'examen spécial de la caisse

d'Oberhohndorf, pour la période antérieure à la loi de 1868. Cette loi, en instituant les caisses minières, leur imposait un statut-type que l'ancienne caisse d'Oberhohndorf avait déjà adopté. Il est donc inutile d'entrer pour les autres caisses dans des détails aussi circonstanciés, et il suffira de donner les renseignements statistiques qui définissent leur évolution. Le tableau IV, qui figure en annexe, contient les chiffres relatifs à l'année 1875, époque à laquelle les résultats de la loi de 1868 pouvaient être regardés comme définitifs; et, sans suivre chacune des caisses dans ses transformations successives, j'ai résumé dans le tableau V les documents correspondants relatifs à l'année 1884, à la fin de laquelle entrait en vigueur la loi saxonne d'assurance contre la maladie.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTAT DES CAISSES MINIÈRES DEPUIS L'ENTRÉE EN VIGUEUR DE LA LOI RELATIVE A LA MALADIE.

Loi du 2 avril 1884. — La loi du 15 juin 1883, qui établissait pour tout l'empire le principe de l'assurance obligatoire contre la maladie, n'a pu s'appliquer en Saxe sans nécessiter l'intervention du législateur saxon. La loi du 2 avril 1884, spéciale au royaume de Saxe, eut pour objet de mettre les caisses minières de cet État en harmonie avec la loi d'empire. Cette loi comprend trois titres : le premier est relatif aux caisses de maladie, le second aux caisses de pensions, le troisième règle des questions de procédure.

Titre A. — Caisses de maladie.

1° *Étendue de l'assurance.* — Le titre A (art. 1 à 51) établit l'obligation de l'assurance contre la maladie pour

tout ouvrier stable occupé plus d'une semaine au service de l'exploitation et pour tout employé dont le traitement ne correspond pas à un salaire quotidien supérieur à 6^{M},66 (art. 1). Pour les autres employés, la participation à l'assurance est facultative.

2° *Fondation d'une caisse.* — Les anciennes caisses qui distribuaient à la fois des secours aux malades et des pensions aux invalides devaient se scinder en caisses de maladie et caisses de pensions (art. 1). Chaque exploitation, qui emploie au moins cent personnes soumises à l'assurance, doit fonder une caisse de malades (art. 7). Si le nombre de ces personnes est inférieur à cent, elles doivent s'affilier à une autre caisse désignée par l'autorité administrative. Celle-ci peut exceptionnellement autoriser un exploitant, qui emploie moins de cent personnes assurées, à créer une caisse, si la durée probable de cette dernière offre pour la régularité de son fonctionnement des garanties suffisantes. Inversement, elle peut autoriser la réunion de plusieurs exploitations dont une ou plusieurs compteraient un nombre d'assurés supérieur à cent.

3° *Secours.* — Les secours à accorder aux malades comprennent, conformément à la loi d'empire, pendant treize semaines (art. 8) :

« 1° A partir du commencement de la maladie, les soins gratuits du médecin, les médicaments et les lunettes, bandages et autres moyens curatifs ordinaires.

« 2° En cas d'incapacité de travail, à partir du troisième jour depuis le début de la maladie et pour chaque jour d'incapacité, un secours en argent égal à la moitié du salaire quotidien moyen. »

Ce salaire quotidien devait être, d'après l'article 8 de la loi d'empire, celui des journaliers ordinaires fixé par le président du département. La loi saxonne (art. 8) en laisse la détermination au comité chargé de l'administration de chaque caisse, en lui imposant simplement comme limite inférieure le chiffre fixé par la loi d'empire, et comme limite supérieure la somme de 4 marcs; l'article 20 de la loi d'empire relatif aux caisses locales avait adopté le chiffre de 3 marcs. La loi du 2 avril 1884 autorisait, en outre, la fixation du secours proportionnellement, non plus au salaire moyen, mais au salaire réel de chaque assuré, à condition que ce dernier ne fût pas supérieur à 4 marcs.

Le même secours est accordé aux femmes en couches pendant les trois semaines qui suivent leur délivrance.

La loi prévoit (art. 9) la possibilité de substituer à ce secours en argent les soins gratuits à l'hôpital, pour les personnes mariées et pour les malades qui ont une famille sans trouver dans leur domicile les conditions matérielles indispensables à leur guérison; on donne, dans ce cas, aux membres de leur famille qu'ils soutenaient par leur travail, la moitié du secours fixé par l'article 8. En cas de décès d'un associé, une indemnité mortuaire est accordée (art. 10); le montant s'élève à vingt fois celui du salaire quotidien moyen de la localité. Lors du décès de la femme ou d'un enfant d'un associé (art. 11), dans le cas où la personne décédée n'est pas assurée, il est alloué une indemnité mortuaire s'élevant, pour la femme à la moitié et pour l'enfant au cinquième de l'indemnité due en cas de décès d'un assuré. La loi d'empire n'avait promis aucun secours de ce dernier genre : il était donc purement facultatif.

Ces chiffres sont des minima qui peuvent être augmentés (art. 11) dans les limites suivantes :

1° La durée des secours aux malades peut être prolongée au delà de treize semaines, sans toutefois dépasser un an.

2° Les assurés munis d'un certificat de médecin peuvent, en cas de blessure entraînant incapacité totale de

travail, recevoir des secours atteignant les 3/4 du salaire moyen ou du salaire réel.

3° Indépendamment des frais de traitement et du séjour gratuit dans un hôpital, des secours atteignant 1/8 du salaire moyen ou du salaire réel peuvent être alloués même aux assurés qui ne sont pas des soutiens de famille.

4° L'indemnité mortuaire peut être portée à 40 fois le salaire moyen de la localité.

5° L'indemnité accordée en cas de décès de la femme ou de l'enfant d'un assuré peut être portée, pour la femme, aux 2/3, et pour l'enfant à 1/4, si l'assuré a appartenu à la caisse au moins pendant une durée ininterrompue de deux ans. L'article 21 de la loi d'empire, qui traite des augmentations facultatives de secours, cite pour la première fois cette indemnité, dont le caractère essentiellement gracieux au regard de la loi d'empire résulte évidemment de la place même que cette disposition occupe dans le texte de cette loi; le même article indique d'ailleurs la fraction 1/2 au lieu de la fraction 1/5 pour l'enfant, et la condition imposée par la loi saxonne (art. 11, § 5, *in fine*) relativement au service des deux années, ne figure pas dans la loi d'empire; c'est une conséquence du caractère facultatif que la loi d'empire a laissé à cette disposition.

L'augmentation des secours alloués par une caisse dans les limites qui viennent d'être indiquées, ne peut être décidée sans l'approbation des exploitations et l'homologation de l'autorité administrative.

Tout assuré a droit à un secours à dater du jour de son admission à la caisse. Sont d'ailleurs dispensés de tout droit d'entrée les nouveaux membres qui font constater : 1° qu'ils appartenaient déjà à une autre caisse; 2° qu'il ne s'est pas écoulé plus de treize semaines entre l'époque à laquelle ils ont quitté la première caisse et le jour où ils sont devenus membres de la seconde. Le droit

d'entrée ne doit jamais dépasser la cotisation de six semaines.

Les associés qui touchent, de la part d'une autre caisse, un secours en cas de maladie, ne peuvent recevoir de la caisse du charbonnage qu'un secours égal à la différence entre le salaire quotidien moyen et le secours qu'ils ont reçu de l'autre caisse.

Les statuts de la caisse peuvent décider que : 1° les membres qui ne déclarent pas être affiliés à une autre caisse seront, après récidive, exclus de l'association; 2° les membres qui sont tombés malades par leur faute ou qui ont usé de simulation seront privés de la totalité ou d'une partie des secours statutaires.

En principe, tout membre qui quitte l'association perd ses droits aux secours. Exception n'est faite (art. 31) qu'en faveur de ceux qui ont été membres de la caisse pendant deux années ininterrompues et qui satisfont aux conditions déterminées pour leur départ par la loi du 28 février 1882. Toutefois, plus généreuse que celle-ci, la loi de 1884 se contente de deux années de séjour à la caisse au lieu de cinq. Les membres qui abandonnent l'association dans de telles circonstances jouissent pendant un an du bénéfice de l'assurance aux quatre conditions suivantes : 1° ils ne doivent pas sortir du royaume de Saxe; 2° ils ne doivent pas se livrer à des occupations qui les conduiraient à s'affilier à une autre caisse; 3° ils doivent, dans la semaine qui suit leur départ, avertir l'administration de la caisse qu'ils désirent continuer à en faire partie : le paiement, dès la première échéance, du montant intégral des cotisations statuaires équivaut à une déclaration expresse; 4° le non-paiement des cotisations à deux échéances consécutives entraîne l'exclusion.

Enfin les associés reçoivent, en cas de chômage, le minimum des secours légaux pendant un temps égal à celui

qu'ils ont passé dans l'association, sans que ce temps puisse excéder trois semaines.

4° *Organisation administrative.* — La caisse peut, sous son propre nom, acquérir des droits, contracter, ester en justice. La seule garantie des créanciers est le capital de la caisse.

Chaque caisse doit avoir des statuts rédigés par l'exploitant et par des représentants qu'élisent les associés. La loi prévoyait d'ailleurs que, dans le cas où la nouvelle caisse s'étendrait à la même circonscription que l'ancienne, les représentants déjà nommés par les associés seraient maintenus dans leurs fonctions.

Chaque caisse a, à sa tête (art. 33), un comité directeur, dont un tiers se compose d'exploitants et les deux autres tiers de délégués des associés; ces délégués sont élus par une assemblée générale dont font partie, comme électeurs et éligibles, tous les associés majeurs jouissant de leurs droits civils et politiques. On ne peut récuser le mandat que pour les motifs qui permettent de décliner les fonctions de tuteur. Le comité représente la caisse en justice et extrajudiciairement; il s'occupe de l'administration courante. Lorsque le ou les charbonnages affiliés à la caisse appartiennent au même propriétaire, son représentant au sein du comité est de droit président de celui-ci. Sinon les représentants des propriétaires nomment l'un d'entre eux pour remplir les fonctions de président.

Les affaires qui ne sont dévolues au comité, ni par la loi ni par les statuts, rentrent dans la compétence de l'assemblée générale. Celle-ci doit, en tous cas, retenir (art. 36) trois catégories d'affaires, savoir : 1° approbation et vérification du compte annuel; 2° réclamations contre les membres du comité pour faits de gestion; 3° modification des statuts. Aux termes de l'article 37 de la loi d'Empire, cette assemblée devait se composer de

délégués des associés, et non des associés en personne, lorsque la caisse compterait plus de 500 membres : la loi saxonne a substitué le chiffre de 100 à celui de 500. Les propriétaires du ou des charbonnages affiliés à la caisse ont droit à être représentés dans le comité et dans l'assemblée générale par un nombre de délégués dont l'ensemble n'aurait pas plus du tiers de l'ensemble des voix.

L'article 51 de la loi saxonne prévoit la possibilité d'une association entre plusieurs caisses dans l'un des trois buts suivants :

1° Pour n'avoir qu'un seul comptable et un seul caissier;

2° Pour faire des contrats communs avec les médecins et les pharmaciens;

3° Pour construire et entretenir, en commun, des établissements hospitaliers. C'est là un excellent moyen d'assurer l'installation d'hôpitaux analogues à nos fondations internationales appelées à rendre de si grands services (*).

Une association ne peut, d'ailleurs, se fonder entre plusieurs caisses que sur l'avis conforme des assemblées générales de chacune d'elles. C'est une quatrième attribution de cet organe à ajouter aux trois autres déjà mentionnées.

L'article 51 impose simplement à cette association de caisses l'obligation d'avoir un comité et un statut soumis aux mêmes prescriptions que ceux de chaque caisse.

Les statuts devaient contenir les indications suivantes, qu'il importe de mentionner ici parce qu'elles sont plus détaillées que les dispositions de la loi d'Empire :

(*) Voir l'*Hospice rural*, par MM. le Dr Dumesnil et Cheysson (numéro du 28 avril 1886 du *Bulletin de la Société de médecine publique et d'hygiène*).

1° Le nom et le siège de la caisse;

2° Les classes de personnes soumises à l'obligation de l'assurance;

3° Les conditions de leur admission ou démission;

4° Le montant, le lieu et l'époque du paiement des contributions;

5° La nature et l'étendue des secours, ainsi que l'époque et le lieu de leur distribution;

6° La composition, l'élection et la convocation du comité directeur de la caisse, le mode de délibération de cet organe, le montant des indemnités allouées aux délégués chargés de l'administration courante et siégeant aux tribunaux arbitraux dont il sera question plus loin;

7° La composition et la convocation de l'assemblée générale, son mode de délibération et ses attributions;

8° L'organisation administrative de la caisse;

9° L'établissement et la vérification du compte annuel;

10° Le système adopté pour les publications obligatoires relatives à la caisse;

11° Les modifications à apporter aux statuts.

Celles-ci doivent être, comme le texte originaire, approuvées par l'administration supérieure. L'uniformisation des statuts fut facilitée par l'Office Impérial qui, le 14 mars 1884, soumit à l'homologation ministérielle des projets de statuts relatifs aux différentes natures de caisses. Je donnerai plus loin l'analyse des statuts de la caisse d'Oberhohndorf; je me contenterai de signaler ici que les modèles proposés par l'Office Impérial n'étaient que des types recommandés et non imposés aux caisses minières.

Les cas de dissolution prévus par la loi saxonne diffèrent de ceux qu'a cités la loi d'Empire; cette dissolution a lieu aux termes de la loi du 2 avril 1884 :

1° Si la ou les mines pour lesquelles elle a été fondée cessent leur exploitation (art. 47);

2° Si le nombre des associés reste d'une façon permanente inférieur à 100 (art. 46); l'article 47 de la loi d'Empire avait fixé le chiffre de 50.

5° *Organisation financière.* — La transformation des anciennes caisses en caisses nouvelles exigeait l'application de mesures de transition qui ne sont indiquées que dans l'un des derniers articles de la loi, mais qui trouvent ici plus naturellement leur place. La loi distinguait : 1° les caisses qui ne secouraient que les malades; 2° les caisses qui fournissaient à la fois des secours en cas de maladie et des pensions.

a) Le paragraphe 1er de l'article 88 réglait le cas des premières; il déterminait l'emploi de l'avoir net des anciennes caisses, calculé après soustraction des sommes dues par ces caisses; il distinguait les trois hypothèses suivantes :

Ou bien le ressort de la nouvelle caisse était le même que celui de l'ancienne;

Ou bien l'ancienne caisse était remplacée par plusieurs caisses;

Ou bien la nouvelle caisse résultait de la réunion de plusieurs caisses anciennes.

Dans le premier cas, le capital de l'ancienne caisse passait à la nouvelle. — Dans le second cas, il se partageait entre les nouvelles caisses, proportionnellement au nombre des membres de chacune d'elles qui avaient appartenu à l'ancienne. — Dans le troisième cas, on devait, pour chaque caisse, calculer le quotient du capital par le nombre des associés et appliquer à la nouvelle caisse le plus petit des quotients ainsi obtenus; en le multipliant par le nombre total des nouveaux associés, on obtenait un produit, que l'on prenait comme capital de la nouvelle caisse et qui, retranché de la somme des ca-

pitaux de chaque caisse, donnait une différence, dont les comités des diverses caisses devaient faire usage sous la surveillance de l'autorité administrative.

b) Quant aux caisses de la seconde catégorie (celles qui fournissaient à la fois des secours de maladie et des pensions), leur avoir net passait, d'après le paragraphe 2 du même article 88, à la caisse de pensions.

Un délai de trois jours est accordé aux exploitants pour faire inscrire à la caisse un nouvel associé, et le même délai leur est concédé pour faire rayer un membre qui quitte leur service. Les cotisations (art. 18) sont fixées en centièmes du salaire quotidien moyen, et cela de telle sorte qu'en y ajoutant les autres recettes éventuelles de la caisse, elles suffisent à couvrir les dépenses légales ou statutaires.

Les statuts peuvent prendre pour bases, au lieu du salaire quotidien, le salaire réel, tant qu'il ne dépasse pas quatre marcs.

Les cotisations des exploitants doivent être, au moins, la moitié de celles des ouvriers.

La loi (art. 20) donne aux exploitants le droit de retenir sur le salaire les cotisations arriérées des ouvriers, et leur impose (art. 21) le devoir de couvrir, de leurs propres deniers, les frais résultant des dépenses courantes. Si les cotisations, portées à 3,5 p. 100 du salaire (la loi d'Empire fixait le chiffre de 3 p. 100), ne suffisent pas à solder les dépenses, les exploitants doivent y subvenir.

Ces cotisations sont recouvrables de la même façon que les impôts communaux.

La caisse doit avoir un fond de réserve correspondant aux dépenses d'une année ordinaire; le montant, ainsi déterminé, peut en être augmenté par une disposition expresse des statuts. Tant que le minimum légal ou statutaire du fonds de réserve n'est pas atteint, le dixième

des cotisations annuelles doit être consacré à l'alimentation de ce fonds. Si les dépenses excèdent les recettes, on doit recourir à une élévation des cotisations ou à une diminution des secours dans les limites imposées par la loi. Dans le cas contraire, et si le fonds de réserve a atteint le double de la valeur minima qui lui est imposée par la loi ou les statuts, on doit procéder à une diminution du taux des cotisations ou à une augmentation des allocations. Ces modifications ne peuvent être apportées aux statuts que sous la surveillance de l'autorité administrative, qui, au besoin, les impose d'office. L'emploi des fonds disponibles ne doit être exécuté que suivant les règles de celui des fonds de mineurs. En cas de dissolution de la caisse, dans l'hypothèse de l'article 46, on emploie le fonds de réserve : 1° à solder les dépenses déjà faites; 2° à alimenter la caisse qui recueille les membres de la caisse dissoute; dans l'hypothèse prévue par l'article 47 : 1° à payer les dettes de la caisse; 2° à faire face aux dépenses courantes (une somme déterminée est consacrée à cet objet); 3° à alimenter la caisse de pensions dont les membres de l'ancienne caisse font partie (dans le cas où ces membres ne font partie d'aucune caisse de pensions, l'emploi des fonds en question est réglé par le comité sous réserve de l'approbation de l'autorité administrative).

Il convient de signaler en terminant que les frais d'administration de caisses associées sont supportés par chacune d'elles au prorata du nombre de ses membres.

6° *Surveillance administrative.* — La surveillance administrative est confiée au Bergamt (*) : elle porte sur les deux ordres de questions suivants :

(*) L'administration des mines, organisée en Saxe par l'ordonnance du ministre des finances du 1er décembre 1868, est constituée par un Bergamt, conseil de plusieurs membres, qui, bien que siégant à Freiberg, étend, à titre d'agent direct, son

A. *Questions administratives proprement dites.* — 1° Le Bergamt peut prendre connaissance de toutes les délibérations des organes de la caisse et procéder à l'inspection de ses livres ;

2° Il peut demander la convocation de ses organes ;

3° Il dirige les débats des séances qu'il a provoquées;

4° Tant que le comité et l'assemblée générale ne sont pas constitués ou que les organes de la caisse refusent d'exécuter leurs obligations, il peut remplir par lui-même leurs fonctions ou les confier à des délégués qu'il désigne et qui sont rétribués sur les fonds de la caisse.

B. *Questions financières.* — 1° Il fixe les règles sur la forme et le mode de comptabilité ; il reçoit d'ailleurs de la caisse, dans un délai déterminé, les listes d'associés, la statistique des cas de maladie et de décès, le montant des versements et des secours et un arrêté de compte ;

2° Il fixe, entre les limites de 8 à 20 p. 100, le taux des intérêts à réclamer aux administrateurs de la caisse (membres du comité, caissiers et comptables) pour les sommes qu'ils auraient prélevées sur les fonds disponibles de la caisse, en vue de les employer à leur usage personnel ;

3° Il fait valoir, au nom de la caisse, les réclamations que celle-ci formule contre les exploitants ;

4° Il est juge de l'impossibilité du fonctionnement des caisses dont le nombre des membres est tombé au-dessous de 100 ;

5° Il veille à l'emploi des fonds des caisses dissoutes (art. 47);

---

action sur tout le royaume; celui-ci est divisé en inspections (Berginspectionsbezirke); à la tête de chacune d'elles est placée un Berginspector qui joue à peu près le rôle des ingénieurs des mines en France.

6° Il approuve les statuts des associations de caisses constituées d'après l'article 51.

Les sanctions et amendes sont celles que la loi d'empire a édictées.

Titre B. — Caisses de pensions.

1° *Étendue de l'assurance.* — Le titre B (art. 52 à 65) donne à ce genre d'assurance le même domaine qu'à l'assurance contre la maladie. Les statuts de chaque caisse peuvent cependant exclure les ouvrières.

2° *Fondation d'une caisse.*— Aux termes de l'article 52 : 1° les caisses qui, avant 1884, servaient déjà des pensions devaient subsister à l'état de caisses de pensions ; 2° elles ne pouvaient se dissoudre spontanément qu'à condition de se réunir à une autre caisse. La seule exception était relative au cas où le nombre des associés était inférieur à 100 ; il fallait alors (art. 53) une autorisation administrative pour permettre à la caisse de subsister, et l'administration devait la refuser : 1° aux caisses dont la situation financière inspirait des inquiétudes ; 2° à celles qui n'accordaient de secours qu'à une classe restreinte de membres, par exemple à ceux qui étaient devenus invalides par suite d'accident, et non par suite de maladie ou de vieillesse ; 3° à celles qui ne servaient une pension qu'aux veuves et orphelins des blessés et non aux veuves et orphelins des malades ou impotents.

D'autre part, une nouvelle caisse ne devait être fondée que si le nombre des associés d'une caisse préexistante était supérieur à 500.

3° *Secours.* — La loi, en présence de la diversité des caisses préexistantes, dut se borner à soumettre la rédaction de leurs statuts à la nécessité de l'homologation administrative, en indiquant quelques prescriptions générales. C'est ainsi que l'article 57 décide que, pour les caisses qui allouent une pension proportionnelle à la durée du service, on imputera au compte de cette durée le

nombre d'années que l'associé aura passées dans des exploitations étrangères à cette caisse. Les articles 60 à 65 relatifs au départ ou au renvoi d'un ouvrier ou d'un employé, ne reproduisent en fait que les dispositions de la loi du 28 février 1882, et c'est uniquement dans le but d'éviter toute confusion que cette loi n'est pas citée dans ces textes : l'article 91 de la loi de 1884 l'abroge expressément; cette abrogation a pour effet de supprimer son application aux caisses de maladie, et elle ne subsiste pour les caisses de pensions que grâce aux articles 60 et suivants qui la reproduisent sans la mentionner. L'article 62 de la loi de 1884 n'est qu'une application de la loi de 1882 lorsqu'il dispose que, dans le cas où la pension est maintenue à l'ancien associé [c'est le deuxième des cas prévus par la loi (voir ci-dessus p. 606)], la pension qu'il recevra sera égale à la moitié de la valeur qu'elle aurait normalement atteinte pour le nombre d'années au bout duquel il a quitté le service. En effet, la contribution des patrons étant égale à celles des ouvriers, on voit que le rapport caractéristique calculé comme il a été dit plus haut (voir p. 606) n'est autre que 1/2.

4° *Organisation administrative.* — Les questions qui concernent l'organisation administrative des caisses de pensions sont réglées, comme pour les caisses de secours, à l'exception des différences suivantes :

1° Le comité directeur (art. 59) est composé, moitié de représentants des exploitants, moitié de délégués élus par l'assemblée générale des associés;

2° L'article 67 autorise la rédaction d'un statut commun à la caisse des pensions et à la caisse de maladie dans le cas où ces deux caisses s'appliquent aux mêmes charbonnages; elles peuvent avoir la même administration. Mais il faut: (*a*) ou bien que les patrons versent une contribution égale au montant de celles des associés; (*b*) ou bien qu'ils se contentent, pour la caisse des pensions, du nombre de représentants que la loi leur attribue pour la caisse de maladie; (*c*) ou bien, enfin, qu'une convention spéciale ait lieu entre les patrons et les ouvriers.

5° *Organisation financière.* — Les seules différences à constater entre l'organisation financière des caisses de pensions et celle des caisses de maladie sont les suivantes :

1° L'avoir net des caisses préexistantes passait en entier (art. 88) aux caisses de pensions qui étaient autorisées à subsister;

2° La contribution des patrons devait être égale à la somme de celles des ouvriers.

6° *Surveillance administrative.* — Il suffit de renvoyer à ce qui a été dit plus haut au sujet des caisses de maladie.

Titre C. — Dispositions communes aux caisses de maladie et aux caisses de pensions.

Le titre C (art. 66 à 87) ne traite (à part l'art. 67 analysé plus haut) que des questions de procédure relatives: 1° aux recours contre les décisions du Bergamt; 2° aux contestations survenues entre exploitants et ouvriers à propos des cotisations et des secours.

I. *Recours contre les décisions du Bergamt.* — Les recours contre les décisions du Bergamt (art. 66) sont portés devant le conseil (Kreishauptmannschaft) siégeant à Dresde, dans un délai de quinze jours à dater de la décision attaquée. Ce conseil juge en dernier ressort après avoir entendu l'expert qui lui est attaché spécialement pour les questions minières.

II. *Contestations entre exploitants et ouvriers.* — Les contestations entre exploitants et ouvriers sont portées devant des tribunaux arbitraux. Ces organes, institués spécialement pour la Saxe, sont distincts de ceux que la loi du 6 juillet 1884 relative aux accidents devait créer

pour tout l'Empire. Il est donc intéressant d'en étudier l'organisation et la procédure. La loi saxonne du 2 avril 1884 laissait (art. 68) au ministre des finances (dont dépend en Saxe l'administration des mines) le soin d'en fixer le nombre et de déterminer le ressort de chacun d'eux. L'ordonnance du 20 octobre 1884 en créa cinq; et ces cinq ressorts ne coïncident pas avec les cinq inspections minérales que la circulaire du 18 septembre 1884, entrée en vigueur le 1er octobre 1884, avait établies en Saxe. La correspondance des inspections et des ressorts est indiquée dans le tableau suivant :

DIVISION GÉOLOGIQUE	INSPECTION minérale de	SIÈGE du tribunal arbitral
Bassin métallique de Marienberg . .	Freiberg I.	Freiberg.
— de Freiberg Nord.		
Bassin métallique de Freiberg Sud. .	Freiberg II.	
— d'Altenberg		
Bassin houiller de Weisseritz.	Dresde.	
Lignites de Bautzen.		Zittau.
Bassin houiller de Chemnitz.	Chemnitz.	Lugau.
Lignites de Leipzig.		Grimma.
Bassin houiller de Zwickau.	Zwickau.	Zwickau.

1° *Composition du tribunal.* — Chaque tribunal arbitral se compose (art. 69) d'un président permanent nommé par le Bergamt, et de quatre assesseurs désignés pour chaque affaire, deux par les exploitants et deux par les membres de la caisse. Dans le comité de chaque caisse, les représentants des exploitants nomment au scrutin secret, pour une période de quatre années, deux d'entre eux à titre d'assesseurs; les représentants des assurés en font autant. A chaque assesseur on élit un suppléant. Dans le cas où un assesseur ou un suppléant sort de charge, on

procède à une élection complémentaire, le mandat du nouvel élu devant expirer à l'époque fixée pour celui du membre qu'il remplace. L'ordre dans lequel les assesseurs doivent prendre part aux séances est fixé par le sort en séance publique du Bergamt. Les conditions d'électorat, d'éligibilité et de récusation du mandat sont les mêmes que celles qui sont imposées aux membres des comités de caisses de malades. Les représentants des exploitants n'ont droit à aucune rémunération : s'ils se refusent à remplir leurs fonctions, ils sont passibles d'une amende de 500 marcs qui est versée à la caisse de pensions ou de malades (art. 74). Les assesseurs, quels qu'ils soient, ne peuvent d'ailleurs se dispenser d'assister à l'audience que pour un motif d'impossibilité absolue, dénoncé, autant que possible, deux jours à l'avance au président (art. 76). Une amende de 1 à 150 marcs peut être infligée par le président aux assesseurs qui ne pourraient produire une excuse valable de leur absence. Tout assesseur qui est ou partie au procès, ou parent en ligne directe d'une des parties, ou parent en ligne collatérale jusqu'au troisième degré, ou allié jusqu'au deuxième degré, même après la dissolution du mariage dont résulte cette alliance, tout assesseur qui est représentant, employé ou ouvrier de l'exploitant engagé au procès, ne peut siéger dans l'affaire.

2° *Introduction de la demande.* — L'ordonnance du 20 octobre 1884 règle la procédure d'après laquelle la demande doit être introduite : elle est tantôt écrite, tantôt orale, et, dans ce dernier cas, elle donne lieu à un procès-verbal. Elle peut être reçue, soit par le Bergamt, soit par les autorités minières ou locales du district dans lequel travaille ou réside le plaignant. Ces autorités doivent la transmettre sans délai au Bergamt (art. 2 de l'ordonnance du 20 octobre 1884).

3° *Assignation.* — Aux termes de l'article 75 de la loi,

le président du tribunal arbitral doit inscrire l'affaire à une date aussi prochaine que possible, dont il donne avis aux assesseurs appelés à ce jour par leur tour de rôle ainsi qu'aux parties, en rappelant les dispositions de l'article 80 relatives aux plaideurs défaillants ou téméraires. Ce texte fait supporter au demandeur les frais du procès sans préjudice des dommages-intérêts que le défendeur, venu au jour fixé, peut lui réclamer pour perte de temps et qui sont réglés dans le tarif du Code de procédure relatif aux indemnités dues aux témoins. Il en est de même si le demandeur retire sa plainte avant la date fixée pour l'audience. Le délai de comparution est de un jour franc à dater de la remise de l'assignation.

4° *Conciliation.* — Le président peut recourir à un préliminaire de conciliation entre les parties, sans convoquer les assesseurs. Les plaideurs appelés qui feraient défaut sont passibles d'une amende de 5 à 20 marcs.

5° *Jugement.* — Les débats commencent une heure au plus après celle qui a été fixée dans l'assignation (art. 77). Le débat est oral et public. Le huis clos ne peut être ordonné que dans l'intérêt de l'ordre public ou des mœurs. Le tribunal a le droit d'entendre des témoins et des experts (art. 79). Si le défendeur fait défaut, le tribunal adjuge au demandeur ses conclusions si elles sont justes et bien vérifiées (art. 81). Le cas du défaut du demandeur a été examiné plus haut.

Après la clôture des débats (art. 87), il doit être immédiatement statué tant sur le fond de l'affaire que sur les frais du procès. Cette décision, prise à la majorité des voix, doit être immédiatement communiquée aux parties (art. 82) ; elle est définitive et immédiatement exécutoire, même contre les parties défaillantes. Un procès-verbal des débats et de la décision doit être dressé.

Les questions préjudicielles, telles que les questions d'État soulevées au sujet des veuves et des orphelins,

sont renvoyées à la juridiction de droit commun. Pour empêcher que la prescription ne coure contre la demande, il doit être donné avis au tribunal arbitral (dans les six semaines de l'introduction de la demande devant ce dernier) de l'introduction de la demande relative à la question préjudicielle.

6° *Frais.* — Les jugements sont rendus sans frais (art. 87). Il n'est point perçu de droit de timbre pour les pièces à fournir. Les seuls dépens sont : 1° ceux qui sont imposés en vertu de l'article 80, en cas de désistement ou de défaut du demandeur ; 2° ceux qui sont dus aux témoins et aux experts et qui sont réglés par l'acte de transaction ou par le jugement (art. 86). Les dépens sont perçus comme les taxes en matière administrative (loi du 7 mars 1879).

Période comprise entre la loi du 2 avril 1884 et la loi du 6 juillet 1884. — Les caisses minières s'empressèrent de se conformer à la nouvelle loi dont l'article 13 les menaçait d'une amende de 500 marcs, si elles n'avaient pas soumis leurs statuts à l'approbation administrative avant le 31 août 1884. Toutefois les caisses n'eurent pas en général le bonheur de voir leurs statuts immédiatement acceptés par le Bergamt, et il fallut un échange de rectifications et de propositions pour arriver à une entente définitive. C'est ainsi que les statuts de la caisse d'Oberhohndorf datent du 22 novembre 1884 et l'approbation officielle du 26 du même mois ; ce délai de quatre jours eût été évidemment insuffisant pour l'examen détaillé de ces statuts si une étude approfondie n'en avait pas été faite au préalable.

Quant au groupement des caisses, on sentit immédiatement que le fonctionnement des caisses de pensions serait impossible, si le nombre de leurs membres était peu considérable, et l'on comprit dès le début que la

réunion des caisses préexistantes, inutile pour les caisses de maladie, s'imposait dans une certaine mesure pour celles de pensions. C'est ainsi qu'à quarante-cinq caisses de malades correspondent vingt-deux caisses de pensions.

Statuts des caisses d'Oberhohndorf modifiés le 22 novembre 1884. — Ce qui différentie essentiellement ces statuts de ceux qui ont été analysés plus haut, c'est la distinction imposée par la loi entre la caisse de maladie et la caisse de pensions.

A. **Caisse de maladie d'Oberhohndorf.**

1° *Organisation administrative.* — A l'ancienne distinction entre les membres ordinaires et extraordinaires était substituée, conformément à la loi, la distinction entre les assurés soumis à l'obligation de l'assurance et ceux pour lesquels elle était facultative. La condition d'admission de ces derniers est la présentation d'un certificat de bonne santé délivré par le médecin de la caisse. La même distinction s'applique au cas où les membres quittent la caisse; ceux de la première catégorie sont soumis aux dispositions, indiquées plus haut, de la loi du 2 avril 1884 (*); ceux de la deuxième perdent tout droit aux secours.

Profitant de la liberté laissée par la loi (art. 28), les statuts prononcent l'exclusion, en cas de récidive, des

(*) Les statuts se bornent à régler la situation financière des membres qui abandonnent le charbonnage dans un des cas où la loi leur permet de rester membres de la caisse. Ils doivent payer la cotisation de 3 p. 100 (égale à la somme de la contribution de l'exploitant et de celle des membres de la classe à laquelle ils ont appartenu) à titre d'acompte la première fois dans la semaine qui suit leur départ, et cela pour le mois courant, puis au commencement de chacun des trois mois suivants pour le mois courant. Les secours auxquels ils ont droit sont : 1° tant qu'ils restent dans une localité où la caisse distribue des secours en nature, la moitié du salaire moyen; 2° dans le cas contraire, les trois quarts de ce salaire.

membres qui auraient trompé l'administration de la caisse, et refusent les secours à ceux qui se sont rendus malades à dessein ou le sont devenus par suite de coups volontaires ou par ivrognerie.

2° *Organisation financière.* — Les ressources et les dépenses de la caisse sont réglées de la manière suivante :

NUMÉROS de la classe	CATÉGORIE D'OUVRIERS	SALAIRE quotidien moyen pris pour base
		marcs
I	Employés ayant 1.200 marcs de traitement annuel et au-dessus.	4,00
II	Surveillants, maîtres-boiseurs, contremaîtres.	3,40
III	Boiseurs et accrocheurs	3,20
IV	Premiers piqueurs, maçons du fond, forgerons.	2,90
V	Piqueurs ordinaires, machinistes au jour, chauffeurs. . . .	2,70
VI	Rouleurs recevant au moins 1M,80, lampistes	2,30
VII	— moins de 1 ,80 et ouvriers divers du jour.	2,00
VIII	Jeunes ouvriers et femmes.	1,30

OBSERVATIONS. — Les employés qui touchent un traitement inférieur à 1.200 marcs par an et les demi-invalides doivent être rattachés à la classe dont le salaire est le plus voisin du leur.

I. *Ressources.* — La valeur des cotisations est fixée d'après la valeur moyenne du salaire quotidien. Le comité de la caisse la règle tous les trois ans, sous la surveillance de l'administration, pour chacune des classes entre lesquelles sont répartis les ouvriers et employés. Ces classes, au nombre de huit, sont déterminées par l'échelle de salaires suivante :

La cotisation de l'assuré est 3/2 p. 100 du salaire de base de la classe à laquelle il appartient; la contribution des patrons est égale à celle des assurés : le total des cotisations s'élève donc à 3 p. 100 du salaire.

II. *Dépenses.* — Les dépenses sont relatives à trois chefs distincts : maladie, couches, funérailles.

1° *Maladie.* — Sous le nom de maladie sont comprises les blessures. L'article des statuts qui détermine le mon-

tant du secours en cas de maladie reproduit la disposition de l'article 5 de la loi d'empire sur les accidents, du 6 juillet 1884 : « Les personnes blessées dans l'exploitation à qui s'appliqueront les dispositions de la loi du 6 juillet 1884 recevront, depuis le commencement de la cinquième semaine jusqu'à l'expiration de la treizième, un secours pécuniaire égal aux 2/3 du salaire journalier moyen de la classe à laquelle appartient le blessé. La différence entre ces 2/3 et le secours en cas de maladie fixé par les statuts sera remboursé par l'exploitant à la caisse des malades ». Cette disposition mérite d'être mentionnée ici, pour expliquer comment on a pu éviter une modification ultérieure des statuts lorsque la loi du 6 juillet 1884 est entrée en vigueur dans son ensemble. Il ne faut pas oublier en effet que l'article 3 et dernier de cette loi déterminait les titres qui devaient être applicables dès le 6 juillet 1884. Or le titre I, qui contient l'article 5 en question, n'y figurait pas ; il ne devait donc entrer en vigueur que du jour où les statuts de la corporation minière furent approuvés, c'est-à-dire le 27 juin 1885, soit sept mois après la publication des statuts de la caisse d'Oberhohndorf.

Les autres dispositions sont la reproduction de la loi du 2 avril 1884.

2° *Couches.* — Les secours de ce genre sont fixés conformément à cette dernière loi.

3° *Funérailles.* — Au tarif de l'ancienne caisse on a substitué le suivant :

		marcs
Jeune associé		24
Associé ordinaire		45
Veuve d'un associé non assuré	si l'associé avait plus de 2 ans de service	30
	— n'avait pas —	22
Enfant d'un associé décédé avant l'âge de 14 ans révolus et non assuré	s'il avait plus de 2 ans de service	10
	— n'avait pas —	9

B. **Caisse de pensions.**

1° *Organisation administrative.* — La caisse de pensions comprend deux sortes de membres : les membres payants ou actifs et les membres pensionnés ou invalides. A un autre point de vue, on distingue les membres volontaires de ceux qui sont soumis à l'obligation de l'assurance ; les conditions sont les mêmes que pour la caisse de maladie.

2° *Organisation financière.* — Les ressources et les dépenses de la caisse sont réglées comme suit :

I. *Ressources.* — Ces ressources se composent des versements des assurés et de ceux du charbonnage.

1° Les versements des assurés comprennent :

a) Un droit d'admission qui, pour les ouvriers, s'élève au triple du salaire journalier moyen, et, pour les employés appointés, à 1/100 de leur traitement annuel ;

b) Une cotisation de 2 p. 100 du salaire.

2° Les versements des charbonnages sont égaux au montant total de ceux des assurés.

Les classes, dont la détermination est basée sur le salaire journalier moyen, sont réglées comme pour la caisse de maladie, à cette différence près que la classe I est divisée en cinq autres.

NUMÉROS de la classe	CATÉGORIE D'EMPLOYÉS	SALAIRE quotidien moyen pris pour base
		marcs
I *a*	Employés ayant 2.000 marcs de traitement annuel et au-dessus.	6 2/3
I *b*	— de 1.800 à 2.000 marcs de traitement annuel.	6 1/3
I *c*	— de 1.600 à 1.800 — —	5 2/3
I *d*	— de 1.400 à 1.600 — —	5
I *e*	— de 1.200 à 1.400 — —	4 1/3

II. *Dépenses.* — Les dépenses sont relatives aux cinq chefs suivants : invalides, veuves, orphelins, funérailles, secours extraordinaires.

1° *Invalides.* — Les pensions aux invalides sont

réglées comme dans les anciens statuts; mais la définition de l'invalidité est modifiée. Toute personne malade depuis plus de treize semaines est déclaré invalide. Il en est de même de toute personne que le médecin déclare incapable de travailler. Les demi-invalides ont droit à la moitié ou au tiers de la pension d'invalidité totale. Comme d'ailleurs la base du calcul de la pension est le nombre d'années de service, l'article 57 de la loi (voir page 621, au bas) trouve ici son application. Les invalides qui peuvent se procurer, par d'autres travaux, des moyens de subsistance, voient leur pension diminuée de moitié. Les causes d'exclusion indiquées à propos de la caisse de maladie s'appliquent à la caisse des pensions; il convient d'y ajouter l'absence aux visites médicales, exécutées au moins tous les six mois par le médecin du charbonnage assisté d'un autre médecin qui est désigné par l'administration de la caisse.

2° *Veuves.* — Le tarif des anciens statuts a été conservé pour les veuves, mais à la condition qu'elles aient moins de trente-cinq ans et qu'elles n'aient pas d'enfants. Le secours est réduit à 1/3 de sa valeur normale, lorsque le mari, âgé de cinquante ans au plus lors du mariage, avait plus de vingt-cinq ans que sa femme, ou lorsque, âgé de plus de cinquante ans, il avait plus de vingt ans que sa femme. Le nombre des cas d'exclusion a été réduit. N'ont pas droit à la pension :

a) Les veuves dont le mari était déjà invalide à l'époque du mariage;

b) Celles qui étaient séparées de corps lors du décès du mari.

Les veuves qui se remariaient recevaient un secours égal au triple de leur pension journalière.

3° *Orphelins.* — Les conditions à remplir étaient les mêmes que dans les anciens statuts. Le tarif était seul modifié.

AGE DE L'ORPHELIN	FRACTION de la pension paternelle à laquelle s'élève la pension de l'orphelin	MINIMUM de la pension par semaine
		marcs
Enfant de moins de 6 ans révolus. . .	1/10	0,40
— de plus — . . .	15/100	0,60

Si la mère est morte, les secours sont doublés. Si elle vit encore, la somme de la pension de veuve et de la pension d'orphelin ne doit pas être supérieure à celle de l'invalide décédé; on réduit au besoin les deux secours dans le même rapport. L'orphelin continue d'ailleurs à être pensionné si la mère se remarie. Sont déchus de ce droit :

a) Les enfants adoptifs;

b) Les enfants nés d'un mariage qui ne donne à la mère aucun droit à la pension de veuve;

c) Les enfants nés d'un père invalide.

4° *Funérailles.* — Les circonstances dans lesquelles la caisse de pensions alloue des secours d'enterrement sont distincts et complémentaires de celles qui donnent lieu aux allocations de la caisse de maladie :

	marcs
Invalide.	45
Épouse pensionnée d'un invalide.	30
Veuve non assurée d'un invalide	30
Enfant non assuré d'un invalide, décédé avant l'âge de 14 ans révolus.	10

Les membres qui quittent la caisse reçoivent, à titre de restitution, le montant des versements qu'ils ont effectués. Pour ceux qui la quitteraient avant le 1er décembre 1884 (date d'entrée en vigueur des nouveaux statuts), on prenait pour base de calcul de la somme à restituer par année de service : 35M,14 pour un employé et 16M,6 pour un ouvrier. Si l'assuré passait à une autre

caisse de pensions, on devait remettre à celle-ci le montant des cotisations versées à la caisse d'Oberhohndorf, en adoptant, pour la période antérieure au 1er décembre 1884, le taux annuel de 52M,70 par employé et de 24M,8 par ouvrier.

C. **Organes communs aux deux caisses.** — Conformément à la loi, les deux caisses ont les mêmes organes : même comité, même assemblée générale, et même caissier.

1° *Comité.* — Le comité se compose de huit membres : quatre représentant les patrons et quatre délégués ouvriers ; ils n'ont droit à aucune rétribution. Ceux d'entre eux qui siègent comme assesseurs au tribunal arbitral ont seuls droit à une indemnité pour déplacement et perte de salaire. Le comité peut valablement délibérer quand la moitié de ses membres sont présents ; les décisions sont prises à la majorité absolue : le président, qui est le directeur de l'exploitation, a voix prépondérante en cas de partage. Le procès-verbal de chaque délibération est signé du président et de deux membres. Le comité règle toutes les questions relatives à l'administration de la caisse à l'exception des quatre attributions légales de l'assemblée générale. Il nomme le caissier, les « anciens », les médecins et exécute les décisions de l'assemblée générale. Ses autres attributions sont définies par la loi. Le président du comité convoque, en cas de besoin, les membres du comité s'ils n'ont pas réglé eux-mêmes l'époque de leurs séances. Il est obligé de les réunir, à la requête d'un tiers des membres, et cela dans le délai d'une semaine. Il inflige, au profit de la caisse de pensions, une amende de 3 marcs au maximum aux membres qui se dispensent, sans excuse valable, d'assister aux séances ; enfin il est chargé de réclamer les cotisations en retard.

2° *Assemblées générales.* — L'assemblée générale se compose : 1° de l'exploitant ; 2° de délégués de chaque

classe d'assurés, à raison de un délégué pour trente membres. Chaque délégué a une voix ; l'exploitant en a autant que l'ensemble des délégués.

Les statuts définissent, en vertu d'une délégation, la procédure des élections à l'assemblée générale. Sont électeurs et éligibles tous les associés majeurs jouissant de leurs droits civiques. Les assurés qui, après avoir quitté le charbonnage, restent membres de la caisse de maladie, ne sont ni électeurs ni éligibles. Les élections ont lieu au siège de l'association d'Oberhohndorf sous la direction du comité. L'époque et le lieu en sont fixés, au plus tard huit jours d'avance, avec désignation du nombre de délégués à élire par classe d'assurés et indication de la durée du mandat. La liste des électeurs est en même temps publiée ; elle ne peut être modifiée que jusqu'à la veille de l'élection ; elle est arrêtée définitivement par le comité. Le droit de voter est essentiellement personnel. Les élections ont lieu au scrutin secret, ou, s'il ne s'élève aucune opposition, par acclamation. La durée du mandat est de quatre années. Le renouvellement de l'assemblée a lieu par moitié tous les deux ans dans un ordre primitivement réglé par le sort. Les délégués sortants sont rééligibles. Dans le cas où la moitié des sièges relatifs à une classe d'assurés devient vacante, la classe en question procède à des élections complémentaires.

L'assemblée est convoquée au moins huit jours d'avance par le comité. Une réunion annuelle a lieu, au plus tard en juillet, pour vérification du compte annuel. Des réunions extraordinaires peuvent être provoquées dans un délai de quatre semaines soit par le quart des membres de l'assemblée générale, soit par le dixième des associés, soit par la moitié des membres du comité, soit dans le cas où plus de deux sièges de délégués ouvriers se trouvent vacants dans le comité.

Aucune condition de nombre n'est imposée pour la va-

labilité des délibérations de l'assemblée. Les décisions y sont prises à la majorité relative. Le président, qui est celui du comité, a voix prépondérante en cas de partage, ce qui assure à l'exploitant le dernier mot dans tous les cas.

Les attributions de l'assemblée sont celles qui ont été définies par la loi.

3° *Caissier.* — Le caissier ne peut pas être un associé, il est assisté d' « anciens » qui servent d'intermédiaires entre les assurés et le comité; ces « anciens » veillent à l'observation des statuts; ils visitent les malades et dénoncent au président toute infraction aux prescriptions statutaires. Nommés pour quatre ans par le comité qui les choisit au sein de l'association, ils sont affectés chacun à une circonscription définie par le comité et reçoivent une indemnité annuelle de 20 pfennigs par tête de membres de la caisse de maladie ou d'invalide pensionné appartenant à leur circonscription. Quant au caissier, il doit remettre, le 1er avril au plus tard, entre les mains du comité le compte annuel des deux caisses; le comité prépare, à son tour, le compte rendu qu'il présente à l'assemblée générale. Une revision annuelle des deux caisses est exécutée par le comité ou par une commission qu'il désigne et qui doit contenir un représentant de l'exploitant et au moins un assuré. Le caissier doit d'ailleurs tenir une comptabilité spéciale pour chaque caisse. Chacune d'elles paie les frais d'administration qui lui incombent. A l'issue de chaque quinzaine, le caissier doit envoyer le montant des rentrées au comité qui statue sur l'emploi des fonds.

Une vérification spéciale de la caisse de pensions doit être confiée, tous les cinq ans au moins, à un expert désigné par le comité; cette vérification est destinée à remplacer la revision décennale prescrite par les anciens statuts et exécutés, comme on l'a dit, en 1869 et 1879.

Quant à la dissolution des caisses :

1° pour la caisse de maladie, les statuts se bornent à reproduire les articles 46 et 47 de la loi du 2 avril 1884;

2° Pour la caisse de pensions, ils disposent que le montant de la somme qui revient à chaque membre, sera fixé par le comité sous réserve de l'approbation du Bergamt et sera ensuite, soit directement versé à l'autorité locale du domicile de l'assuré pour être transmise à ce dernier, soit convertie en rente sur l'État conformément à la loi de janvier 1879 sur la caisse des retraites de la vieillesse.

Résultats. — La période comprise entre la loi du 2 avril 1884 et celle du 6 juillet 1884, c'est-à-dire entre le 1er décembre 1884 et le 27 juin 1885, est trop courte pour que des résultats financiers sérieux aient pu être obtenus pendant ce laps de temps. Remettant par suite à l'étude de la période suivante la discussion des résultats sur l'application de ces lois, je me bornerai à donner ici :

1° Dans le tableau VI, les chiffres relatifs aux caisses de malades depuis le 1er décembre 1884 jusqu'à la fin de 1885;

2° Dans le tableau VIII, les chiffres relatifs aux caisses de pensions pendant le même temps.

La première ligne de chacun des tableaux II et III relatifs à Oberhohndorf donne les mêmes éléments pour l'année 1885.

TROISIÈME PARTIE.

ÉTAT DES CAISSES MINIÈRES DEPUIS L'ENTRÉE EN VIGUEUR DE LA LOI RELATIVE AUX ACCIDENTS.

Loi du 6 juillet 1884. — La loi d'Empire du 6 juillet 1884, relative à l'assurance contre les acci-

dents, ne modifia pas, comme la loi relative aux maladies, les institutions préexistantes : elle les engloba dans un ensemble d'organes nouveaux qui portent le nom d'associations de professions ou de corporations. Sans revenir sur l'étude de cette loi et sans sortir du cadre de l'industrie minière, je me contenterai de signaler les dispositions suivantes, seules nécessaires à l'intelligence de la question :

1° Aux termes de l'article 8 de la loi du 6 juillet 1884, aucune modification n'a été apportée aux caisses de maladie et de pensions.

2° La corporation minière s'étend sur tout l'Empire; elle est divisée en sections : le royaume de Saxe constitue la section VII. L'administration centrale de la corporation est à Berlin; le siège de la section doit être dans une ville saxonne qui n'est pas forcément la capitale du royaume. Les autorités désignées par la loi d'Empire sous le nom d'autorité inférieure d'une part, et d'autorité supérieure de l'autre, sont en Saxe (aux termes de l'ordonnance saxonne du 31 mai 1886), le Bergamt d'un côté et le Kreishauptmannschaft de Dresde, de l'autre.

3° Conformément à l'article 46 de la loi et aux statuts de la corporation, la section VII a un tribunal arbitral.

Chacune de ces dispositions donne lieu à l'étude d'une question distincte :

1re Question. — Rapports entre les organes chargés de l'assurance contre les accidents et les caisses de maladie ou de pensions.

2e Question. — Organisation de la section saxonne de la corporation minière.

3e Question. — Comparaison des tribunaux arbitraux institués par la loi relative aux accidents avec les tribunaux arbitraux institués par la loi saxonne du

2 avril 1884 relative aux caisses de maladie ou de pensions.

1re *Question.* — Rapports entre les organes chargés de l'assurance contre les accidents et les caisses de maladie ou de pension.

Cette question comprendra l'examen des trois points suivants :

A. Textes législatifs qui règlent ces rapports.

B. Procédure résultant de ces rapports.

C. Résultats statistiques.

A. Textes législatifs qui règlent ces rapports. — Ces textes sont relatifs les uns aux questions financières, les autres aux questions administratives.

1° Questions financières. — Le paragraphe 8 de l'article 5 déclare en effet que les corporations sont autorisées à confier le traitement du blessé à la caisse de maladie à laquelle il appartient contre remboursement des frais occasionnés à cette caisse.

Le paragraphe 9 du même article dispose que, depuis le commencement de la cinquième semaine jusqu'à la fin de la treizième, le secours alloué aux blessés sera au moins égal aux 2/3 du salaire journalier de base. La différence entre ce secours et le minimum des allocations légales ou statutaires, sera remboursée à la caisse de maladie par l'exploitant.

Le paragraphe 1 de l'article 8 déclare *in fine* que les caisses qui ont alloué un secours à une personne dont le droit à indemnité est reconnu par la loi du 6 juillet 1884 sont subrogées à l'ayant droit jusqu'à concurrence du montant du secours qu'elles ont distribué.

Le paragraphe 2 de l'article 94 autorise, dans deux de ses alinéas, la corporation minière à disposer par ses statuts que : 1° les charges de l'assurance pourront être supportées par les sections dans une proportion supé-

rieure à la moitié ; 2° les caisses minières seront chargées du paiement des indemnités dues par la corporation.

2° Questions administratives. — Le paragraphe 8 de l'article 5 déclare *in fine* que les contestations entre les corporations et les caisses de maladie seront réglées comme il a été dit dans la loi relative aux maladies, c'est-à-dire par les tribunaux arbitraux institués par la loi du 2 avril 1884.

Le paragraphe 2 de l'article 94 autorise, dans deux de ses alinéas, la corporation à confier « aux anciens » des caisses minières les fonctions de délégués ouvriers.

Les textes qui viennent d'être rappelés ont été inspirés par cette idée, nettement indiquée dans l'exposé des motifs de la loi, à savoir que les blessés ont droit à la fois à un secours de la caisse de maladie et à un secours des organes chargés de l'assurance contre les accidents. Toutefois, on n'a pas voulu que les caisses de maladie fussent obligées d'allouer des secours que la loi relative aux accidents imposait aux organes de l'assurance contre les accidents, c'est-à-dire aux corporations : ces secours leur sont donc remboursés. Pour éviter une restitution postérieure résultant d'un double paiement, on exige que les blessés s'adressent d'abord à l'organe le plus voisin, c'est-à-dire à la caisse de maladie, et la corporation rembourse ensuite à la caisse de maladie le montant des sommes qu'elle aurait dû distribuer elle-même. Cette combinaison ne prive pas les assurés du supplément de secours auquel la loi relative aux accidents leur donne droit, et, dans le cas où la caisse de maladie leur donne, à elle seule, plus que ne leur accorde cette loi, le remboursement partiel, effectué ultérieurement par la corporation, laisse intact le montant des secours que les statuts préexistants de la caisse de maladie leur garantissent.

B. Procédure. — L'étude de la procédure en cas de

maladie ou d'accident montre nettement le fonctionnement combiné des organes modifiés ou institués par les deux lois d'empire.

1° Procédure en cas de maladie. — La procédure en cas de maladie est réglée par la loi du 2 avril 1884 et par les statuts de chaque caisse de maladie. Nous prenons pour exemple le charbonnage d'Oberhohndorf.

Tout ouvrier qui, quittant une caisse de pensions, arrive au charbonnage doit se faire inscrire à la caisse de ce dernier : il se présente au guichet, muni : 1° d'un billet de son maître-mineur portant le nom, le genre d'occupation, le lieu d'habitation, le montant du salaire et la date de l'entrée au service ; 2° du livret d'ouvrier. Ce livret, rendu obligatoire par l'article 75 de la loi du 16 juin 1868, n'a trait qu'au contrat de travail et ne présente aucun rapport avec les caisses minières : il a pour objet de fournir des renseignements que ne contient pas le billet du maître-mineur, le lieu de naissance de l'ouvrier par exemple.

Les renseignements relatifs à l'ouvrier peuvent dès lors être transcrits sur un registre servant de livre-journal, dont une feuille contient les éléments de l'état civil et la feuille en regard les éléments du transfert, à la caisse d'Oberhohndorf, des sommes versées par le nouveau venu à la caisse de pensions qu'il vient de quitter. Ces renseignements sont :

1° Le nom de cette caisse de pensions ;

2° La date de son entrée à cette caisse et celle de son départ ;

3° La date à laquelle la caisse d'Oberhohndorf invite cette caisse à envoyer le montant des versements effectués par l'ouvrier ;

4° La date à laquelle la réponse est arrivée (*). On y

(*) La lettre adressée par la caisse d'Oberhohndorf à la caisse

joint, dans deux colonnes, distinctes les indications suivantes qui sont fournies par la réponse même;

5° Le montant de la somme versée;

6° La durée du service antérieur.

A l'aide de ces éléments, on peut remplir les huit premières colonnes d'un tableau (Mitglieder verzeichniss) relatif à l'état des membres de la caisse; les dernières colonnes ne seront remplies que dans l'avenir; ces colonnes portent les titres suivants :

1° Le nom du membre;

2° L'indication de la caisse à laquelle il appartient (maladie, pensions);

3° La situation à l'égard de l'obligation de l'assurance (les ouvriers des fours à coke n'en font pas partie);

4° Le lieu et la date de sa naissance et son domicile;

5° La date de son entrée au charbonnage;

6° La durée de ses services antérieurs;

7° La nature du travail dont il est chargé et l'époque depuis laquelle il en est chargé;

8° La classe à laquelle il appartient, l'époque à laquelle il y est arrivé et celle à laquelle il l'a quittée pour passer à une autre classe;

9° La date à laquelle il est devenu invalide;

---

des pensions que vient de quitter l'ouvrier, lettre dont le texte doit viser l'article 57 de la loi du 2 avril 1884, est écrite sur un formulaire imprimé dont la partie inférieure peut se détacher comme un coupon d'un registre à souches et porte la mention des sommes que la caisse débitrice promet d'adresser à la caisse d'Oberhohndorf; le nombre d'années de service de l'ouvrier est également inscrit sur ce coupon. La caisse débitrice remplit le coupon, le détache et l'adresse à la caisse créancière. L'article 57 de la loi de 1884 qui prononce la nécessité de ce transfert, fixe le délai (15 jours) dans lequel la réponse de la caisse débitrice doit être envoyée. De là l'utilité d'inscrire sur le registre en question, non seulement la date de la requête adressée par la caisse créancière, mais encore la date à laquelle est arrivée la réponse annonçant le transfert.

10° La date de son décès;

11° La date du commencement et de la fin des congés qu'il a pu obtenir;

12° Le nombre de ses ayants droit : veuve (date de naissance, de mariage et de décès); enfants (date de naissance et de décès).

Ces colonnes sont *éventuellement* remplies par le caissier sur les indications de l'ouvrier ou de ses ayants droit qui doivent le tenir au courant des modifications que subit la composition de sa famille. Pour faire ces déclarations, l'ouvrier reçoit des formulaires spéciaux, délivrés *sans frais* à la caisse minière par les officiers de l'état civil et analogues à ceux qui sont remis *contre remboursement* aux particuliers pour des déclarations de même nature.

Si l'ouvrier quitte le charbonnage, le maître-mineur en prévient le caissier par un billet analogue au billet d'entrée au service. Le caissier l'inscrit en regard de la date d'entrée dans la classe à laquelle l'ouvrier appartenait en dernier lieu.

L'ouvrier n'a pas à s'occuper de ces formalités qui incombent au caissier. Au bout de trois jours de travail, il se représente au guichet, et reçoit, avec un exemplaire des statuts, un billet d'admission à la caisse qui est signé du directeur technique, président du comité de la caisse, et qui porte l'indication de la classe dans laquelle il a été inscrit, ainsi que la date. Des lignes en blanc permettent d'inscrire plus tard la date du passage d'une classe à une autre.

Tel est l'ensemble des formalités à remplir; elles sont les mêmes pour la caisse de maladie que pour la caisse de pensions, à part l'absence de transfert.

Cela posé, l'ouvrier qui tombe malade doit faire parvenir immédiatement à la caisse un billet signé du maître-mineur et du surveillant et constatant soit une incapacité

de travail dont la cause (maladie ou blessure) doit être spécifiée, soit la nécessité d'un traitement médical sans qu'il y ait incapacité de travail. Dans le premier cas, le caissier l'inscrit au registre de maladie, et, dans le second, au registre de traitement.

Le registre de maladie contient une série de colonnes donnant trois sortes d'indications :

1° Des indications relatives à l'*individu* (nom, âge, genre de travail, domicile, classe).

2° Des indications relatives à la *maladie* (date du début de la maladie, date de la guérison ou du décès, nombre de jours de maladie, nombre de jours pendant lesquels des secours ont été distribués (*), nature de la maladie (**), nom du médecin).

3° Des indications relatives à la nature et au montant des secours alloués.

Le registre de traitement ne diffère du registre de maladie que par la substitution, aux dates qui définissent la durée de la maladie, de celles qui marquent le début et la fin du traitement médical.

En même temps que l'on effectue l'inscription de l'ouvrier sur l'un de ces deux registres, on lui adresse deux formulaires :

1° Le premier formulaire, formulaire de maladie (Krankenschein A) ou formulaire de traitement (Kurschein A) contient les indications relatives à l'individu et à la maladie, que nous venons de signaler au sujet du registre

(*) La différence entre le nombre de jours de maladie et le nombre de jours pendant lesquels des secours ont été distribués se compose : 1° des dimanches; 2° des trois premiers jours de maladie.

(**) Les médecins saxons se bornent, en général, à indiquer en termes très généraux la nature de la maladie; ils se retranchent, comme les médecins de nos sociétés de secours mutuels, derrière l'obligation du secret professionnel.

de maladie. Ce formulaire, destiné à indiquer à l'ouvrier le nom du médecin auquel il doit s'adresser, est envoyé, signé du caissier, au malade qui le présente au médecin; celui-ci remplit les autres indications relatives à la maladie, et y appose sa signature quand la maladie a pris fin.

2° Le second formulaire, formulaire de maladie (Krankenschein B) ou formulaire de traitement (Kurschein B) est valable pour treize jours dans le premier cas et pour quatre semaines dans le second. Le formulaire de maladie porte le nom du malade, celui du médecin et celui de « l'ancien » avec lequel le malade sera en relation. Chaque « ancien » est chargé de visiter un certain nombre de malades, en vue de s'assurer de l'application des statuts; il passe de temps à autre à la caisse et il y prend des billets qui lui sont destinés et qui portent, outre les indications contenues dans le Krankenschein A, le nom de cet « ancien »; celui-ci doit remplir les formules laissées en blanc et apposer sa signature à côté de celle du caissier. A chaque visite du médecin ou de « l'ancien » le malade doit présenter le formulaire de maladie B, sur lequel le visiteur inscrit la date et les observations que son passage lui suggère. Le médecin doit inscrire si la visite a eu lieu chez lui ou à domicile; il note les remèdes ordonnés et les opérations exécutées, il indique l'état du malade par les mots : « peut sortir, peut venir chez le médecin pour la visite, peut descendre dans la mine; » enfin en cas de guérison, il indique dans quelles conditions l'ouvrier peut reprendre son travail. Le verso du formulaire contient la place nécessaire pour donner quittance des secours reçus par le malade pendant son incapacité de travail. Le formulaire de traitement B, qui contient les mêmes indications que ce formulaire de maladie, ne présente aucune place pour les quittances.

Ce sont en effet les formulaires de maladie qui servent de pièces justificatives pour la perception du secours. Le

paiement en est effectué aux jours de paye (le 11 et le 26 du mois), soit entre les mains du malade, soit entre les mains d'un mandataire majeur; l'un ou l'autre doit en donner quittance sur le verso du formulaire. Pour le paiement des frais de médecin, le charbonnage d'Oberhohndorf et vingt-quatre autres charbonnages du bassin de Zwickau ont conclu une convention avec chacun des médecins qu'elles ont à leur service; aux termes de ce contrat, chaque médecin reçoit 3 marcs par malade et par an. Ce système est moins onéreux pour les charbonnages que le paiement à la visite réglé au prix de 4^{M},50 l'une, plusieurs visites exécutées le même jour au même point se trouvant payées au même prix que plusieurs visites isolées.

Si le malade se guérit avant treize semaines de maladie, on inscrit dans le registre de maladie la date de sa guérison, et on liquide les secours qui lui sont dus.

S'il n'est pas encore guéri au bout de treize semaines, on le porte sur le « registre des pensions », qui contient le numéro sous lequel il est inscrit au Mitgliederverzeichniss, le temps depuis lequel il appartient à la caisse, les éléments et le résultat du calcul de la pension qui lui est due. Le paiement des pensions s'effectue comme celui des secours aux malades.

S'il vient à mourir, on inscrit sa veuve et ses orphelins (dont l'existence est attestée par les formalités précitées) sur un registre de pensions analogue au précédent. Quant aux frais de funérailles, ils sont remboursés dans les vingt-quatre heures du décès.

2° **Procédure en cas d'accident.** — La procédure en cas d'accident, réglée par la loi d'empire (art. 51 à 56) consiste, pour les bassins houillers saxons, dans les formalités suivantes :

La déclaration de l'accident doit être faite : 1° à la section saxonne de la corporation minière, à Zwickau;

2° à « l'homme de confiance »; 3° à l'inspection minière « Berginspection ». Un exemplaire de la déclaration reste à la caisse du charbonnage, et le caissier y joint un billet sur lequel il inscrit le nom du blessé, la date de l'accident, le nom du médecin; ce billet porte les deux formules imprimées :

« Quelle est la nature de la blessure? »

« Entraînera-t-elle la mort ou une incapacité de plus de treize semaines? »

Le médecin, à qui ce billet est envoyé, doit le retourner avec sa réponse aux deux questions posées. Si la réponse à la 2e question est affirmative, on doit ouvrir l'enquête légale (art. 53 de la loi du 6 juillet 1884). Nous bornant aux détails spéciaux à la Saxe, nous supposerons que l'indemnité ait été définitivement fixée, soit que l'intéressé ait accepté la décision des organes de la corporation, soit qu'il ait épuisé toute la série des recours. L'ayant droit reçoit alors un formulaire (Anweisung) indiquant le montant de la « rente », avec une quittance en blanc, au bas de laquelle se trouve le formulaire d'un certificat d'identité que l'autorité locale devra remplir. Muni de ces pièces, il se présente à la caisse du charbonnage, qui lui paie le montant de la somme indiquée sur l'Anweisung en échange de la quittance qu'il signe. Ces quittances sont réunies par la caisse et envoyées à l'expiration de chaque trimestre au comité de la section saxonne, avec les factures de médecin et de pharmacien; le tout est accompagné d'un compte récapitulatif où l'on distingue les sommes payées pour la corporation minière : 1° par la caisse de maladie; 2° par la caisse de pensions. La caisse de maladie paie les frais de médecin et de pharmacien, de traitement à l'hôpital et les frais de funérailles. La caisse de pensions paie les rentes aux blessés et à leurs ayants droit.

Le comité de la section notifie alors au comité de la

caisse minière le montant auxquel son compte a été arrêté, et en même temps il envoie au comité directeur de la corporation minière (à Berlin) un formulaire, dont la partie imprimée porte que le comité directeur ordonne au bureau de poste de Zwickau de payer à la caisse minière une somme dont le détail est précisément la copie du compte récapitulatif mentionné plus haut. Le comité directeur n'a qu'à signer ce formulaire et à l'envoyer à l'administration centrale des postes de Berlin, qui le fait parvenir à Zwickau, par Leipzig. Ce formulaire porte une quittance en blanc que devra remplir l'employé de la caisse minière entre les mains duquel le paiement sera effectué. Le caissier du charbonnage reçoit, en effet, du bureau de poste de Zwickau ce formulaire accompagné d'une carte postale l'invitant à toucher à ce bureau la somme qui y est inscrite.

Les avances que l'administration postale a ainsi faites à la corporation minière lui sont remboursées par celle-ci dans les cinq mois qui suivent la fin de l'exercice (art. 70 à 76 de la loi d'empire).

C. Résultats statistiques. — **1° Caisses de maladie.** — Les caisses de maladie se trouvèrent rapidement dans une situation prospère qui n'a fait que s'améliorer depuis. Dès l'année 1886, le fonds de réserve de l'ensemble des caisses s'élevait à 153.610^{M},71, et l'on prévoyait qu'à la fin de l'année 1889 il aurait atteint la valeur légale à partir de laquelle on pouvait abaisser les cotisations. Dès le courant de l'année 1888, six caisses de maladie avaient pu profiter de cette disposition de la loi. Le tableau VII donne les résultats numériques relatifs à ces caisses pour l'exercice 1888.

2° Caisses de pensions. — Si l'avenir des caisses de maladie s'annonçait, dès l'année 1886, sous les auspices les plus favorables, celui des caisses de pensions inspirait, au contraire, à cette époque, de très graves inquiétudes.

Dès le courant de 1887, on s'aperçut que l'avoir de ces caisses était insuffisant; le remède n'était autre qu'une élévation du taux des cotisations. En 1887, deux caisses eurent spontanément recours à cette mesure : celle d'Arnim porta ses cotisations de 5 à 7 p. 100 et celle de Brückenberg de 6 à 8 p. 100. D'autres caisses, pour lesquelles l'administration considérait la réforme comme nécessaire et possible, s'y refusèrent. Le Bergamt ayant voulu la leur imposer, l'une d'elles, appartenant au bassin de Zwickau, éleva devant la Kreishauptmannschaft de Dresde, puis devant le ministre de l'intérieur, un recours pour excès de pouvoir. Ce dernier fut rejeté à la fin de l'année 1888. L'opportunité de ce rejet était d'autant plus grande que, dans ce même bassin, la caisse de l'union des charbonnages de Zwickau vient d'élever ses cotisations de 3,6 à 4 p. 100 depuis le 1er août 1888, afin d'éviter les expédients regrettables de la caisse de pensions du district de Scheibenberg, qui s'était vue obligée à réduire ses pensions de 10 p. 100 en 1888. C'est en vertu de cette décision du ministre de l'intérieur que le Bergamt proposa à la caisse d'Oberhohndorf d'élever le taux des cotisations. Cette réforme, qu'elle entreprit sans résistance, conduisit à substituer, comme base, au salaire moyen calculé d'après une division arbitraire en classes, le salaire réel, et au coefficient 2 p. 100, le chiffre de 4 p. 100. Cette mesure ne tarda pas à porter ses fruits. C'est ainsi que les statuts revisés d'Oberhohndorf, datés du 25 février 1889 et destinés à entrer en vigueur le 1er mars 1889, ont eu l'heureux résultat de donner, dans le mois de mars de cette année, le chiffre de 4.605^{M},50 pour le montant total des cotisations qui, dans le mois de février, n'avait pas dépassé 1.745^{M},58 (*).

(*) L'étude de la caisse d'Oberhohndorf a occupé, dans la pre-

Un autre danger que courent les caisses de pensions, résulte de l'obligation qui leur est imposée par l'article 57 de la loi du 2 avril 1884. Cet article les contraint de transmettre, dans la quinzaine, à la nouvelle caisse dont fait partie un ouvrier qui passe du service d'un charbonnage à celui d'un autre, les versements effectués par cet ouvrier à la caisse qu'il vient de quitter. Une caisse qu'une migration de la population ouvrière prive d'une partie de ses membres peut se trouver dans une situation fort embarrassée. La diminution éprouvée par certaines caisses (notamment par celle de Bockwa) dans le nombre de leurs membres, attira l'attention du Bergamt qui jugea bon, en 1887, de consulter les comités directeurs des caisses minières saxonnes. Les réponses envoyées par les exploitants étaient malheureusement inspirées par l'état particulier de chaque caisse, et la diversité des renseignements ainsi recueillis ne permit pas à l'administration d'en dégager une conclusion générale.

Il convient, d'ailleurs, d'observer qu'au point de vue des houillères qui nous occupent seules ici, la question était loin de présenter le même intérêt que pour les mines métalliques (*) qui avaient subi dans le nombre de

---

mière partie de ce mémoire (en raison de la méthode monographique que l'ancienne législation saxonne nous avait obligé à adopter), une place assez considérable pour qu'il semble intéressant de citer une modification apportée aux statuts en date du 1er décembre 1889. Cette modification est relative au tarif des secours alloués par la caisse des pensions en cas de décès :

	marcs
Invalide	45
Épouse non assurée d'un invalide mort ou vivant	30
Veuve non assurée d'un associé	30
Enfant non assuré d'un invalide, âgé de moins de 14 ans révolus.	10
Orphelin non assuré d'un associé. — —	10

(*) Voir *Réforme sociale*, 2e série, t. IX, 11e et 12e livraison, mon étude sur les caisses des mines métalliques saxonnes.

leurs membres des diminutions bien plus considérables. De plus, le mouvement si inquiétant de la population se ralentit en 1887 et en 1888, et, à quelques exceptions près, on put constater, dans la plupart des caisses, une augmentation du nombre des membres. L'attention du Bergamt fut, d'ailleurs, détournée de cette question par les travaux préparatoires de la loi de l'invalidité et de la vieillesse, votée le 22 juin 1889, qui menace les caisses de pensions de modifications dont l'étendue et les effets ne sauraient être encore appréciés.

Le tableau IX donne les résultats relatifs aux caisses de pensions pour l'exercice 1888.

2e *Question.* — Organisation de la section saxonne de la corporation minière.

L'organisation de la section saxonne de la corporation minière doit être envisagée au triple point de vue administratif, financier et judiciaire. Rattachant l'étude de la partie judiciaire à l'examen de la troisième question (tribunaux arbitraux saxons et tribunal arbitral de la corporation; voir plus loin, p. 668), nous nous bornerons à exposer ici l'organisation administrative et l'organisation financière de la section saxonne.

A. Organisation administrative. — Le siège de la section qui a été d'abord à Zanckerode est, depuis le 1er novembre 1888, à Zwickau. Le comité de section se compose de six membres, dont un président, un vice-président et deux secrétaires. La section envoie cinq délégués à l'assemblée générale de section; les ouvriers ont trois représentants ayant chacun deux suppléants. Enfin, le nombre des hommes de confiance est de dix; ils ont treize suppléants (l'un d'eux en a jusqu'à trois).

B. Organisation financière. — Lorsque l'on dut

appliquer à la Saxe la loi d'Empire relative aux accidents, les exploitants de mines, obligés de se grouper en « association de professions », formèrent, en Saxe, le projet de constituer une corporation des mines et usines, et, à cet effet, il se réunirent en assemblée générale, le 21 mars 1885, à Dresde, pour poser les bases des statuts de cette corporation; l'assemblée décida en même temps que l'on dresserait une statistique des accidents pour établir un tarif des risques. L'institution de cette corporation ne reçut pas l'homologation du Conseil fédéral, et les mines saxonnes durent s'affilier à la corporation minière allemande. Le paragraphe 36 d'un projet de statuts de cette dernière demandait à chaque section de ladite corporation un travail statistique devant permettre l'établissement d'un tarif de risques. La section saxonne utilisa les données recueillies par la corporation minière saxonne qui n'avait pu se fonder, et ce fut l'actuaire Küttner qui fut chargé de ce travail. Mais la statistique que Küttner avait à sa disposition présentait le double défaut d'être relative à la fois aux mines et aux usines et d'offrir de nombreuses lacunes. La raison de ces faits était : 1° la possibilité de l'adjonction des usines fiscales à la corporation minière qui avait été projetée pour la Saxe; 2° la célérité qui était imposée à la remise du travail dont Küttner était chargé. Sur les deux cent dix-neuf industriels interrogés, cent soixante-quatorze répondirent seuls au questionnaire de statistique qui leur avait été envoyé, et ce fut le 15 juillet 1885 que cet actuaire dût déposer son rapport. En dépit de ces difficultés, il put établir un tableau des accidents assez exact pour permettre le calcul des charges qui devaient incomber à la corporation. En prenant cet élément comme base de l'établissement du tarif des risques, il reconnut que les classes de risques devaient être affectées des coefficients suivants :

9,17 pour les mines métalliques (*),
20,89 ou 23,51 pour les houillères.

On devait, d'ailleurs, adopter pour les houillères le premier ou le second chiffre, selon que l'on tenait compte ou non de l'explosion du grisou survenu au puits Brückenberg le 1er décembre 1879. Les partisans du chiffre 23,51 pouvaient soutenir que l'on aurait toujours à redouter des catastrophes de ce genre; ceux qui se rangeaient à l'adoption du coefficient 20,89, déclaraient injuste de faire supporter aux exploitations non grisouteuses les risques des exploitations qui présentaient ce danger. Une troisième solution consistait à distinguer, comme dans d'autres bassins, les exploitations grisouteuses des exploitations non grisouteuses : cette dernière proposition, soumise à une enquête sous forme de questionnaire adressé aux intéressés, fut rejetée. Les deux autres solutions n'eurent pas plus de succès, et le comité supérieur de la corporation, qui régla le premier tarif de risques, adopta les chiffres suivants :

25 pour les mines métalliques (**),
65 pour les houillères.

L'article 28, paragraphe 5, de la loi relative aux accidents exigeait une revision du tarif de risques, au bout de deux exercices au plus. Bien que la décision appar-

---

(*) Soit en rapportant à un total égal à 100

30,37 pour les mines métalliques,
69,63 pour les houillères,

ou bien,

28,05 pour les mines métalliques,
71,95 pour les houillères,

suivant que l'on adopte le chiffre 20,89 ou le chiffre 23,51 pour les houillères.

(**) Soit en rapportant à un total égal à 100

27,3 pour les mines métalliques,
72.7 pour les houillères.

tînt, sur ces questions, à l'assemblée générale de la corporation (art. 7, nos 6 et 7 des statuts de la corporation minière), l'assemblée ordinaire annuelle de la section saxonne en fut saisie le 15 mai 1888. Dans sa réunion du 5 mars 1888, le comité supérieur de la corporation avait discuté le programme de la statistique nécessaire à la revision des tarifs, il s'était arrêté aux dispositions suivantes :

1° Chaque section devait fournir le nombre d'accidents par exploitation et les charges financières correspondantes ;

2° Elle devait également fournir la somme de ces chiffres pour les exploitations appartenant à une même classe de risques ;

3° Comme il ne suffisait pas de savoir quelle était la somme payée à titre d'indemnité pendant un temps déterminé et qu'il fallait, en outre, se rendre compte des charges probables à venir, le comité chargea les associations de mineurs (Knappschaftsvereine) de faire connaître aux comités de section la durée probable pendant laquelle on aurait à servir la pension aux invalides, veuves et orphelins qui y auraient droit à la suite d'un accident.

En portant cette décision du comité supérieur à la connaissance de l'assemblée saxonne du 15 mai 1888, le comité de section proposa les coefficients dont le rapport, au lieu d'être 25/65, fut 1/2. Les résultats statistiques de 1886 (y compris le dernier trimestre de 1885) et de 1887 montraient, en effet, que dans la section saxonne :

1° Les indemnités pour accidents étaient :

marcs
20.335,40 pour les mines métalliques,
137.072,66 pour les houillères,

chiffres dont le rapport est 0,1484.

2° Le montant des dépenses totales était :

marcs
60.966,50 pour les mines métalliques,
541.053,80 pour les houillères,

chiffres dont le rapport est 0,1127.

Pour que ces deux rapports fussent égaux, il aurait fallu substituer au rapport 25/65 un autre rapport que Küttner évaluait comme suit :

En rapportant à 1.000 marcs de salaires les indemnités relatives à l'ensemble des deux exercices 1886 et 1887, on trouvait :

	Mines métalliques	Houillères
	marcs	marcs
Salaires.	9.306.649,12	31.728.005,86
Indemnités pour accidents	20.335,40	137.072,66
— pour 1.000 marcs de salaire.	2,19	4,32

Le rapport 2,19 à 4,32 était voisin de 1/2.

En admettant des salaires annuels égaux à :

4.500.000 marcs pour les mines métalliques,
16.000.000 — pour les houillères,

et une dépense totale égale à 500.000 marcs, les coefficients 25 et 65 donnaient :

49 000 marcs pour les mines métalliques,
451.000 — pour les houillères,

tandis que les coefficients 1 et 2 donnaient :

61.500 marcs pour les mines métalliques,
438.500 — pour les houillères.

L'assemblée de la section adopta les propositions du comité de section et, lors de la revision générale qui aboutit pour la corporation minière au tarif du 2 novem-

bre 1888, on adopta pour la section saxonne les coefficients suivants :

	Clauses de risques	Chiffre de risques (r)
Houillères	12	50
Mines métalliques	6	25

D'ailleurs, en multipliant par le chiffre de risques r de l'exploitation, la somme des salaires s de cette exploitation, on obtient le nombre N de « Beitragseinheiten » (unités de contribution) afférent à cette exploitation. La somme S des quantités N ainsi calculées pour chacune des exploitations de la section donne, lorsqu'on la compare ou montant M des dépenses totales de la section, la valeur de la dépense Δ qui correspond à 1.000 « Beitragseinheiten », et, par suite à N. On obtient ainsi la somme x que chaque exploitation devra verser (*).

C'est le comité supérieur de Berlin qui répartit entre les sections les dépenses totales de la corporation. Il adresse, à cet effet, chaque année, à la section un tableau contenant pour l'année précédente un calcul de la portion des dépenses qui incombe à cette section.

Je donne ci-dessous, à titre d'exemple, le dernier état de ce genre qui ait été dressé pour la section saxonne :

(*) On a donc $N = rs$, $S = \Sigma N = \Sigma rs$, $\Delta = \frac{1000\,M}{S}$, et finalement $x = \frac{N\Delta}{1000} = rs \cdot \frac{M}{\Sigma rs}$.

Résultats, pour la section VII et pour l'année 1888, des dépenses totales réparties par le comité supérieur de la corporation minière.

		marcs
Indemnités pour accidents payées par la section VII		147.265,35
Excédent, supérieur à 10 p. 100, des dépenses normales		néant
Reliquat de l'année précédente		1,98
Reste		147.263,37
Somme à supporter par l'ensemble de la corporation à titre d'excédent des indemnités d'accidents données par les sections I et VI et dépassant de plus de 10 p. 100 les dépenses normales	marcs 82.582,83	
Somme à supporter de ce chef pour la section VII	6.524,85	
Reliquat de l'année précédente	10,35	
Soit	6.535,20	6.535,20
Total des indemnités pour accidents		153.798,57
Mise au fond de réserve (150 p. 100 des indemnités)		230.685,30
Frais d'administration de la section		23.744,83
Frais d'administration du comité supérieur de la corporation	40.396,98	
Somme incombant de chef à la section		3.191,76
Dépenses totales incombant à la section		411.420,46
Nombre total d'unités de contribution (Beitragseinheiten)	952.936.671	marcs
Charge pour 1.000 unités		0,43174

Ce compte annuel renferme des éléments qu'il est intéressant de détailler, en donnant leur valeur successive depuis que la loi du 6 juillet 1884 est entrée dans sa période d'application. Tels sont :

1° Les indemnités pour accidents ;

2° Les frais d'administration.

1° Indemnité pour accidents. — La statistique des accidents, indispensable à l'intelligence de la valeur des indemnités, est contenue dans le premier des deux tableaux qui suivent, et les indemnités figurent dans le second.

Nombre des accidents survenus dans la section VII

ANNÉES	NOMBRE des ouvriers assurés	NOMBRE des accidents			RÉPARTITION DES ACCIDENTS ayant donné lieu à indemnité								NOMBRE DES SURVIVANTS ayant droit à une pension			
		total	ayant donné lieu à indemnité		ACCIDENTS ayant causé incapacité de travail de 13 semaines à 6 mois		ACCIDENTS ayant causé incapacité de travail de plus de 6 mois				ACCIDENTS suivis de mort					
							partielle		entière							
			total	par 1.000 assurés	total	par 1.000 assurés	total	par 1.000 assurés	total	par 1.000 assurés	total	par 1.000 assurés	Veuves	Enfants	Ascendants	Total
Mines de houille.																
1885 (4e trim.)	18.518	542	11	0,594	»	»	»	»	»	»	11	0,594	8	18	2	28
1886	18.529	2.389	136	7,340	44	2,375	60	3,238	17	0,917	15	0,810	15	36	»	51
1887	18 364	3.129	180	9,801	49	2,668	63	3,431	34	1,851	34	1.851	21	42	»	63
1888	18,634	3.321	164	8,800	22	1,180	57	3,059	54	2,898	31	1,663	24	56	3	83
Mines métalliques.																
1885 (4e trim.)	7.936	122	2	0,252	»	»	»	»	»	»	2	0,252	2	1	»	3
1886	7.951	298	27	3,396	7	0,880	7	0,880	5	0,629	8	1,007	7	16	»	23
1887	7.573	315	35	4.622	7	0,925	16	2.113	6	0,792	6	0,792	6	14	»	20
1888	7.341	333	37	5,038	5	0,680	15	2,043	9	1,226	8	1,089	8	21	»	29
Total.																
1885 (4e trim.)	26.454	664	13	0,491	»	»	»	»	»	»	13	0,491	10	19	2	31
1886	26 480	2.687	163	6.157	51	1.926	67	2,532	22	0,831	23	0.868	22	52	»	74
1887	25 937	3.444	215	8.289	56	2.159	79	3.046	40	1.542	40	1.542	27	56	»	83
1888	25.975	3.654	201	7.736	27	1,040	72	2,772	63	2,425	39	1,502	32	77	3	112

Indemnités et pensions payées par la section VII.

ANNÉES	FRAIS de traitement	RENTES aux blessés	FRAIS d'enterrement	PENSIONS aux veuves	INDEMNITÉS aux veuves qui se remarient	PENSIONS aux orphelins	PENSIONS aux ascendants d'un blessé décédé	RENTES à des femmes dont le mari blessé est à l'hôpital	RENTES à des enfants dont le père blessé est à l'hôpital	RENTES aux ascendants d'un blessé soigné à l'hôpital	FRAIS de traitement dans les hôpitaux	TOTAL des indemnités
Mines de houille.												
	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs
1886	1.908,52	20.890,52	1 100,35	2.404,35	»	3.969 78	»	1.364,58	2 297,58	5	6.268,36	40.209,04
1887	5.405,28	56.814,13	1.999,18	6 536,80	435,60	8.944,83	»	2.557,85	4 361,70	»	9 807,95	96.863,62
1888	3.995,55	77.723,16	2.061,62	9.376,73	568,80	14.521,12	256,05	2.684,70	4.942,65	»	8.559,12	124.689,50
Mines métalliques.												
1886	465,59	3.917,20	165,85	659,50	»	863,85	»	18,60	6,40	»	»	6 096.99
1887	1.004,88	8.395,89	612,54	1.695,00	»	2.079.75	»	69,55	140.30	»	240,50	14.238,41
1888	1.205,80	13.186,80	211,80	2.600,75	797,70	4.192,05	»	65,89	97,06	»	218,00	22.575,85
Total.												
1886	2.374.11	24.807,72	1.266.20	3.063,85	»	4.833.63	»	1 383.18	2 303,98	5	6.268,36	46.206,03
1887	6 410,16	65 2 0,02	2.612,02	8.231.80	435.60	11.024.58	»	2 627.40	4.502.00	»	10.048,45	111.102,03
1888	5 201,35	90 909,96	2.273,42	11.977,48	1.366,50	18.713.17	256,05	2.750 59	5.039,71	»	8.777,12	147.265,35

OBSERVATION. — Le dernier trimestre de 1885 est compris dans les chiffres de 1886.

2° Frais d'administration. — Les frais d'administration de la section, qui se sont sensiblement modifiés au cours des deux premiers exercices, semblent avoir atteint aujourd'hui une valeur constante.

Pour l'exercice 1885 qui ne comprend qu'un trimestre, ils s'élevèrent à 3.577ᴹ,33. La première assemblée de section (en 1885) avait admis que les frais annuels s'élèveraient à 6.500 marcs. L'assemblée du 8 mars 1886 admit le chiffre de 3.577ᴹ,33 qu'elle attribua aux frais d'installation des bureaux. Mais l'assemblée du 11 juin 1887, réunie à Zanckerode, constata avec surprise que les frais d'administration pour l'année 1886 atteignaient le chiffre de 12.401ᴹ,52, qui se composait des éléments suivants :

Frais d'administration de la section VII pour 1886.

	marcs
1° *Comité de section :*	
a) Frais de voyage	1.207,80
b) Frais de bureau des agents (y compris celui de la section)	68,99
c) Indemnités aux délégués ouvriers qui ont assisté aux séances	128,95
2° *Délégué à l'assemblée générale de la corporation :*	
Frais de voyage	507,20
3° *Hommes de confiance :*	
a) Frais de voyage	1.538,60
b) Frais de bureau et de poste	829,20
c) Dépenses diverses	142,35
4° *Enquêtes en cas d'accident :*	
a) Copies administratives	244,04
b) Indemnités aux représentants des caisses de maladie	192,76
c) Divers	44,50
5° *Bureau de section :*	
a) Appointements, gratifications, etc.	1.350,00
A reporter	6.254,39

Report	6.254,39
b) Frais de copie et d'impression	1.627,65
c) Frais de voyage	193,70
d) Ports et exprès	812,75
e) Matériel de bureau, presses, journaux, divers.	661,87
6° *Objets d'inventaire*	539,95
7° *Frais généraux*	57,10
8° *Consultations de médecin*	653,30
9° *Frais du tribunal arbitral*	1.600,81
	12.401,52

Ce chiffre surpassait de 5.901ᵐ,52 le chiffre de 6.500 prévu en 1885. Cette différence provenait, d'une part, de certaines dépenses dont le comité de section n'avait pas eu à tenir compte lors de l'adoption du chiffre 6.500 et dont le comité supérieur de la corporation réforma le mode d'imputation en 1886. Les dépenses qui furent l'objet de cette mesure étaient :

1° Les frais de consultation du médecin qui, jadis imputés sur les frais de traitement, durent être désormais ajoutés aux frais d'administration de la section ;

2° Les frais du tribunal arbitral qui, jusqu'alors supportés par la corporation, incombent aujourd'hui à la section.

C'est sous l'influence de ces préoccupations que l'on dressa le tableau de prévisions de dépenses que je donne ci-contre et qui s'élevait à 18.000 marcs. Ce chiffre était dépassé dès 1887, et le comité de section avouait à l'assemblée de section du 15 mai 1888 que les frais d'administration pour 1887 s'élevaient à 21.869ᴹ,88, ce qui correspondait à un excédent de 3.869ᴹ,88 provenant en grande partie des frais de consultation de médecin et des frais de tribunal arbitral. Cette situation ne fit que s'aggraver l'année suivante et, le 3 juin 1889, le comité de section annonçait le chiffre de 23.744ᴹ,83, correspondant à un excédent de 5.744ᴹ,83 provenant des mêmes motifs que ci-dessus, auxquels il convient d'ajouter le transport

du siège de la section de Zanckerode à Zwickau. Il dut par suite reconnaître l'impossibilité de réaliser de nouvelles économies, et il est probable qu'il proposera un autre tableau de prévision à l'assemblée de 1890.

Le tableau suivant donne le détail des frais d'administration dont je viens de citer le montant total :

	PRÉVISIONS pour 1887 et 1888		FRAIS D'ADMINISTRATION de la section VII dans l'année 1887		1888	
	marcs		marcs		marcs	
I. *Premier établissement, objets d'inventaires.* . .	 300,00		 354,60		 602,81	
II. *Frais de voyage et salaires :*						
a) Membres du comité.	1.250,00		682,20		463,25	
b) Hommes de confiance (y compris frais de voyage pour siéger au tribunal arbitral).	2.000,00	4.050,00	4.017,37	5.223,32	2.825,95	4.342,70
c) Délégués.	500.00		340,15		448,95	
d) Employés.	300,00		183,60		604,55	
III. *Appointements, gratifications, etc. :*						
a) Frais de bureau (avec ports) des membres du comité.	100,00		68,88		191,60	
b) Frais de bureau (avec ports) des hommes de confiance	2.500,00	6.600,00	1.783,99	5.724,27	1.579,84	6.580,00
c) Appointements et gratifications des employés du bureau de la section.	2.000,00		1.850,00		2.666,66	
d) Frais de copie et d'impression.	2.000,00		2 021,40		2.141,90	
IV. *Objets d'écriture.* — Imprimés, formulaires.	. . . . . 1.200,00		. . . . . 1.105,31		. . . . . 1.058,09	
V. *Frais de postes et exprès*	. . . . . 1.000,00		. . . . . 1.294,63		. . . . . 1.308,21	
VI. *Autres frais d'administration :*						
a) Consultations de médecin	1.000,00	1.200,00	2.475,45	2.607,18	4.786,65	5.366,13
b) Frais généraux.	200,00		131,73		579,48	
VII. *Frais d'enquêtes*	. . . . . 1.000,00		 558,84		 541,69	
VIII. *Frais du tribunal arbitral.*	. . . . . 2.500,00		. . . . . 5.001,73		. . . . . 3.945,17	
IX. *Frais de publication de prescriptions contre les accidents.*	 150,00		. . . . . »		. . . . . »	
	18.000,00		21.869,88		23.744,83	

Charge d'assurance rapportée à une tête d'assuré et à 1.000 marcs de salaire. — Le tableau suivant donne la valeur de cette charge pour la section VII :

ANNÉES	NOMBRE d'années	SALAIRE total	SALAIRE par assuré	CHARGE D'ASSURANCE totale	CHARGE D'ASSURANCE par assuré	CHARGE D'ASSURANCE Pour 1.000 marcs de salaires
Mines de houille.						
		marcs	marcs	marcs	marcs	marcs
1886	18.529	15.613 643,52	842.66	206 818,65	11,16	13,25
1887	18 364	16 114.362,34	877,50	334.235,15	18,20	20,74
1888	18.634	16.745.268,61	898,64	361.479,93	19,38	21,58
Mines métalliques.						
1886	7.951	4.648.915 47	584,70	23.812,78	2,99	5,12
1887	7.573	4 657.733.65	615,04	37.153,72	4,91	7,98
1888	7.341	4.626.929,60	630,29	49.940,53	6,80	10,79
Total pour la section VII.						
1886	26.480	20 262.558,99	765,20	230 632,53	8,71	11,38
1887	25.937	20.772 095,99	800,87	371.388,87	14,32	17,88
1888	25 975	21.372.198,21	822,80	411.420,46	15,84	19,25

OBSERVATION. — Dans l'exercice 1886 se trouve compris le dernier trimestre de l'exercice 1885.

Comparaison des résultats statistiques relatifs à la section saxonne, à la corporation minière et à l'ensemble des corporations. — Il est intéressant de comparer les résultats statistiques relatifs à la section saxonne, à ceux qui se rapportent à l'ensemble de la corporation minière et à l'ensemble des corporations.

Résultats de l'application de la loi d'assurance contre les accidents en 1888
(en marcs).

Organisation.	ENSEMBLE des corporations	CORPORATION minière	SECTION saxonne
Nombre de membres des comités supérieurs de corporations	740	16	»
Nombre de membres des comités de sections	2.045	56	6
Délégués pour l'assemblée générale de section	2.252	70	5
Hommes de confiance	7.320	126	10
Mandataires des corporations	124	1	»
Nombre de tribunaux arbitraux	414	8	1
Représentants des ouvriers	2.951	71	5
Nombre des exploitations	350 697	1.742	111
Nombre des assurés	4.320 663	357.582	25.975
Salaires	2.646.092 664,95	278.114 372,14	21.372.198,21
Salaire par assuré	612,38	777,76	822,80
Accidents signalés	121 164	26.530	3.654
Accidents indemnisés : 1° des années précédentes	18.893	3 001	
2° de l'année courante	18.809	2.749	201
Répartition des accidents (par 1.000 assurés) :			
Nombre d'accidents signalés	28,04	74,19	
Nombre d'accidents indemnisés	4,35	7,69	7,74
1° Ayant donné lieu à une incapacité de treize semaines à six mois	0,85	1,26	1,040
2° Ayant donné lieu à une incapacité de plus de six mois : *a*) partielle	2,38	2,98	2,772
b) totale	0,43	1,45	2,425
3° Ayant causé la mort	0,69	2,00	1,502
Dépenses.			
a) *Indemnités.*			
Invalidité :			
Traitement — Nombre de personnes	9.266	1.605	
Traitement — Somme	417.485,75	73.734,58	5.201,35
Rente aux blessés — Nombre de personnes	29.560	3 852	
Rente aux blessés — Somme	5.618.630,61	887.369,65	9.099,96
Décès :			
Frais d'enterrement — Nombre de personnes	2 865	766	
Frais d'enterrement — Somme	147.817,08	43.316,91	2.273,42
Rentes aux veuves — Nombre de personnes	5.153	1.422	32
Rentes aux veuves — Somme	670.987,43	186.691,01	11.977,48
Secours aux veuves qui se remarient — Nombre de personnes	234	104	»
Secours aux veuves qui se remarient — Somme	116.748,34	54.010,01	1.366,50
Rentes aux enfants — Nombre de personnes	11.180	3.768	77
Rentes aux enfants — Somme	1.047.236,27	363.407,39	18.713,17
Rentes aux ascendants — Nombre de personnes	456	121	3
Rentes aux ascendants — Somme	57.110,61	15 906,88	256,05
Hôpitaux :			
Rentes aux femmes dont le mari est à l'hôpital — Nombre de personnes	2.046	589	»
Rentes aux femmes dont le mari est à l'hôpital — Somme	62.551,37	17.570,89	2.750,59
Rentes aux enfants dont le père est à l'hôpital — Nombre de personnes	4 294	1 479	»
Rentes aux enfants dont le père est à l'hôpital — Somme	97.273,87	31.201,89	5 039,71
Rentes aux ascendants — Nombre de personnes	61	17	»
Rentes aux ascendants — Somme	2.720,65	575,70	0
Frais de traitement aux hôpitaux — Nombre de personnes	3.777	929	»
Frais de traitement aux hôpitaux — Somme	395.963,18	95.774,45	8.777,12
Secours aux étrangers	28.263,41	»	»
Total des indemnités	8.662.788,57	1.772.559,36	153.798,57

	ENSEMBLE des corporations	CORPORATION minière	SECTION saxonne
Report	8.662.788,57	1.772.559,36	153.798,57
b) *Frais d'enquêtes*	267.041,71	28.419,30	»
c) *Frais de tribunaux arbitraux*	237.326,65	29.421,16	»
d) *Frais de mesures préventives*	328 386,60	7 615,54	»
e) *Frais d'administration*	3.277.220,80	218 385,05	23.744,83
f) *Mise au fonds de réserve*	12.311.947,80	2.658.839,01	230 685,30
Total des dépenses	25.206.752,73	4.715.239,45	411.420,46
Soit, par assuré	5,80	13,10	15.84
Fonds de réserve en fin d'année	28.308.597,41	6.790.047,89	»

Les charges qui incombent à la section VII représentent donc 8,7 p. 100 de celles que supporte la corporation minière tout entière, quoique le nombre d'ouvriers de cette section soit à peine supérieur aux 7 p. 100 de celui que compte l'ensemble de la corporation. Ce fait tient d'une part à la valeur plus élevée des salaires, de l'autre, au nombre plus considérable d'accidents.

L'avant-dernier tableau donne d'ailleurs la répartition de ces charges entre les mines métalliques et les houillères. On y voit que, pour ces deux mêmes raisons, la charge exprimée en p. 100 du salaire est, pour les houillères, double de ce qu'elle est pour les mines métalliques, et la charge par assuré est, pour les houillères, le triple de la valeur qu'elle atteint pour les mines métalliques.

Enfin, en comparant les houillères saxonnes à la corporation minière, on reconnaît :

1° Que la charge par assuré est, en Saxe, supérieure de 49,8 p. 100 à la charge correspondante évaluée pour la corporation;

2° Que la charge en p. 100 du salaire est, en Saxe, supérieure de 22,5 p. 100 à la valeur correspondante calculée pour la corporation.

Ces résultats suffisent à expliquer les doléances que les exploitants des charbonnages saxons, moins disciplinés que ceux des houillères prussiennes, n'hésitent pas à exprimer notamment sur les deux points suivants :

1° obligations imposées aux industriels par des fonctions essentiellement gratuites; 2° charges financières exagérées.

On a cherché à remédier au premier inconvénient en augmentant le nombre des hommes de confiance; quant au second, l'organisation actuelle ne semble pas de nature à lui fournir un remède.

Ces charges ne font d'ailleurs que s'ajouter à celles des caisses minières : j'en donnerai plus loin le montant total.

Pour terminer la comparaison entre la section saxonne, la corporation minière et l'ensemble des corporations, nous donnerons les éléments qui définissent la variation des résultats statistiques de 1885 à 1888.

1° Le nombre d'accidents a varié comme l'indique le tableau suivant :

	ENSEMBLE des corporations			CORPORATION minière			SECTION saxonne		
	1886	1887	1888	1886	1887	1888	1886	1887	1888
Nombre d'accidents signalés par 1.000 assurés	27,19	27,42	28,04	64,87	71,15	74,19	101,39	132,46	140,54
Nombre d'accidents indemnisés par 1.000 assurés.	2,83	4,14	4,35	6,17	8,30	7,69	6,16	8,29	7,74

2° La valeur des indemnités a varié comme suit :

	ENSEMBLE des corporations	CORPORATION minière	SECTION saxonne
Année 1886.	1	1	1
Année 1887.	2,89	2,3	2,39
Année 1888.	4,49	3,3	3,32

Les indemnités croissent donc pour la corporation minière et la section saxonne moins rapidement que pour l'ensemble des corporations, tout en dépassant les chiffres 1, 2, 3 que l'on avait prévus comme valeur des rapports devant exister entre les indemnités distribuées dans les trois premières années.

Quant aux dépenses totales exprimées en marcs et rapportées à une tête d'assuré, puis à 1.000 marcs de salaires, on obtient les chiffres suivants :

	ENSEMBLE des corporations		CORPORATION minière		SECTION saxonne	
	par assuré	par 1.000 marcs de salaires	par assuré	par 1.000 marcs de salaires	par assuré	par 1.000 marcs de salaires
Année 1886. . . .	2,97	4,62	6,50	8,20	8,71	11,38
Année 1887. . . .	4,90	8,06	11,20	15,50	14,32	17,88
Année 1888. . . .	5,80	9,40	13,10	16,25	15,84	19,25

Les frais d'administration constituent, avec les indemnités, un élément capital de ces dépenses. Ils représentaient, en 1888, 13 p. 100 des dépenses totales pour l'ensemble des corporations, 4,6 p. 100 pour la corporation minière et 5,7 p. 100 pour la section saxonne de cette corporation.

Rapportés à 1.000 mars de salaires et à une tête d'assuré, ils sont en voie de décroissance pour l'ensemble des corporations :

	ENSEMBLE des corporations		CORPORATION minière		SECTION saxonne	
	par assuré	par 1.000 marcs de salaires	par assuré	par 1.000 marcs de salaires	par assuré	par 1.000 marcs de salaires
Année 1886. . . .	0,67	1,21	0,43	0,78	0,58	0,76
Année 1887. . . .	0,75	1,22	0,58	0,79	0,84	1,06
Année 1888. . . .	0,74	1,04	0,61	0,59	0,90	1,10

Malgré cette décroissance qui se manifeste également lorsqu'on compare ces frais d'administration aux indem-

nités distribuées, leur valeur absolue n'en est pas moins restée considérable, et, comme le disait M. l'ingénieur en chef des mines Ledoux, dans une récente conférence, il y a beaucoup d'argent dépensé en pure perte pour faire fonctionner cet immense attirail. C'est ainsi que par chaque marc d'indemnité, on avait dépensé, en 1886, 1^{M},25 de frais généraux pour l'ensemble des corporations; en 1887, 0^{M},71 et, en 1888, 0^{M},38, soit encore plus d'un tiers de l'effet utile inutilement consommé.

Pour la corporation minière, dont les résultats sont plus favorables, le chiffre correspondant a été de 0^{M},12 en 1888, soit plus de 10 p. 100.

3e *Question.* — COMPARAISON ENTRE LES TRIBUNAUX ARBITRAUX INSTITUÉS PAR LA LOI RELATIVE AUX ACCIDENTS ET LES TRIBUNAUX ARBITRAUX INSTITUÉS PAR LA LOI SAXONNE DE 1884.

D'après ce qui a été dit plus haut, il est aisé de rapporter à six points distincts les caractères essentiels que présentent ces deux ordres de juridiction. Pour éviter d'ailleurs toute confusion, j'appellerai :

Tribunaux saxons : les tribunaux institués par la loi du 2 avril 1884 (*).

Tribunaux d'assurance : les tribunaux institués par la loi du 6 juillet 1884.

Ils diffèrent :

1° Par leur **nombre** : les premiers sont au nombre de cinq, tandis qu'il n'y a qu'un tribunal d'assurance pour la section saxonne.

2° Par leur **situation** : Dresde, qui est le siège du tribunal d'assurance, n'est le siège d'aucun des tribunaux saxons (voir p. 623).

3° Par leur **ressort** : tandis que le tribunal d'assurance

(*) Voir, plus haut, p. 623.

s'étend à la Saxe tout entière, chacun des tribunaux saxons n'a pour ressort qu'une circonscription définie, comme il a été dit plus (p. 623).

4° Par leur **objet** : les tribunaux saxons tranchent les contestations entre patrons et ouvriers survenuas au sujet des caisses de maladie et connaissent des recours élevés contre les arrêtés du Bergamt ; le tribunal d'assurance connaît des recours élevés contre les décisions du comité de section.

5° Par leur **composition**. Si les tribunaux saxons se composent, comme le tribunal d'assurance, des cinq membres suivants : un président permanent et quatre assesseurs élus pour quatre ans (deux délégués ouvriers et deux représentants des patrons), il faut toutefois observer que dans le tribunal d'assurance les assesseurs siègent pour toutes les affaires, tandis que dans les deux tribunaux saxons chaque caisse élit les quatre assesseurs pour les affaires qui l'intéressent.

6° Par la **force de leurs jugements** qui sont rendus en dernier ressort par les tribunaux saxons, tandis que ceux du tribunal d'assurance sont susceptibles d'appel devant l'Office Impérial.

Ces différences suffisent à prouver qu'à part la similitude des termes, aucune confusion n'est possible entre les deux ordres de juridiction, l'une spéciale à la Saxe, l'autre qui ne diffère en rien des tribunaux analogues des autres sections de la corporation. Pour compléter les indications qui précèdent, nous donnerons les résultats relatifs à l'activité de ces tribunaux arbitraux.

1° *Tribunaux saxons.* — Ce n'est qu'à partir de l'année 1886 que les résultats relatifs aux tribunaux saxons ont quelque valeur. Ils sont contenus dans le tableau suivant :

	1886	1887	1888
Nombre d'affaires introduites dans l'année..	155	144 (dont 12 arriérées)	98 (dont 2 arriérées)
Nombre d'affaires jugées dans l'année. . . .	143	142	97
Nombre d'affaires ayant donné lieu à une décision	43	64	34
Nombre de cas de désistement	18	13	9
Nombre de cas de transaction.	29	24	21
Nombre de cas où la demande a été rejetée.	43	32	27
Nombre de cas où le défendeur a été condamné	10	9	6
Nombre de témoins et experts entendus. . .	64	5	»
Nombre total des séances.	42	29	26
Nombre des séances auxquelles les assesseurs n'ont pas été appelés	10	7	5
Nombre d'affaires intentées contre le patron	»	40	35
— — l'ouvrier.	»	1	0
— — la caisse de maladie.	»	19	12
— — la caisse de pensions	»	72	51
Nombre d'affaires non jugées en première audience.	24	9	7

Ce tableau montre que :

1° Le nombre d'affaires de 1887 à 1888 a diminué de 30 p. 100 environ, la diminution ayant porté principalement sur le nombre des actions intentées contre la caisse de pensions.

2° Le nombre des affaires donnant lieu à une décision qui, en 1887, était de 44 p. 100 du nombre total des affaires jugées, n'est plus, en 1888, que de 34 p. 100, et le nombre des rejets purs et simples, qui était de 22 p. 100 en 1887, est de 28 p. 100 en 1888.

Donc, d'une part, les réclamations des ouvriers sont devenues moins nombreuses et, d'autre part, celles qui se produisent sont moins bien fondées. On est donc conduit à reconnaître que, d'un côté, les ouvriers s'habituent à ce nouvel état de choses, et que, d'un autre, le fonctionnement des caisses devient plus régulier.

Les tribunaux saxons, qui, de l'aveu même des exploitants de ce pays, ont rencontré lors de leur fondation les plus sérieuses difficultés, fonctionnent aujourd'hui dans d'excellentes conditions, grâce aux garanties d'impartialité qu'ils présentent, à la simplicité de leur procédure et au zèle de leurs membres qui assurent une prompte solution aux affaires dont ils sont saisis.

2° *Tribunal d'assurance.* — Les statistiques impériales donnent les résultats relatifs au tribunal arbitral de la section saxonne sous une forme un peu différente de celle que les documents du royaume de Saxe ont adoptée pour les tribunaux saxons.

	SECTION VII — 1886 (y compris le dernier trimestre de 1885)	SECTION VII — 1887	SECTION VII — 1888	ENSEMBLE de la corporation minière — 1888
Nombre d'affaires introduites dans l'année devant le tribunal arbitral.	37	95	81	1.284
Nombre d'affaires provenant de l'année précédente	»	9	9	209
Nombre d'affaires jugées dans l'année	28	95	83	1.296
Nombre d'affaires ayant donné lieu à une décision	22	54	40	»
Nombre de cas de désistement. .	»	3	23	»
Nombre de cas de transaction. .	6	19	14	»
Nombre de cas où la demande a été rejetée	17	45	35	»
Nombre de cas où le défendeur a été condamné	5	9	5	»
Rapport exprimé en pour 100 du nombre de recours au nombre de blessés.	22,70 p. 100	44,19 p. 100	40 p. 100	46,71 p. 100
Nombre d'appels devant l'office impérial	4	6	12	363
Nombre de pourvois rejetés. . . .	3	4	9	309
Nombre de pourvois reçus	1	2	1	54
Nombre de pourvois déclarés non recevables	»	»	2	»

Observations. — Il convient de noter que dans toutes ces affaires l'ouvrier était demandeur et la corporation défenderesse, et que six demandes ont été rejetées pour cause de prescription.

Ce tableau montre que pour la section VII, le nombre absolu des affaires, qui s'est accru par suite du nombre des invalides, tend à diminuer et qu'il en est de même du rapport du nombre des recours à celui des blessés. Le nombre des cas de condamnation du demandeur a passé de 83,33 p. 100 du nombre total des affaires (en 1887) à 87,5 p. 100 (en 1888) devant le tribunal arbitral. Ce fait est peu

étonnant, si l'on songe que l'appel n'entraîne aucune dépense pour l'ouvrier qui l'interjette.

De même, le nombre de pourvois portés devant l'Office Impérial a passé de 13,3 à 34,2 p. 100 affaires, et, comme ces appels étaient interjetés par des ouvriers déboutés de leur demande par le tribunal de section, il est naturel que la proportion de pourvois rejetés ait passé de 66 à 75 p. 100 du nombre total des pourvois jugés par l'Office Impérial.

Si l'on compare d'ailleurs le tribunal de la section VII à l'ensemble des tribunaux de la corporation minière pour l'année 1888, on constate que 27 p. 100 des affaires introduites devant l'ensemble des tribunaux arbitraux de la corporation ont été l'objet d'un pourvoi devant l'Office Impérial (le chiffre correspondant n'étant que 14,4 p. 100 pour la Saxe), et que 86 p. 100 de ces pourvois (au lieu de 75 p. 100) ont été rejetés. Les résultats de cette comparaison s'expliquent : 1° par ce fait que sur 100 blessés 46 ont, pour toute la corporation, attaqué devant le tribunal arbitral la décision du comité de leur section (tandis que 40 seulement pour la Saxe ont usé de ce droit) ; 2° par le développement qu'ont toujours atteint en Saxe les connaissances juridiques, même parmi ceux qui n'ont pas embrassé la carrière de la magistrature ou du barreau.

CONCLUSION.

CHARGES TOTALES SUPPORTÉES PAR LES OUVRIERS ET LES EXPLOITANTS.

L'évaluation des charges supportées par les ouvriers et les exploitants résulte du rapprochement des éléments donnés isolément au cours de ce travail. Le charbonnage d'Oberhohndorf, dont les caisses ont été étudiées en détail, paraît naturellement indiqué, pour servir de base à ce calcul, dont les résultats exprimés en pour 100 du salaire sont résumés dans le tableau suivant :

CHARBONNAGES D'OBERHOHNDORF	ANNÉE 1885	ANNÉE 1886	ANNÉE 1887	ANNÉE 1888
A. *Dépenses.*				
I. Caisses minières. { Maladie	1.767	1.721	1.840	1.560
I. Caisses minières. { Pensions	2.776	3.566	4.421	3.912
II. Assurance contre les accidents	Néant	1.325	2.074	2.158
Total	4.543	6.612	8.335	7 630
B. *Charges imposées aux :*				
I. Ouvriers.				
Cotisations pour caisses de maladie	1.262	1.238	1.228	1.195
Cotisations pour caisses de pensions	1.641	1.609	1.596	1.553
Total des charges imposées aux ouvriers.	2.903	2.847	2.824	2.748
II. Patrons.				
Cotisations pour caisses de maladie	1.262	1.238	1.228	1.195
Cotisations pour caisses de pensions	1.641	1.609	1.596	1 553
Assurance contre les accidents	Néant	1.325	2.074	2.158
Total des charges imposées aux patrons.	2.903	4.172	4.898	4.906
Total des charges	5.806	7.019	7.722	7.654

Si l'on compare les cotisations aux dépenses, on constate que la seule année dans laquelle les premières n'aient pas suffi à couvrir les secondes est l'année 1887. Les tableaux II et III montrent que les caisses du charbonnage ne se trouvèrent cependant pas en péril : c'est que les cotisations ne constituent pas leur unique recette : il convient d'y ajouter les virements effectués par d'autres caisses à titre de transfert pour membres nouveaux, versements qui, en 1887, ont atteint une somme représentant 72,8 p. 100 du montant total des cotisations des ouvriers et des patrons.

La variation des charges et des dépenses depuis 1885 donne lieu aux constatations suivantes :

Dès l'année 1886, les dépenses ont crû de 45,8 p. 100 et les charges de 18,5 p. 100 ; de 1885 à 1888, les pre-

mières ont crû de 68,6 p. 100 et les secondes de 38,6 p. 100.

Que deviendront ces charges lorsque la loi d'assurance contre l'invalidité et la vieillesse qui doit entrer en vigueur le 1er janvier 1891 aura reçu son application? Le *Jahrbuch für Berg und Huttenwesen im Königreiche Sachsen*, de 1889, n'ose se prononcer à cet égard. Nous n'essayerons pas de le faire, ne pouvant donner place dans l'état actuel de la question, qu'à un exposé qui risquerait d'être à la fois trop incomplet et trop long.

Avril 1890.

TABLEAU I. — Caisse du charbonnage d'Oberhohndorf.

ANNÉES	RESSOURCES DE LA CAISSE D'OBERHOHNDORF (EN MARCS)								DÉPENSES DE LA CAISSE D'OBERHOHNDORF (EN MARCS)									
	Nombre d'associés à la fin de l'année	Capital de la caisse à la fin de l'année	Droits d'admission	Cotisations des associés	Cotisations du charbonnage	Amendes	Intérêts		Secours aux malades	Frais de médecin et pharmacien	Pensions aux invalides	Pensions aux veuves	Pensions aux orphelins	Frais de sépulture	Frais d'administration	Objets à inventorier	Impôts	Dépenses diverses (bandages, frais de voyages), etc.
		marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs		marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs
1857	25	1.109,66	175,12	485,37	429,72	43,50	»		42,65	41,30	»	»	»	»	7,50	»	»	»
1858	31	2.253 66	68,80	769,36	941,68	16,70	61,85		436,50	118,32	»	»	»	18,00	70,02	47,30	»	24,25
1859	31	3 228,82	26,70	823,12	905,96	24,00	44,80		253, 0	244,52	207,00	33,00	18,60	64,95	7,55	24,00	»	»
1860	39	4.806,28	98,50	992,25	810,36	20,10	133,25		82,80	91,35	64 50	111,50	32,00	12,00	30,75	42,00	»	»
1861	63	5 8 1,31	211,76	1.514,86	472,21	33,00	200,60		682,35	400,16	91,50	81,10	58,43	134,70	»	0,40	»	3,32
1862	94	7.723,97	410,64	2.041,90	626,78	52,50	185,05		866,50	113,47	78,00	162,42	94,62	90,00	24,50	»	»	»
1863	119	7 963,86	154,68	2.463,00	1.030,11	51,15	315,25		1.471,25	1.017,01	179,50	182,75	136,69	4,00	521,00	»	»	208,00
1864	131	10.588,77	374,25	2.857,14	1.816,99	92,30	307,25		1.547,50	669,16	182,00	187,56	127,40	108,00	»	»	»	2,00
1865	175	14 330,81	702,21	3.992,63	2.281,57	109,40	345,45		1.961,85	982,92	182,00	168,66	143,25	153,00	»	»	»	37,16
1866	221	19.203,72	494,52	5.102,08	2.949,89	168,90	729,27		2.104,22	1.287,75	269,00	116,06	164,95	178,00	»	»	»	312,40
1867	261	21.484,26	618,80	6.718,80	3.570,07	339,30	670,05		3 873,00	2 202,22	184,00	115,96	166,18	192,72	»	»	»	1,50
1868	328	31 180,97	773,12	8.361,88	4.444,71	384,30	1.440,05		4 631,82	2.472,46	332,50	227,30	192,75	293,52	36,00	450,00	»	70,00
1869	410	40.123,00	1.265,05	10.685,46	4.377,52	406,50	1.802,10		3.901,30	3.919,32	396,38	432,42	311,50	405,51	76,50	33,00	»	117,80
1870	484	48.711,56	1.017,10	12.797,28	6.341,28	267,90	1 544,50		5.103,75	4.479,29	466,64	575,45	500,90	615,95	72,00	79,60	»	1.186,79
1871	491	61.438,99	1.168,90	14 718,30	7.283,10	323,20	3 080,16		5.534,10	4.189,70	616,47	497,22	626,30	876,94	72,00	»	»	1.433,50
1872	513	76.373,00	1.372,50	17 191,56	8.456,58	589,70	2 384,78		6.019,47	4 932,86	1.106,80	912,08	1.059,89	729,16	153,90	»	»	301,24
1873	540	95 117,54	1.318,31	18.744,81	9 202,63	402,25	3.695,65		5.518,85	1.679,29	1.392,38	959,90	1.069,99	705,71	150,10	»	»	112,55
1874	605	119 515,35	2.338,27	26.807,28	13.229,01	621,20	4.103,05		9 385,30	6.468,82	2.315,95	1.290,58	368,63	884,35	316,50	516,00	»	172,70
1875	594	136 565,53	1.741,94	21 054,82	12.027,41	492,50	1 966,10		11 293,80	6.706,52	3 349,36	1 500,95	1.547,40	972,15	336,95	»	»	428,66
1876	628	150.623,87	1.124,70	23 325,92	11.662,96	667,35	5.913,60		11 553,45	5.771,32	5.484,43	2.135,51	1.779,50	1.123,43	324,60	72,00	11,25	380,91
1877	659	160 036,39	1.189,83	24 297,51	10.148,77	518,70	6.227,10		10.791,97	6.443,43	5 741,68	2.199,51	1.766,74	1.199,96	413,70	»	80,70	331,80
1878	732	168.755,78	452,00	21.918,24	10.974,12	689,80	6 729,18		11.754,90	7.574,88	6.538,83	2.341,27	1.872,21	1.062 15	372,00	»	131,88	223 45
1879	701	175.270,70	445,40	20.245,01	10.422,80	551,10	7 464,95		11.931 05	7.001,67	7.660,15	2 327,26	1 614,12	897,00	424,90	»	321,30	137,95
1880	788	188.473,27	1.989,38	25.012,76	12.321,38	641,40	6.979,95		10.136,10	7.211,16	9 215,05	2.378,79	1.592,61	1.536,34	592,75	»	338,32	220,75
1881	857	200.191,40	1.253,11	27 572,76	13.786,38	1.114,15	7.432,60		12.040,70	8.752,33	9.894,46	2.908,65	1.787,98	1.286,97	2.218,02	4,00	371,25	176,51
1882	885	213 976,23	1.324,02	28 99 ,00	14.496,50	961,60	8.407,01		12.648,00	9.630,99	10.207,65	3.369,15	1.627,94	1.611,96	727,77	3,00	324,06	46,76
1883	962	226.478,53	1 710,84	33.928,29	16.964,15	1.236,25	8.531,01		11.268,20	8.203,95	11.378,42	4.060,38	2.052,94	1.359,74	753,37	»	328,74	262,63
1884	1.016	257.838,99	951,89	33.453,71	16.726,86	1.016,10	5.374,80		9.315,30	6.882,96	11.246,30	3.646,93	2.093,84	1.619,66	789,90	»	313,77	254,94

TABLEAUX II ET III. — **Caisses du charbonnage d'Oberhohndorf** (depuis le 1er décembre 1884).

Tableau II. — A. Caisse de malades.

ANNÉES	RESSOURCES DE LA CAISSE						DÉPENSES DE LA CAISSE						
	Nombre d'associés à la fin de l'année	Capital de la caisse à la fin de l'année	Cotisations des associés	Cotisations du charbonnage	Intérêts	Total	Secours aux malades	Frais de sépulture	Frais d'administration	Frais de médecin et pharmacien	Dépenses diverses (lunettes, bandages, transports etc.)	Secours aux femmes en couches	Total
		marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs
1885	1.239	7.000	13.425,66	13.425,66	5,52	26.856,84	8.096,77	1.584,00	1.763,14	7.304,40	250,55	34,45	19.033,31
1886	1.305	14.300	13.988,92	13.988,92	281,48	28.259,32	7.928,43	1.592,00	1.620,90	7.966,14	290,53	55,25	19.453,25
1887	1.361	18.300	14.511,22	14.511,22	567,55	29.589,99	10.029,12	1.700,00	1.690,79	9.057,58	478,21	93,35	23.046,05
1888	1.527	27.800	15.208,30	15.208,30	806,15	31.222,75	8.964,29	1.562,60	1.775,49	8.143,57	473,41	57,85	20.980,21

OBSERVATIONS. — La caisse unique du charbonnage d'Oberhohndorf se scinda, le 1er décembre 1884, en deux caisses, l'une de malades, l'autre de pensions. L'exercice 1885 comprend le mois de décembre 1884.

Tableau III. — B. Caisse de pensions.

ANNÉES	ÉVALUATION A LA FIN DE L'ANNÉE DU NOMBRE DES					RESSOURCES DE LA CAISSE								
	Membres actifs	Invalides	Demi-invalides	Veuves	Orphelins	Capital de la caisse à la fin de l'année	Cotisations des associés	Cotisations du charbonnage	Droits d'admission	Amendes	Cotisations versées par d'autres caisses	Congés	Intérêts	Total
						marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs
1885	1.174	44	8	40	53	312.324,20	17.714,09	17.714,09	919,29	1.202,70	13.671,57	48,88	14.277,23	65.547,85
1886	1.232	48	9	45	59	356.918,85	18.467,94	18.467,94	961,07	1.453,80	22.069,57	33,54	11.387,28	72.841,14
1887	1.293	55	10	53	78	381.517,48	19.119,78	19.119,78	1.263,53	1.557,00	27.696,73	36,14	12.638,45	81.431,41
1888	1.450	63	9	57	79	427.774,54	20.077,65	20 077,65	1.498,15	1.424,30	31.180,60	5,58	13.766,22	88.030,15

OBSERVATIONS Le capital de la caisse unique (qui existait seule avant le 1er décembre 1884), soit 257.838m,99, passa tout entier à la caisse de pensions.

ANNÉES	DÉPENSES DE LA CAISSE										
	Pensions aux invalides	Pensions aux veuves	Pensions aux orphelins	Frais de sépulture	Secours extraordinaires	Secours aux veuves qui se remarient	Frais d'administration	Impôts	Cotisations versées à d'autres caisses	Divers (frais de justice, de consultat. de médecin)	Total
	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs
1885	15.488,71	4.675,06	2.384,24	310,00	855,63	324,99	1.524,67	330,12	3.784,77	183,32	29,861,51
1886	14.314,89	4.899,28	2.443,64	100,00	205,00	»	1.484,98	351,00	15.719,24	421,96	39.939,99
1887	15.649,21	5.426,50	2.444,65	300,00	962,25	716,04	1.528,26	324,00	25.027,27	35,05	52.413,23
1888	16.261,45	6.048,71	2.430,65	335,00	769,50	156,00	1.515,49	360,00	21.743,77	49,42	49.669,99

TABLEAU IV. — **Caisses minières des mines de houille de Saxe.** (Exercice 1875.)

L'exercice 1884 se termine au 1er décembre 1884, date à laquelle commence l'exercice 1885.

NOM de la caisse	NOMBRE de membres	CAPITAL de la caisse au début de l'exercice	CONTRIBUTION des membres	CONTRIBUTION des exploitants	INTÉRÊTS	TOTAL des recettes	PENSIONS	SECOURS en cas de maladie et frais de traitement	DÉPENSES diverses	TOTAL des dépenses	CAPITAL de la caisse en fin d'exercice	NOMBRE DE PENSIONNÉS Invalides	Veuves	Orphelins	Total
		marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs	marcs				
19 caisses du bassin de Chemnitz.	3385	581.887,80	112.982,75	56.788,71	38.810,13	208.581,59	31.634,67	70.415,36	18.981,36	121.031,39	669.438,00	74	118	204	396
5 caisses du bassin de Dresde. .	3394	709.673,49	117.025,19	80.384,93	45.866,06	243.276,18	129.110,40	53.282,41	23.498,61	205.891,42	747.058,25	295	687	711	1693
8 caisses du bassin de Zwickau.	9967	1.987.503,55	349.863,90	196.329,96	124.044,48	670.238,34	215.339,26	206.378,47	38.115,89	459.833,62	2.197.908,27	463	670	973	2106

TABLEAU V. — **Caisses minières des mines de houille de Saxe.** (Exercice 1884.)

12 caisses du bassin de Chemnitz.	5154	1.059.437,07	166.440,92	80.491,55	68.613,10	315.545,57	58.537,83	106.863,59	23.502,93	188.904,35	1.186.078,29	150	178	273	601
3 caisses du bassin de Dresde. .	2702	886.840,61	95.793,50	77.394,41	47.173,20	220.361,11	129.540,04	42.204,71	26.515,50	198.260,25	908.941,47	308	802	382	1492
8 caisses du bassin de Zwickau.	9206	2.894.849,16	338.262,90	224.309,14	137.932,88	700.504,92	342.528,88	140.963,72	81.446,37	564.938,97	3.030.415,11	1053	1034	1192	3279

NOMBRE des jours de maladie		CAPITAL	FRAIS funéraires	VERSEMENT au fond de réserve	DÉPENSES diverses	TOTAL des dépenses	ENCAISSE en fin d'année	FONDS de réserve	DETTES
60	45	5,35	9.902,35	19,687,35	11.340,18	186 400,59	5.845,71	19.659,40	7.173,68
911	27	1,61	3.899,72	10.731,29	2.156,45	78.660,58	6.028,38	10.736,94	»
296	72	5,75	17.075,55	58.855,17	11.238,78	267.806,13	8.103,94	58.429,32	6.494,38
773	63	9,93	8.768,70	43.107,45	13.989,23	250.911,13	15.959,40	136.433,06	2.815,46
933	21	5,41	3.093,80	32.618,43	4.528,70	93.581,22	5.713,00	72.424,30	58,10
332	67	8,55	14.277,00	67.946,96	18.051,78	265.366,25	22.202,01	244.559,68	200,00

TAL ut e rcice	COTISATIONS versées à d'autres caisses	IMPÔTS	FRAIS d'administration	CAPITAUX prêtés	DÉPENSES diverses	TOTAL des dépenses	CAPITAL de la caisse en fin d'année
348,55	27.021,10	1.087,39	4.567,05	257.812,35	9.041,67	380.228,37	1.370.746,65
038,99	4.557,24	1.008,00	2.018,94	80.755,59	882,01	271.973,67	945.924,12
064,73	62.590,94	5.672,51	12.715,04	264.689,85	12.787,13	819.740,69	3.365.062,11
368,80	69.685,88	1.834,52	4.762,54	346.307,61	19.449,59	557.829,00	2.051.967,63
158,54	1.128,28	1.020,00	1.546,40	70.991,65	8.130,82	276.337,26	1.042.497,91
104,95	198.858,67	3.743,36	13.268,42	242.187,10	37.572,45	1.054.233,71	4.187.931,12

TABLEAU VI. — **Caisses de malades des mines de houille de Saxe.** (Exercice 1885.)

NOM DE LA CAISSE	COTISATIONS exprimées en pour 100 du salaire	MODIFICATION dans le nombre des membres : plus	MODIFICATION dans le nombre des membres : moins	NOMBRE de membres en fin d'année	NOMBRE des cas de maladie : total	NOMBRE des cas de maladie : cas indemnisés	NOMBRE des jours de maladie : total	NOMBRE des jours de maladie : cas indemnisés	NOMBRE moyen de jours de maladie par membre	ENCAISSE de l'année précédente	CONTRIBUTION : des membres	CONTRIBUTION : des exploitants	AVANCES des exploitants	SOMMES retirées du fonds de réserve	REMBOURSEMENT : des exploitants	REMBOURSEMENT : de la corporation	RECETTES diverses	TOTAL des recettes	FRAIS de médecin	FRAIS de pharmacien et traitement	SECOURS aux associés	SECOURS aux ayants droit des assurés	SECOURS aux femmes en couches	SECOURS à l'hôpital	FRAIS funéraires	VERSEMENT au fond de réserve	DÉPENSES diverses	TOTAL des dépenses	ENCAISSE en fin d'année	FONDS de réserve	DETTES
13 caisses du bassin de Chemnitz. . .	de 2,85 à 3,75	3.116	2.601	6.307	8.239	4.888	80.160	45.393	7,50	603,10	115.988,60	61.065,29	5.540,09	»	»	»	6.695,72	189.892,71	39.845,65	34.987,29	55.612,05	1.206,91	93,46	13.725,35	9.902,35	19.687,35	11.340,18	186 400,59	5.845,71	19.659,40	7.173,68
4 caisses du bassin de Dresde	de 3,5 à 5,25	516	480	2.906	3.376	1.361	42.911	27.361	9,47	»	44.731,99	39.278,09	»	»	»	»	678,88	84.688,96	12.449,20	8.979,00	35.602,60	557,56	133,15	4.151,61	3.899,72	10.731,29	2.156,45	78.660,58	6.028,38	10.736,94	»
28 caisses du bassin de Zwickau . . .	de 2,4 à 4,5	2.915	2 658	10.140	7.306	5.490	126.296	72.669	7,26	»	149.165,15	116.669,22	6.938,43	400,00	»	»	2.737,27	275.910,07	39.509,42	38.912,17	94.014,80	1.096,94	127,55	6.975,75	17.075,55	58.855,17	11.238,78	267.806,13	8.103,94	58.429,32	6.494,38

TABLEAU VII. — **Caisses de malades des mines de houille de Saxe.** (Exercice 1888.)

13 caisses du bassin de Chemnitz. . .	de 3 à 4,95	3.929	3.660	7.189	9.947	5.956	100.773	65.111	9,23	8.958,19	148.169,75	77.782,31	7.065,46	9.718,67	2.254,11	3.442,15	9.479,89	266.870,53	43.871,50	40.307,60	87.606,30	1.088,10	72,27	12.099,93	8.768,70	43.107,45	13.989,23	250.911,13	15.959,40	136.433,06	2.815,46
4 caisses du bassin de Dresde	de 1,8 à 4,5	314	437	2.874	3.367	1.252	39.033	21.747	7,41	7.848,01	40.944,09	36.389,97	58,10	9.441,12	748,10	921,63	2.943,20	99.294,22	12.314,73	8.573,67	28.097,51	458,67	50,30	3.845,41	3.093,80	32.618,43	4.528,70	93.581,22	5.713,00	72.424,30	58,10
21 caisses du bassin de Zwickau . . .	de 2 à 4,5	3 407	3.115	10.486	7.368	5.393	116.532	67.682	6,55	13.810,30	140.218,17	107.006,94	650,00	7.069,70	2.877,45	6.836,75	9.098,95	287.568,26	36.403,70	30.260,36	89.476,76	1.312,59	238,55	7.398,55	14.277,00	67.946,96	18.051,78	265.366,25	22.202,01	244.559,68	200,00

TABLEAU VIII. — **Caisses de pensions des mines de houille de Saxe.** (Exercice 1885.)

NOM DE LA CAISSE	COTISATIONS exprimées en pour 100 du salaire	MEMBRES actifs en fin d'année	INVALIDES en fin d'année	VEUVES en fin d'année	ORPHELINS en fin d'année	CAPITAL au début de l'exercice	ENCAISSE de l'année précédente	INTÉRÊTS	DROITS d'admission	CONTRIBUTIONS : des membres	CONTRIBUTIONS : des exploitants	COTISATIONS versées par d'autres caisses	AMENDES	CAPITAUX réalisés	RECETTES diverses	TOTAL des recettes	PENSIONS aux invalides	PENSIONS aux demi-invalides	PENSIONS aux veuves	PENSIONS aux orphelins	FRAIS funéraires	SECOURS extraordinaires	COTISATIONS versées à d'autres caisses	IMPÔTS	FRAIS d'administration	CAPITAUX prêtés	DÉPENSES diverses	TOTAL des dépenses	CAPITAL de la caisse en fin d'année
11 caisses du bassin de Chemnitz. . .	de 3,4 à 5	5.575	180	204	313	1.169.648,55	20.116,51	50.342,20	26 947,42	90.242,45	89.879,10	35.903,31	13.249,07	93.608,91	3.159,14	423.448,11	39.916,32	2.229,31	19.830,52	13.258,16	1.106,00	4.358,50	27.021,10	1.087,39	4.567,05	257.812,35	9.041,67	380.228,37	1.370.746,65
3 caisses du district de Dresde	de 6 à 9	2.746	324	819	349	912.038,99	14.227,79	41.858,82	870,80	86.118,80	84.912,01	930,66	1.238,76	44.651,85	6.599,82	281.409,31	88.805,96	1.300,25	72.515,97	13.757,88	3.138,00	3.233,83	4.557,24	1.008,00	2.018,94	80.755,59	882,01	271.973,67	945.924,12
8 caisses du district de Zwickau . . .	de 4 à 7,2	9.934	1.098	1.059	1.107	3.094.064,73	59.147,97	148.784,05	10.390,92	268.944,21	270.038,68	58.733,43	6.436,33	56.977,50	19.817,36	899,270,45	278.800,14	11.983,88	114.520,48	47.011,23	5.160,00	3.809,49	62.590,94	5.672,51	12.715,04	264.689,85	12.787,13	819.740,69	3.365.062,11

TABLEAU IX. — **Caisses de pensions des mines de houille de Saxe.** (Exercice 1888.)

11 caisses du bassin de Chemnitz. . .	de 3,4 à 5	6.363	326	235	292	1.800.368,80	40.325,65	69.888,12	31.347,01	109.199,00	108.331,27	75.091,88	15.631,87	115.073,78	49.053,94	613.942,62	68.752,74	4.351,18	22.387,50	11.721,67	1.174,00	7.402,22	69.685,88	1.834,52	4.762,54	346.307,61	19.449,59	557.829,00	2.051.967,65
3 caisses du bassin de Dresde	de 6 à 9	2.805	396	830	303	1.013.158,54	10.009,52	41.156,45	589,70	84.689,48	83.968,71	2.034,95	1.348,43	47.265,17	17.143,11	288.205,52	109.041,65	64,50	68.313,62	10.695,28	2.382,00	3.023,06	1.128,28	1.020,00	1.546,40	70.991,65	8.130,82	276.337,26	1.042.497,91
8 caisses du bassin de Zwickau . . .	de 4 à 8	10.160	1.469	1.194	1.069	3.940.104,95	88.711,55	148.773,69	8.007,44	291.243,37	286.727,33	193.685,39	7.066,08	55.202,25	75.538,73	1.154.955,83	367.144,57	15.038,59	122.854,25	45.014,60	4.160,00	4.391,70	198.858,67	3.743,36	13.268,42	242.187,10	37.572,45	1.054.233,71	4.187.931,12

TABLE DES MATIÈRES.

Pages

PREMIÈRE PARTIE. — ÉTAT DES ANCIENNES CAISSES MINIÈRES JUSQU'A L'ENTRÉE EN VIGUEUR DE LA LOI RELATIVÉ A LA MALADIE. 585

Période antérieure à la loi du 16 juin 1868 585
Loi du 16 juin 1868 597
Période comprise entre la loi du 16 juin 1868 et la loi du 28 février 1882 599
Loi du 28 février 1882 606
Période comprise entre la loi du 28 février 1882 et la loi du 2 avril 1884 608

DEUXIÈME PARTIE. — ÉTAT DES CAISSES MINIÈRES DEPUIS L'ENTRÉE EN VIGUEUR DE LA LOI RELATIVE A LA MALADIE. 609

Loi du 2 avril 1884 609
Période comprise entre la loi du 2 avril 1884 et la loi du 6 juillet 1884 627

TROISIÈME PARTIE. — ÉTAT DES CAISSES MINIÈRES DEPUIS L'ENTRÉE EN VIGUEUR DE LA LOI RELATIVE AUX ACCIDENTS. 637

Loi du 6 juillet 1884. 637
Rapports entre les organes chargés de l'assurance contre les accidents et les caisses de maladie ou de pensions 639
Organisation de la section saxonne de la corporation minière. . . 651
Tribunaux arbitraux saxons. 668

CONCLUSION. — CHARGES TOTALES SUPPORTÉES PAR LES OUVRIERS ET LES EXPLOITANTS 672

TABLEAU I 675
TABLEAUX II et III 676-677
TABLEAUX IV et V 678
TABLEAUX VI, VII, VIII et IX 678bis

BULLETIN.

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE. — RUSSIE.

Loi du 2-14 juin 1887 sur l'industrie privée des mines dans les terrains libres de la Couronne.

Le principe de l'accession est, depuis un manifeste de Catherine II, du 28 juin 1782, la base du droit minier russe, comme il est la base du droit minier anglais. Appliqué à l'immense étendue de territoires possédés par l'État en Russie, ce principe aurait mis les énormes richesses minérales contenues dans ces terrains sous le pouvoir contractuel discrétionnaire de l'Administration. Depuis longtemps on avait compris que pour développer l'industrie des mines, il convenait de substituer à ce régime, dont on voit aisément les inconvénients, un système légal uniforme donnant plus de garantie aux intérêts privés et suscitant davantage l'initiative des explorateurs. De là la tendance bien marquée dans ces dernières années de créer pour les mines des terrains de la Couronne un régime s'inspirant des règles du nouveau droit minier allemand. C'est sous l'empire de ces idées qu'avaient été déjà promulgués divers actes particuliers, notamment : l'ordonnance du 8 mars 1864, sur les mines du pays des Cosaques du Don; la loi sur les alluvions aurifères du 24 mai-5 juin 1870; celle sur l'exploitation du pétrole du 1-13 février 1872; ces deux dernières lois méritaient d'autant plus d'être remarquées que ce sont les premières qui aient été rendues pour l'ensemble de la Russie d'Europe; auparavant, et parfois même encore après, on statuait par règlements spéciaux à certains districts. Ces idées viennent d'être définitivement et complètement consacrées par la loi du 2-14 juin 1887, dont il nous a paru, à ce titre, intéressant de donner ici une analyse (*).

(*) Nous faisons cette analyse d'après la traduction allemande de la loi qui a été donnée, dans le *Zeitschrift für Bergrecht* du docteur Brassert (1er fascicule de 1890), par M. Alexis von Köppen, chef de section au département des mines de Saint-Pétersbourg. Cette origine donne à cette traduction une authenticité de premier ordre. M. de Köppen a accompagné sa traduction d'un aperçu historique fort intéressant sur la législation des mines en Russie depuis Pierre le Grand.

La loi s'applique à toute la Russie d'Europe (§ 1), à la seule exception de la Pologne et, bien entendu, du grand-duché de Finlande, qui ont, l'une et l'autre, pour des motifs différents, des législations qui leur sont propres.

Elle s'applique aux terrains de la Couronne déclarés libres (§ 2); cela veut dire, d'après ce § 2, à tous les terrains de la Couronne, à l'exception de ceux dont l'usufruit ou l'usage a été antérieurement voué à des destinations spéciales, et dont la gestion, à ce titre, ne dépend plus de l'administration des domaines. Ces terrains publics sur lesquels l'État n'a plus, pour ainsi dire, que le domaine éminent, sont notamment ceux remis à des particuliers à des titres divers, ceux remis à des communes, à des corporations, aux Cosaques de diverses régions (Cosaques du Don, d'Orembourg, de l'Oural et d'Astrakan, Kirghis, Baschkirs, etc.). Ne sont pas non plus considérés comme libres pour l'application de la loi les terrains domaniaux affectés à ces usines de la Couronne ou à ces usines de particuliers, dites *usines de possession*.

Mais, ainsi qu'il résulte implicitement de divers articles, la loi s'applique aux terrains qui auraient été simplement affermés par l'administration des domaines.

L'administration peut, d'ailleurs, exclure l'industrie des mines, ou ne la permettre que sous certaines réserves, dans les terrains couverts de forêts plus spécialement précieuses ou dont la culture pourrait être particulièrement avantageuse (§ 3 à 5).

Les substances minérales dont la recherche et l'exploitation font l'objet de la loi sont (§ 6) : 1° les métaux et les minerais métalliques, l'or et le platine exceptés (*); 2° les charbons de terre, les schistes combustibles et les bitumes, le pétrole et l'ambre exceptés (**); 3° le graphite; 4° le soufre et les pyrites; 5° les pierres précieuses; 6° les argiles réfractaires et les pierres dures (***).

(*) Cette exception de l'or et du platine vient de ce que leur recherche et leur exploitation font l'objet de la loi spéciale du 24 mai-5 juin 1870.

(**) De même, la recherche et l'exploitation du pétrole a fait l'objet d'une loi spéciale du 1-13 février 1872, et pour l'ambre d'une autre loi spéciale de 1874.

(***) Les gîtes de calcédoine de Sidelnikovo et de Gagarka, et ceux d'émeraude dans le district minier de Katharinenbourg sont réservés à la taillerie impériale établie dans cette dernière ville.

Bien que les recherches s'exécutent et que les concessions s'instituent pour un gîte d'une substance de nature déterminée, l'explorateur ou l'exploitant a seul le droit, dans le périmètre légal à lui attribué, de rechercher ou d'exploiter toutes les autres substances précitées (*).

La pierre à chaux, l'argile ordinaire, le quartz et le sable peuvent, mais pour l'usage exclusif des mines et usines, être assimilés aux substances précitées (§ 8); pour tous autres usages, leur recherche et leur exploitation sont soumises au droit commun, c'est-à-dire, dans l'espèce, au régime contractuel discrétionnaire.

La loi distingue et traite séparément le droit de recherche qui fait l'objet du chapitre II (§§ 16 à 32), et le droit d'exploitation dont l'institution est l'objet du chapitre III (§§ 33 à 46); mais le droit d'exploitation ne peut résulter que de la transformation d'un droit de recherche non périmé.

Le droit de recherche ne peut être exercé que moyennant un permis administratif; mais ce permis est accordé de droit (**) à la priorité de la demande ou est attribué par la voie du sort en cas de demandes concurrentes et simultanées (§ 20). L'explorateur permissionnaire a un droit de fouille exclusif dans un périmètre réservé, formé par un carré de 400 hectares dont le centre est au signal de fouille (***) que l'explorateur, avant toutes choses, a dû poser à cet effet; ce carré a ses côtés nécessairement orientés suivant le méridien (****). Le permis n'est valable que pour trois ans (§ 21); sa durée est réduite à deux ans (*****) pour les minerais de lacs et de marais et pour les substances exceptionnellement

(*) Ce système d'attribuer ainsi à une même personne toutes les substances du tréfonds détachées légalement de la propriété du fonds, est, on le sait, celui de l'Autriche et du nouveau droit minier espagnol; partout ailleurs, en Europe, on procède, comme en France, par substance distincte.

(**) Le § 19 stipule que l'administration locale doit statuer dans le mois, en délivrant le permis ou en faisant connaître le motif de son refus; il ne peut s'agir là que de motifs de droit, susceptibles de donner lieu aux recours devant l'administration supérieure prévus au chapitre VI.

(***) Au signal de fouille, ou aux environs immédiats, doit être placée une pancarte apparente donnant les nom et prénoms de l'explorateur, le jour, le mois et l'an de la pose.

(****) Cette forme de périmètre réservée est aussi simple et paraît meilleure théoriquement que la forme circulaire qui a l'inconvénient de laisser des terrains morts entre les cercles; mais le tracé ou la reconnaissance de lignes alignées d'après le méridien vrai, qui est seul admissible, ne sont peut-être pas en général des opérations aisées.

(*****) La loi s'applique aux recherches et à l'exploitation des minerais des lacs

assimilées aux substances concessibles. L'explorateur doit, à peine du retrait de son permis et de déchéance pure et simple de ses droits (§ 30): 1° commencer ses travaux dans l'année et ne pas les interrompre plus d'un an (§ 25); 2° payer une redevance de 30 roubles par an et par périmètre (§ 27) (*); 3° demander une concession avant l'expiration de son permis. La déchéance rend le terrain libre pour tous comme avant son occupation; l'explorateur déchu ne peut toutefois pas le réoccuper avant six mois (§ 31). Le permis de recherche est cessible sur simple déclaration à l'administration qui doit mentionner la cession sur le permis qu'on lui remet à cet effet (§ 22). Les travaux de recherche sont soumis à la surveillance administrative comme les travaux d'exploitation (**); mais rien dans la loi ne paraît limiter la nature et l'étendue des travaux que peut poursuivre l'explorateur ni restreindre sa faculté de tirer parti du produit de ses fouilles.

Le droit d'exploitation ne peut résulter, nous l'avons déjà dit, que de la transformation d'un droit antérieur de recherche; l'explorateur est tenu de provoquer cette transformation dans un délai de trois ans au plus. Le droit d'exploitation s'acquiert par le seul effet de la demande, faite dans ce délai, sous la double condition que la demande soit régulière en la forme (***) et que l'existence de la substance désignée ait été officiellement reconnue (§ 40). Ce droit d'exploitation s'institue par voie de concession délivrée par les autorités locales et il s'exerce par champ distinct, de forme rectangulaire, d'une verste carrée (100 hec-

et marais comme à celles des substances minérales ordinaires; toutes les fois qu'il y a lieu de stipuler une différence dans les règles du fond ou de la procédure, à raison des différences naturelles de ces deux classes de minerais, la loi le fait dans l'article qui pose la règle. Nous nous abstiendrons généralement de relever ces différences dont l'intérêt est très secondaire et qui se comprennent aisément.

(*) Il résulte implicitement de cet article, et du reste rien ne paraît s'y opposer par ailleurs dans la loi, qu'un même explorateur peut simultanément occuper plusieurs périmètres et se faire éventuellement octroyer, par suite, autant de concessions qu'il désire. L'inconvénient a dû paraître secondaire à cause de la faible étendue des champs concédés et des règles sur le travail obligatoire.

(**) Les règles sur cette surveillance, qui s'appliquent aux exploitations minières dans les terrains de la Couronne comme aux exploitations de pleine propriété privée, font actuellement l'objet de la loi du 13 mai 1880.

(***) Le § 43 stipule que si la demande est écartée comme irrégulière en la forme, l'explorateur perd tout droit à la réintroduire passé le délai de validité de son permis de recherche.

tares), d'étendue maximum, dont la largeur doit être égale au moins au tiers de la longueur (§ 34) (*).

L'explorateur peut se faire attribuer, dans les limites d'un même périmètre de recherche, jusqu'à quatre champs dont il choisit librement l'emplacement et l'orientation, mais qui doivent rester continuellement distincts pour les applications diverses de la loi.

La concession d'un champ, qui forme, on vient de le dire, une entité distincte, imposant pour chaque champ les obligations et conférant les droits subsidiaires qui vont être ci-dessous relatés, donne le droit principal d'exploiter toutes les substances minérales concessibles comprises dans le champ jusqu'à leur complet épuisement (§ 47) (**). Ce droit peut être cédé par acte notarié, qui doit être communiqué à l'administration, laquelle en fait mention sur le titre de concession remis à l'intéressé (id.).

Le concessionnaire a le droit de faire à l'intérieur de son champ tous les travaux, constructions et établissements nécessaires à l'exploitation de la mine, moyennant réparation des préjudices occasionnés à la surface envers soit la Couronne, soit son locataire, en cas de terrains donnés à bail par celle-ci. La loi ne parle pas de la possibilité de travaux quelconques à l'extérieur, à l'exception de ce qui sera dit ci-dessous des servitudes sur les mines voisines. L'exploitant dirige et conduit librement son entreprise, au point de vue technique et économique, sous une simple surveillance de police de la part de l'administration (§ 53), mais à charge par lui de se conformer aux obligations suivantes par chaque champ concédé pris individuellement :

(*) Pour l'exploitation des minerais de lacs et de marais, le champ peut embrasser la totalité ou une partie déterminée du lac ou du marais (§ 35). Pour les concessions faites, aux mines et usines, de substances assimilées aux substances concessibles, le champ est réduit à 48 hectares.

(**) Cette définition de la durée du droit attribué au concessionnaire est à remarquer. Elle se trouve dans d'autres lois russes et dans quelques lois allemandes. Elle est analogue à celle que le gouvernement français avait insérée dans le projet de loi sur les mines, par lui déposé à la Chambre des députés en 1886. Cette formule, à coup sûr nouvelle en France, a été très vivement attaquée chez nous, et non sans raison au point de vue juridique, on doit le reconnaître. La commission de notre Chambre des députés l'a rejetée et est revenue à la formule de la loi de 1810 stipulant que la mine constitue une propriété *perpétuelle*. Si l'on pouvait écarter les passions que ces discussions ne manquent jamais de soulever, on reconnaîtrait que la vérité et le bon sens concourrent pour parler simplement de propriété sans épithète. C'est la solution éminemment rationnelle à tous égards qu'a adoptée le règlement sur les mines du Tonkin édicté par le décret du 16 octobre 1888.

1° Les travaux préparatoires doivent commencer dans l'année de la concession, et les travaux d'extraction de la substance utile dans les trois ans ; ils doivent être continués sans interruption et atteindre annuellement au moins l'importance minimum fixée pour chaque champ, dès l'origine, par l'administration, sans que celle-ci puisse exiger une plus forte extraction (§ 52) ; le tout à moins d'impérieux motifs (§ 62) (*) ;

2° L'exploitant doit payer, en outre des redevances proportionnées à l'extraction (**), une redevance annuelle fixe calculée sur la rente moyenne produite, pendant les trois années antérieures à la concession, par le champ concédé, ou la partie du champ concédé à laquelle l'exploitant peut restreindre son droit d'exploitation, sans que cette rente puisse en aucun cas produire moins de 1 rouble par dessiatine (10.925 mètres carrés) du champ entier (§§ 54 et 55).

A défaut de se conformer, après mise en demeure, à la règle du travail obligatoire, la concession peut être retirée (§ 62), et donne lieu alors à une adjudication poursuivie par voie administrative, qui profite au concessionnaire déchu, sous déduction des sommes dues à l'État pour les frais (§ 65). De même, en cas de non payement de la redevance fixe, après les délais de grâce et les amendes encourues pour retard, il est procédé à une saisie des objets et produits de la mine, et, si c'est nécessaire, à une saisie de la mine elle-même, qui est vendue aux enchères dans les mêmes conditions (§ 60).

Le concessionnaire peut renoncer volontairement à la concession d'un champ en en donnant avis à l'administration un an à l'avance et en restituant son titre de propriété (§ 63) ; il a, dans ce cas, un an pour enlever de la mine tout ce qui y a été mis par

(*) Telle est la dernière formule de la règle du travail obligatoire par champ concédé auquel s'est arrêté le gouvernement russe. Les lois antérieures stipulaient généralement d'une façon explicite l'extraction minimum à réaliser : 1.600 kilogrammes de minerais par an, d'après le code minier de 1857 ; 146 mètres cubes de substance utile ou de roche encaissante dans une période de trois ans, d'après le règlement de 1864 sur les mines du pays des Cosaques du Don ; 116 mètres cubes dans l'année, d'après le règlement sur les mines de houille de l'Oural de 1867 ; 290, d'après la loi polonaise de 1870. La loi sur l'or de 1870 et celle sur le pétrole de 1872 n'avaient fixé aucune règle à ce sujet. Il y a lieu de remarquer, en outre, que, en principe, la règle s'applique distinctement par champ sans report d'un champ sur l'autre, comme on l'a fait dans nombre de législations qui ont adopté le système d'un travai obligatoire minimum fixé par la loi.

(**) Voir sur les impôts russes notre *Traité de législation*, t. III, p. 415.

lui, sauf les échelles et le boisage (§ 64); la mine abandonnée est vendue aux enchères au profit de l'État (§ 65).

La mine retirée ou la mine volontairement abandonnée qui, après deux enchères, n'a pas trouvé preneur redevient terrain libre pouvant être à nouveau réoccupé comme si la mine n'avait jamais existé (§ 66).

L'exploitant d'une mine a le droit d'établir sur la mine du voisin des voies de communication et tous ouvrages nécessaires à la conduite ou à l'écoulement des eaux, le tout moyennant indemnité appropriée, et approbation de l'administration technique des mines si la nécessité du travail est contestée (§ 67). Il y a lieu à indemnité en faveur de la mine qui en dénoie une autre (§ 68).

Nous avons passé sur les règles qui n'intéressent que l'organisation des autorités chargées de l'exécution de la loi. Ce sont là choses trop contingentes suivant les pays. Notons seulement, d'une part, que l'exécution de la loi, y compris l'octroi des concessions, est entièrement remise aux autorités locales, sauf pour prononcer le retrait des concessions. Dans ce seul cas, le ministre statue (§ 62); hors ce cas, il ne connaît des affaires qu'en appel. D'autre part, suivant le système de plusieurs lois allemandes, quand il y a lieu à indemnité entre particuliers pour un motif quelconque, elle est fixée, à défaut d'entente amiable entre les intéressés, par l'autorité administrative, sauf recours à la voie judiciaire, dans un délai relativement très bref, par celle des parties qui n'accepte pas cette décision.

La loi ne s'est occupée nulle part de définir le caractère juridique du droit de recherche et du droit d'exploitation. Ce que nous avons dit des suites du retrait ou de la saisie des mines montre que le droit d'exploitation constitue une vraie propriété; mais, suivant ce qui est généralement admis dans le nord et l'est de l'Europe, il doit être une propriété mobilière.

Quand on cherche à rapprocher cette loi russe de celle existant dans d'autres pays, on est frappé par deux analogies : celle des législations autrichienne et saxonne, d'une part; et, d'autre part, celle du règlement des mines de l'Annam et du Tonkin qui a été édicté officiellement en 1888 seulement, mais dont le projet avait été publié dès le 6 décembre 1884.

Le rapprochement avec ce dernier régime est assez frappant en ce qui concerne l'institution de la propriété minière, avec ses deux stades successifs, à la priorité de l'occupation et de la demande. La seule différence est que le droit d'exploitation s'acquiert au Tonkin sans que l'autorité vérifie même l'existence de la mine. Lorsque le droit d'exploitation est constitué, la législation russe se rapproche plus intimement de la législation autrichienne.

L. A.

GISEMENTS DE PHOSPHATE DE CHAUX DE LA TUNISIE.

Des recherches ont été entreprises depuis plusieurs années avec le concours du service des mines de la Régence, en vue d'étudier les gisements de phosphate de chaux de la région de Gafsa.

L'existence de ces gisements avait été reconnue en premier lieu dans le massif montagneux situé à l'ouest du Gafsa, par M. Thomas, géologue, pendant sa mission paléontologique de 1885.

A la suite d'un voyage, exécuté dans cette région en 1887, M. Damour, ingénieur, avait conclu à la possibilité d'exploiter les phosphates qui s'y trouvent. Il produisait à l'appui de son rapport une coupe transversale de la chaîne des montagnes du Kranguet-Sedja, faisant ressortir une épaisseur de couches phosphatées de 12 à 15 mètres.

Quelque temps après, M. Aubert, ingénieur des mines de la Régence, constatait l'existence de ces gisements sur une longueur de 50 kilomètres et concluait à l'utilité de poursuivre ces recherches en les étendant à toute la région des montagnes situées au sud, au sud-est et à l'ouest de Gafsa.

Enfin, MM. Pattin et Rouff, ayant demandé et obtenu un permis de recherche au Kranguet-Sedja, ont pu établir par leurs travaux d'exploration l'existence dans les massifs des Djebel Zimra, Sedja, Stah, à l'ouest de Gafsa, de couches importantes de phosphates dont l'épaisseur exploitable varie de 8 à 12 mètres sur une étendue d'environ 50 kilomètres. Il résulte des analyses faites sur une série de 60 échantillons que ces couches contiennent en moyenne 60 p. 100 de phosphate tribasique de chaux, cette richesse pouvant être augmentée de 3 à 5 p. 100 par des lavages. La quantité totale exploitable ne serait pas inférieure à 6.000.000 de tonnes correspondant à un peu plus de 5.000.000 de tonnes de minerais lavés ayant une teneur moyenne d'au moins 62 p. 100 de phosphate tribasique de chaux.

D'autres gisements d'une importance moindre ont été reconnus dans le massif des Djebels Jellabia, Sehib et Rofsa, au sud de Gafsa, à environ 30 kilomètres de l'Oued Seldja.

Ceux qui sont situés au sud du Djebel Sehib représentent à eux seuls une formation phosphatée de 340.000 tonnes environ de bon minerai, mais toute cette région paraît absolument privée d'eau, tandis que, dans la région des Djebels Zimra, Seldja et Stah, l'Oued Seldja fournit les eaux nécessaires à la perforation mécanique.

Il serait donc indispensable de faire des nouvelles recherches d'eau pour mettre en valeur les phosphates des Djebel Sehib, et, en cas de succès, les recherches pourront être poursuivies jusqu'au Djebel Ahra dont la structure paraît annoncer également la présence de gisements phosphatés.

(Extrait d'un *rapport adressé à M. le ministre des affaires étrangères par* M. MASSICAULT, *résident général de France, à Tunis.*)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIX-SEPTIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

Étude sur la Leverrierite; par M. *Termier* 372

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

Sur les eaux minérales de Cransac; par M. *Ad. Carnot* . . . 282

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Note sur les rondelles Belleville; par M. *Rateau* 5

Analyse des rapports officiels sur les accidents de grisou survenus en France pendant les années 1884 à 1887; dressée par M. *Coste* 258

Note sur quelques appareils employés dans les mines allemandes en vue de prévenir les accidents; par M. *Maurice Bellom* 329

Revue de l'état actuel de la construction des machines; par M. *Ed. Sauvage* 403

Note sur l'accident de la mine de Mauricewood; par M. *L. Aguillon* 548

Les conditions du travail et la grève de 1889 dans les houillères prussiennes; par M. *O. Keller* 557

Étude des modifications apportées à la législation des mines de houille de la Saxe royale, en vertu des lois de l'Empire allemand sur l'assurance contre la maladie et les accidents; par M. *Maurice Bellom* 584

OBJETS DIVERS.

Pages

Statistique de l'industrie minérale de la France. — Tableaux comparatifs de la production des combustibles minéraux, des fontes, fers et aciers, en 1888 et en 1889. 47

Note sur le service du matériel et de la traction des chemins de fer de l'État belge; par M. *Mettrier*. 56

Note sur les chemins de fer départementaux; par M. *Noblemaire* 199

Notice nécrologique sur Lefébure de Fourcy (Eugène), inspecteur général des mines; par M. *Lamé Fleury*. . . . 233

Notice nécrologique sur Edmond Fuchs, ingénieur en chef des mines; par M. *de Lapparent* 287

Note sur un clapet de retenue d'alimentation d'un type défectueux; par M. *Olry*. 369

BULLETIN.

Législation étrangère. — Russie. — Loi du 2-14 juin 1887 sur l'industrie privée des mines dans les terrains libres de la Couronne. 678

Gisements de phosphate de chaux de la Tunisie 685

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIX-SEPTIÈME.

Pl. I à III. — Étude sur les rondelles Belleville.

Pl. IV à VI. — Service du matériel et de la traction des chemins de fer de l'État belge.

Pl. VII, VIII, IX et Pl. X, *fig.* 1 à 15. — Appareils employés dans les mines allemandes en vue de prévenir les accidents.

Pl. X, *fig.* 16. — Clapet de retenue d'alimentation d'un type défectueux.

Pl. XI et XII. — Étude sur la Leverrierite.

Pl. XIII. — Revue de l'état actuel de la construction des machines.

Pl. XIV. — Accident de la mine de Mauricewood (Écosse).

PARIS. — IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

Fig. 2

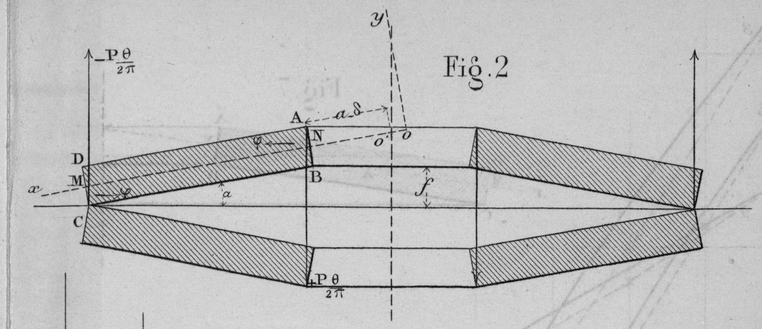


Fig. 5

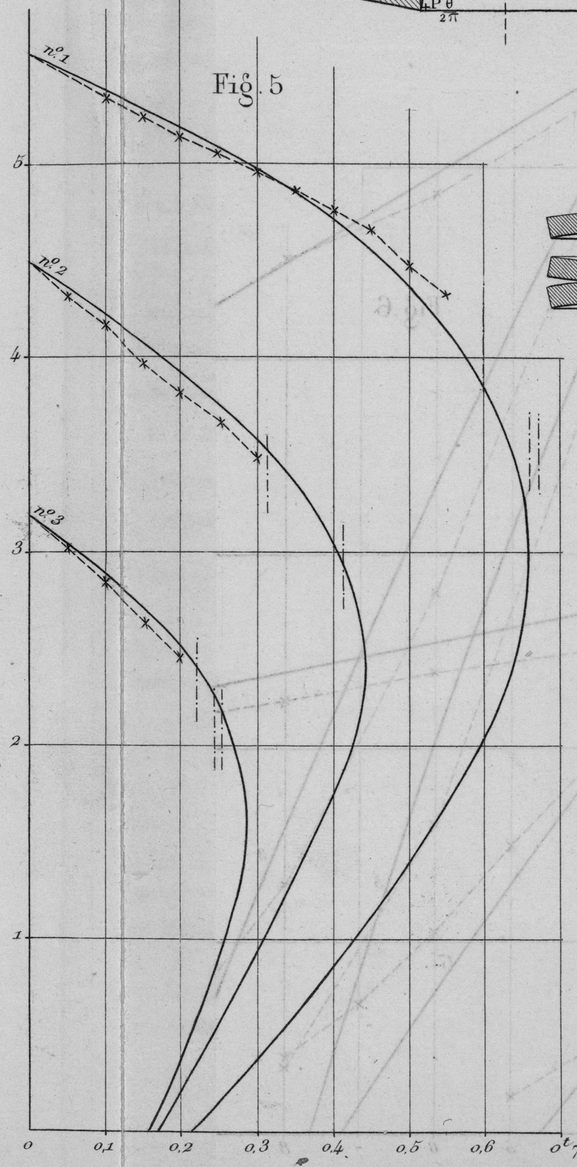


Fig. 4

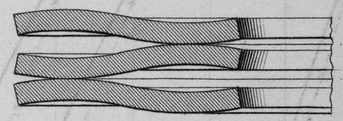


Fig. 1

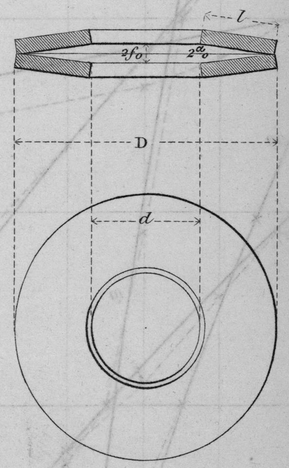


Fig. 7

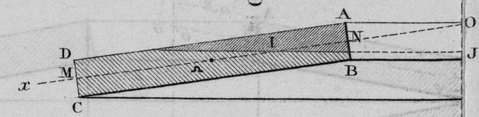


Fig. 6

Fig. 3

Annales des Mines, 8e Série, Tome XVII, pages 5 et suiv.

Macquet sc

Fig. 1

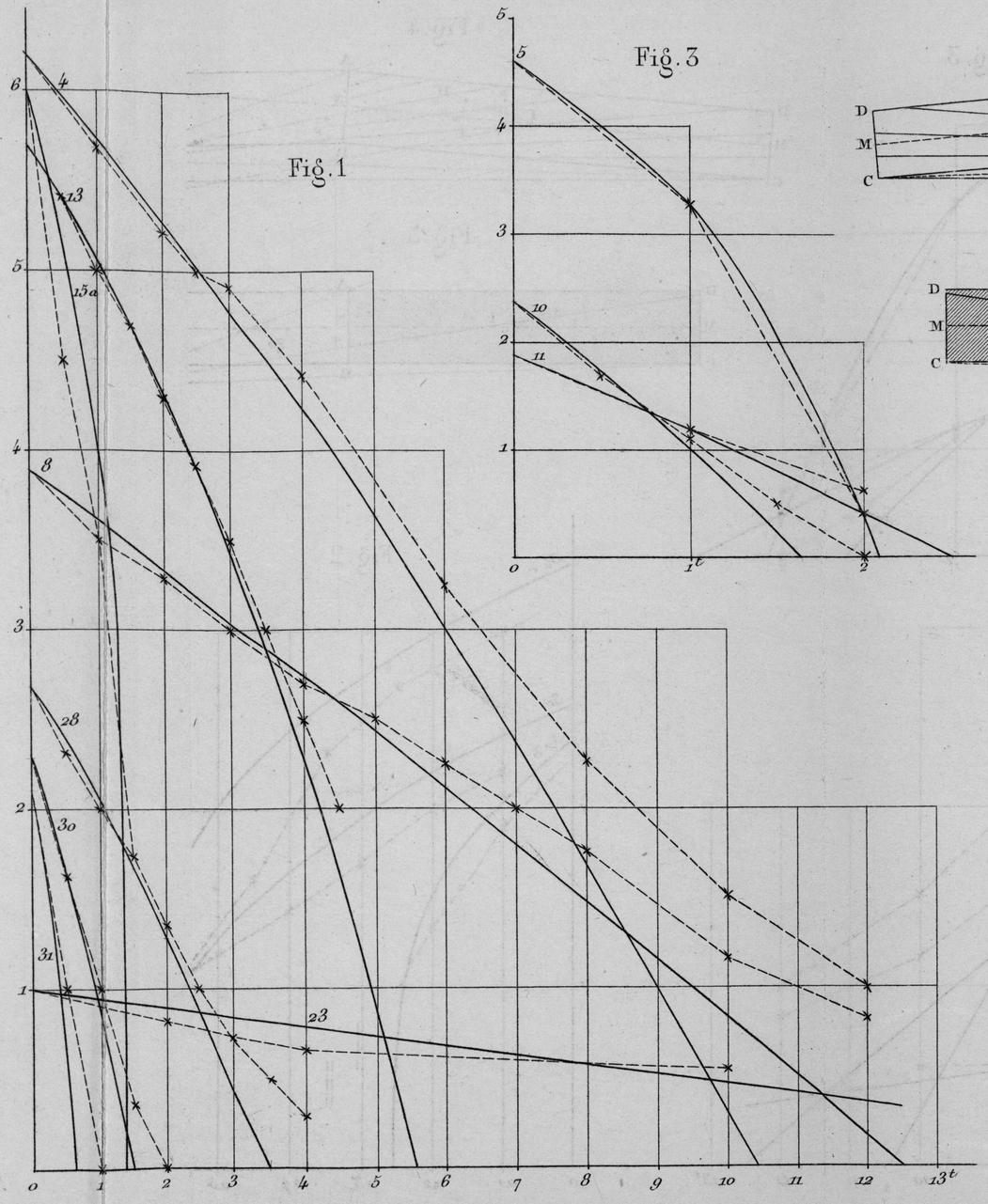


Fig. 3

Fig. 4

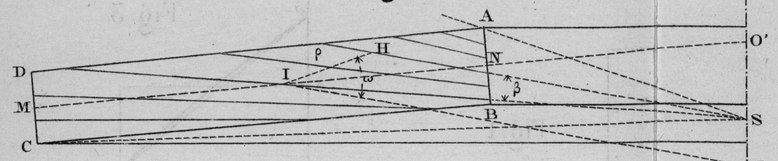


Fig. 5

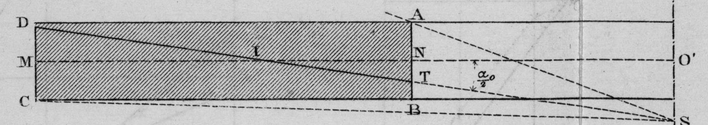


Fig. 2

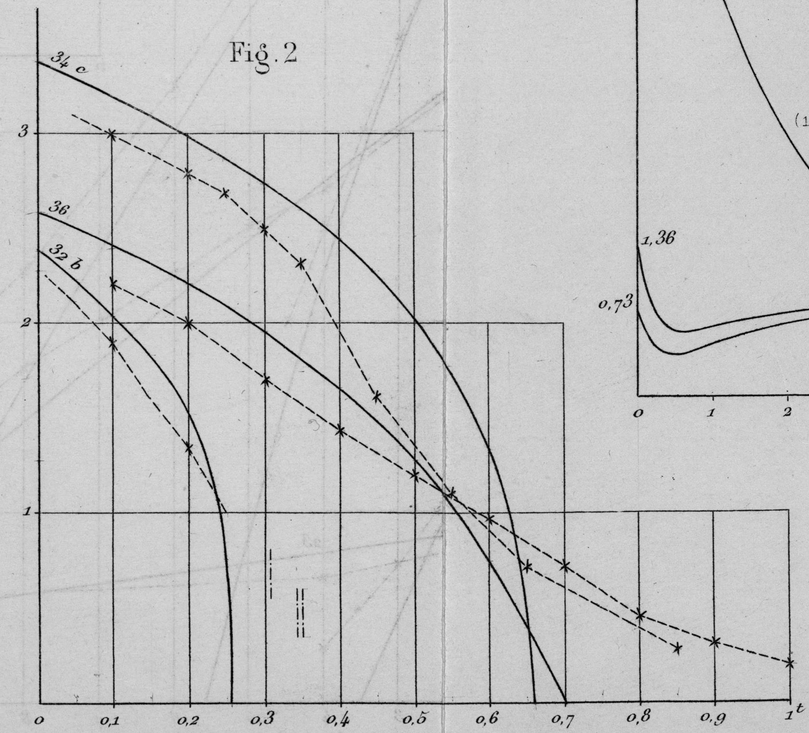


Fig. 6

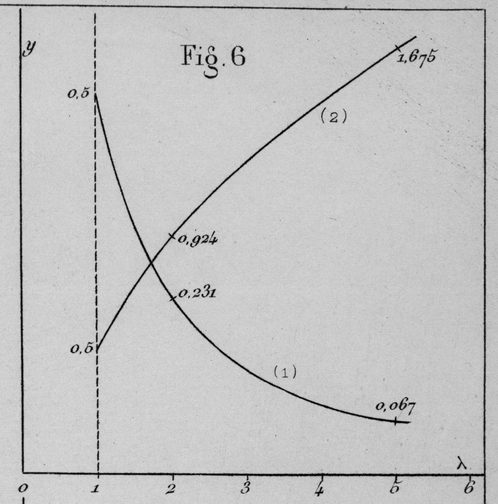
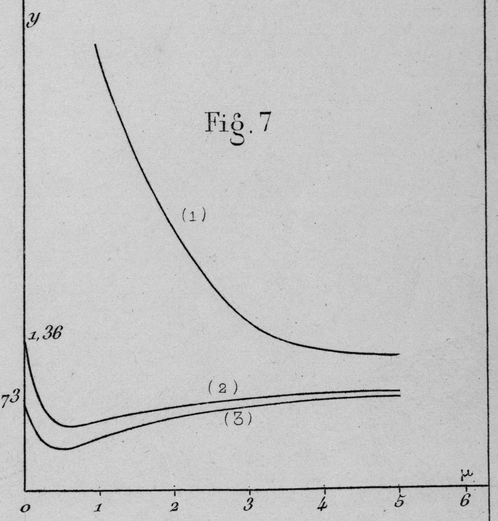


Fig. 7



Annales des Mines, 8e Série, Tome XVII, pages 5 et suiv.

Macquet sc.

Fig. 1

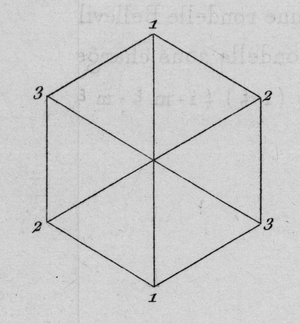
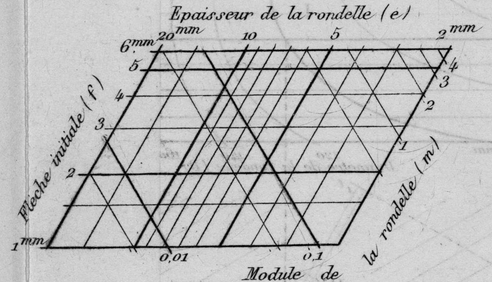


Fig. 2 Abaque auxiliaire donnant le module (m) de la rondelle

Formule : $m = \frac{1}{2}\frac{f^2}{e^2}$



Exemple.

Données
- D = 100 mm
- d = 50 mm
- f = 15 mm
- e = 10 mm
- ξ = 0,5 mm
- m = 1 mm

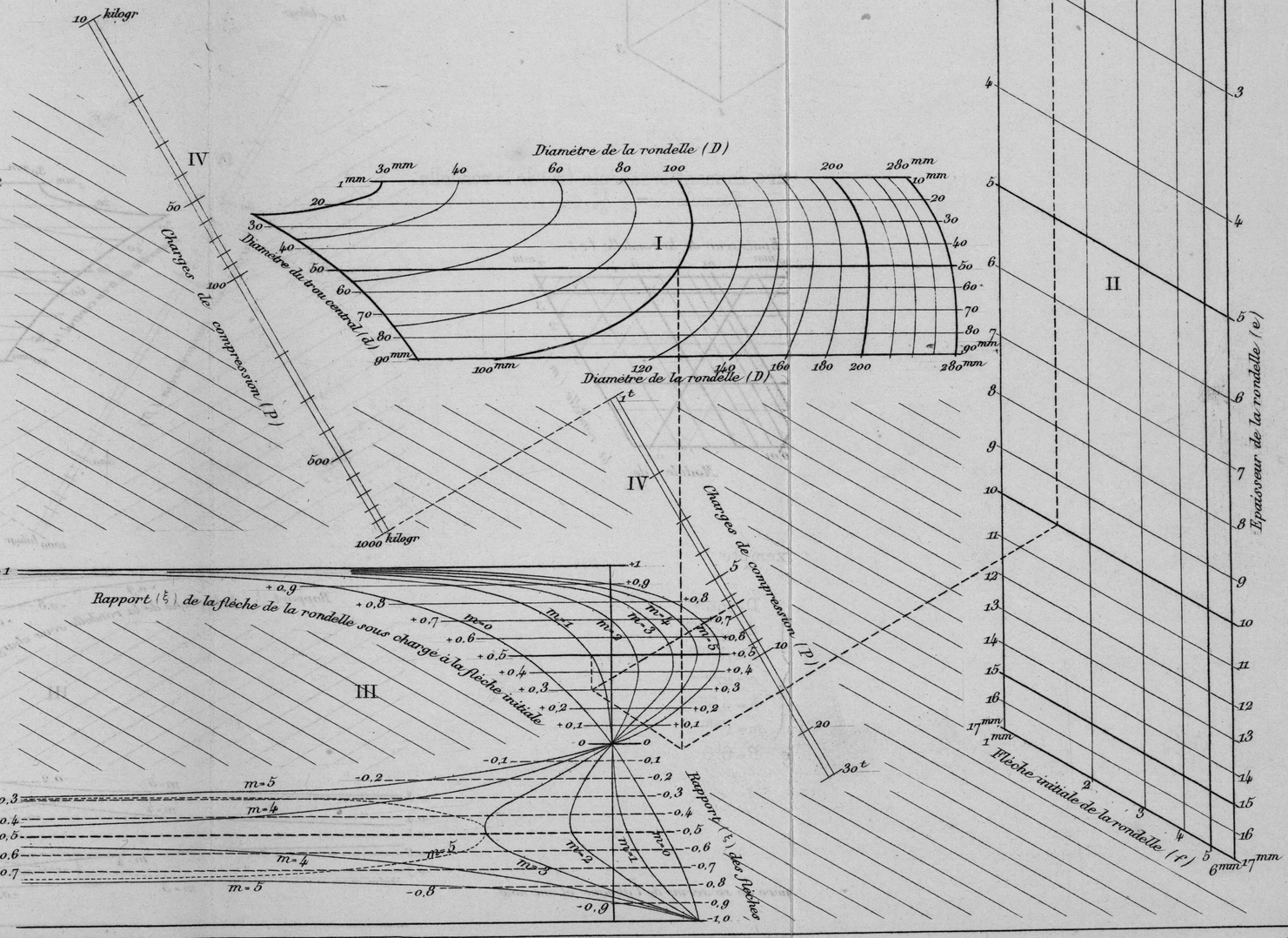
inconnue. P = 6t6

Fig. 3

Abaque donnant la charge d'une rondelle Belleville

en fonction du rapport (ξ) de la flèche de la rondelle sous charge à la flèche initiale

Formule : $P = \frac{2}{3}\pi E \log\frac{D}{d}\frac{fe^3}{(D-d)^2}(1-\xi)(1+m\xi+m\xi^2)$



Voir à la page 14 la manière de se servir de l'abaque, et une note relative à l'échelle III.

Annales des Mines, 8e Série, Tome XVII, pages 5 et suiv.

Macquet sc

CHEMINS DE FER

Fig. 1 Service de la double équipe entre Jemelle et Namur

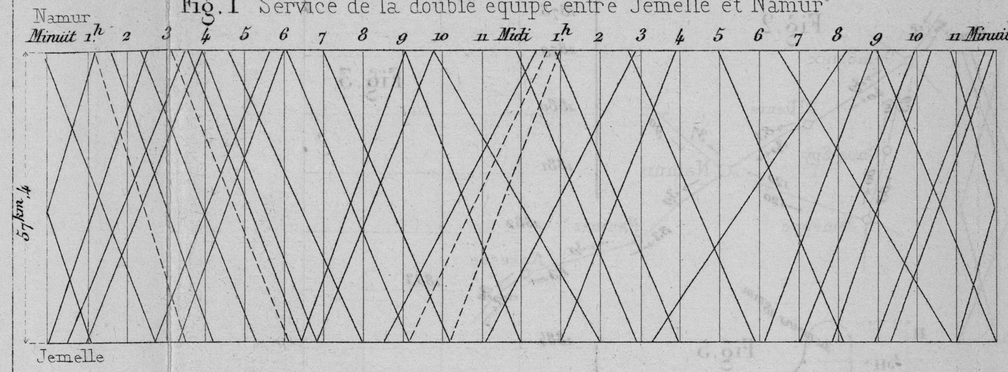


Fig. 2

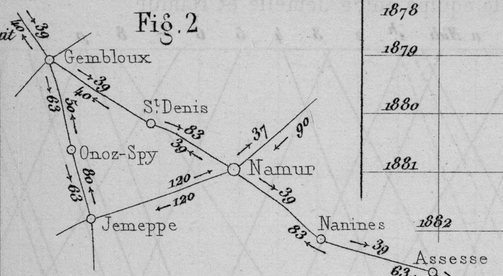
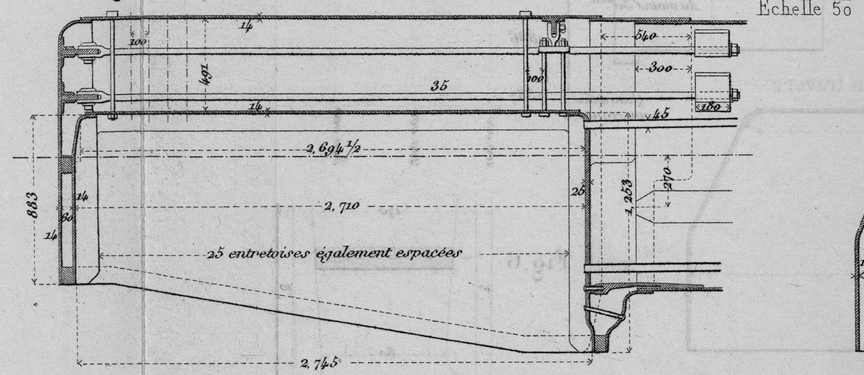


Fig. 3

Fig. 4 Foyer des locomotives du type 25. Coupe en long

Echelle $\frac{1}{50}$



Coupe en travers

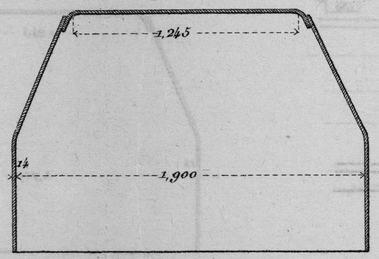


Fig. 5

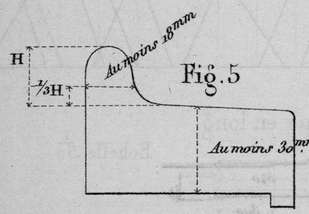


Fig. 6

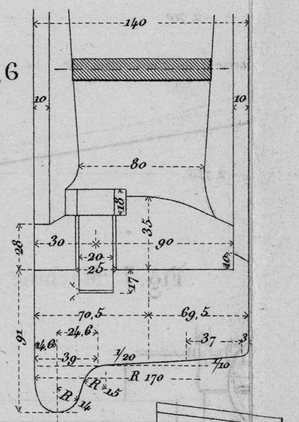


Fig. 7 Machine Kirkaldy

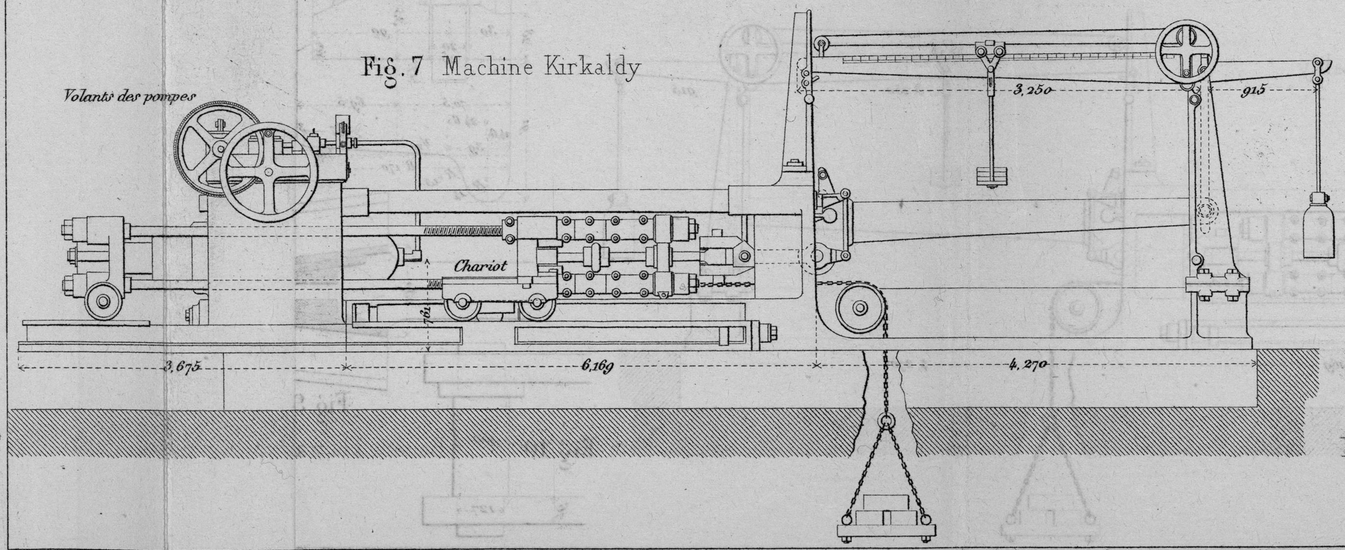


Fig. 8 Essais à la traction

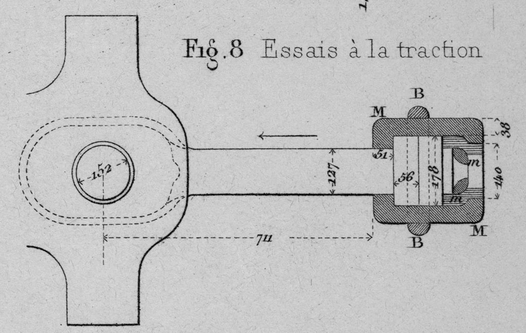


Fig. 9

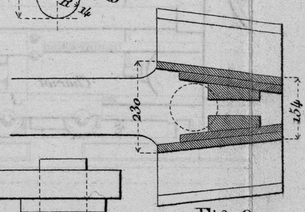


Fig. 10 Essais à la traction

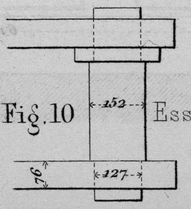
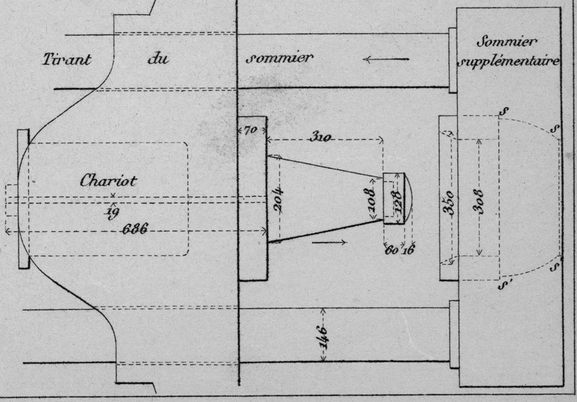
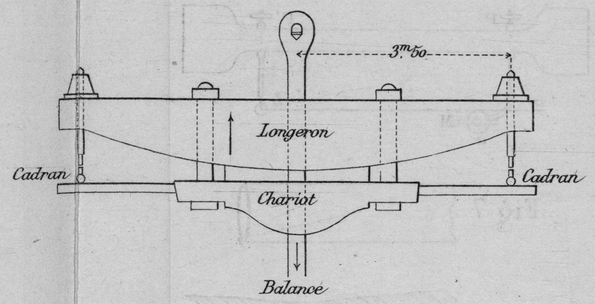


Fig. 11 Essais à l'emboutissage



Macquet sc

Fig. 1 Essais à la flexion



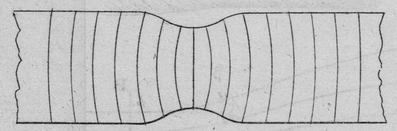
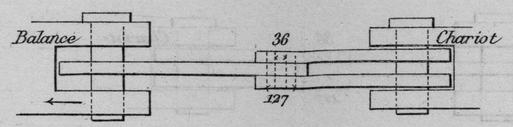


Fig. 6



Fig. 2 Essais au cisaillement



Eprouvette pour torsion

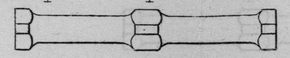
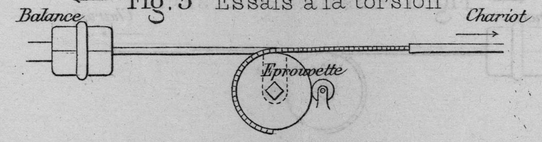


Fig. 3 Essais à la torsion



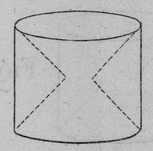


Fig. 5

Fig. 4 Mesure des allongements

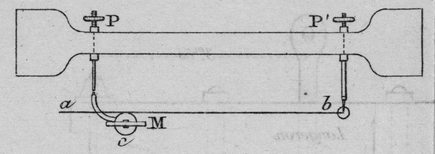


Fig 7

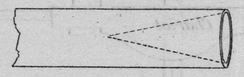
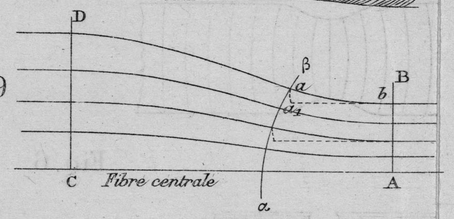


Fig. 8

Fig. 9



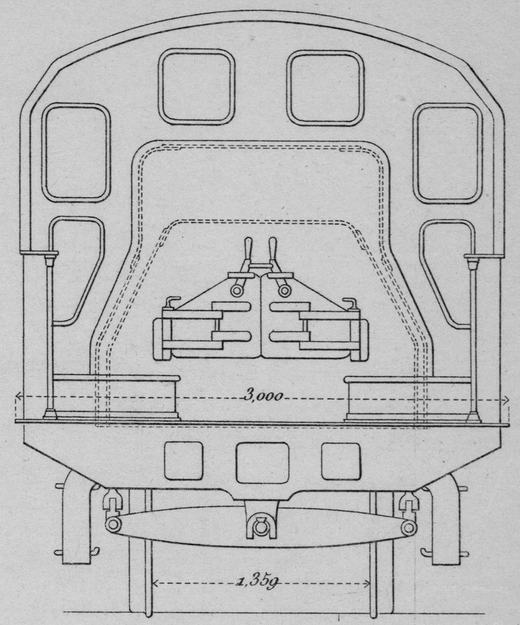
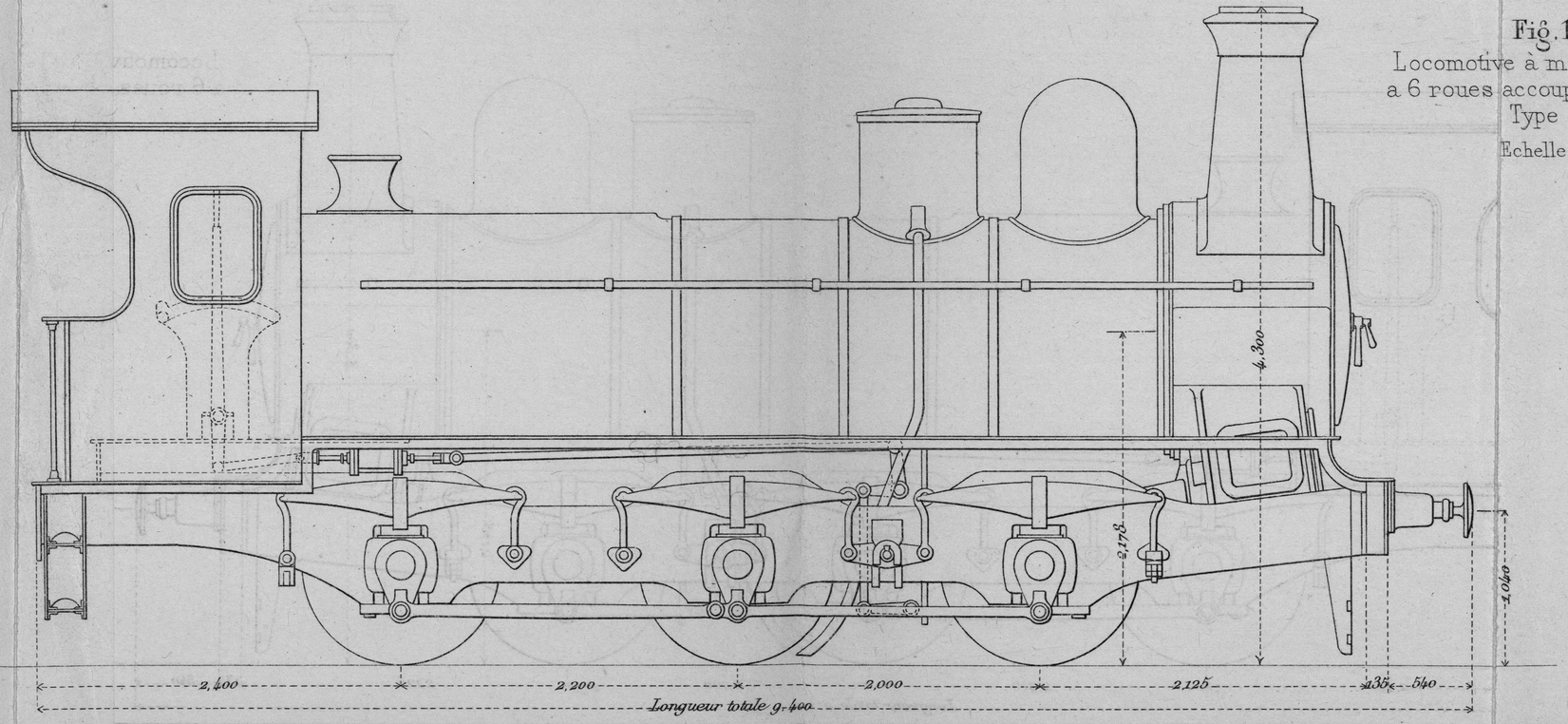
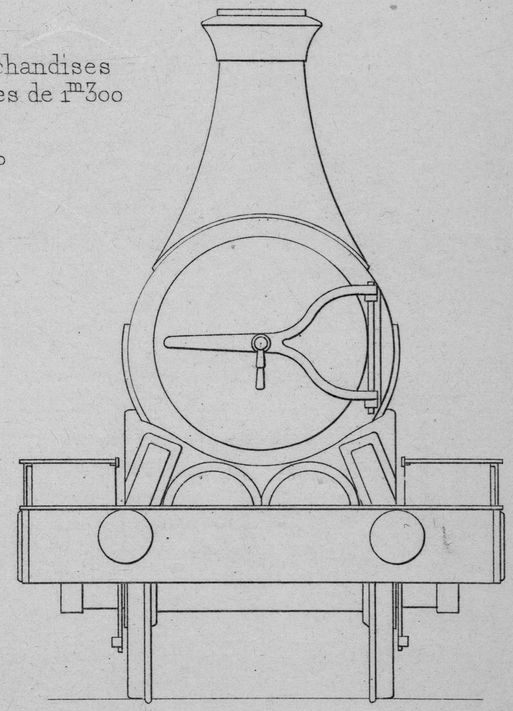


Fig. 10
Locomotive à marchandises
a 6 roues accouplees de 1m300
Type 25
Echelle $\frac{1}{50}$





Annales des Mines, 8e Série Tome XVII, pages 56 et suiv.

Macquet sc

Fig. 1

Diagramme des essais des types 25 et 29

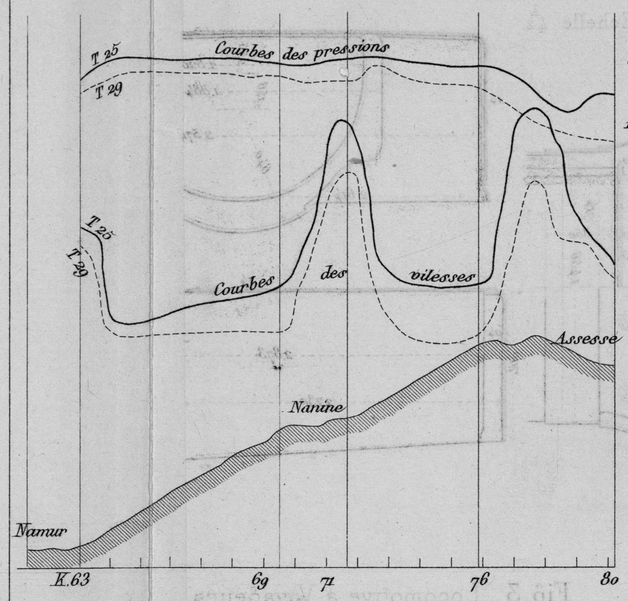


Fig. 2 Locomotive type 6 _ Plan et Coupes du foyer

Echelle $\frac{1}{42}$

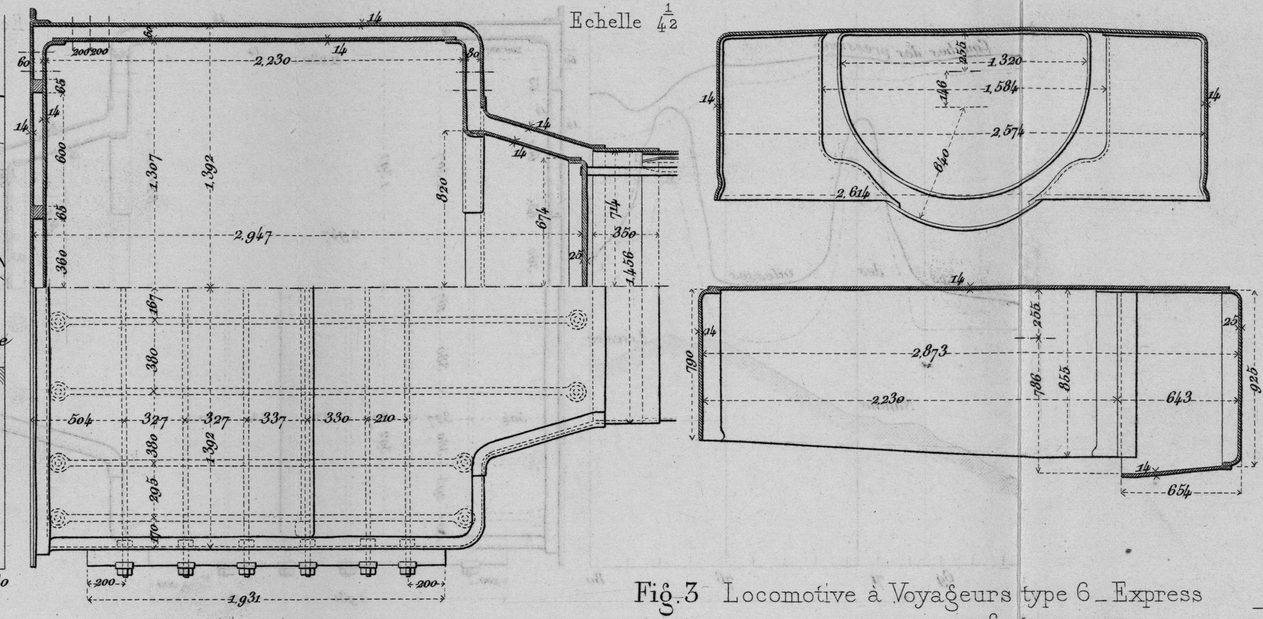
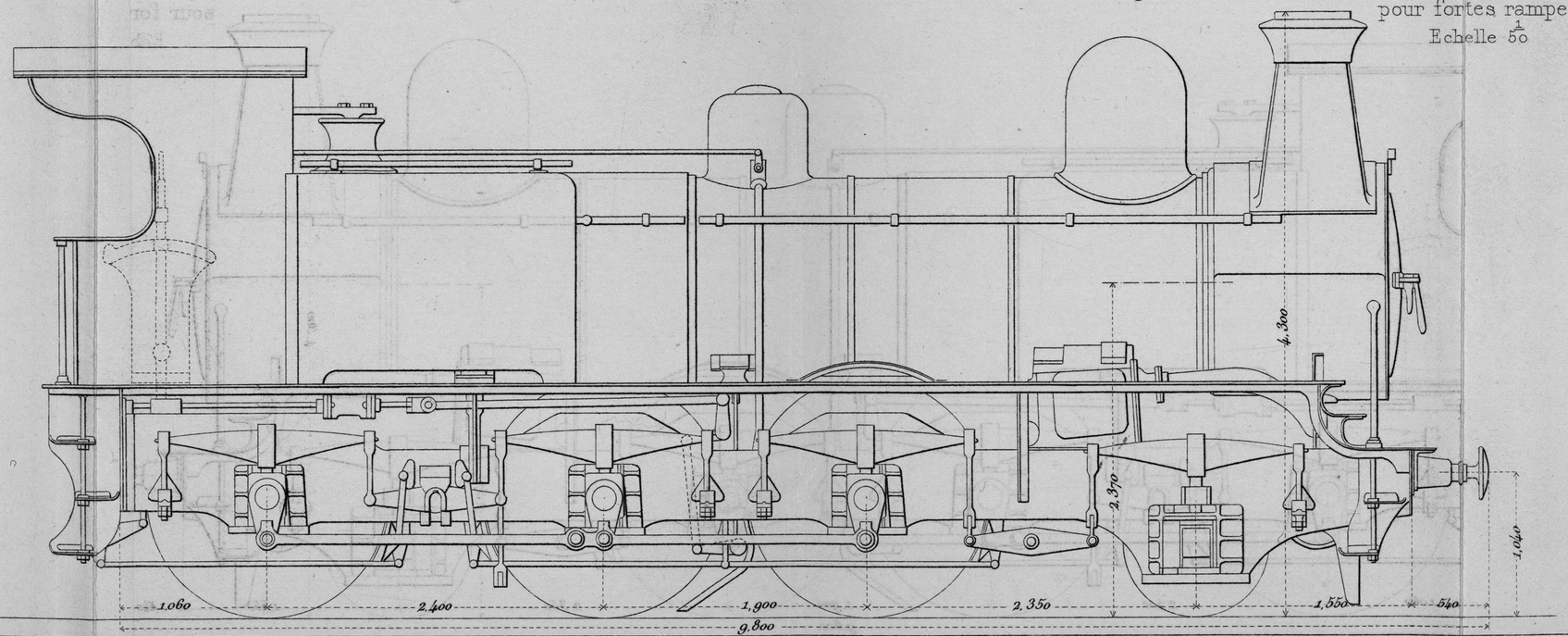
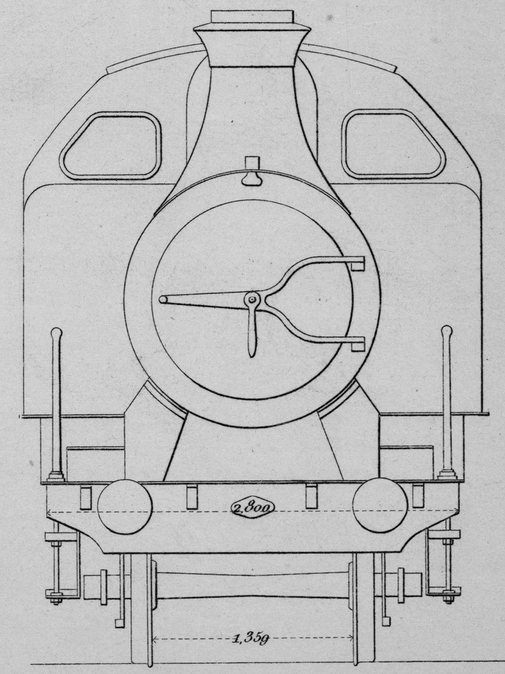


Fig. 3 Locomotive à Voyageurs type 6 _ Express pour fortes rampes

Echelle $\frac{1}{50}$





Annales des Mines, 8e Série, Tome XVII, pages 56 et suiv.

Macquet sc

Fig. 1

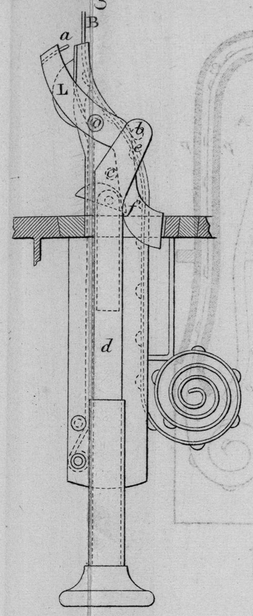


Fig. 2

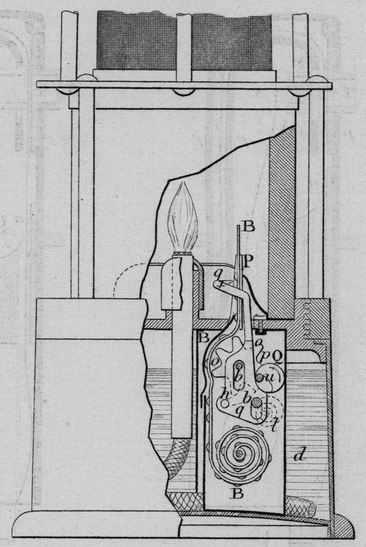


Fig. 4

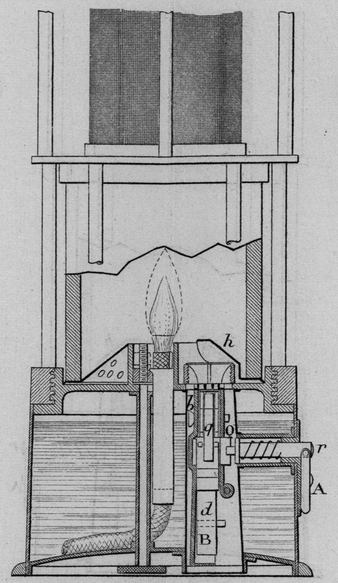


Fig. 6

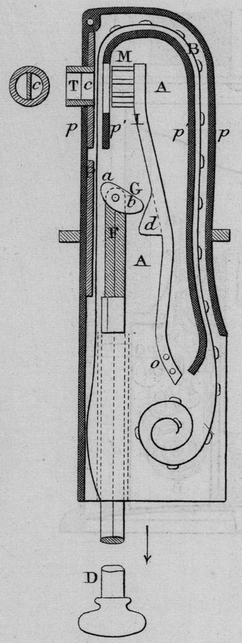


Fig. 7

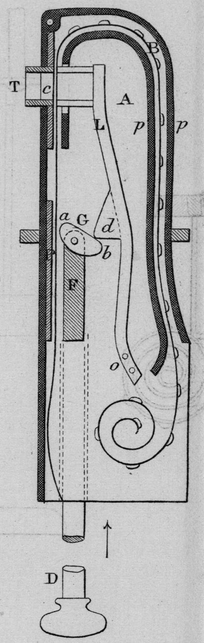


Fig. 8

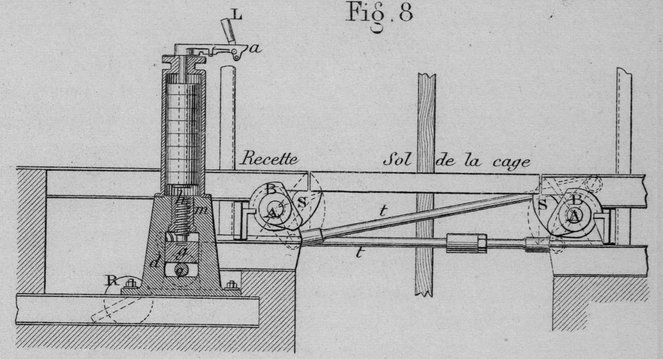


Fig. 9

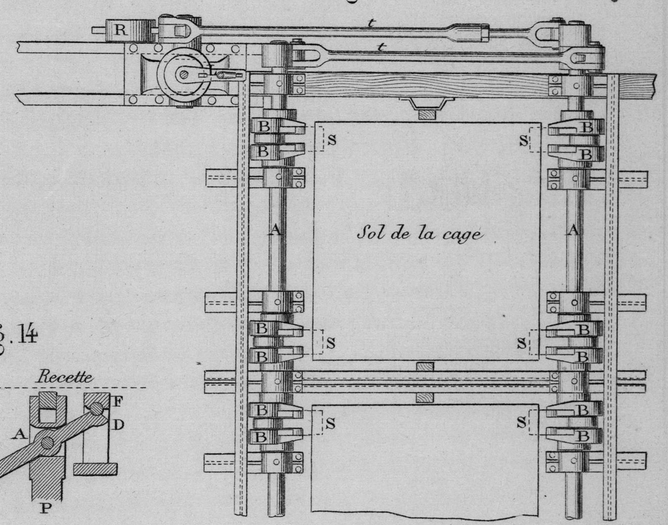


Fig. 3

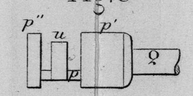


Fig. 7 a

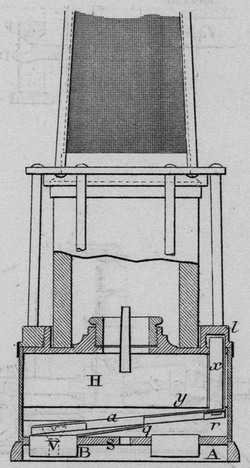


Fig. 5

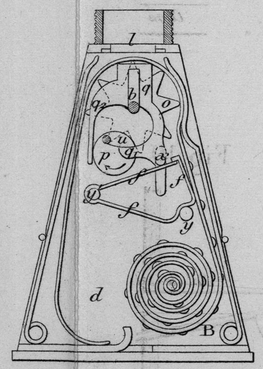


Fig. 12

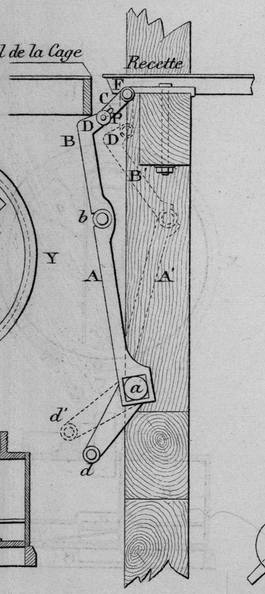


Fig. 7 b

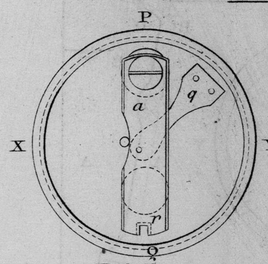


Fig. 7 c

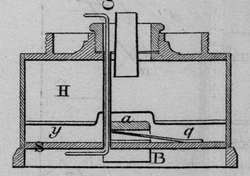


Fig. 13

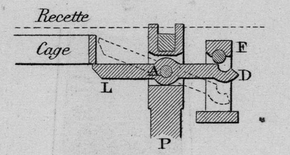


Fig. 14

Fig. 10

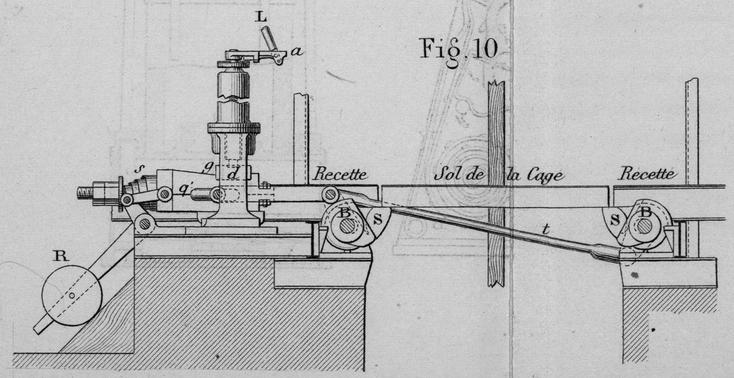


Fig. 11

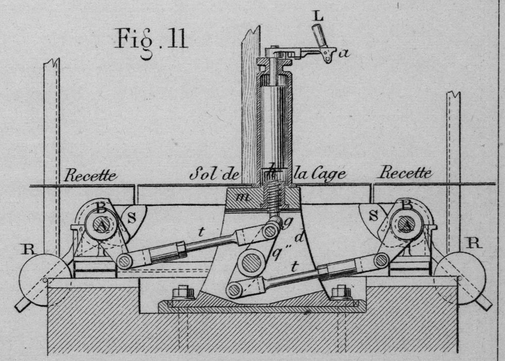


Fig. 3

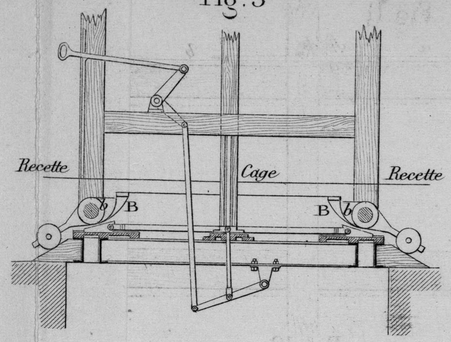


Fig. 4

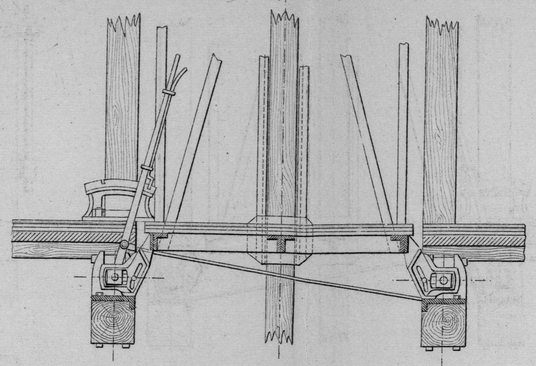


Fig. 11

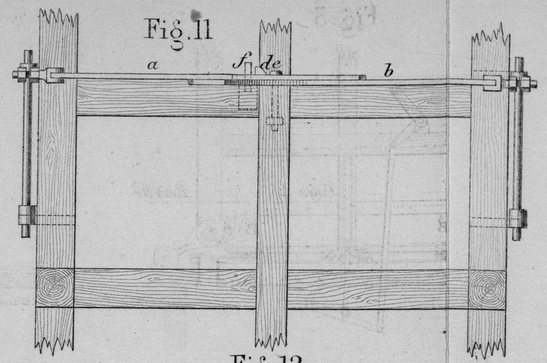


Fig. 1

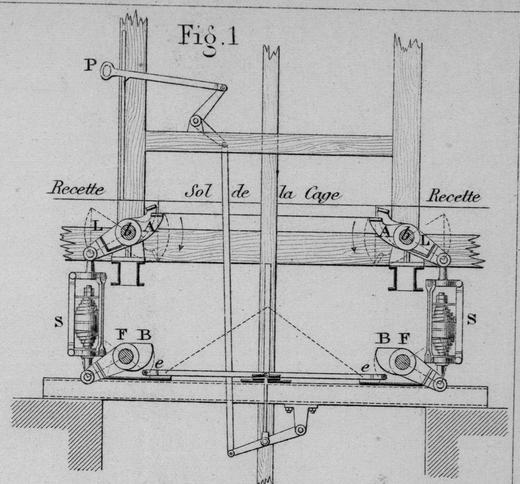


Fig. 12

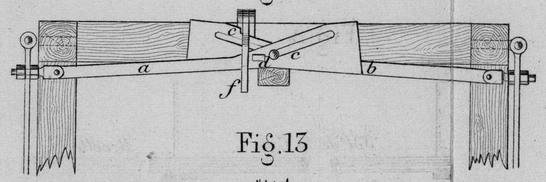


Fig. 5

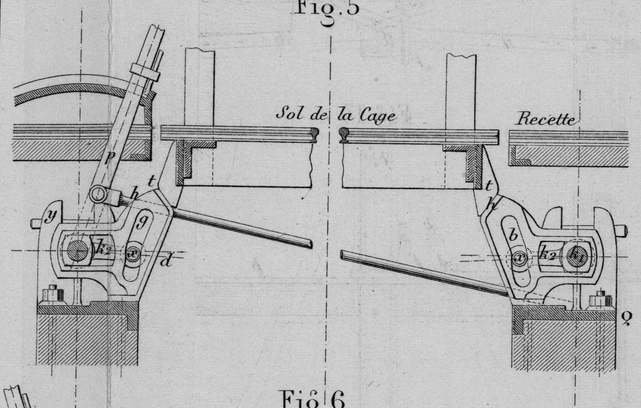


Fig. 8

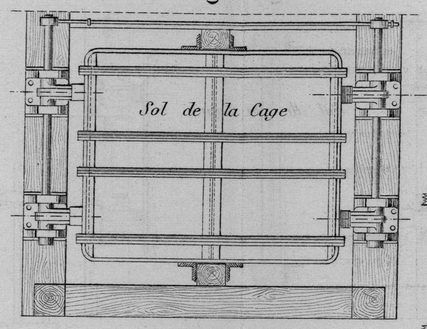


Fig. 13

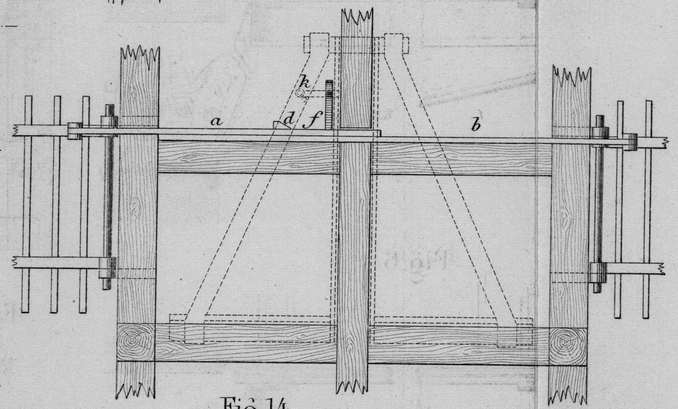


Fig. 2

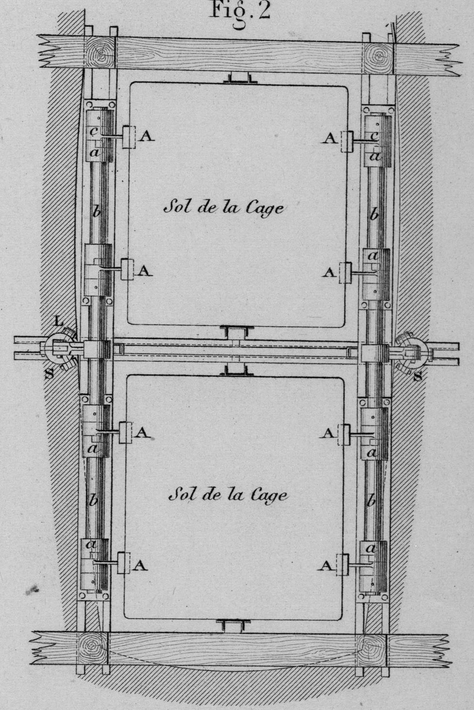


Fig. 6

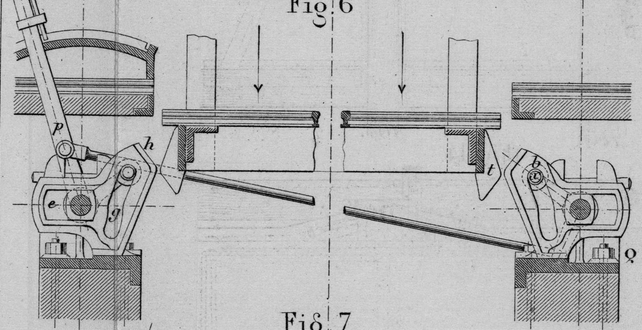


Fig. 15

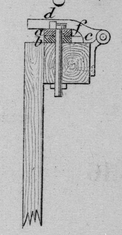


Fig. 16

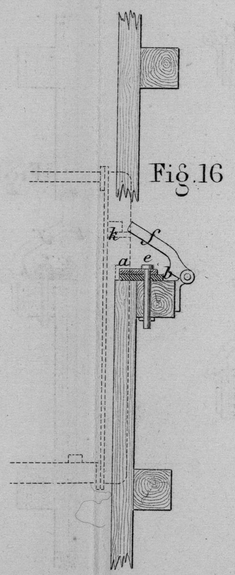


Fig. 14

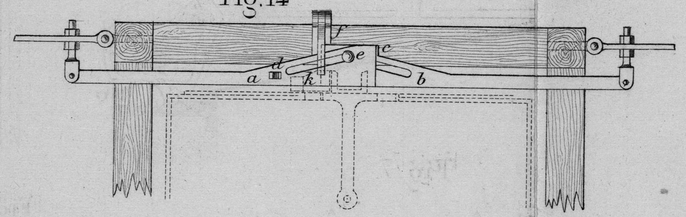


Fig. 7

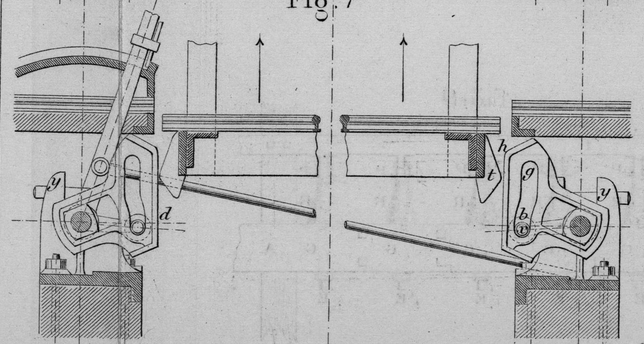


Fig. 17

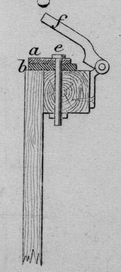


Fig. 9

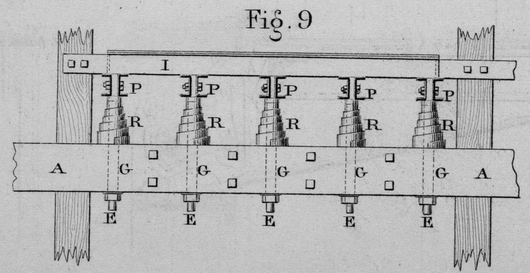


Fig. 10

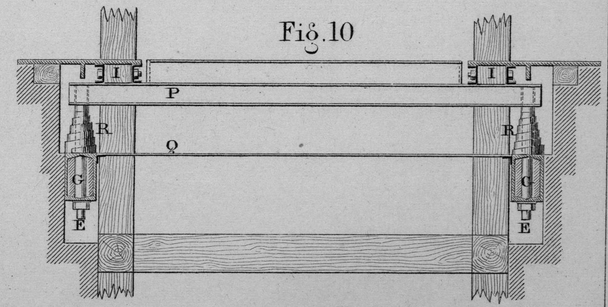


Fig. 1

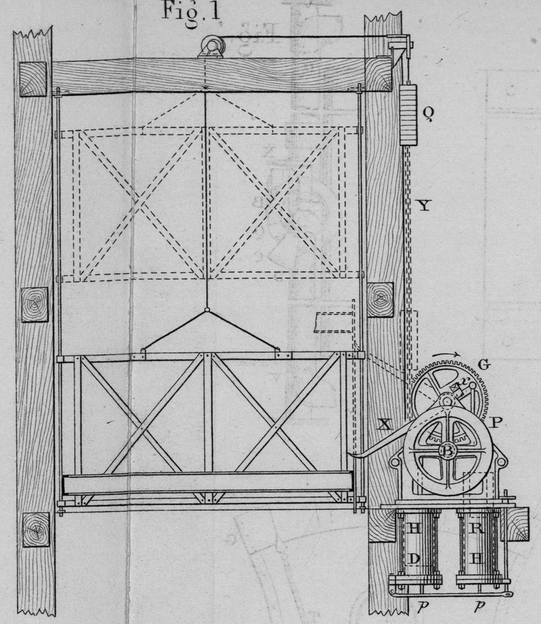


Fig. 2

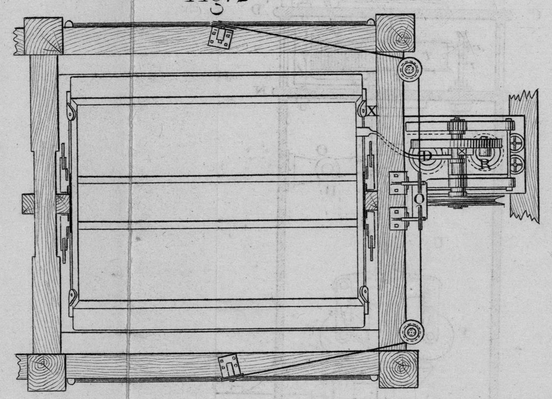


Fig. 10

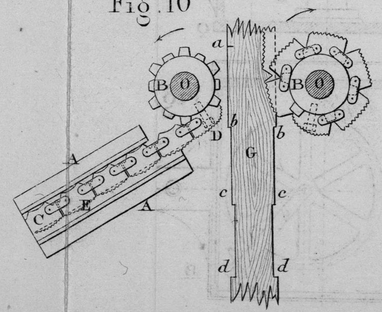


Fig. 3

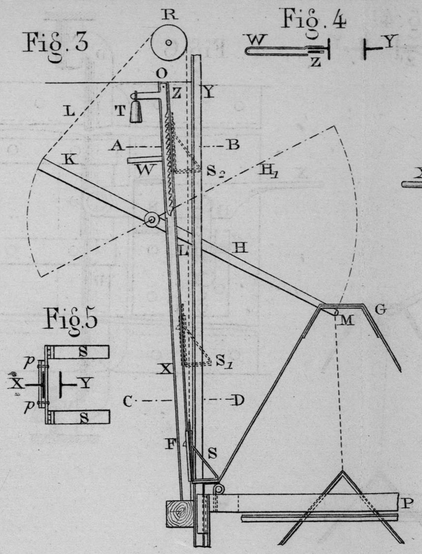


Fig. 4

Fig. 5

Fig. 6

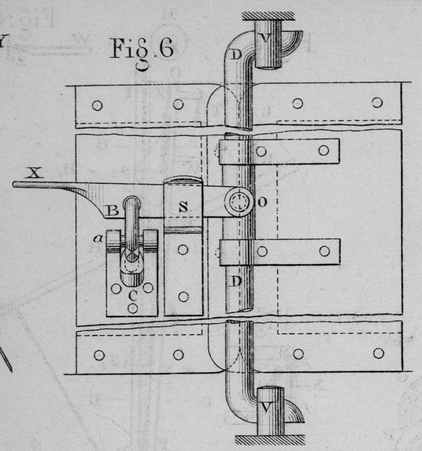


Fig. 7

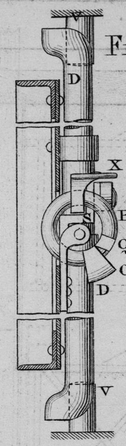


Fig. 8

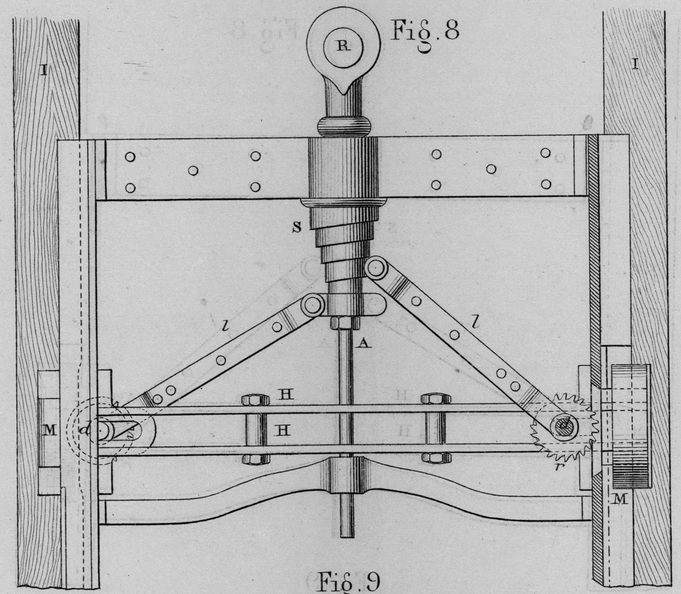


Fig. 9

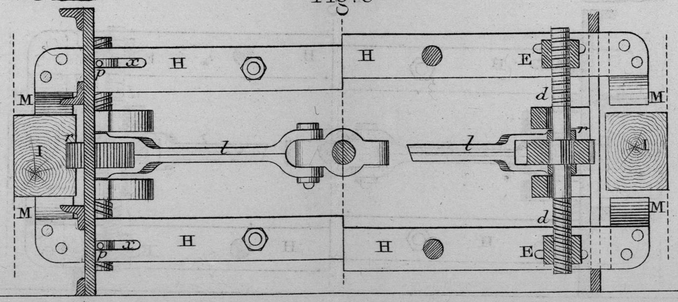


Fig. 15

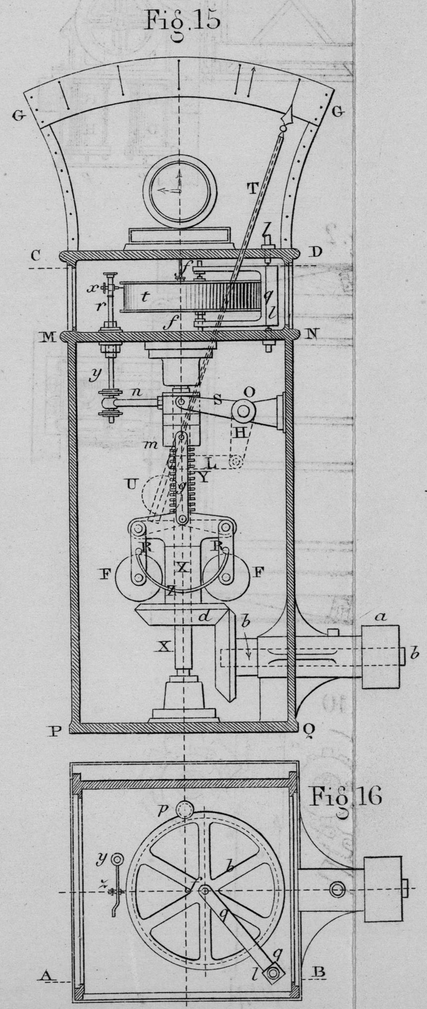


Fig. 16

Fig. 11

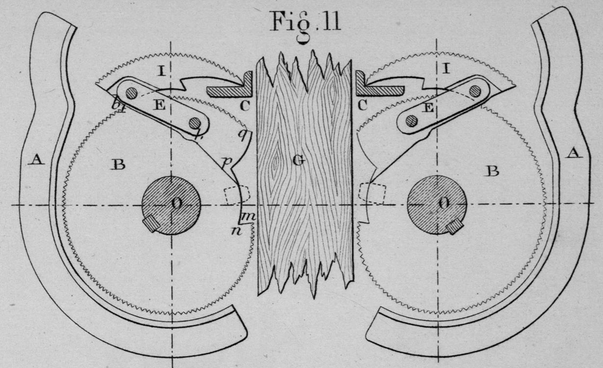


Fig. 12

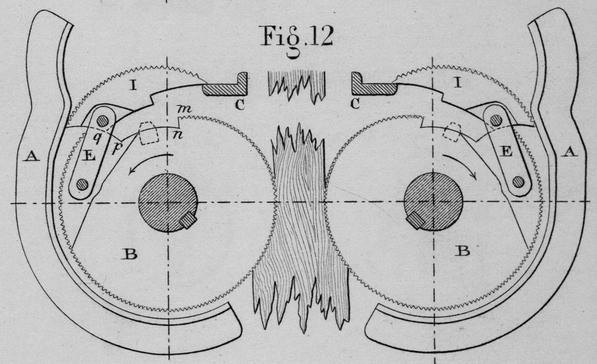


Fig. 13

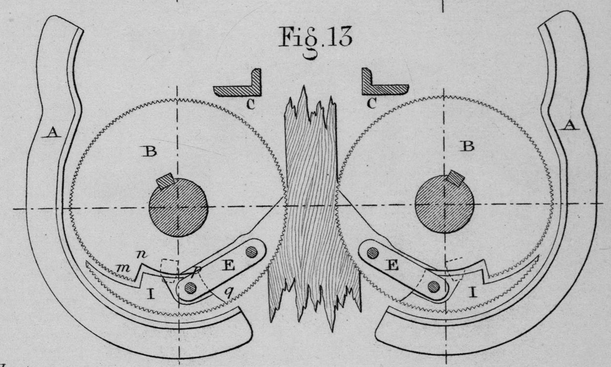
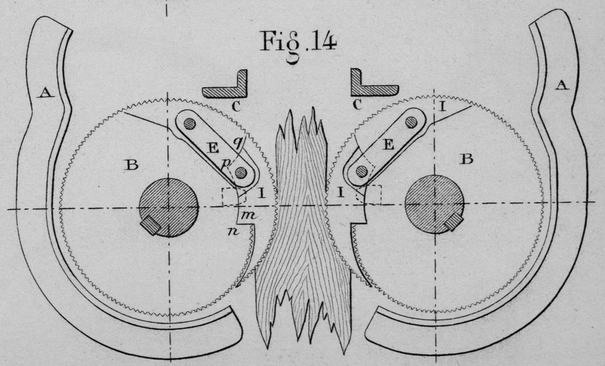


Fig. 14



Macquet sc

Fig. 1

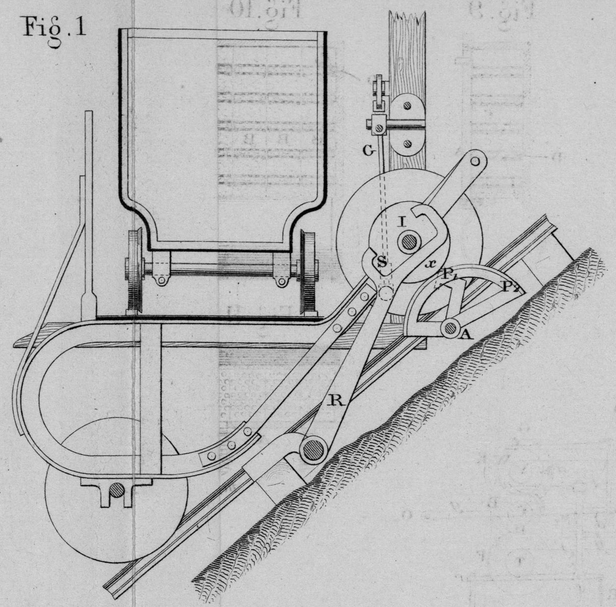


Fig. 2

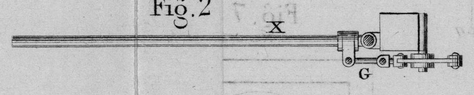


Fig. 3

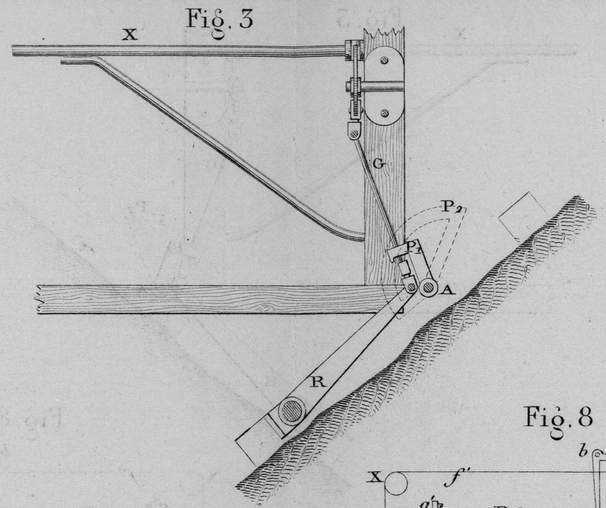


Fig. 4

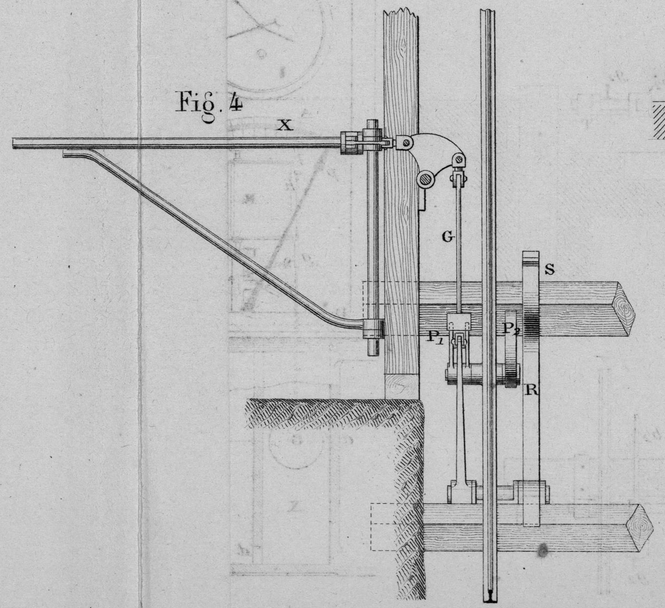


Fig. 5

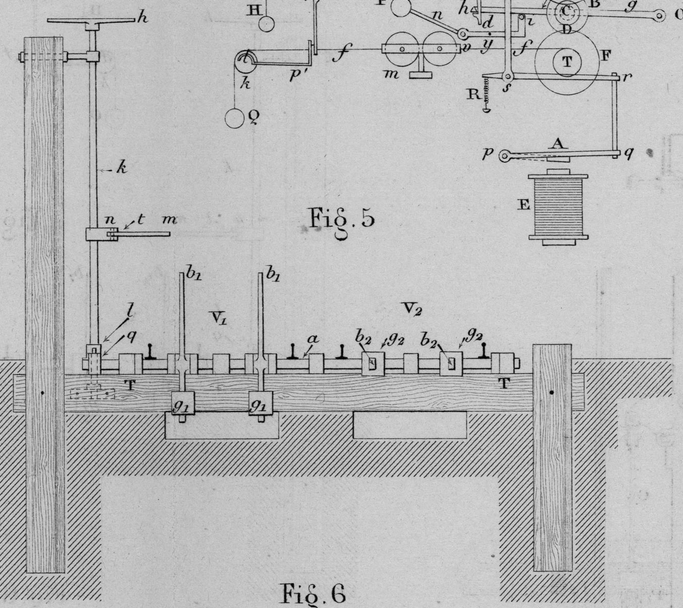


Fig. 6

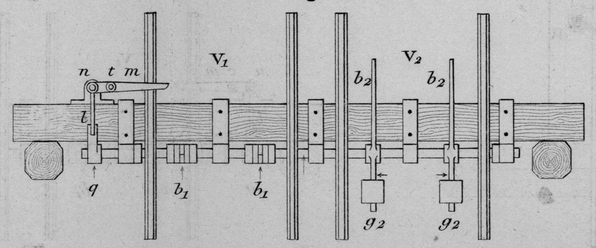


Fig. 8

Fig. 9

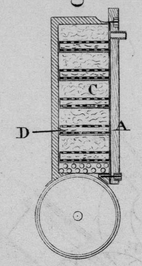


Fig. 10

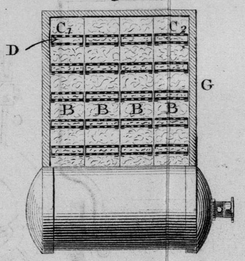


Fig. 11

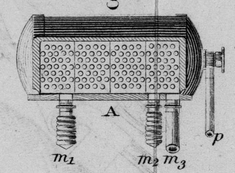


Fig. 7

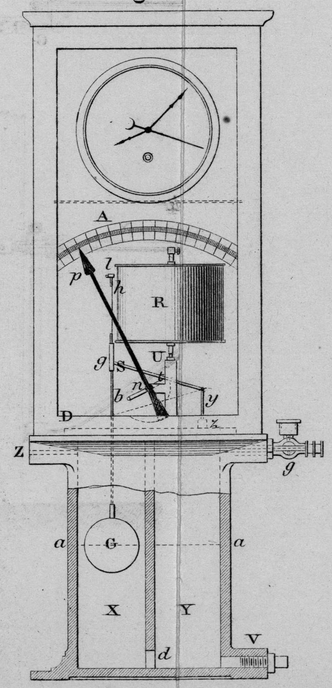


Fig. 12

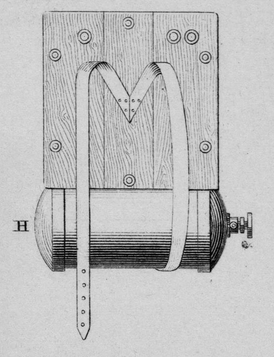


Fig. 13

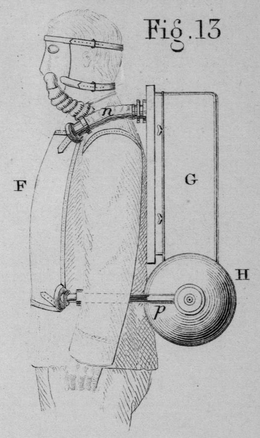


Fig. 14

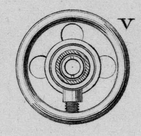


Fig. 15

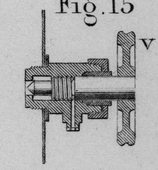
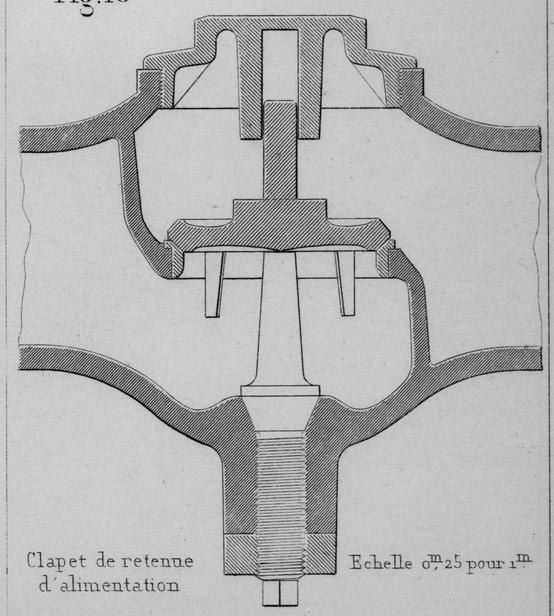


Fig. 16



Clapet de retenue d'alimentation

Echelle 0m,25 pour 1m.

Annales des Mines, 8e Série Tome XVII, pages 329 et suiv; pages 369 et suiv.

Macquet sc.

Fig.1

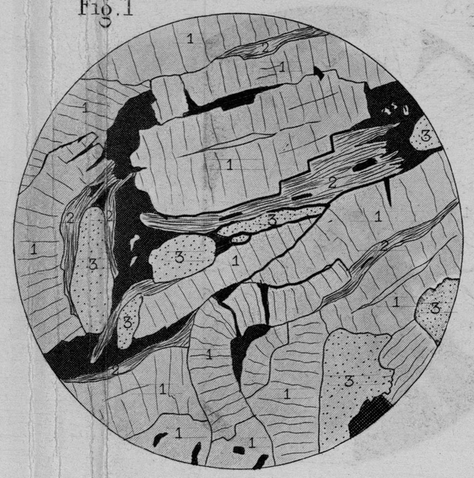


Fig.2



Fig.9

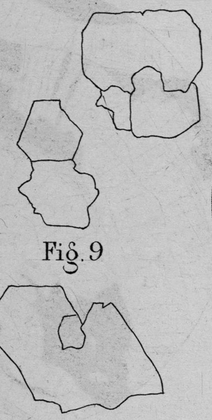


Fig.3



Fig.4

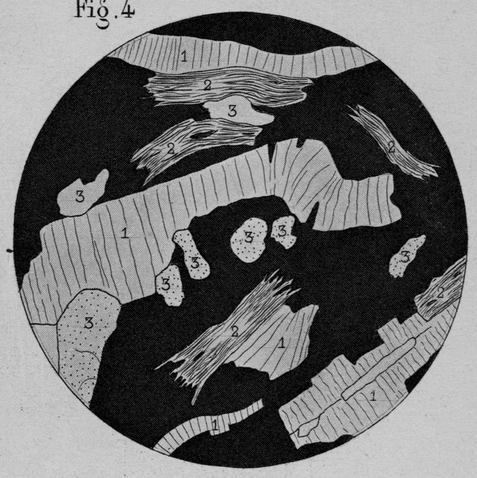


Fig.10

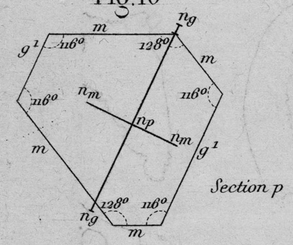


Fig.11

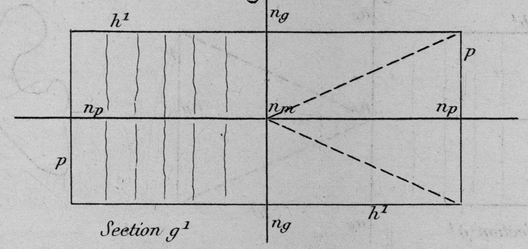


Fig.12

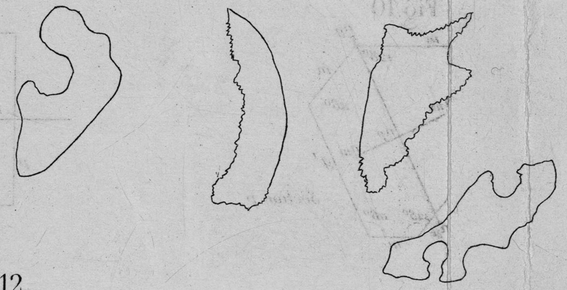


Fig.1 à 12 *Grossissement - 80 diamètres*

1 - *Leverrierite*

2 - *Mica noir*

3 - *Quartz*

Argile impure, houille et produits ferrugineux.

Fig.13 = *Grossissement = 250 diamètres*

AP *Plans principaux des nicols*

La teinte noire indique les parties éteintes

Fig.5

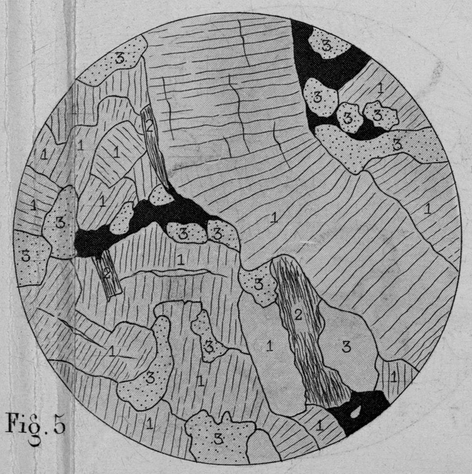


Fig.6

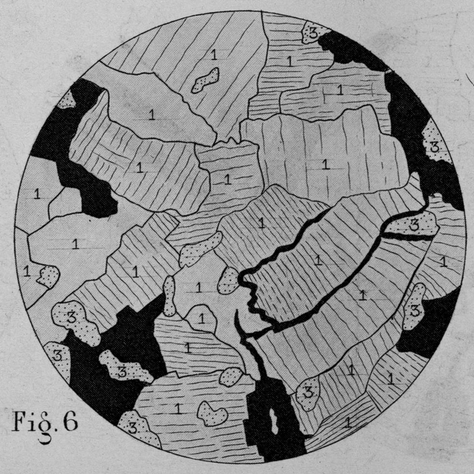


Fig.13

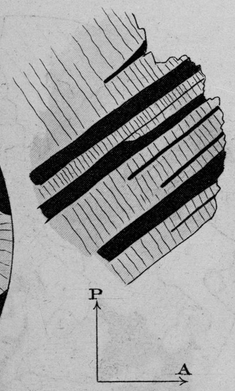


Fig.7

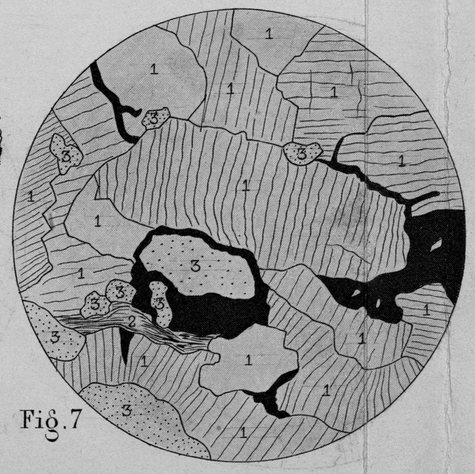


Fig.8

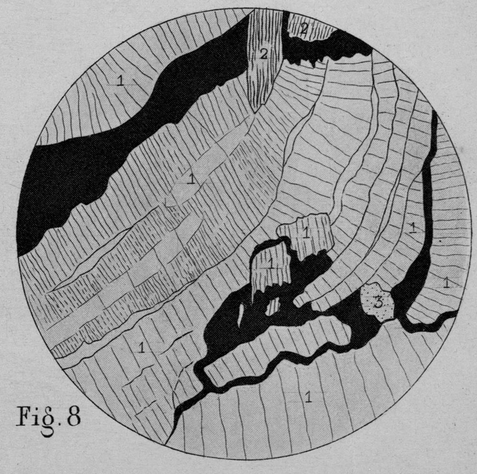


Fig. 1



Fig. 2

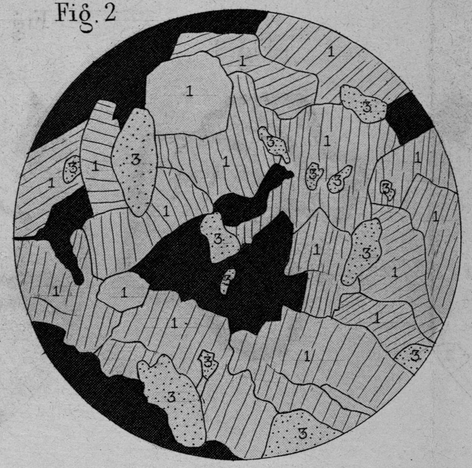


Fig. 9

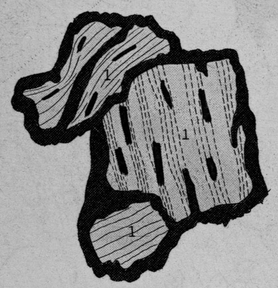


Fig. 3

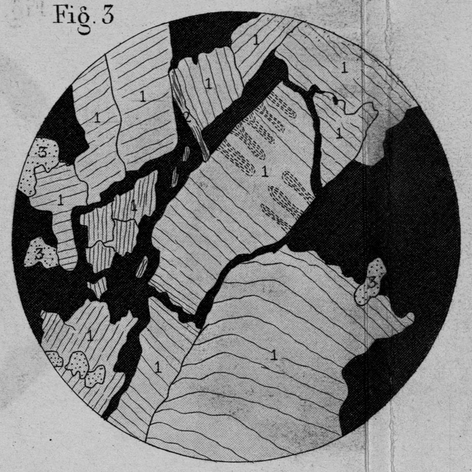


Fig. 4

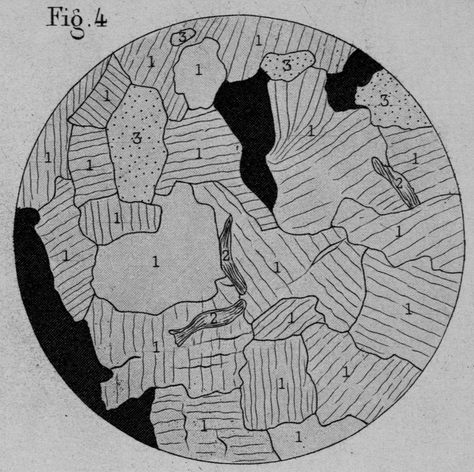


Fig. 10

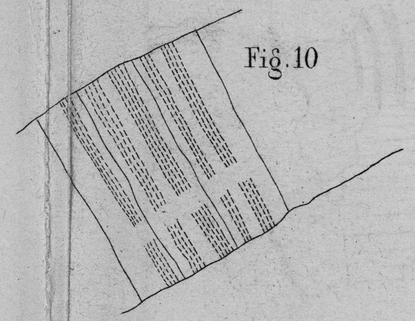


Fig. 11

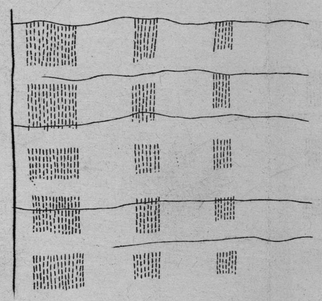


Fig. 12

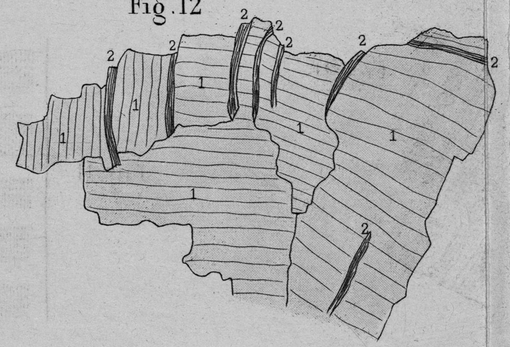


Fig. 1 à 9: *Grossissement-80 diamètres*

1 *Leverrierite*
2 *Mica noir*
3 *Quartz*
4 *Zircon*
5 *Argile claire des gores*
Argile impure, houille et produits ferrugineux.

Fig. 12: *Grossissement-150 diamètres*
1 *Leverrierite;* 2 *Mica noir*

Fig. 10 et 11: *Grossissement-500 diamètres*

Fig. 5

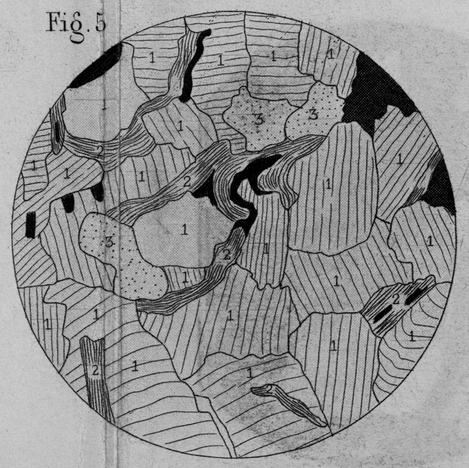


Fig. 6

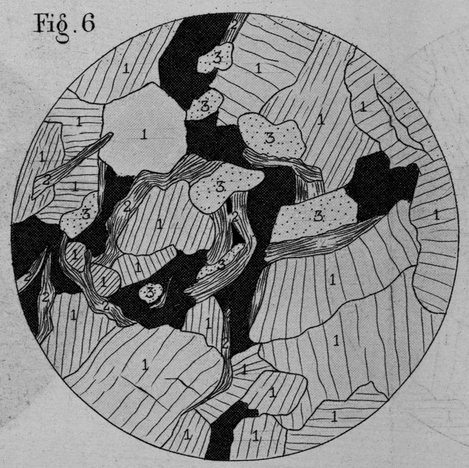
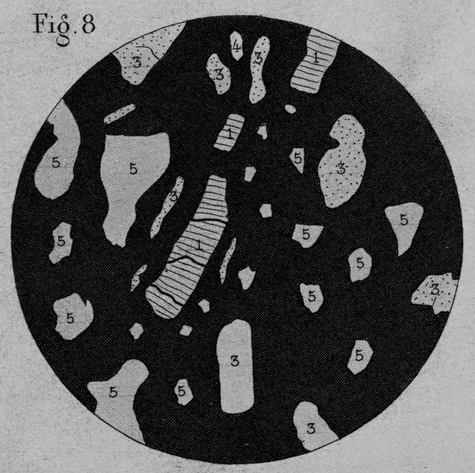


Fig. 7



Fig. 8



Annales des Mines 8e Série Tome XVII. pages 372 et suiv.

Macquet sc.

Fig. 1
Cycles théoriques de Stirling Ericsson, Carnot

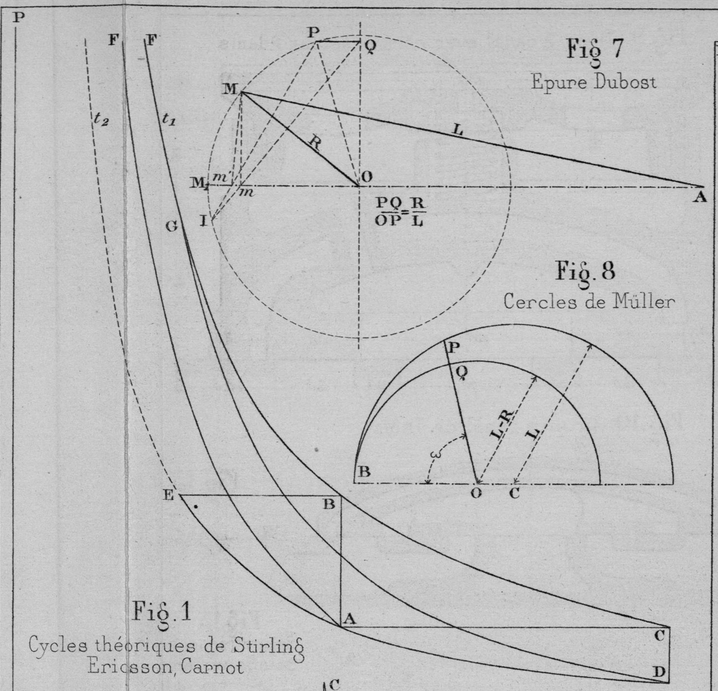
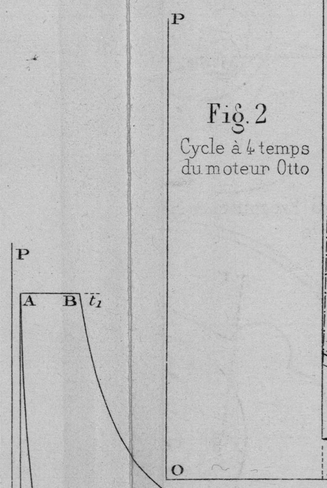


Fig. 7
Epure Dubost

Fig. 8
Cercles de Müller

Fig. 2
Cycle à 4 temps du moteur Otto



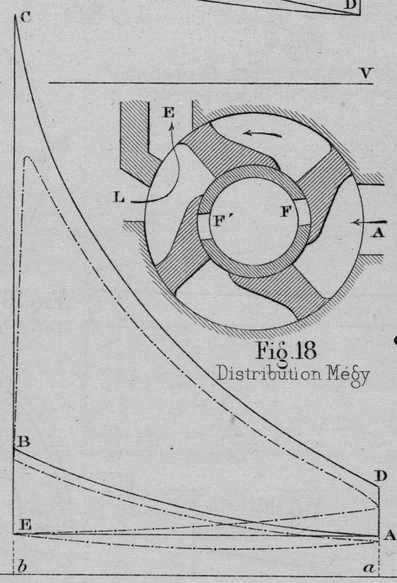


Fig. 18
Distribution Mégy

Fig. 3
Cycles théoriques de la machine à vapeur

Fig. 4
Diagramme des échanges de chaleur entre la vapeur et les parois

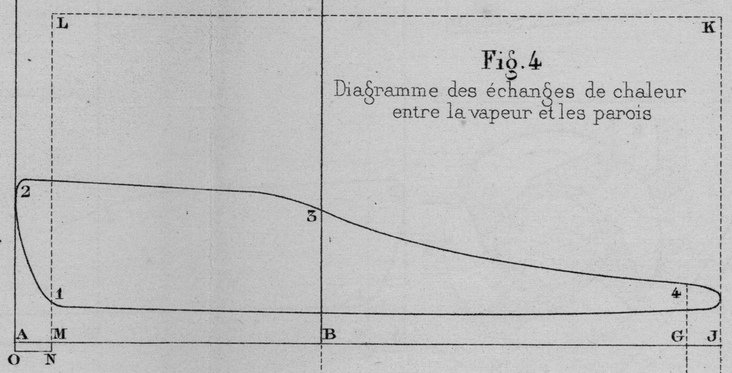


Fig. 5 et 6
Variations de température dans l'intérieur de la paroi d'un cylindre

Fig. 5
Sans chemise de vapeur

Fig. 6
Avec chemise de vapeur

Fig. 9 Tiroir à canal avec compensateur Adams

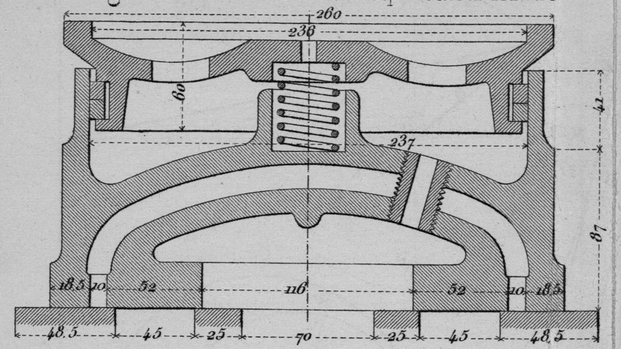


Fig. 10 Tiroir à canal de Thom

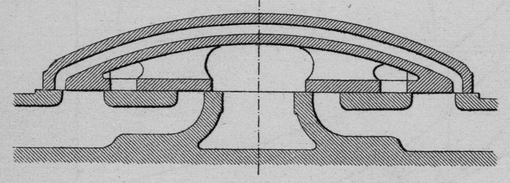


Fig. 11 Distribution Marshall

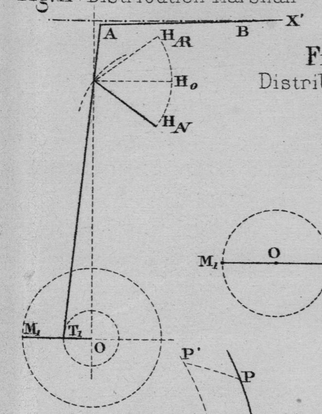


Fig. 12
Distribution Joy

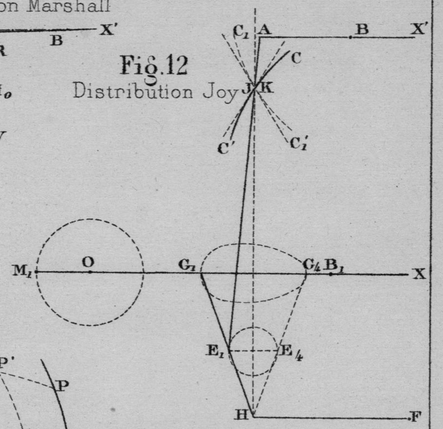


Fig. 13 Coulisse Chaligny

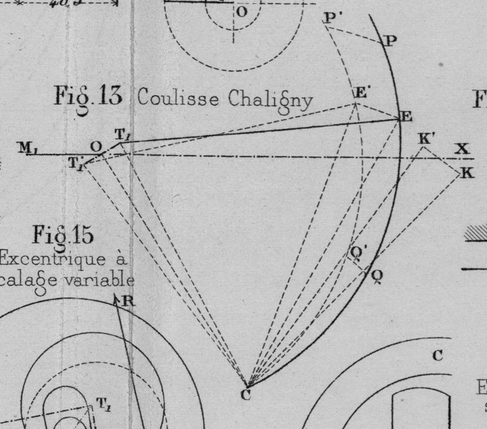
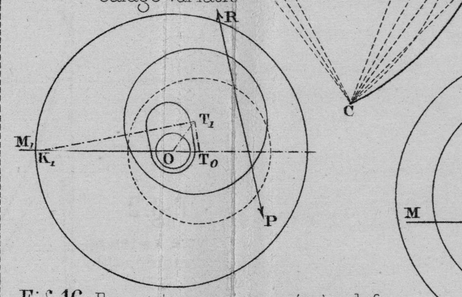


Fig. 15
Excentrique à calage variable



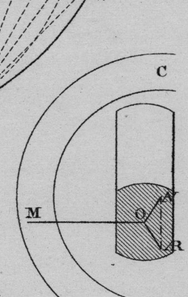


Fig. 17 Tiroir rotatif Meyer

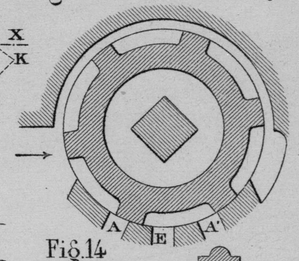


Fig. 14
Excentrique sphérique Tripier

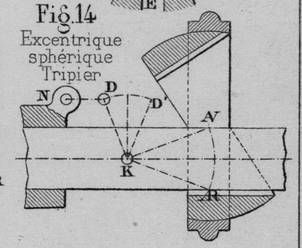


Fig. 16 Excentriques superposés à calage variable

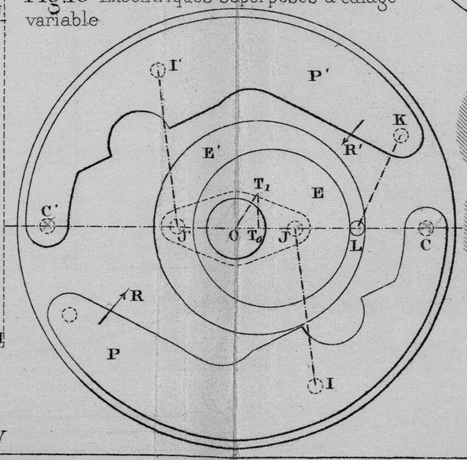
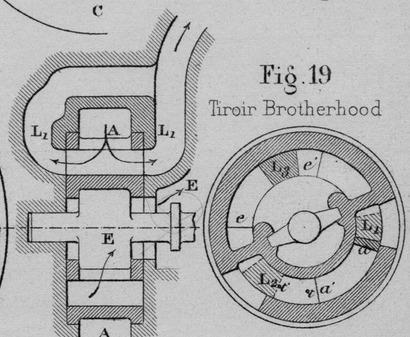


Fig. 19
Tiroir Brotherhood

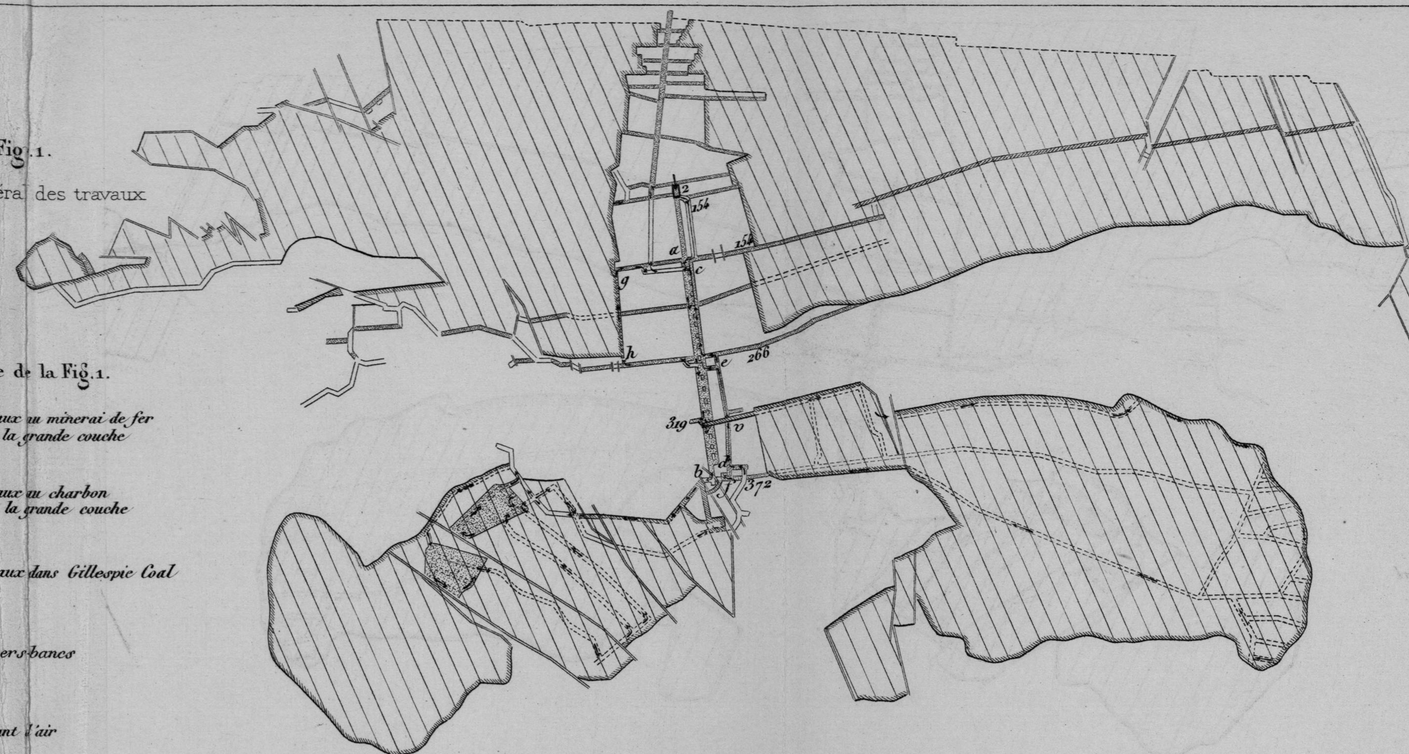


Annales des Mines 8e Série Tome XVII pages 403 et suiv.

Macquet sc.

Fig. 1.

Plan général des travaux



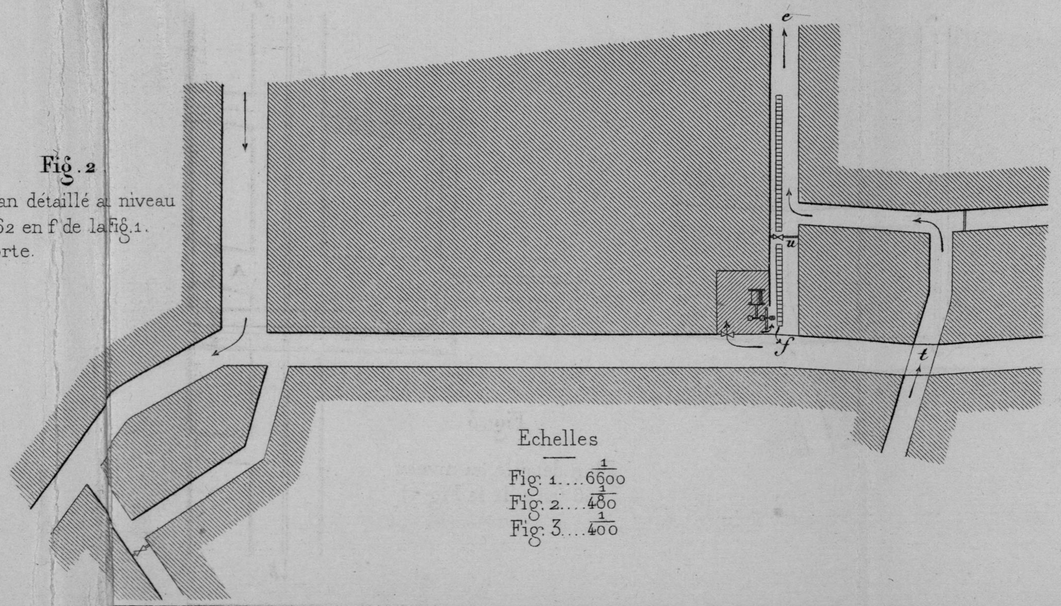
Légende de la Fig. 1.

- *Travaux au minerai de fer dans la grande couche*
- *Travaux au charbon dans la grande couche*
- *Travaux dans Gillespie Coal*
- *Travers-bancs*
- *Courant d'air*

Fig. 2

Plan détaillé au niveau 362 en f de la fig. 1.

⋈ Porte.



Echelles

Fig: 1.... $\frac{1}{6600}$
Fig: 2.... $\frac{1}{480}$
Fig: 3.... $\frac{1}{400}$

ACCIDENT SURVENU
LE 5 SEPTEMBRE 1889
à la mine de Mauricewood (Ecosse)

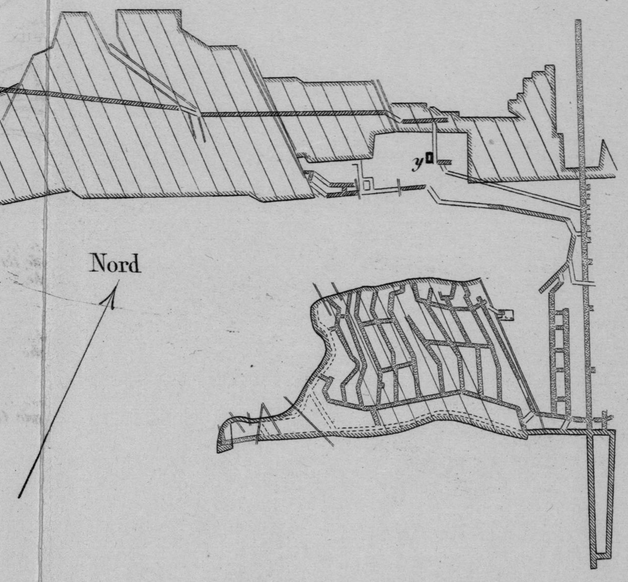
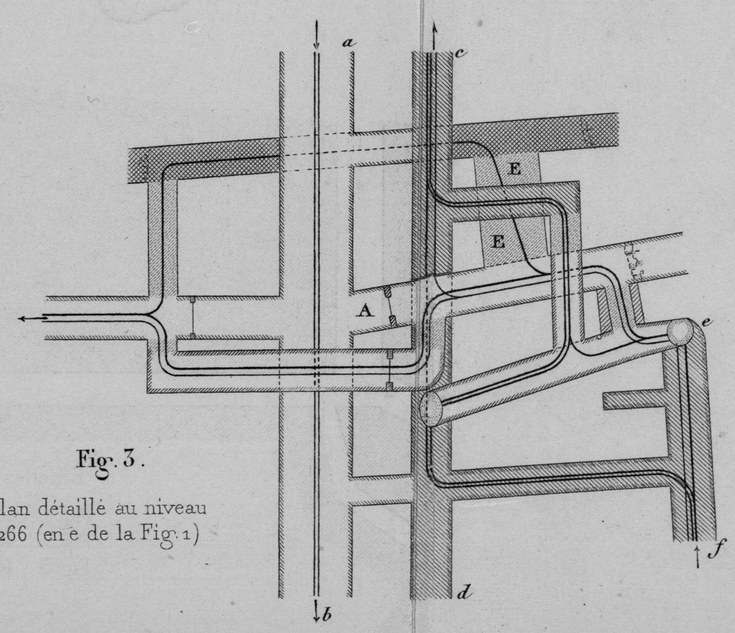


Fig. 3.

Plan détaillé au niveau 266 (en e de la Fig. 1)



Légende de la Fig. 3.

- *Voies de circulation du personnel*
- *Voies d'aerage principales*
- *id. secondaires*
- *Travaux dans la grande couche (partie supérieure)*
- *Travaux dans la grande couche (partie inférieure)*
- *Travaux dans la couche Wee coal*
- *id. Gillespie coal*
- *Travaux au rocher*
- *Briquetage*

Annales des Mines, 8e Série, Tome XVII, pages 548 et suiv.

Macquet sc.