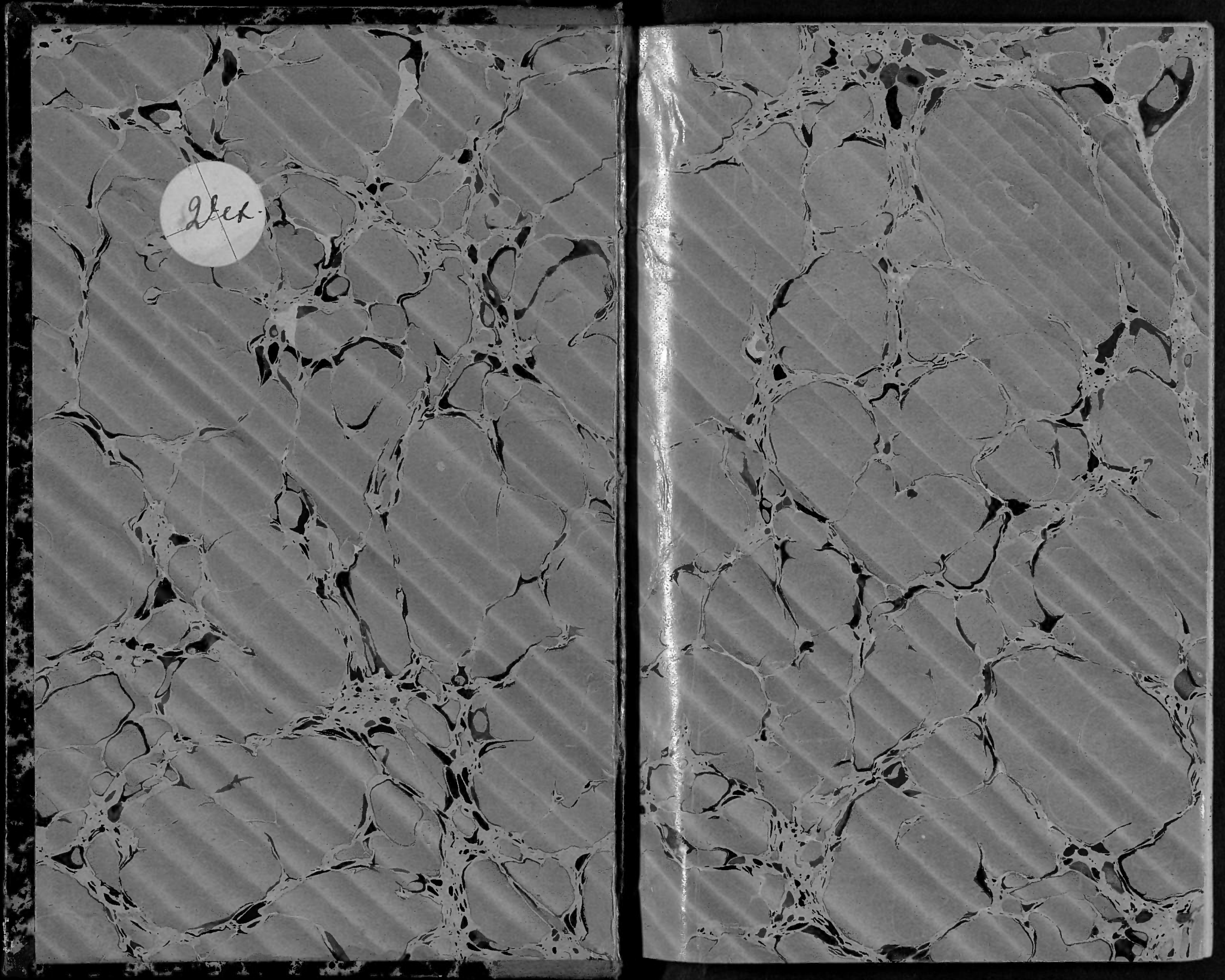


Det

212







ANNALES  
DES MINES

518

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<sup>o</sup>

HATON DE LA GOUPILLIÈRE, inspecteur  
général, directeur de l'École supé-  
rieure des mines.

ORSEL, inspecteur général.

MALLARD, inspecteur général, pro-  
fesseur à l'École supérieure des  
mines.

LORIEUX, inspecteur général.

MASSIEU, d<sup>o</sup>

LAUR, d<sup>o</sup>

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<sup>o</sup>

DOUVILLÉ, d<sup>o</sup>

BERTRAND, d<sup>o</sup>

LE CHATELIER, d<sup>o</sup>

LODIN, d<sup>o</sup>

SAUVAGE, ingénieur des mines, profes-  
seur à l'École supérieure des mines.

DE LAUNAY, d<sup>o</sup>

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.

# 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 XX.

PARIS

V<sup>VE</sup> CH. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES

ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, n<sup>o</sup> 49

1891



70 = 433  
(4)

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS  
ENTRE LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS  
FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.



Les *Annales des mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1891, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the FRANKLIN INSTITUTE. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. *Philadelphie.*
4. — Philosophical Transactions of the ROYAL SOCIETY OF LONDON.
5. — The quarterly Journal of the GEOLOGICAL SOCIETY. *Londres.*
6. — Minutes of the Proceedings of the INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. *Londres.*
7. — ROYAL IRISH ACADEMY. *Dublin.*
8. — Atti della SOCIETA TOSCANA DI SCIENZE NATURALI. *Pise.*
9. — L'Industria. Rivista tecnica ed economica illustrata. *Milan.*
10. — Mémoires de la SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE.
11. — SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — SOC. D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — KAISERLICH-KÖNIGLICHE GEOLOGISCHE REICHSANSTALT. *Vienne.*
17. — ROYAL GEOLOGICAL SOCIETY OF CORNWALL. *Penzance.*
18. — GEOLOGICAL SURVEY OF GREAT-BRITAIN. *Londres.*
19. — ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH. *Édimbourg.*
20. — SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE. *Saint-Étienne.*
21. — SMITHSONIAN INSTITUTION. *Washington.*
22. — Zeitschrift der DEUTSCHEN GEOLOG. GESELLSCHAFT. *Berlin.*
23. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie. *Brunswick.*
24. — Zeitschrift des OESTERREICHISCHEN INGENIEUR-UND ARCHITECTEN-VEREINS. *Vienne.*
25. — Anales de la SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA. *Buenos-Ayres.*
26. — Zeitschrift des ARCHITECTEN UND INGENIEUR-VEREINS ZU HANNOVER. *Hanovre.*
27. — GEOLOGICAL SURVEY OF INDIA. *Calcutta.*
28. — Berg-und Huttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
29. — Bulletin de la SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE.
30. — SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS.
31. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
32. — Zeitschrift des VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE. *Berlin.*
33. — SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS. *Paris.*
34. — OBSERVATOIRE DE PARIS.
35. — BOSTON SOCIETY OF NATURAL HISTORY. *Boston.*
36. — SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE NORMANDIE. *Caen.*
37. — Moniteur des intérêts matériels. *Bruzelles.*



38. — Iron. The Journal of science, metals and manufactures. *Londres.*
39. — KÖNIGLICHE UNGARISCHE GEOLOGISCHE ANSTALT. *Bude-Pesth.*
40. — The Journal of the IRON AND STEEL INSTITUTE. *Londres.*
41. — The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
42. — NORTH OF ENGLAND INSTITUTE OF MINING AND MECHANICAL ENGINEERS. *Newcastle-upon-Tyne.*
43. — LITERARY AND PHILOSOPHICAL SOCIETY OF MANCHESTER.
44. — Berg-und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. BERGAKADEMIEN ZU LOEBEN UND PRZIBRAM und der KÖN. UNGAR. BERGAKADEMIE ZU SCHEMNITZ. *Vienne.*
45. — Oesterr. Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen. *Vienne.*
46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liège.*
47. — Transactions of the AMERICAN INSTITUTE OF MINING ENGINEERS. *Easton (Pensylvanie).*
48. — REALE ACCADEMIA DEI LINCEI. *Rome.*
49. — AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. *New-York.*
50. — ACADEMY OF NATURAL SCIENCES OF PHILADELPHIA.
51. — COMISION DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPANA. *Madrid.*
52. — Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*
53. — MIDLAND INSTITUTE OF MINING, CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERS. *Barnsley (Yorkshire).*
54. — L'Électricien, revue générale d'électricité. *Paris.*
55. — Giornale del Genio civile. *Rome.*
56. — Le génie civil. *Paris.*
57. — Revista minera y metalurgica. *Madrid.*
58. — Annales de la SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE. *Liège.*
59. — UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *Washington.*
60. — INSTITUT ROYAL GÉOLOGIQUE DE SUÈDE. *Stockholm.*
61. — CANADIAN INSTITUTE. *Toronto.*
62. — Revue de la législation des mines. *Paris.*
63. — SECTION DES TRAVAUX GÉOLOGiques DU PORTUGAL. *Lisbonne.*
64. — SECOND GEOLOGICAL SURVEY OF PENNSYLVANIA. *Philadelphie.*
65. — ANNALen des K. K. NATURHISTORISCHEN HOFMUSEUMS. *Vienne.*
66. — Journal of the COLLEGE OF SCIENCE, Imperial University, Japan. *Tokyo.*
67. — ACADEMIE IMP. LÉOPOLDINO-CAROLINA DES NATURALISTES. *Halle.*
68. — Annales de la FACULTÉ DES SCIENCES DE TOULOUSE.
69. — NEW-YORK AKADEMY OF SCIENCES. *New-York.*
70. — INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. *Londres.*
71. — DEPARTMENT OF MINES OF VICTORIA. *Melbourne.*
72. — DEPARTMENT OF MINES OF NEW SOUTH WALES. *Sydney.*
73. — Revue générale des sciences pures et appliquées. *Paris.*
74. — Witwatersrand mining and metallurgical Review. *Johannesburg (Transvaal).*
75. — GEOLOGICAL AND NATURAL HISTORY SURVEY OF CANADA. *Ottawa.*
76. — La Réforme sociale. *Paris.*

## BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1891.

## OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

- APPELL (P.). — Sur une fonction analogue à la fonction  $\theta$ . In-4°, p 6. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. des *Annales de la Faculté des sciences de Marseille.*) (10828)
- BONNEL (J.-F.). — Essai de géométrie rationnelle. In-8°, II-47 p. avec fig. Lyon, Palud. (10070)
- CALINON (A.). — Introduction à la géométrie des espaces à trois dimensions. In-8°, 26 p. avec fig. Paris, Berger-Levrault et C<sup>e</sup>; Gauthier-Villars et fils. (8948)
- CELS (J.). — Sur les équations différentielles linéaires ordinaires (thèse). In-4°, 80 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (13591)
- CHICOURAS (F.). — Étude sur la solution du problème de la quadrature du cercle. In-8°, 39 p. Montpellier, imp. Ricard frères. (11395)
- DEMARTRES. — Cours d'analyse professé à la Faculté des sciences de Lille en 1890-1891 par M. Demartres, et rédigé par M. E. Lemaire. Première partie: Fonctions de variables réelles. In-4°, II-196 p. Paris, Hermann. (13334)
- DUHAMEL. — Éléments de calcul infinitésimal; 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> éditions, revues et annotées par M. J. Bertrand, de l'Institut. T. II. In-8°, xv-537 p. et une planche. Paris, Gauthier-Villars. T. I et II, 15 fr. (12806)
- ÉVRARD (J.). — Mémoire sur l'interprétation des symboles dits imaginaires, ou Théorie des acceptions avec ses applications

- en algèbre et en géométrie (extrait principalement des travaux inédits de feu l'abbé George). Gr. in-8°, xxii-239 p. avec fig. Paris, Baudry et C°. (12324)
- GUYOU. — Note sur les approximations numériques. 2<sup>e</sup> édition. In-8°, 31 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 0<sup>f</sup>,75. (13686)
- MALPHEU (G.-H.). — Traité des fonctions elliptiques et de leurs applications; Troisième partie: Fragments. In-8°, xvi-272 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 8<sup>f</sup>,50. (Publication faite par les soins de la section de géométrie de l'Académie des sciences.) (7690)
- LAFFAILLE (J.). — Tables pour la résolution des polygones réguliers et des cercles. In-8°, 16 p. Paris, 60, r. des Écoles. (10425)
- LAURENT (H.). Traité d'analyse. T. VII et dernier: Calcul intégral (applications géométriques de la théorie des équations différentielles). In-8°, 346 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 8<sup>f</sup>,50. (10197)
- LUCAS (E.). — Théorie des nombres. T. I: le Calcul des nombres entiers; le Calcul des nombres rationnels; la Divisibilité arithmétique. In-8°, xxxiv-520 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 15 fr. (9920)
- MÉRAY (C.). — Théorie analytique du logarithme népérien et de la fonction exponentielle. In-4°, 40 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 1<sup>f</sup>,50. (11519)
- MILHAUD (G.). — De la certitude logique en mathématiques. In-8°, 23 p. Montpellier, imp. Ricard frères. (Extr. de la revue « l'Université de Montpellier. ») (11526)
- PICARD (E.). — Traité d'analyse. T. I: Intégrales simples et multiples; l'Équation de Laplace et ses applications; Développements en séries; Applications géométriques du calcul infinitésimal. In-8°, xii-457 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 15 fr. (9095)
- POINCARÉ (H.). — Les Méthodes nouvelles de la mécanique céleste. T. I: Solutions périodiques; Non-existence des intégrales uniformes: Solutions asymptotiques. In-8°, 389 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 12 fr. (13772)
- SARRAU (E.). — Notions sur la théorie des quaternions. In-8°, 46 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 1<sup>f</sup>,75. (Extr. du *Traité d'électricité et de magnétisme* de Maxwell.) (12911)
- SERRET (J.-A.). — Cours de calcul différentiel et intégral. 3<sup>e</sup> édition. T. II: Calcul intégral. In-8°, xii-734 p. Paris, Gauthier-Villars. T. I et II. 24 fr. (12916)
- STOFFAES. — Cours de mathématiques supérieures, à l'usage des

- candidats à la licence ès sciences physiques. In-8°, vii-432 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 8<sup>f</sup>,50. (7846)
- TANNENBERG (W. de). — Sur les équations aux dérivées partielles du premier ordre à deux variables indépendantes qui admettent un groupe continu de transformations (thèse). In-4°, 152 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (8597)

2<sup>e</sup> Physique. — Chimie. — Métallurgie.

- ANDRÉ (C.). — Éléments du magnétisme terrestre à Lyon en 1890. In-8°, 7 p. Lyon, imp. Plan. (Extr. des *Mém. de l'Acad. des sciences, belles-lettres et arts de Lyon.*) (7584)
- ANNEY (J.-P.). — Manuel pratique de l'installation de la lumière électrique. Stations centrales. Avec 99 fig. dans le texte et 10 pl. (2<sup>e</sup> volume.). In-16, ii-248 p. Paris, Tignol. 7 fr. (12247)
- Avenir (l') de la métallurgie du fer au Chili. Deuxième supplément; par Ch. Vattier, ingénieur de l'École centrale de Paris. In-8°, 114 p. et cartes. Paris, légation du Chili. (13249)
- Troisième supplément; par MM. Durre, Hovine, Delafond, ingénieurs. In-8°, 168 p. et carte. Paris, légation du Chili. (13250)
- BARTHE (L.). — Synthèses au moyen des éthers cyanacétiques et cyanosucciniques (thèse). In-4°, 51 p. avec fig. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (9423)
- BERTHELOT (P.-A.-D.). — Étude sur la neutralisation des acides et des bases par la méthode des conductibilités électriques (thèse). In-4°, 45 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (11362)
- BORDIER (H.). — Recherches sur la surfusion de l'eau (travail du laboratoire de physique de la Faculté de médecine et de pharmacie). In-8°, 4 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (Extr. du *Bull. des travaux de la Soc. de pharmacie de Bordeaux.*) (8170)
- BOUCHEROT (P.). — Distribution par courants alternatifs à la fois à voltage constant et à intensité constante. In-4°, 11 p. avec fig. Tours, imp. Deslis frères. (10073)
- CHAPPUIS (J.) et A. BERGET. — Leçons de physique générale. Cours professé à l'École centrale des arts et manufactures et complété suivant le programme de la licence ès sciences physiques. T. III et dernier: Acoustique, Optique, Electro-optique. In-8°, 400 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 10 fr. (13595)
- COEURIER (F.). — Contribution à l'étude de la pinacone et de ses dérivés (thèse). In-8°, 75 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (11409)



- DEBRAY. — Laboratoires de l'École nationale des ponts et chaussées. Note sur leur origine, leurs installations, les appareils et méthodes d'essai employés et leurs travaux. In-4°, 45 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère des travaux publics.) (11919)
- DEMONT (L.). — Contribution à l'étude chimique du chloroforme. Action des sulfures de potassium et de sodium (thèse). In-8°, 67 p. Paris, imp. Née. (8975)
- DUCHÉ (G.), B. MARINOVITCH, E. MEYLAN, G. SZARVADY et P. JUPPONT. — Aide-mémoire de l'ingénieur électricien. Recueil de tables, formules et renseignements pratiques à l'usage des électriciens. 3<sup>e</sup> édition, augmentée, par M. P. Juppont, ingénieur des arts et manufactures, ingénieur de la Société toulousaine d'électricité. In-16, xx-476 p. Paris, Tignol. (8988)
- DUHEM (P.). — Cours de physique mathématique et de cristallographie de la Faculté des sciences de Lille. Hydrodynamique, Élasticité, Acoustique. T. I : Théorèmes généraux ; Corps fluides. In-4°, iv-382 p. avec fig. Paris, Hermann. (10650)
- . T. II : les Fils et les Membranes ; les Corps élastiques ; l'Acoustique. In-4°, iv-314 p. Paris, Hermann. (13348)
- . Leçons sur l'électricité et le magnétisme. T. I : les Corps conducteurs à l'état permanent. In-8°, viii-560 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 16 fr. (8695)
- . T. II : les Aimants et les Corps diélectriques. In-8°, 484 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 14 fr. (12547)
- DUROY DE BRUIGNAC. — Remarques sur le zéro absolu de température et le coefficient de dilatation. In-8°, 10 p. Paris, imp. Chaix. (12808)
- Encyclopédie chimique, publiée sous la direction de M. Fremy, de l'Institut. T. VII : Chimie organique. 5<sup>e</sup> fascicule : Acides organiques. 3<sup>e</sup> section : Acides organiques à fonction complexe (acides à six équivalents d'oxygène) : par M. A.-Edme Bourgoin, directeur de la pharmacie centrale des hôpitaux. In-8°, p. 1485 à 2184, avec fig. Paris, V<sup>e</sup> Dunod. 25 fr. (12322)
- FLORENCE (A.). — Burette de précision du docteur A. Florence, agrégé à la Faculté de médecine et de pharmacie de Lyon. In-8°, 2 p. et pl. Mâcon, imp. Protat frères. (10661)
- . De quelques causes d'erreurs dans les analyses. In-8°, 3 p. Mâcon, imp. Protat frères. (10662)
- . Note sur le mode d'emploi de l'acide picrique. In-8°, 2 p. Mâcon, imp. Protat frères. (10663)
- FLOURENS (G.). — Sur la saccharification des matières amylacées par les acides. In-8°, 42 p. Lille, imp. Danel. (13644)

- GAUTIER (A.). — Cours de chimie ; T. III et dernier : Chimie biologique. In-8°, xv-828 p. avec 122 fig. Paris, Savy. 18 fr. (L'ouvrage complet en 3 volumes, 50 fr.) (12368)
- GUYE (P.-A.). — Étude sur la dissymétrie moléculaire ; le Coefficient critique et la Détermination du poids moléculaire au point critique (thèses). In-8°, 144 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (7689)
- HOSPITALIER (E.). — Formulaire pratique de l'électricien ; 9<sup>e</sup> année. (1891.) In-18, vi-300 p. avec fig. Paris, G. Masson. (11736)
- . Les compteurs d'énergie électrique. In-8°, 63 p. avec fig. Paris, G. Masson. (12603)
- JAMIN (J.). — Cours de physique de l'École polytechnique. 4<sup>e</sup> édition, augmentée et entièrement refondue par M. Bouly, professeur à la Faculté des sciences de Paris. T. 1, 2<sup>e</sup> fascicule : Physique moléculaire. In-8°, 249 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 4 fr. (8025)
- JAMIN (J.) et BOUTY. — Cours de physique de l'École polytechnique. 4<sup>e</sup> édition, augmentée et entièrement refondue par M. Jamin, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, et M. Bouly, professeur à la Faculté des sciences. Tables générales par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes de la 4<sup>e</sup> édition. In-8° à 2 col., 60 p. Paris, Gauthier-Villars et fils, 0<sup>e</sup>,60. (11470)
- JUNGFLEISCH (E.). — Exposition universelle internationale de 1889, à Paris. Rapports du jury international. Classe 45 : Produits chimiques et pharmaceutiques. In-8°, 45 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies.) (12840)
- LACOMBE. — Sur certaines propriétés optiques des huiles minérales. In-8°, 4 p. Lille, imp. Danel. (Société industrielle du nord de la France.) (9900)
- LAGRANGE (P.). — Épuration des eaux résiduaires des fabriques de sucre et distilleries. In-8°, 16 p. Compiègne, imp. Lefebvre. (Extr. du *Bull. de l'Assoc. des chimistes de sucrerie et distillerie.*) (9901)
- LAMBERT (A.-A.). — L'Extraction du chlorure de potassium des eaux de la mer. In-8°, 7 p. Lille, imp. Danel. (Société industrielle du nord de la France.) (13706)
- LEBLOND (H.). — Électricité expérimentale et pratique. Cours professé à l'École des officiers torpilleurs ; T. III : Applications de l'électricité à bord des navires. 2<sup>e</sup> fascicule. In-8°, p. 289 à



- 763 avec fig. Nancy, Paris, Berger-Levrault et C<sup>e</sup>. 8 fr. (8293)
- LEQUIN, ROUX, MICHAUD, RICHE, SCHUTZEMBERGER, LORILLEUX, CHAPEL, JUNGFLIECH et VÉE. — Exposition universelle internationale de 1889, à Paris. Rapports du jury international. Classe 45 : Produits chimiques et pharmaceutiques. In-8°, 447 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies.) (12854)
- LE VERRIER (U.). — Note sur la métallurgie de l'aluminium et sur ses applications. In-8°, 63 p. Saint-Étienne, Chevalier. Paris, Baudry et C<sup>e</sup>. (13445)
- MASCART (E.). — Traité d'optique. T. II. In-8°, vi-643 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 24 fr. (9069)
- MOREL (J.). — Recherches sur les propriétés optiques et sur la constitution des cristaux anisotropes des nitrates cubiques et de quelques autres corps du même système cristallin (thèse). In-4°, 97 p. et pl. en couleur. Paris, Gauthier-Villars et fils. (11536)
- PEYRUSSON (E.). — Utilité de la chimie et son rôle dans les connaissances humaines, discours prononcé à la séance solennelle de rentrée de l'École de médecine et de pharmacie de Limoges. In-8°, 24 p. Limoges, imp. V<sup>e</sup> Ducourticux. (8343)
- POULENC (C.). — Sur un nouveau corps gazeux, le pentafluorure de phosphore (thèse). In-4°, 27 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (11554)
- STOURDZA (G.). — Les Lois fondamentales de l'univers. In-8°, 568 p. Paris, Baudry et C<sup>e</sup>. 8 fr. (12918)
- TIFFEREAU (T.). — L'Art de faire de l'or. L'Or et la transmutation des métaux; Preuves incontestables de l'or artificiel; Conséquences de la production à très bas prix de l'or et de l'argent; Des perturbations qui en résulteront; Des avantages de la démonétisation de l'or et de l'argent; Quelle valeur on doit prendre pour les remplacer. In-8°, 63 p. Paris-Grenelle, 130, rue du Théâtre. 1 fr. (13818)
- TISSIER (A.). — La Théorie électro-magnétique de la lumière et les expériences d'Hertz et Lécher. In-8°48, p. avec figures. Reims, imp. Monce. (Extr. des *Travaux de l'Acad. nat. de Reims*.) (10553)
- VÉE (A.). — Exposition universelle internationale de 1889, à Paris. Rapports du jury international. Classe 45 : Produits chimiques et pharmaceutiques. In-8°, 19 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies.) (12925)

3<sup>e</sup> Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.

- BASTIDE (E.-F.-H.). — Le Truyas et ses couches bajociennes. In-8°, 8 p. avec figures. Digne, imp. Chaspoul, Constans et V<sup>e</sup> Barbaroux. (Extr. du *Journal des Basses-Alpes*.) (10839)
- CARRIÈRE (G.). — Derniers temps de l'époque néolithique dans l'Ardèche. In-8°, 16 p. avec figures et planche. Lyon, imp. Pitrat aîné. (9808)
- DESMAZIÈRES (O.). — Note sur les grès éocènes de la rive gauche de la Loire (en Maine-et-Loire). In-8°, 8 p. et carte. Angers, imp. Germain et Grassin. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'études scientifiques d'Angers*.) (13939)
- Études des gîtes minéraux de la France, publiées sous les auspices de M. le ministre des travaux publics par le service des topographies souterraines. Bassin houiller et permien d'Autun et d'Épinac. Fascicule 3 : Poissons fossiles, par H.-E. Sauvage, directeur de la station aquicole de Boulogne-sur-Mer. In-4°, 35 p. et pl. 1 à 5. Paris, Baudry et C<sup>e</sup>. (8247)
- FICHEUR (E.). — La Kabylie du Djurjura (2<sup>e</sup> série : Stratigraphie; Descriptions régionales. N<sup>o</sup> 1). In-4°, x-408 p. avec fig. et pl. Alger, imp. Fontana et C<sup>e</sup>. (Extr. des *Matériaux pour la carte géologique de l'Algérie*.) (8707)
- FLICHE. — Notes pour servir à l'histoire des temps glaciaires (1879-1880). In-8°, 12 p. Nancy, imp. Berger-Levrault et C<sup>e</sup>. (7996)
- GIROD (P.) et E. MASSÉNAT. — Les Stations de l'âge du renne dans les vallées de la Vézère et de la Corrèze. Fascicule 4. In-4°, p. 13 à 20, 49 à 56 et pl. 31 à 42. Paris, J.-B. Baillièrre et fils. (L'ouvrage sera complet en 10 fascicules avec 100 pl. hors texte.) (10933)
- HARDY (M.). — La Station quaternaire de Raymondin, à Chancelade (Dordogne), et la Sépulture d'un chasseur de rennes. In-8°, 64 p. et pl. Paris, Leroux. (12361)
- HAUG (E.). — Les Chaînes subalpines entre Gap et Digne. Contribution à l'histoire géologique des Alpes françaises. Gr. in-8°, 205 p. avec figures. Paris, Baudry et C<sup>e</sup>. 10 fr. (Extr. du *Bull. des services de la carte géologique de la France et des topographies souterraines*.) (12590)
- KILIAN (W.). — Sur la structure du massif de Varbuche (Savoie). In-8°, 20 p. avec 1 pl. de coupes. Chambéry, imp. nouv. (8032)
- LEFÈVRE (C.). — Sur les arséniates cristallisés (thèse). In-4°, 64 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (11491)

- MACÉ DE LÉPINAY (J.). — Sur la double réfraction du quartz. In-4°, 14 p. avec fig. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. des *Annales de la Faculté des sciences de Marseille*). (10988)
- MEUNIER (S.). — Les méthodes de synthèse en minéralogie. Cours professé au Muséum. Gr. in-8°, XII-344 p. Paris, Baudry et C°. (10722)
- MARGERIE (E. de). — Géologie (Asie et Amérique). In-8°, 47 p. Le Mans, imp. Monnoyer. (Extr. de l'*Annuaire géologique universel*.) (9063)
- MAURY (L.-F.-A.). — La Terre et l'Homme, ou Aperçu historique de géologie, de géographie et d'ethnologie générales, pour servir d'introduction à l'histoire universelle. 3<sup>e</sup> édition. In-18 Jésus, VIII-803 p. Paris, Hachette et C°. 6 fr. (13423)
- MERMIER (E.). — Note sur l'origine des courants d'air souterrains observés dans les graviers de la colline de Caluire lors du percement du tunnel de Collonges à Saint-Clair (Rhône). In-8°, 8 p. avec croquis. Lyon, imp. Pitrat aîné. (Extr. des *Annales de la Soc. linnéenne de Lyon*.) (10473)
- NICKLÈS (R.). — Recherches géologiques sur les terrains secondaires et tertiaires de la province d'Alicante et du sud de la province de Valence (Espagne) (thèse). In-8°, 229 p. et pl. Lille, imp. Danel. (13755)
- NIVOIT (E.). — Éléments de géologie. In-18 Jésus, 372 p., 156 gravures. Paris, Colin et C°. 3<sup>f</sup>, 50. (12417)
- ROLLAND (G.). — Chemin de fer transsaharien. Géologie du Sahara algérien et aperçu géologique sur le Sahara de l'Océan Atlantique à la mer Rouge. Texte extrait des documents relatifs à la mission de Laghouat, El-Goléah, Ouargla, Biskra, publiés par le ministère des travaux publics (rapport géologique). In-4°, 280 p. avec gravures et album in-4° (pl. 1 à 29 et 31). Paris, Challamel. (12698)
- SCALABRINO (E.). — Silex taillés trouvés dans différentes exploitations à Le Cateau (Nord) et environs en 1890-1891. Résumé d'archéologie préhistorique, étude comparative. In-8°, 19 p. et 38 pl. Le Cateau, imp. Samaden et Roland. (13798)
- VIELLE (E.). — Pointes de flèches typiques en silex de Fère-en-Tardenois (Aisne). In-8°, 8 p. avec fig. Paris, Hennuyer. (Extr. des *Bull. de la Soc. d'anthropologie de Paris*.) (9158)
- WOHLGEMUTH. — Note sur le callovien de la voie ferrée de Toul à Neufchâteau. In-8°, 6 p. avec figures. Nancy, imp. Berger-Levrault et C°. (8140)

6<sup>e</sup> Mécanique. — Exploitation des mines. — Droit des mines.

- BOUR (E.). — Cours de mécanique et machines professé à l'École polytechnique. Publié par M. Phillips, professeur de mécanique à l'École polytechnique, avec la collaboration de MM. Collignon et Kretz. 2<sup>e</sup> fascicule : Statique et travail des forces dans les machines à l'état de mouvement uniforme. 2<sup>e</sup> édition. In-8°, VIII-242 p. et atlas in-4° de 8 pl. Paris, Gauthier-Villars et fils. 6 fr. (8935)
- CASTELNAU (F.). — Préparation mécanique des minerais. Matériel nouveau. In-8°, 97 p. avec fig. et pl. Paris, Michelet. 3 fr. (13002)
- CHALON (P.-F.). — Le Tirage des mines par l'électricité; avec 90 figures dans le texte. Petit in-18, 282 p. Paris, Baudry et C°. (8952)
- COUFFINHAL. — Note sur les machines à distributeur rotatif construites par MM. V. Biétrix et C°. In-8°, 28 p. et pl. Saint-Étienne, imp. Théolier et C°. (Extr. du *Bull. de la Soc. de l'industrie minérale*.) (11679)
- Exposition universelle internationale de 1889, à Paris. Rapports du jury international. Groupe 6 : Outillage et Procédés des industries mécaniques (première partie). Classes 48 et 49. In-8°, 609 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies.) (13058)
- FLAMANT (A.). — Mécanique appliquée. Hydraulique. Gr. in-8°, XXX-691 p. avec fig. Paris, Baudry et C°. 25 fr. (Encyclopédie des travaux publics.) (12336)
- GILLON (A.). — Exposition universelle internationale de 1889, à Paris. Rapports du jury international. Classe 48 : Préparation mécanique des minerais; Matériel de la métallurgie. In-8°, 68 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies.) (12823)
- HELSON (C.). — Mines. Le tarif général des douanes et les minerais de fer français. In-8°, 20 p. Lille, imp. Danel. (13688)
- LAVEZZARI (A.). — Note sur la recherche des défauts des générateurs de vapeur et remèdes à apporter. In-8°, 8 p. Paris, imp. Kugelmann. (Extr. des *Annales du travail*.) (9701)
- LE CHATELIER (A.). — Les Propriétés mécaniques des métaux. In-8°, 22 p. avec fig. Paris, Carré. (Extr. de la *Revue générale des sciences pures et appliquées*.) (10430)
- LIVACHE et PORÉE. — Considérations sur les établissements de



- location de force motrice. In-8°, 12 p. Paris, imp. Chamerot et Renouard. (Extr. de la *Revue d'hygiène.*) (9290)
- MICHEL (G.). — Histoire d'un centre ouvrier (les concessions d'Anzin). Avec la collaboration d'*Alf. Renouard*, ingénieur civil, licencié ès sciences. In-18 Jésus, XII-288 p. Paris, Guillaumin et C°. 3<sup>f</sup>, 50. (11524)
- OLRY (A.). — Le Phosphate de chaux et les établissements Paul Desailly. In-8°, 239 p. avec fig. et 4 pl. Paris, G. Masson. (12420)
- PETITJEAN (G.), A. HABETS et A. GILLON. — Exposition universelle internationale de 1889, à Paris. Rapports du jury international. Classe 48 : Matériel de l'exploitation des mines et de la métallurgie. In-8°, 309 p. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies.) (12889)
- PICOU (R.-V.). — Les machines dynamo-électriques. Principes généraux de théorie et d'application. 2<sup>e</sup> édition, revue et augmentée. In-12, III-253 p. avec fig. Paris, Garnier frères. (11999)
- PLATON (O.). — Appareil à rouleaux automobiles breveté. In-8°, 6 p. avec fig. et pl. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille.*) (9098)
- PLY. — Exposition universelle internationale de 1889, à Paris. Rapports du jury international. Classe 53 : Machines-Outils. In-8°, 285 p. avec fig. Paris, Imp. nationale. (Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies.) (13143)
- RISTON (V.). — De l'institution des délégués à la sécurité des ouvriers mineurs. Historique et Commentaire critique de la loi du 8 juillet 1890 et des circulaires ministérielles qui s'y rattachent. Gr. in-8°, 70 p. Lille, imp. Danel. (Extr. de la *Revue de la législation des mines.*) (9967)
- SARRAU (E.). — Notions sur la théorie de l'élasticité. In-8°, 55 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 1<sup>f</sup>, 50. (Extr. des *Nouvelles Annales de mathématiques.*) (12910)
- SCHRÖTER. — Essais comparatifs de machines à froid exécutés à la station d'essais de l'Association polytechnique de Munich. Publié par ordre de la commission d'essais, par M. Schröter, professeur de mécanique appliquée à l'École polytechnique de Munich. In-8° carré, 87 p. Paris, Chaix. (8867)
- SERMENT (F.). — Influence de l'abaissement du niveau de l'eau dans les chaudières, d'après des expériences faites en Angleterre sur des ciels de foyers portés au rouge et arrosés d'eau. In-8°, 30 p. et 4 pl. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille.*) (13801)
- SPARRE (de). — Mémoire sur le pendule de Foucault. In-4°, 23 p.

- Paris, Imp. nationale. (Extr. des *Mém. présentés par divers savants à l'Acad. des sciences de l'Institut national de France.*) (9137)
- SWARTE (R. de). — Relation définie entre la vitesse du piston et la consommation dans la machine à vapeur. In-8°, 9 p. avec fig. Lille, imp. Danel. (Société industrielle du nord de la France.) (10001)
- TAHON (V.). — Note sur le générateur multitubulaire, système P. Hanrez, et sur ses applications en métallurgie. In-8°, 12 p. et pl. Nancy, imp. Berger-Levrault et C°. (Extr. du *Bull. de la Soc. industrielle de l'Est.*) (7848)
- THELLIER DE PONCHEVILLE. — Discussion de l'interpellation sur les causes de la grève des ouvriers mineurs du Pas-de-Calais et du Nord. Discours prononcé par M. Thellier de Poncheville, député du Nord, à la séance de la Chambre des députés du 19 novembre 1891. In-4° à 3 col., 2 p. Paris, imp. des journaux officiels. (Extr. du *Journal officiel.*) (13190)
- WITZ (A.). — La Machine à vapeur. Avec fig. intercalées dans le texte. In-16, 324 p. Paris, J.-B. Baillièrre et fils. (9403)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

- BÉDARRIDE (J.). — Des chemins de fer au point de vue du transport des voyageurs et des marchandises. 3<sup>e</sup> édition, revue et annotée par H.-F. Rivière, conseiller à la Cour de cassation. 2 vol. in-8°. T. I<sup>er</sup>, 457 p.; T. II, 483 p. Paris, Chevalier-Marescq et C°. 18 fr. (12045)
- BUCHETTI (J.). — Manuel des constructions métalliques et mécaniques, ouvrage contenant le rappel des formules classiques, les conditions d'essai, de résistance, de réception, des métaux actuels et des organes, tels que câbles métalliques de suspension, etc., la routine des méthodes graphiques et analytiques appliquées aux poutres droites des ponts, etc., aux charpentes et aux arcs. Atlas. In-4°, xxxii pl. Paris, 11, rue Guy-Patin. (7623)
- Carte des chemins de fer français, dressée au ministère des travaux publics, direction des chemins de fer (1891). Échelle de 1/1.250.000. Paris, Delagrave. (1234)
- Carte spéciale des chemins de fer de la France (en quatre feuilles), publiée et gravée d'après les documents officiels par la librairie Chaix. Échelle de 1/800.000. Paris, imp. Chaix. (1147)
- COURAU (J.). — Les chemins de fer de l'Algérie-Tunisie : leur état



- actuel, leur histoire et leur avenir. In-8°, vii-193 p. avec 13 pl. et carte. Paris, Michélet. (7470)
- DECAUVILLE (P.). — Réponse à la note de M. Félix Martin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur de la compagnie des chemins de fer (à voie de 1 mètre) du sud de la France, sur le régime des chemins de fer secondaires en France. In-8°, 28 p. Corbeil, imp. Crété. (8215)
- DEHARME (E.). — Chemins de fer. Superstructure. Texte : Introduction, Généralités, Voie et accessoires de la voie, Gares et stations, Signaux. Gr. in-8°, 704 p. avec figures et atlas in-4°. Paris, Baudry et C°. 50 fr. (Encyclopédie des travaux publics.) (12300)
- ESCANDE-VOLTAN. — Chemin de fer international de France à Lérída à travers l'Andorre. Le Transandorran. Note présentée au gouvernement de la république d'Andorre par M. Escande-Voltan, concessionnaire des vallées. In-8°, 8 p. Foix, Gadrat aîné. (13637)
- GISCLARD (A.). — Sur un nouveau type de ferme parabolique applicable à la construction de ponts métalliques à voie en dessus. In-8°, 34 p. avec fig. et pl. Nancy, Paris, Berger-Levrault et C°. (Extr. de la *Revue du génie militaire*.) (13072)
- GUILLEMAUD (C.). — Des accidents de chemins de fer et de leurs conséquences médico-judiciaires. In-8°, iv-148 p. Lyon, Storck. Paris, G. Masson. (11206)
- HENRY (R.). — Ponts et Viaducs mobilisables à éléments portatifs en acier pour chemins de fer et routes stratégiques. *Nouvelle édition*. Gr. in-8°, 117 p. avec fig. et pl. Nancy, Paris, Berger-Levrault et C°. (13088)
- KOESTLER (H.). — Étude sur les tramways électriques dans les grandes villes, conférence faite à Vienne le 26 février 1891. Traduit de l'allemand par A. Lalance. In-8°, 32 p. avec fig. Paris, imp. Hennuyer. (12115)
- LABATUT (F.). — Le Monorail. In-18, 6 p. Foix, imp. Pomiès. (Extr. du *Moniteur de l'Ariège*.) (14025)
- LÉGER (A.). — Les Chemins de fer funiculaires et leur application à Marseille. In-8°, 16 p. et pl. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industrielle de Marseille*.) (9045)
- MADAMET (A.). — Résistance des matériaux. In-8°, xvi-486 p. avec fig. Paris, Bernard et C°. 20 fr. (8786)
- MARTELET (J.). — Question du déboisement. Note sur l'opportunité de remplacer dans les chemins de fer la traverse en bois

- par la traverse en métal. In-8°, 15 p. Paris, imp. Aost et Gentil. (13732)
- MASSON (P.). — Les Trains-Éperons. Projet d'un dispositif aussi commode qu'infaillible pour prévenir tout accident de chemin de fer par collision ou tamponnement. In-8°, 10 p. Paris, imp. Collet. (12869)
- NEYMARK (A.). — Les Chemins de fer et l'impôt. La Légende des gros dividendes, communication faite à la Société de statistique de Paris dans sa séance du 17 juin 1891. In-8°, 15 p. Nancy, Berger-Levrault. Paris, Guillaumin et C°. (Extr. du *Journal de la Soc. de statistique de Paris*.) (11278)
- Nouvelle carte des chemins de fer français, dressée par H. Cafflot, indiquant : 1° les distances entre elles des gares de bifurcation ; 2° les distances entre eux des points de jonction des compagnies, publiée par la Société anonyme du Guide général des transports. Paris, imp. Dufrenoy. (920)
- OSTROWSKI. — Note sur un réseau de tramways à câbles continus desservant la gare de Marseille. Projet de M. Ostrowski, ingénieur. In-8°, 12 p. et pl. Marseille, imp. Barlatier et Barthelet. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. industr. de Marseille*.) (13763)
- PONTZEN (E.). — Procédés généraux de construction. Travaux de terrassement ; Tunnels ; Dragages et Dérochements. Gr. in-8°, xii-559 p. avec fig. Paris, Baudry et C°. 25 fr. (Encyclopédie des travaux publics.) (12427)
- RAVEAUD (E.). — Sécurité en chemin de fer. Toute collision de trains, tout choc entre un train et un obstacle quelconque se trouvant sur la voie sont rendus impossibles par l'emploi d'un chariot et d'un fil électriques, système Raveaud. In-8°, 8 p. et croquis. Saint-Étienne, imp. Théolier et C°. (14134)
- RÉSAL (J.). — Ponts métalliques. T. II : Poutres à travées solitaires. In-8°, XLVII-624 p. Paris, Baudry et C°. 20 fr. (9351)
- SCHAFFHAUSER (E.), F. LABORI et M. GOMPERTZ. — Commentaire de la loi sur le contrat de louage et sur les rapports des agents de chemins de fer avec les Compagnies du 27 décembre 1890, d'après les documents officiels et les discussions parlementaires. In-8°, 70 p. Paris, 175, boulevard Pereire. (8370)
- TARTARY (R.). — Construction et exploitation des chemins de fer à voie de 60 centimètres (voie, terrassements, ouvrages d'art, machines et matériel roulant), avec étude d'un tracé entre deux points donnés. Exploitation de la carrière des Maréchaux. In-8°, 249 p. avec fig. Paris, Baudry et C°. 10 fr. (10550)
- VOTEZ (L.). — Méthode pour les calculs des terrassements et du

mouvement des terres, à l'usage des conducteurs, commis des ponts et chaussées, agents voyers, et des candidats aux examens pour ces emplois. 3<sup>e</sup> édition, revue et augmentée. In-8°, 72 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. 2 fr. (10027)

6<sup>o</sup> Objets divers.

- BÉCHAUX (A.). — La législation internationale du travail. Gr. In-8°, 44 p. Mâcon, imp. Protal frères. (12973)
- Le Congrès international de Berne. La question des accidents du travail. In-8°, 45 p. Paris, Guillaumin. (Extr. du *Correspondant*.) (12974)
- BELLOM (M.). — Étude des établissements d'assurances contre les accidents institués en Autriche par la loi du 28 décembre 1887. In-8°, 86 p. et tableaux. Paris, 20, rue Louis-le-Grand. (Extr. du *Bull. du Comité permanent du congrès des accidents du travail*.) (10917)
- De l'organisation des caisses de secours pour les ouvriers mineurs en Autriche. In-8°, 73 p. Paris, 20, rue Louis-le-Grand. (Extr. du même recueil.) (10842)
- Étude de l'assurance contre la maladie organisée en Autriche par les lois du 30 mars 1888 et du 4 avril 1889. In-8°, 71 p. Paris, 20, rue Louis-le-Grand. (Extr. du même recueil.) (11092)
- Étude sur la loi allemande relative à l'industrie, d'après les modifications votées par le Reichstag le 8 mai 1891. In-8°, 43 p. Paris, Pichon. (Extr. du *Bull. de la Soc. de législation comparée*.) (11361)
- BODENHEIMER (C.). Les Assurances contre les accidents du travail en Allemagne pendant l'année 1889. In-8°, 28 p. Paris, 20, rue Louis-le-Grand. (Extr. du *Bull. du Comité permanent du congrès des accidents du travail*.) (9784)
- CARLOD. — L'éclairage électrique à Lyon au prix du gaz et les Eaux à domicile. Note sur la dérivation du Rhône. In-8°, 27 p. Lyon, Georg. (10088)
- CAUBET (L.). — Les Conditions du travail dans le Royaume-Uni de la Grande-Bretagne et d'Irlande. Rapport adressé au ministre des affaires étrangères par M. Léo Caubet, consul général de France à Londres. Gr. in-8°, 135 p. Nancy, Paris, Berger-Levrault et C<sup>e</sup>. (7921)
- COENE (M. de). — Congrès des accidents du travail. (Berne, 1891).

- Mémoire sur l'organisation des associations pour prévenir les accidents du travail. Rôle de l'initiative privée en matière de préventions. Gr. in-8°, 64 p. Rouen, imp. Lecerf. (11664)
- GRAFFIGNY (H. de). — Traité d'aérostation théorique et pratique : construction des ballons et des engins accessoires, appareils à gaz hydrogène, manœuvres à terre et en l'air, etc. In-18 Jésus, vii-269 p., 77 fig. Paris, Baudry et C<sup>e</sup>. (9247)
- MAILLARD (G.). — L'Industrie des eaux minérales naturelles et artificielles. Monographie juridique. In-8°, 509 p. Paris, imp. Chamerot et Renouard. (13419)
- MONT-SERRAT (E. de) et E. BRISAC. — Le Gaz et ses applications : éclairage, chauffage, force motrice, avec 86 fig. intercalées dans le texte. In-16, 366 p. Paris, J.-B. Baillière et fils. (11272)
- PETIT (J.-E.). — Aide-mémoire des conducteurs et commis des ponts et chaussées, agents voyers, chefs de section, conducteurs et piqueurs des chemins de fer, contrôleurs des mines, adjoints du génie, entrepreneurs, et en général de toute personne s'occupant de travaux. In-18 Jésus, viii-860 p. avec fig. Paris, Baudry et C<sup>e</sup>. (10237)
- PONS (L.). — Tables tachéométriques, donnant aussi rapidement que la règle logarithmique tous les calculs nécessaires à l'emploi du tachéomètre. In-8°, xiv-225 p. Paris, Baudry et C<sup>e</sup>. (9958)
- PRIVAT-DESCHANEL et A. FOCILLON. — Dictionnaire général des sciences théoriques et appliquées, comprenant les mathématiques, la physique et la chimie, la mécanique et la technologie, l'histoire naturelle et la médecine, l'agriculture, avec des figures intercalées dans le texte. Avec la collaboration d'une réunion de savants, d'ingénieurs et de professeurs. 4<sup>e</sup> édition, revue, corrigée et augmentée d'un supplément. 2 vol. gr. in-8° à 2 col. T. I : A-F, viii-1151 p. T. II : G-Z, p. 1151 à 2617, plus un supplément à 2 col. de 119 p. aux 1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> éditions. Paris, Delagrave; Garnier frères. (13775)

## OUVRAGES ANGLAIS.

1<sup>o</sup> Mathématiques pures.

- CAYLEY (A.). — The Collected Mathematical Papers. Vol. IV. In-4°. Cambridge University Press. 31<sup>f</sup>, 25.  
Tome XX, 1891. 6



MILLER (T.-H.). An Introduction to the Differential and the Integral Calculus. In-8°, 92 p. Percival. 4<sup>f</sup>,40.

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

- ATKINSON (P.). — The Elements of Dynamic Electricity and Magnetism. In-8°, 414 p. Crosby Lockwood and Son. 13<sup>f</sup>,15.
- BERINGER (J.-J. and C.). — A Text-book of Assaying, for the Use of those connected with Mines. 2nd ed., Revised. In-8°, 404 p. Griffin. 13<sup>f</sup>,15.
- EISSLER (M.). — The Metallurgy of Argentiferous Lead: A Practical Treatise on the Smelting of Silver Lead Ores and the Refining of Lead Bullion, including Reports of Various Smelting Establishments and Descriptions of Modern Smelting Furnaces and Plants in Europe and America. With 183 Illusts. In-8°, 412 p. Crosby Lockwood and Son. 15<sup>f</sup>,65.
- The Metallurgy of Silver: A Practical Treatise on the Amalgamation, Roasting, and Lixiviation of Silver Ores. Including the Assaying, Melting, and Refining of Silver Bullion. 2nd ed., Enlarged. With 150 Illusts. In-8°, 376 p. Lockwood and Son. 13<sup>f</sup>,15.
- EVERETT (J.-D.). — Illustrations of the C. G. S. System of Units; with Tables of Physical Constants. 4th ed. In-8°, 236 p. Macmillan. 6<sup>f</sup>,25.
- FLEMING (J.-A.). — The Alternate Current Transformer in Theory and Prac. Vol. I, the Induction of Electric Currents. New ed. In-8°, 496 p. « *Electrician* » Co. 9<sup>f</sup>,40.
- LANGBEIN (G.). — Complete Treatise on the Electro-Deposition of Metals. Translated from the German, with Additions by *W.-T. Brannt*. Illust. In-8°, Low. 31<sup>f</sup>,25.
- LUNGE (G.). — A Theoretical and Practical Treatise on the Manufacture Sulphuric Acid and Alkali. 2nd ed. Vol. I. Sulphuric Acid. In-8°, 930 p. Gurney and Jackson. 52<sup>f</sup>,50.
- MAXWELL (J.-C.). — Theory of Heat. 10th ed. With Corrections and Additions by *Lord Rayleigh*. In-12, 358 p. Longmans. 5<sup>f</sup>,65.
- MENDELEEF (D.). — The Principles of Chemistry. Trans. from the Russian by *G. Kamensky*. 5th ed. Edit. by *A.-J. Greenaway*. 2 vols in-8°. 1.420 p. Longmans. 45 fr.
- PHILLIPS (J.-A.). — Elements of Metallurgy: A Practical Treatise on the Art of Extracting Metals from their Ores. 3rd ed., Re-

- vised and Enlarged by *H. Bauerman*. With numerous Illusts. and Three Folding Plates. In-8°, 924 p. Griffin. 45 fr.
- PHILLIPS (H.-J.). — Engineering Chemistry: A Practical Treatise for the Use of Analytical Chemists, Engineers, Ironmasters, Ironfounders, Students and others. Comprising Materials used in Engineering Work. With numerous Analyses, Examples and Suggestions. In-8°, 322 p. Lockwood and Son. 13<sup>f</sup>,15.
- SLOANE (T.-O'C.). — The Arithmetic of Electricity. In-12. Spons. 5<sup>f</sup>,65.
- THOMPSON (S.-P.). — Electro-Magnetic and Electro-Magnetic Mechanism. In-8°, 470 p. Spons. 18<sup>f</sup>,75.
- TREVERT (E.). — Electricity and its Recent Applications: A Practical Treatise for Students and Amateurs. With an Illustrated Dictionary of Electrical Terms and Phrases. Illust. In-8°, 346 p. Gay and Bird. 12<sup>f</sup>,50.
- YOSMAER (A.). — The Mechanical and other Properties of Iron and Steel in Connection with their Chemical Composition. In-8°, 200 p. Spons. 7<sup>f</sup>,50.

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

- GEIKIE (A.). — Outlines of Field Geology. 4th ed. In-8°, 252 p. Macmillan. 4<sup>f</sup>,40.
- HULL (E.). — The Physical Geology and Geography of Ireland, 2nd ed. Revised. In-8°, 340 p. Stanford. 8<sup>f</sup>,75.
- MELLO (J.-M.). — Handbook to the Geology of Derbyshire. Illust. with a Geological Map and Sections. 2nd ed., Revised. In-8°, 89 p. Bemrose. 2<sup>f</sup>,50.
- Memoirs of the Geological Survey. The Vertebrata of the Pliocene deposits of Britain.* By *E.-T. Newton*. 5 fr.
- Explanatory Memoir to Accompany Sheets 31 (in Part) and 32 of the Maps of the Geological Survey of Ireland, by *Richard G. Symes*. With Palæontological Notes by the late *W.-H. Baily*, and Petrographical Notes by *J.-J.-H. Teall* and *J.-S. Hyland*. 1<sup>f</sup>,90.
- Explanatory Memoir to Accompany Sheets 3, 4, 5 (in Part), 9, 10, 11 (in Part), 15 and 16 of the Maps of the Geological Survey of Ireland. Comprising North-west and Central Donegal. By *Edward Hull*, *G.-H. Kinahan*, *Joseph Nolan*, *R.-J. Cruise*, *F.-W. Egan*, *J.-R. Kilroe*, *W.-F. Mitchell*, and *A. M'Henry*. With Petrographical Notes by *J.-S. Hyland*. 6<sup>f</sup>,25.
- The Geology of the Country around Mallerstang, with Parts



- of Wensleydale, Swaledale and Arkendale. Explanation of Quarter-Sheet 97 N.W. New Series, Sheet 40. By *J.-R. Dakyns, R.-H. Tiddeman, R. Russell, C.-T. Clough, and A. Strahan*. Parts by *J.-G. Goodchild, C.-E. de Rance, G. Barrow, and F.-H. Hatch*. 4<sup>t</sup>, 40.
- PHILLIPS (J.). — Illustrations of the Geology of Yorkshire. 53 Plates and a Map. 2 parts. In-4°. Taylor and Francis. 37<sup>t</sup>, 50.
- SOLMS-LAUBACH (H. Graf zu). — Fossil Botany: Being an Introduction to Palæophytology from the Standpoint of the Botanist. Authorised English Translation by *Henry E.-F. Garnsey*. Revised by *Isaac Beyley Balfour*. With 49 Illusts. In-8°, 388 p. Clarendon Press. 22<sup>t</sup>, 50.

4° Mécanique. — *Exploitation des mines.*

- BROUGH (B.-H.). — A Treatise on Mine Surveying. With numerous Diagrams. In-8°, 312 p. Griffin. 9<sup>t</sup>, 40.
- CLARK (D.-K.). — The Mechanical Engineer's Pocket Book of Tables, Formulæ, Rules and Data: A Handy Book of Reference for Daily Use in Engineering Practice. In-12, 656 p. Crosby Lockwood and Son. 11<sup>t</sup>, 25.
- DAY (A.-G.). — Machine Construction and Drawing. In-8°, 438 p. Gill. 2<sup>t</sup>, 50.
- HASLUCK (P.-N.). — Milling Machines and Processes: A Practical Treatise on Shaping Metals by Rotary Cutters, including Informations on Making and Grinding the Cutters. With upwards of 300 Engravings, including numerous Drawings by the Author. In-8°, 362 p. Crosby Lockwood and Son. 15<sup>t</sup>, 65.
- HUTTON (W.-S.). — Steam-Boiler Construction: A Practical Handbook for Engineers, Boiler-makers, and Steam-users. Containing a Large Collection of Rules and Data Relating to Recent Practice in the Design, Construction, and Working of all Kinds of Stationary, Locomotive, and Marine Steam-Boilers. With upwards of 300 Illusts. In-8°, 410 p. Crosby Lokwood and Son. 22<sup>t</sup>, 50.
- KING (W.) and T.-A. POPE. — Gold, Copper and Lead in Chota Nagpore and the adjacent Country. Calcutta. In-8°. 15 fr.
- JAMIESON (A.). — A Text-book on Steam and Steam Engines. 6th ed. With numerous Diagrams, 4 Folding Plates and Examination Questions. In-8°, 412 p. Griffin. 9<sup>t</sup>, 40.
- Marine Boilers*: A Treatise on the Causes and Prevention of their Priming. With Remarks on their General Management.

- By *Triplex*. With 20 Illusts. In-8°, 106 p. Sunderland, Reed. Simpkin. 3<sup>t</sup>, 15.
- PARKER (J.). — Elementary Thermodynamics. In-8°, 405 p. Cambridge Warehouse. 41<sup>t</sup>, 25.
- Parliamentary*. — Mineral Statistics of the United Kingdom for 1888 and 1889. 3<sup>t</sup>, 05.
- Mines. Explosion at Apedale Colliery. April 2, 1891. By W. N. Atkinson. Plans. 1<sup>t</sup>, 25.
- SPENCER (A.). — Roll Turning for Sections in Steel and Iron: Working Drawings for Rails, Sleepers, Girders, Bulbs, Ties, Angles, etc.; also Blooming and Cogging for Plates and Billets. In-4°. Spons. 52<sup>t</sup>, 50.

5° Constructions. — *Chemins de fer.*

- EDE (G.). — The Management of Steel. 6th ed. In-8°, 214 p. Spons. 6<sup>t</sup>, 25.
- FINDLAY (G.). — The Working and Management of an English Railway. 4th ed., Revised and Enlarged. In-8°, 350 p. Whittaker. 6<sup>t</sup>, 25.
- SKELTON (H.-J.). — Economics of Iron and Steel: Being an Attempt to Make Clear the Best Every-day Practice in the Heavy Iron and Steel Trades, to those whose province it is to Deal with Material After it is Made. Illust. In-8°, 344 p. Biggs. 6<sup>t</sup>, 25.
- Parliamentary*. — Railway Accidents. Returns and Inspectors' Reports, Jan.-March, 1891. 0<sup>t</sup>, 93.
- — Returns and Inspectors' Reports. Jan.-June, 1891. 0<sup>t</sup>, 75.
- — Railways. Continous Brakes. Returns, Jan.-June, 1891. 4<sup>t</sup>, 35.
- — Railway Rates, Proposed Classification. In-36 Parts. Chacun 0<sup>t</sup>, 65.
- — Returns of the United Kingdom for 1890. 1<sup>t</sup>, 15.
- — Servants. Hours of Labour. December 1890. Return. 4<sup>t</sup>, 05.
- — Servants. Report. Evidence, Appendix and Index. 7<sup>t</sup>, 10.
- — Rates and Charges, P.O. Bills. Report from Joint Select Committee. Evidence and Index. In 2 parts. 18<sup>t</sup>, 35.

6° Objets divers.

- BAX (E.-I.). — Popular Electric Lighting: Being Practical Hints to Present and Intending Users of Electric Energy for Illumi-

nating Purposes. With a Chapter on Electric Motors. Illust.  
In-8°, xxiii-106 p. Biggs and Co. 2<sup>f</sup>,50.

---

OUVRAGES AMÉRICAINS.

---

- EGLESTON (T.). — Catalogue of Minerals and Synonyms. In-4°, 384 p.  
New York, J. Wiley and Sons. 15<sup>f</sup>,65.
- GRIMSHAW (R.). — The Engine Runner's Catechism : Telling  
How to Erect, Adjust and Run the Principal Steam Engines in  
use in the United States. Being a Sequel to the « Steam En-  
gine Catechism. » Illusts. In-24°, 369 p. New York, J. Wiley  
and Sons. 12<sup>f</sup>,50.
- KIRKALDY (W.-G.). — Strength and Properties of Materials : With  
Description of the System of Testing as Originated and Carried  
on by D. Kirkaldy for a Quarter of a Century. Illusts. In-4°.  
New York, D. Van Nostrand Co. 156<sup>f</sup>,25.
- PETERS (E.-D.). — Modern American methode of Copper smelting.  
2nd ed., revised and enlarged. In-8°, 398 p. et pl. New York,  
Scientific Publ. Co.
- RICHTER (V. von). — Chemistry of the Carbon Compounds; or,  
Organic Chemistry. Authorised Translation by *Edgar F. Smith*.  
2nd American ed. from the 6th. German ed. In-8°, 1080 p. Paul,  
Trübner and Co. 25 fr.
- STERRY HUNT (T.). — Systematic Mineralogy based on a natural  
Classification. In-8°, 329 p. New York, Scientific Publ. Co.
- WYATT (F.). — The Phosphates of America : Where and How they  
Occur; How they are Mined and What they Cost. With Prac-  
tical Treatises on the Manufacture of Sulphuric Acid, Acid  
Phosphate, Phosphoric Acid and Concentrated Superphos-  
phates; and Selected Methods of Cheminal Analysis. Map and  
Illusts. In-8°, 192 p. New York, Scientific Publ. Co. 25 fr.

OUVRAGES ALLEMANDS.

---

1° *Mathématiques pures.*

- CRANZ (H.). — Lehrbuch der analytischen Geometrie der Ebene.  
I. Th. Stuttgart, J. Maier. In-8°, vii-266 p. 7<sup>f</sup>,50. (4471)
- CZUBER (E.). — Theorie der Beobachtungsfehler. Leipzig, B. G.  
Teubner. In-8°, xii-418 p., av. 7 fig. 10 fr. (4069)
- EBERHARD (V.). — Zur Morphologie der Polyeder. Leipzig, B. G.  
Teubner. In-8°, iv-245 p., av. fig. et 2 pl. 10 fr. (2512)
- EMMERICH (A.). — Die Brocardschen Gebilde und ihre Beziehungen  
zu den verwandten merkwürdigen Punkten und Kreisen des  
Dreiecks. Berlin, G. Reimer. In-8°, xiv-154 p., av. 50 fig. et  
1 pl. 6<sup>f</sup>,75. (2513)
- GRASSMANN (R.). — Die Ausdehnungslehre oder die Wissenschaft  
von den extensiven Grössen in strenger Formentwicklung.  
Stettin, R. Grassmann. In-8°, ix-132 p. 2<sup>f</sup>,80. (3265)
- Die Formenlehre oder Mathematik in strenger Formelent-  
wicklung. I. Zweig. Die Zahlenlehre oder Arithmetik, der nie-  
dere Zweig der Analyse, streng wissenschaftlich in strenger  
Formelentwicklung. Stettin, R. Grassmann. In-8°, v-xii-242 p.  
5 fr. (4073)
- HAGEN (J.-G.). — Synopsis der höheren Mathematik. Bd. I. Arith-  
metische und algebraische Analyse. Berlin, F. L. Dames. In-4°,  
viii-398 p. 37<sup>f</sup>,50. (3693)
- ISELIN (J.-J.). — Die Grundlagen der Geometrie, ohne spezielle  
Grundbegriffe und Grundsätze mit Einschluss einer vollständi-  
gen Darstellung der reinen Sphärik einheitlich dargestellt.  
Berne, K. J. Wyss. In-4°, v-264 p. 7<sup>f</sup>,50. (3270)
- JACOBI'S (C.-G.-J.) gesammelte Werke. Herausgegeben auf Veran-  
lassung der königl. preuss. Akademie der Wissenschaften.  
VI. Bd. Herausgegeben von K. Weierstrass. Berlin, G. Reimer.  
In-4°, viii-433 p. 17<sup>f</sup>,50. (2919)
- VII. Bd. Berlin, G. Reimer. In-4°, viii-44 p. 17<sup>f</sup>,50. (4481)
- LIE (S.). — Vorlesungen über Differentialgleichungen mit bekann-  
ten infinitesimalen Transformationen bearbeitet und heraus-  
gegeben von *G. Scheffers*. Leipzig, Teubner. In-8°, xiv-568 p.,  
av. fig. 20 fr. (2923)
- MOLENBROEK (P.). — Theorie der Quaternionen. Leyde, E. J. Brill.  
In-8°, xii-284 p., av. fig. 8<sup>f</sup>,75. (4081)



- PIETZKER (F.). — Die Gestaltung des Raumes. Kritische Untersuchungen über die Grundlagen der Geometrie. Brunswick, O. Salle. In-8°, vii-110 p., av. 10 fig. 2<sup>f</sup>,50. (3280)
- SCHAEFFLER (H.). — Beiträge zur Theorie der Gleichungen. Leipzig, F. Förster. In-8°, iii-133 p., 1 pl. 4<sup>f</sup>,40. (2934)
- Beiträge zur Zahlentheorie, insbesondere zur Kreis und Kugeltheilung mit einem Nachtrage zur Theorie der Gleichungen. Leipzig, F. Förster. In-8°, xi-285 p., 3 pl. 7<sup>f</sup>,50. (4496)
- SCHLOTKE (J.). — Analytische Geometrie der Ebene. Sammlung von Lehrsätzen und Aufgaben, nebst Erläuterungen und Resultaten. Dresde, G. Kühnemann. In-8°, v-217 p., av. 97 fig. 8<sup>f</sup>,50. (4086)
- SCHRÖDER (E.). — Vorlesungen über die Algebra der Logik [exakte Logik]. II. Bd. 1. Abthg. Leipzig, B. G. Teubner. In-8°, xiii-400 p., av. fig. 15 fr. (3285)

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

- AHRENS (C.). — Ueber einige Derivate des Meta-Hylois. Göttingen, Vandenhoeck und Ruprecht. In-8°, 53 p. 1<sup>f</sup>,25. (3675)
- BISCAN (W.). — Elektrotechnische Vorlagen. Sammlung konstruktiver Aufnahmen aus dem gesamten Gebiete der Elektrotechnik. 1. Lfg. 6 Tafeln in Farbendruck, enthaltend: Ampèremeter, Galvanoskop, Elektrodynamometer, Telefonstation, Bogenlampe, Sicherheitsschalter. Leipzig, Gebhardt. In-folio, av. texte explicatif in-4°, 8 p. 10 fr. (3130)
- BISCHOFF (E.). — Schmiedeeisen. Vorlagen für die grossherzoglich-badische Kunstgewerbeschule in Karlsruhe. Karlsruhe, J. Veith. In-folio, 12 feuilles autogr. 11<sup>f</sup>,25. (3925)
- BOLTZMANN (L.). — Vorlesungen über Maxwells Theorie der Electricität und des Lichtes. I. Thl. Ableitung der Grundgleichungen für ruhende, homogene, isotrope Körper. Leipzig, J. A. Barth. In-8°, xii-139 p., av. fig. et 2 pl. 6<sup>f</sup>,25. (2911)
- BORCHERS (W.). — Elektro-Metallurgie. Die Gewinnung der Metalle unter Vermittlung des elektrischen Stromes. Brunswick, H. Bruhn. In-8°, vii-167 p., av. 90 fig. 8<sup>f</sup>,15. (3926)
- CALM (A.), und K. v. BUCHKA. — Die Chemie des Pyridins und seiner Derivate. Unter Benutzung eines Manuscripts des A. C. herausgegeben von K. B. 2 Lfg. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, p. 241-633 et xix p. (Fin). 17<sup>f</sup>,50. (3258)
- CORSEPIUS (M.). — Leitfaden zur Construction von Dynamomaschinen und zur Berechnung von elektrischen Leitungen. Ber-

- lin, J. Springer. In-8°, iv-44 p., av. 16 fig. et 1 pl. 2<sup>f</sup>,50. (3927)
- GLUCKSMANN (C.). — Kritische Studien im Bereiche der Fundamentalanschauungen der theoretischen Chemie. I. Thl. : Ueber die Quantivalenz. Vienne, F. Deuticke. In-8°, 63 p. 1<sup>f</sup>,90. (4476)
- GRIEPENKERL (J.). — Untersuchungen zur Vergleichung der Bornylamins, sowie zur Kenntniss der sogenannten Dibornylamins. Göttingen, Vandenhoeck und Ruprecht. In-8°, 51 p. 1<sup>f</sup>,50. (3692)
- Handwörterbuch der Chemie, herausgegeben von *Ladenburg*. Unter Mitwirkung von Ahrens, Anschütz, Baurath, etc. VIII. Bd. Breslau, E. Trewendt. In-8°, 752 p., av. fig. 22<sup>f</sup>,50. (4076)
- KAYSER (H.) und C. RUNGE. — Ueber die Spectren der Elemente. 4. Abschn. (Extr. des *Abhandl. der k. preuss. Akad. d. Wissenschaften zu Berlin.*) Berlin, G. Reimer. In-4°, 72 p., 2 pl. 6 fr. (2524)
- KERNER v. MARILAU (F.). — Die Aenderung der Bodentemperatur mit der Exposition. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*) Vienne, F. Tempsky. In-8°, 26 p., 2 pl. 1<sup>f</sup>,75. (3696)
- KRAFFT (F.). — Kurzes Lehrbuch der Chemie. Anorganische Chemie. Vienne, F. Deuticke. In-8°, viii-488 p., av. fig. et 1 pl. 11<sup>f</sup>,25. (2922)
- ROSCOE (H. E.) und C. SCHORLEMMER. — Ausführliches Lehrbuch der Chemie. Bd. V. Die Kohlenwasserstoffe und ihre Derivate oder organische Chemie. III. Thl., 1 Abth. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, 464 p., av. fig. 11<sup>f</sup>,25. (2932)
- VOLKMANN (P.). — Vorlesungen über die Theorie des Lichtes. Leipzig, B. G. Teubner. In-8°, xv-432 p., av. fig. 14 fr. (4090)
- WEDDING (H.). — Das Kleingefüge des Eisens. Mikroskopische Original-Photographien nach Schliffen, aufgenommen und erläutert von H. W. Berlin, W. H. Kühl. In-4°, 2 p. et 12 f. texte av. 38 phot. sur 19 pl. 62<sup>f</sup>,50. (3551)

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

- BORNEMANN (J. G.). — Die Versteinerungen des Cambrischen Schichtensystems der Insel Sardinien, nebst vergleichenden Untersuchungen über analoge Vorkommnisse aus andern Ländern. II. Abth. (Extr. des *Nova Acta der k. Leopold. Carol. Deutsch. Akad. der Naturforscher.*) Halle. Leipzig, W. Engelmann. In-4°, 104 p., 10 pl. 15 fr. (2912)
- COHEN (E.) und W. DEECKE. — Ueber Geschiebe aus Neu-Vor-



- pommern und Rügen. (Extr. des *Mittheil. aus dem naturwissensch. Verein für Neuvorpommern und Rügen.*) Berlin, R. Gaertner. In-8°, 84 p. 3 fr. (4470)
- COHEN (E.) und E. WEINSCHENK. — Meteoreisen-Studien. (Extr. des *Annalen des naturhist. Hofmuseums.*) Vienne, A. Hölder. In-8°, p. 131-165. 2<sup>f</sup>, 50. (3680)
- DOHRN (A.). — Studien zur Urgeschichte des Wirbelthierkörpers. XVI. (Extr. des *Mittheil. d. zoolog. Station zu Neapel.*) Berlin, R. Friedländer und Sohn. In-8°, 40 p., 3 pl. color. 8<sup>f</sup>, 75. (3260)
- ETTINGSHAUSEN (C. von). — Die fossile Flora von Schœnegg bei Wies in Steiermark. II. Thl. [Enthaltend die Gamopetalen.] (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. der Wissenschaften.*) Vienne, F. Tempsky. In-4°, 24 p., 2 pl. 3<sup>f</sup>, 65. (4072)
- FELIX (J.), und H. LENK. — Beiträge zur Geologie und Paläontologie der Republik Mexico. III. Thl. (Extr. des *Palaeontographica.*) Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, 78 p., 9 pl. 25 fr. (2915)
- FÖRSTER (B.). — Die Insekten des « Plattigen Steinmergels » von Brunstatt. (Extr. des *Abhandl. zur geolog. Specialkarte von Elsass-Lothringen.*) Strasbourg, Strassburger Druckerei u. Verlagsanstalt. In-8°, 13<sup>f</sup>, 75. (2315)
- GOLDSCHMIDT (V.). — Index der Krystallformen der Mineralien. III. Bd. 7. Heft. Anhang. Synonyme. Correcturen und Nachträge. Berlin, J. Springer. In-8°, VII p. et p. 363-420. 1<sup>f</sup>, 25. (2917)
- HINTZE (C.). — Handbuch der Mineralogie. 4. Lfg. Leipzig, Veit und Co. In-8°. II. Bd, p. 481-640, av. 45 fig. 6<sup>f</sup>, 25. (2521)
- KITTL (E.). — Die Gastropoden der Schichten von St. Cassian der südalpiner Trias. I. Thl. (Extr. des *Annalen des naturhist. Hofmuseums.*) Vienne, A. Hölder. In-8°, 97 p., av. 10 fig. et 7 pl. 15 fr. (3697)
- MARTINI und CHEMNITZ. — Systematisches Conchylien-Cabinet. In Verbindung mit Philippi, Pfeiffer, Dunker, etc., neu herausgegeben und vervollständigt von H. C. Küster, nach dessen Tode fortgesetzt von W. Kobelt. 382-385. Lfg. Nürnberg, Bauer und Raspe. In-4°, 80 p., av. 24 pl. col. Chaque livr. 11<sup>f</sup>, 25. (2528)
- Sect. 126 u. 127. Nürnberg, Bauer und Raspe. In-4°, 72 et 80 p., av. 18 et 19 pl. col. Chaque section 33<sup>f</sup>, 75. (2529)
- Mémoires de l'Académie impériale des sciences de Saint-Petersbourg. VII<sup>e</sup> série. Tome XXXVIII. Nr. 1. *Robon*. Die Jura-Fische von Ust-Balei in Ost-Sibirien. St.-Petersbourg. In-4°, 15 p., 2 pl. (2926)
- NOVAK (O.). — Revision der palaeozoischen Hyolithiden Böhmens.

- (Extr. des *Abhandl. d. k. böhm. Gesellsch. d. Wissenschaften.*) Prague, F. Rivnac. In-4°, 49 p. av. 3 fig. et 6 pl. 5 fr. (3704)
- PETERSEN (J.). — Beiträge zur Petrographie von Sulphur Island, Peel-Island, Hachijo und Mijakeschima. (Extr. du *Jahrbuch der Hamburger wissenschaftlichen Anstalten.*) Hambourg, L. Gräfe und Sillem. In-8°, 58 p., av. 4 fig. et 8 pl. 3<sup>f</sup>, 15. (4493)
- SCHOENFLIES (A.). — Krystallsysteme und Krystallstructur. Leipzig, B. G. Teubner. In-8°, XII-638 p., av. 73 fig. 15 fr. (4088)
- SELENKA (E.). — Studien über Entwicklungsgeschichte der Tiere. 5. Heft. 1. Hälfte. Wiesbaden, C. W. Kreidel. In-4°, p. 173-206, av. 7 pl. col. 27<sup>f</sup>, 50. (4498)
- TELLER (F.). — Ueber den Schädel eines fossilen Dipnoers *Ceratodus Sturii* nov. spec. aus den Schichten der oberen Trias der Nord-Alpen. (Extr. des *Abhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt.*) Vienne, A. Hölder. In-4°, 59 p., av. 8 fig. et 4 pl. 12<sup>f</sup>, 50. (2938)
- TSCHERMAK (G.). — Die Chloritgruppe. II. Thl. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*) Vienne, F. Tempsky. In-8°, 79 p. 1<sup>f</sup>, 73. (2531)
- v. WEX (G.). — Periodische Meeresanschwellungen an den Polen und am Aequator, hiedurch veranlasste Ueberfluthungen der Polar- und Aequatorial-Länder, dann Sintfluthen, Eiszeiten und Vergletscherungen der Alpen. Vienne, Spielhagen und Schurich. In-8°, VIII-59 p., av. 27 fig. et 4 pl. 5 fr. (3717)
- WÜLFING (E. A.). — Beiträge zur Kenntnis der Pyroxenfamilie in chemischer und optischer Beziehung. Heidelberg, Hönning. In-8°, 65 p. 3 fr. (3294)

4° *Exploitation des mines. — Droit des mines.*

- WAHLE (G. H.). — Das allgemeine Berggesetz für das Königreich Sachsen. Freiberg i/S., Craz und Gerlach. In-8°, VIII-843 p. 25 fr. (3249)

5° *Chemins de fer.*

- BURMANN (A.). — Die Eisenbahn-Geleise. I. Bd. Geschichtlicher Thl. 2 Hälften. Leipzig, W. Engelmann. In-8°, XL-352 p., av. fig. 50 fr. (4726)
- KOHLFÜRST (L.). — Die Fortentwicklung der elektrischen Eisenbahn-Einrichtungen. Vienne, A. Hartleben. In-8°, VIII-296 p., av. 106 fig. 6<sup>f</sup>, 25. (3538)

6° *Objets divers.*

- GROSSMANN (L.). — Die Mathematik im Dienste der Nationalökonomie. 6. Lfg. Vienne, III, Solienbrückeng., 5. In-8°, iv-74 p. et Anhang, p. 25-28. (Fin). 6<sup>f</sup>, 25. (4477)
- STEINER (F.). — Die Photographie im Dienste des Ingenieurs. Ein Lehrbuch des Photogrammetrie. 1. Lfg. Vienne, Lechner's Sort. In-8°, 56 p., av. 25 fig. et 2 pl. (Paraitra en 3 livraisons.) 3 fr. (3149)

## OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques pures.*

- AMODEO (F.). — Quali possono essere i postulati fondamentali della geometria proiettiva di uno  $S_3$ : nota. Turin. In-8°, 32 p. (Extr. des *Atti della r. accad. d. scienze di Torino.*) (6960)
- BOCCARDO (E.-C.). — Trattato elementare completo di geometria pratica. Disp. 30-31. Parte II (Topografia). Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, p. 305-352, avec 8 pl. 4<sup>f</sup>, 60 la livraison. (8940-9369)
- CALDARERA (F.). — Primi fondamenti della geometria del piano. Palerme et Turin, C. Clausen. In-8°, vij-187 p. 5 fr. (9370)
- CASTELNUOVO (G.). — Ricerche lineari sopra i sistemi lineari di curve piane: memoria. Turin, C. Clausen. In-4°, 43 p. (Extr. des *Mem. della r. accad. d. scienze di Torino.*) (7451)
- CIANI (V.). — Sopra una classe di funzioni ad  $n$  valori: nota. Turin, tip. Origlia, Festa, Ponzone e C. In-8°, 18 p. (6965)
- FIBBI (C.). — I sistemi doppiamente infiniti di raggi degli spazi di curvatura costante. Pise, tip. T. Nistri e C., In-8°, 100 p. (Extr. des *Annali della r. scuola normale superiore di Pisa.*) (8467)
- MARTINETTI (V.). — Sui poligoni di Steiner, inscritti in una curva piana di terzo ordine e relativi ad un numero qualunque di punti fondamentali: nota. Milan, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C. In-8°, 18 p. (8470)
- NAMIAS (R.). — Sull' applicazione delle equazioni algebriche alle equazioni chimiche. Modène, tip. A. Namias. In-8°, 20 p. (5940)

- PALATINI (F.). — Sopra i triangoli formati coi lati dell' esagrammo di Pascal, i quali possono ridursi ad un punto. Palmi, tip. G. Lopresti. In-8°, 10 p. (6972)
- Sopra una trasformazione delle figure dello spazio a quattro dimensioni, fondata sopra una corrispondenza univoca dei punti reali ed immaginari di  $R_2$  coi punti reali di  $R_4$ . Palmi, tip. Lopresti. In-8°, 20 p. (6973)
- PEPIN (T.). — Nouvelle démonstration de la loi de réciprocité de Legendre. Rome, imp. des Sciences mathématiques et physiques. In-4°, 9 p. (Extr. des *Atti dell' accad. pontif. de' Nuovi Lincei.*) (6420)
- Sur la décomposition des grands nombres en facteurs premiers. Rome, imp. des Sciences mathématiques et physiques. In-4°, 31 p. av. planche (Extr. du même recueil.) (6421)
- PIZZETTI (P.). — Nota relativa alla statistica matematica. Gènes, tip. A. Ciminago. In-8°, 6 p. (Extr. des *Atti della soc. ligustica di scienze naturali.*) (6975)
- TANO (F.). — Sulla teoria dei numeri: nota. Florence, tip. G. Barbera. In-4°, 6 p. (8023)

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

- BARATTA (M.). — Catalogo dei fenomeni elettrici e magnetici, apparsi durante i principali terremoti: memoria. Milan, tip. Lamperti di G. Rozza. In-8°, 15 p. (Extr. des *Rendiconti della soc. ital. di elettricità pel progresso degli studi e delle applicazioni.*) (5927)
- BATTELLI (A.). — Sulle proprietà termiche del vapore: memoria. Parte III (Studio del vapore di solfuro di carbonio, rispetto alle leggi di Boyle e di Gay-Lussac). Turin, C. Clausen. In-4°, 62 p., 2 pl. (Extr. des *Mem. della r. accad. d. scienze di Torino.*) (8939)
- BIGINELLI (P.). — Intorno ad uramidi aldeidiche dell' etere acetilacetico (R. istituto di studi superiori di Firenze; laboratorio di chimica farmaceutica). Florence, tip. di Patronato. In-8°, 7 p. (Extr. du journal *l'Orosi.*) (9368)
- BONATTI (V.). — Effetti prodotti dalla scarica elettrica silenziosa d'una punta sopra una lamina: relazione di esperimenti eseguiti nel gabinetto di fisica della r. università di Padova. Padova, tip. Cooperativa. In-8°, 12 p. (5491)
- CAMPETTI (A.). — Sulle correnti che si ottengono per l'allungamento di spirali o per la torsione di fili di nichel: nota. Turin,



- C. Clausen. In-8°, 15 p. (Extr. des *Atti della r. accad. d. scienze di Torino.*) (6963)
- CAVAZZI (A.) e D. TIVOLI. — Azione dell' idrogeno fosforato sul tribromuro di bismuto sciolto nell' etere. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 5 p. (Extr. des *Mem. della r. accad. d. scienze dell' istituto di Bologna.*) (8009)
- DENZA (F.). — Variazioni della temperatura a diverse altezze: nota. Roma, tip. delle Scienze matematiche e fisiche. In-4°, 13 p. (Extr. des *Atti dell' accad. pontif. de' Nuovi Lincei.*) (6413)
- ERMACORA (G.-B.). — Un punto fondamentale della teoria elettrodinamica e dell' induzione, e probabile esistenza di un quarto campo elettrico. Milan, tip. Lamperti di G. Rozza. In-8°, 15 p. avec fig. (Extr. des *Rendiconti della soc. ital. di elettricità pel progresso degli studi e delle applicazioni.*) (5934)
- ERRERA (G.). — Lezioni di polarimetria. Turin, tip. Guadagnini e Candellero. In-8°, 229 p., 3 pl. (6967)
- FAVERI (S. de). — Chevreul e la chimica del suo tempo. Terza edizione. Roma, Capaccini. In-24, 51 p. (6415)
- FERRARIS (G.). — L'elettrotecnica all' esposizione universale del 1889 in Parigi: note. Turin, tip. G. Candeletti. In-8°, 98 p. (6040)
- FERRINI (R.). — Recenti progressi nelle applicazioni dell' elettricità. Seconda edizione completamente rifatta. Parte I (Delle dinamo). Milan, U. Hoepli. In-8°, xij-423 p. avec figures. 9 fr. (8466)
- FRANZERI (V.). — Saggio del sotto-nitrato di bismuto detto comunemente magistero di bismuto ( $\text{Bi}^3\text{NO}^4 + \text{H}^2\text{O}$ ): nota. Asti, tip. Michelerio. In-8°, 12 p. (7456)
- GARBASSO (A.). — Dell' influenza della magnetizzazione sulla resistenza elettrica del ferro e del nichel: studio sperimentale. Turin, C. Clausen. In-8°, 17 p. (Extr. des *Atti della r. accad. d. scienze di Torino.*) (8014)
- GARELLI (F.). — Sopra alcuni nuovi acidi chetonici della serie aromatica (tesi). Bologne, soc. tip. già Compositori. In-8°, 36 p. (5935)
- JADANZA (N.). — Un prisma universale a riflessione. Turin, C. Clausen. In-8°, 10 p. avec fig. (Extr. des *Atti della r. accad. d. scienze di Torino.*) (5936)
- MARCUCCI (D.). — Contatore termico totalizzatore d'energia elettrica. Livourne, tip. A. Debatte. In-16, 13 p. (7458)
- MARSILI (L.). — Del moto vibratorio considerato nel suono, nel

- calore, nella luce e nella elettricità. Pontremoli, tip. R. Rossetti. In-8°, 26 p. (9813)
- MONTI (V.). — La corrente elettrica secondo i concetti e le scoperte più recenti. Turin, tip. G. Candeletti. In-8°, 55 p. av. fig. (10705)
- PAGLIANI (S.). — Sopra un nuovo metodo di misura delle sfere elettromotrici e delle resistenze elettriche: nota. Turin, tip. Camilla e Bertolero. In-8°, 10 p. (Extr. de *L'ingegneria civile e le arti industriali.*) (5944)
- PELLIZZARI (V.). — L'elettrolisi. Milan, *L'Electricità* edit. (tip. A. Guerra). In-16, 315 p. av. fig. 2 fr. (8018)
- NEGRI (G. DE). — Perchè sia a preferirsi il metodo di Persoz nell' analisi dei nitradi di potassio e di sodio commerciali. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 12 p. (Extr. des *Atti della soc. ligustica di scienze naturali.*) (6971)
- RICHI (A.). — Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche, costituite da masse luminose in moto. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 33 p. av. fig. et 3 pl. (Extr. des *Mem. della r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (9382)
- RIZZI (C.). — Cenni sul telemotografo per corrispondenza elettrica fra stazioni, treni ed altri treni, in esame alla direzione generale delle ferrovie, rete adriatica. Soresina, tip. Rossi. In-8°, 15 p. (5998)
- RIZZO (G.-B.). — Variazioni prodotte dal calore in alcuni spettri d'assorbimento: nota. Turin, C. Clausen. In-8°, 9 p. av. planche. (Extr. des *Atti della r. accademia delle scienze di Torino.*) (7465)
- ROSSI (G.). — Sopra la ricerca chimico-tossicologica del bromo e sul vantaggio del processo Gutzeit-Flückiger sul processo Selmi nella ricerca dell' arsenico. Padoue, tip. Prosperini. In-8°, 24 p. (9816)
- ROVIDA (A.). — Variazioni della forza elettromotrice di elementi Daniell colla temperatura. Milan, tip. G. Agnelli. In-8°, 19 p. (5944)
- SALVATORI (S.). — Sopra alcuni derivati dell' etere acetotienonosalico (tesi). Bologne, soc. tip. già Compositori. In-8°, 35 p. (6980)
- VILLARI (E.). — Intorno ad alcune esperienze di acustica: nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 7 p. av. planche. (Extr. des *Mem. della r. accad. d. scienze dell' istit. di Bologna.*) (8025)



- VITALI (D.). — Di alcune reazioni della cocaina ed ecgonina e della loro ricerca chimico-tossicologica. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 20 p. av. planche. (Extr. du même recueil.) (5501)
- Dello stato in cui si trova l'acido solforico nei vini gessati naturali, e della ricerca tossicologica di esso e degli acidi nitrico e cloridrico. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 19 p. (Extr. du même recueil.) (8026)
- VOLTA (A.). — La storia e la teoria voltiana nelle odierne pubblicazioni. Parte I. Milan, tip. Lamperti di G. Rozza. In-8°, 49 p. (Extr. des *Rendiconti della soc. ital. di elettricità pel progresso degli studi e delle applicazioni.*) (5947)

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

- Bibliografia geologica italiana per l'anno 1889, compilata e pubblicata a cura del r. ufficio geologico. Rome, tip. Nazionale. In-8°, 82 p. (Extr. du *Bollett. del r. comitato geologico.*) (7645)
- BONARELLI (G.). — Il territorio di Gubbio : notizie geologiche. Rome, tip. Economica. In-8°, 38 p. (7449)
- BOZZI (L.). — I climi nelle passate epoche geologiche : riassunto di un opuscolo di M. Neumayr « *Die klimatischen Verhältnisse der Vorzeit.* » Voghera, tip. Rusconi-Gavi. In-8°, 12 p. (8941)
- BRUNO (G.-B.). — Le frane di Lauria, con alcune osservazioni generali su quelle dei terreni eocenici del Lagonegrese. Turin, Camilla e Bertolero. In-8°, 40 p. av. fig. (Extr. de *L'ingegneria civile e le arti industriali.*) (8462)
- CANTAMESSA (F.). — Il mastodonte di Cinaglio d'Asti ed il *Mastodon (Tetralophodon arvernensis)* : osteografia ed osservazioni. Turin, C. Clausen. In-4°, 43 p., 2 pl. (Extr. des *Mem. della r. accad. d. scienze di Torino.*) (5492)
- COLOMBA (L.). — Sull'epidoto di Oulx e sui minerali che lo accompagnano : nota. Turin, C. Clausen. In-8°, 18 p. (Extr. des *Atti della r. accad. d. scienze di Torino.*) (7454)
- EMERY (C.). — Le formiche dell'ambra siciliana nel museo mineralogico dell'università di Bologna. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 26 p., 3 pl. (Extr. des *Mem. della r. accad. d. scienze dell'istituto di Bologna.*) (8012)
- FORNASINI (C.). — Contributo alla conoscenza della microfauna terziaria italiana ; di alcune forme plioceniche della *Frondicula*

- ria complanata.* Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 9 p. av. planche. (Extr. du même recueil.) (6416)
- MARANO (A.). — L'Etna e le sue eruzioni : discorso letto nel gabinetto di scienze e lettere di Giarre in marzo 1891. Riposto, tip. G. Denaro. In-16, 42 p. (6969)
- MARIANI (E.). — Appunti sulla creta e sul terziario antico della Brianza. Udine, tip. Cooperativa. In-8°, 8 p. (Extr. des *Annali del r. istituto tecnico di Udine.*) (10274)
- MELI (R.). — Sul granito dell'isola del Giglio : comunicazione fatta alla società geologica italiana nell'adunanza generale, tenutasi a Napoli. Rome, tip. dei Lincei. In-8°, 6 p. (9375)
- Sulle marne plioceniche rinvenute alla sinistra del Tevere nell'interno di Roma : osservazioni. Rome, tip. dei Lincei. In-8°, 7 p. (9376)
- MESCHINELLI (L.). — Di un probabile agaricino miocenico. Padoue, tip. Prosperini. In-8°, 5 p. av. planche. (Extr. des *Atti della soc. veneto-trentina di scienze naturali.*) (8945)
- MORELLI (N.). — Resti organici rinvenuti nella caverna delle Arene Candide presso Finalmarina. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 128 p. av. fig. et planche. (6419)
- MYLIUS (C.). — Intorno ad alcune forme inedite di molluschi miocenici dei colli torinesi rinvenute a S. Margherita. Turin, C. Clausen. In-8°, 12 p. av. planche. (Extr. des *Atti della r. accad. delle scienze di Torino.*) (5939)
- NEGRI (G.-B.). — Studio micrografico di alcuni basalti dei colli euganei : nota. Padoue, tip. Prosperini. In-8°, 12 p. (Extr. des *Atti della soc. veneto-trentina di scienze naturali.*) (9378)
- PARONA (C.-F.). — Fossili del lias medio nel conglomerato terziario di Lauriano (colli di Torino) : nota. Turin, C. Clausen. In-8°, 11 p. (Extr. des *Atti della r. accad. d. scienze di Torino.*) (5942)
- POLLINI (C.). — Sciami di pesci fossili ricoprente una lastra di calcare marnoso. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 8 p. (6422)
- SACCO (F.). — Sopra un cranio di *Tursiops Cortesii* (Desm.) var. *Astensis* Sacc. : nota. Turin, C. Clausen. In-8°, 12 p. av. pl. (Extr. des *Atti della r. acad. d. scienze di Torino.*) (8174)
- STEFANI (C. DE). — Gli antichi ghiacciai delle Alpi Apuane. Triuni, Club alpino italiano. In-8°, 30 p. av. planche. (Extr. du *Bullettino del club alpino italiano.*) (7469)
- TARAMELLI (T.). — Antonio Stoppani e la geologia della Lombardia : conferenza tenuta al circolo Manzoni. Pavia, tip. fr. Fusi. In-8°, 27 p. (5499)

- TERRIGI (G.). — I depositi lacustri e marini riscontrati nella tri-  
vellazione presso la via Appia antica. Florence, tip. G. Barbèra.  
In-4°, 131 p. (Extr. des *Mem. del r. comitato geologico d' Ita-  
lia.*) (5945)
- TRABUCCO (G.). — Sulla vera posizione del calcare di Acqui (Alto  
Monferrato) : studio geo-paleontologico. Florence, tip. Cenni-  
niana. In-8°, 28 p. av. planche. (8024)
- TRAVERSO (S.). — Calcare fossilifero nel Gerrei (Sardegna) : note.  
Turin, F. Casanova. In-8°, 21 p., 4 pl. (8476)
- TUCCIMEI (G.). — Alcuni mammiferi fossili delle provincie Umbra  
e Romana. Rome. In-4°, 68 p., 7 pl. 10 fr.

4° Mécanique. — *Exploitation des mines.*

- BOTTIGLIA (A.). — La meccanica industriale all' esposizione di  
Parigi nel 1889 : relazione. Turin, tip. G. Candeletti. In-8°,  
49 p. (5530)
- EGIDI (G.). — Intorno alla relazione fra le oscillazioni dei pen-  
doli e l' intensità del vento : lettera. Rome, tip. delle Scienze  
matematiche e fisiche. In-4°, 7 p. (Extr. des *Atti dell' acad.  
pontif. de' Nuovi Lincei.*) (8465)
- FALCIONI (G.). — Manuale del fuochista e macchinista : sunti di  
lezioni. Udine, tip. Friulana. In-16, vj-284 p. av. fig. 2 fr.  
(9016)
- FOSSA-MANCINI (C.). — Studio di una pompa rotativa. Turin, tip.  
Camilla e Bertolero. In-8°, 24 p. av. fig. (Extr. de *L' Ingegneria  
civile e le arti industriali.*) (5995)
- GARUFFA (E.). — Meccanica industriale : macchine motrici ed  
operatrici a fluido. Parte II (ultima). Milan, U. Hoepli. In-8°,  
p. 417-890, (4), xxvij. 12 fr. (8551)
- GRAZIANI (A.). — Studi sulla teoria economica delle macchine.  
Turin, fr. Bocca. In-8°, 115 p. 3 fr. (7907)
- MANASSE (S.). — Proposta di studio di un propulsatore a movi-  
mento rettilineo. Livourne, tip. G. Meucci. In-8°, 31 p. av.  
planche. (5537)
- MAZZOLA (F.). — Il dinamometro di Trouvé. Turin, tip. Camilla e  
Bertolero. In-8°, 10 p. av. fig. (Extr. de *L' Ingegneria civile e  
le arti industriali.*) (5996)
- Il regolatore-freno del meccanico G. Bertino : studio. Turin,  
tip. Camilla e Bertolero. In-8°, 14 p. av. fig. (Extr. du même  
recueil.) (8553)

- NANNEI (E.). — Sull' elasticità delle curve di domanda. Bari, tip.  
del *Corriere delle Puglie.* In-8°, 11 p. (6970)
- SASSO (M.). — Sui momenti d'inerzia di un sistema di tre punti :  
memoria. Avellino, tip. E. Pergola. In-8°, 26 p. (7467)
- TESSITORE (S.). — Trattato teorico-pratico d' idraulica applicata.  
Naples, tip. E. Pergola. In-8°, 2 vol., 272-308 p. av. 8 pl. 15 fr.  
(8985)

5° Constructions. — *Chemins de fer.*

- GALLIZIA (P.). — Resistenza dei materiali e stabilità delle cosfru-  
zioni : manuale per ingegneri, costruttori, capimastri, ecc.  
Milan, U. Hoepli. In-16°, xij-336 p. av. fig. et 2 pl. (8082)
- GREGOTTI (E.). — Resistenza dei graniti e delle bevole alla fles-  
sione : studio. Turin, tip. Camilla e Bertolero. In-8°, 51 p.,  
2 pl. (Extr. de *L' Ingegneria civile e le arti industriali.*) (5536)
- MINASSI (N.). — Indennità per ritardo nei trasporti ferroviari :  
considerazioni e note teorico-pratiche più specialmente relative  
alla erronea applicazione dell' articolo 403 del codice di com-  
mercio. Florence, tip. Cooperativa. In-8°, 60 p. 0<sup>e</sup>, 70, (5861)

6° Objets divers.

- BARNI (E.). — Il montatore elettricista : norme pratiche per im-  
pianti di luce elettrica, galvanoplastica e trasporto di forza.  
Seconda edizione riveduta e notevolmente accresciuta. Milan,  
*L' Elettricità* edit. In-16, 289 p. av. fig. 2 fr. (10767)
- CECCATELLI (A.). — La cassetta automatica misuratrice delle acque  
potabili. Pise, tip. Pieraccini. In-8°, 9 p. av. planche. (5532)
- MARSELLI (C.). — La fototopografia applicata alla costruzione delle  
carte alpine. Turin, tip. G. Candeletti. In-8°, 19 p. av. fig. (Extr.  
du *Bollett. del club alpino italiano.*) (8469)
- SCHIO (A. DA). — Se e come si viaggerà per aria : conferenza all'  
accademia olimpica di Vicenza, tenuta nella tornata del 15 feb-  
braio 1889. Vicenza, tip. G. Burato. In-8°, 16 p. (Extr. des *Atti  
dell' acad. olimpica di Vicenza.*) (6981)
- TOGNETTI (V.). — La cassetta idrometrica applicata in Pisa. Pise,  
tip. T. Nistri e C. In-8°, 30 p. av. planche. (5539)

433  
L41



# ANNALES DES MINES

---

---

ÉTAT ACTUEL

DE LA

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINÉRAIS

DANS

LA SAXE, LE HARTZ ET LA PRUSSE RHÉNANE

Par M. MAURICE BELLOM, Ingénieur au corps des mines.

---

L'étude de la préparation mécanique des minerais dans la Saxe, le Hartz et la Prusse rhénane n'est pas, comme on pourrait le supposer au premier abord, un ensemble hétérogène, formé de trois parties distinctes, uniquement rapprochées par la communauté du sujet. Elle constitue au contraire un tout dont les trois éléments se complètent mutuellement. La Saxe, en effet, ne possède que des installations relativement rudimentaires ; mais les méthodes qu'on y pratique sont étudiées avec un soin minutieux jusque dans les derniers détails, et aucune innovation n'y est appliquée sans avoir été préalablement l'objet d'expériences précises et répétées dont les résultats ont permis de suppléer jusqu'ici, par la perfection



du traitement, à l'insuffisance des appareils. Le Hartz, sans fournir des types de traitement aussi raisonnés, est surtout caractérisé par les tentatives qui s'y poursuivent avec persévérance, et non sans succès, dans le but d'arriver à compenser par un enrichissement plus parfait la pauvreté incessamment croissante des schlamms obtenus au cours de la préparation mécanique. Enfin la Prusse rhénane, où la série des opérations est loin d'être aussi soignée que dans les deux régions précédentes, renferme des ateliers d'une ampleur et même d'un luxe, dont ni la Saxe, ni même le Hartz, ne sauraient donner l'idée.

Il y a donc dans ce sujet, dont les éléments se complètent l'un par l'autre, une réelle unité d'intérêt, qui m'a paru justifier l'étude que j'en ai cru devoir entreprendre au cours d'un voyage d'instruction exécuté en 1889.

Le présent mémoire comprendra deux parties :

La première sera consacrée à l'étude générale des opérations successives du traitement, accompagnée de la description des appareils les plus récents et de la discussion de leur emploi dans les différents cas de la pratique. La disposition générale des ateliers y fera également l'objet d'un examen spécial.

La deuxième partie sera consacrée à l'étude monographique des établissements qui m'ont paru mériter une mention particulière, soit par leur formule de traitement, soit par leurs installations.

Cet ordre est en réalité l'inverse de celui qui s'impose lors de l'étude, sur les lieux, des ateliers de préparation mécanique ; mais c'est celui qui se prête le mieux à une description d'ensemble de ces procédés si délicats, pour lesquels l'exposé logique des opérations présente un intérêt bien supérieur à l'ordre chronologique dans lequel les renseignements mis en œuvre ont pu être recueillis.

## PREMIÈRE PARTIE.

### I. OPÉRATIONS SUCCESSIVES DE LA PRÉPARATION MÉCANIQUE.

#### 1° Travail à la main.

(a) *Méthode de traitement.* — L'opération du travail à la main, qui succède immédiatement à la séparation, sur une grille, du tout-venant en gros et en menu, peut paraître trop simple, au premier abord, pour mériter autre chose qu'une mention sommaire. Une pareille appréciation serait singulièrement erronée. Et, en effet, dans un pays comme l'Allemagne, où les habitudes de discipline permettent d'obtenir de l'ouvrier une attention et un soin dont on se fait difficilement l'idée sans en avoir jugé par soi-même, le travail à la main produit des résultats d'une perfection des plus remarquables.

Aussi les ingénieurs Saxons, qui avaient un instant essayé d'y substituer le cassage exécuté à l'aide d'un concasseur mécanique, n'ont-ils pas tardé à y revenir, après avoir, suivant les traditions de précision qui sont le caractère essentiel de leur méthode de traitement, contrôlé par des constatations numériques les résultats pratiques de l'expérience à laquelle ils venaient de procéder.

Ces constatations numériques sont résumées dans le tableau suivant :

PRODUITS	EMPLOI du concasseur à mâchoires, suivi de klaubage	PRATIQUE du cassage à la main	DIFFÉRENCE  $b-a$ (p. 100)
	$a$ (p. 100)	$b$ (p. 100)	
Galène. . . . .	0,0024	0,330	+ 0,3276
Minéral de cylindres. . . . .	29,856	22,300	- 7,556
Menu de scheidage. . . . .	29,976	9,240	- 18,736
Minéral de bocards. . . . .	25,268	19,580	- 5,688
Cuivre pyriteux. . . . .	1,488	4,560	+ 3,072
Pyrite de fer. . . . .	3,869	0,700	- 3,169
Mispickel. . . . .	0,496	0,490	- 0,006
Blende. . . . .	0,0446	0,100	+ 0,0554
Stérile. . . . .	11,019	42,680	+ 31,661

On voit que le klaubage qui suivait le concassage mécanique, ne pouvait séparer que 11,019 p. 100 de stérile de la masse totale venant de la mine, tandis que la pratique du cassage à la main permettait d'en enlever jusqu'à 42,680 p. 100. Le résultat immédiat de cette différence était de faire entrer un excès de 31,661 p. 100 de produits stériles dans la série des opérations de la préparation mécanique. D'autre part, la séparation de la galène était devenue presque illusoire après le passage au concasseur, tandis que celle de la blende, dont la présence complique singulièrement le traitement, se trouvait réduite dans un rapport voisin de 1/2. Enfin, au lieu de n'avoir à livrer à la préparation mécanique que 51,12 p. 100 de la masse totale extraite de la mine, on devait, dans le cas de l'emploi du concasseur à mâchoires, y envoyer 83,08 p. 100 de cette même masse, soit un excédent de 31,86 p. 100. A ces différences dans les proportions des produits, correspondirent naturellement des différences dans les frais; les dépenses dont le total par mètre cube de minéral de scheidage ne dépassait pas 8',51 dans le cas du travail à la main, s'élevèrent à 14',10 quand on recourut au cassage mécanique, ce qui constituait une augmentation de 39',73 p. 100. En même temps la qualité des produits finis était loin de s'améliorer, et leur valeur avait diminué à ce point, que le produit brut

du mètre cube de minéral de scheidage descendait de 86',40 à 72',18, réduisant le bénéfice net par mètre cube de 75',39 à 57',06. Ces constatations ont naturellement conduit à abandonner l'emploi du concassage mécanique.

Le travail à la main qui s'exécute à la surface, est d'ailleurs précédé d'un triage grossier opéré au fond de la mine, qui présente des avantages réels, malgré les conditions rudimentaires dans lesquelles il s'effectue. Les avantages qu'il présente ont été constatés dans l'atelier Saxon d'Himmelsfürst où l'on a reconnu que la proportion de minerais riches séparés par le travail à la main exécuté au jour s'était sensiblement accrue depuis quelques années, résultat qui ne pouvait être attribué qu'au plus grand soin apporté au triage par les ouvriers du fond, puisque la composition du minéral abattu n'avait pas varié. Sans s'être livré à des expériences aussi précises que les Ingénieurs Saxons, les directeurs des ateliers rhénans ont été guidés par les mêmes principes et notamment dans la mine de Friedrichsseggen, dont la laverie sera décrite en détail dans la deuxième partie de ce mémoire, l'exploitation souterraine a été organisée de manière à permettre le triage au fond sur une grande échelle. C'est ainsi que chaque chantier est desservi par deux cheminées qui servent à transporter, jusqu'à la voie de de roulage, les produits abattus; une grille à trous carrés de 50 millimètres de côté est placée à la partie supérieure de l'une de ces cheminées, et le refus de la grille est jeté dans l'autre ainsi que les gros morceaux isolés. De plus, on sépare les fragments qui ne contiennent que l'un des quatre éléments (galène, blende, fer spathique et minéral de cuivre) constituant le remplissage du filon et on obtient ainsi un premier classement dont l'appât de primes allouées aux ouvriers du fond assure la bonne exécution. Ces primes atteignent 0',65 par berline de fer



spathique, et 1', 25 par berline de blende, de galène ou de minerai de cuivre.

Le travail à la main exécuté au jour comprend trois opérations essentielles dont le développement varie d'un atelier à l'autre ; ces opérations sont : 1° le cassage à la main ; 2° le scheidage ; 3° le klaubage.

1° Le cassage à la main s'exécute en brisant à l'aide de forts marteaux les gros morceaux préalablement séparés, au moyen d'une grille, de la masse du tout-venant. Il est vrai qu'on peut se dispenser de l'appliquer aux minerais moins riches et relativement simples. Mais, dans le Hartz même, certains minerais exigent un cassage à la main parfois très soigné. C'est ainsi que la présence de la blende à Lauthental a conduit à l'adoption d'un cassage à la main, qui est assez minutieux pour pouvoir être considéré comme un scheidage préliminaire. A la vérité, l'étude de la formule du traitement de certains minerais complexes, tels que ceux de Churprinz (Saxe), semble fournir l'exemple d'un traitement où le cassage à la main n'intervient pas. Mais la suppression de cette opération est plus apparente que réelle. Elle n'est effectivement que la conséquence de l'extension considérable qu'a prise ici le triage opéré au fond. Ailleurs, comme à Himmelsfürst (Saxe), le cassage à la main se trouve englobé dans le scheidage dont le domaine est considérablement étendu.

2° Le scheidage n'est autre chose qu'un cassage très soigné. Il permet de soustraire à la préparation mécanique proprement dite une proportion de la masse du minerai qui s'élève à 25 p. 100 dans l'atelier de Gesegnete Bergmanns Hoffnung (Saxe). Le succès de l'opération est d'ailleurs intimement lié au mode de détermination et au nombre des classes qu'il doit fournir. Le meilleur mode de détermination de ces classes est celui qui repose sur des analyses chimiques exactes, combinées avec des ca-

ractères minéralogiques assez simples pour que le scheideur reconnaisse aisément les morceaux qu'il doit isoler. A ce double point de vue, l'atelier d'Himmelfahrt (Saxe) peut être cité comme un modèle. Le nombre des classes ne doit pas être exagéré : on doit plutôt tendre à le réduire. C'est ainsi que, dans la formule du traitement d'Ems où l'on distinguait, il y a une vingtaine d'années, jusqu'à vingt-quatre sortes de produits, on se contente aujourd'hui de seize catégories, nombre au-dessous duquel la complexité du minerai d'Ems n'a pas permis de descendre. Une pratique à recommander dans la conduite du scheidage est de le scinder en plusieurs opérations analogues, mais distinctes, dont les premières, s'appliquant à des minerais moins purs, sont exécutées par des ouvriers moins expérimentés, tandis que les dernières, auxquelles sont soumis les minerais déjà triés, sont confiés aux scheideurs les plus attentifs. Ce système a été appliqué à Friedrichsseggen.

Un premier scheidage y donne : 1° des produits finis ; 2° des intermédiaires à soumettre à un second scheidage, 3° des intermédiaires à concasser.

Les intermédiaires concassés sont soumis à leur tour à un nouveau scheidage qui donne : 1° des produits finis, 2° des intermédiaires à soumettre à un nouveau scheidage.

Les produits intermédiaires de la deuxième classe, obtenus dans les deux opérations qui précèdent, subissent un scheidage définitif entre les mains d'ouvriers très habiles et dans des locaux spéciaux.

3° Le klaubage, qui est un triage à la main effectué sans cassage des morceaux, ne s'applique en Saxe qu'aux produits venant du débouillage. Étendu dans le Hartz aux produits déjà traités sur les cribles à travail intermittent, il a fini par s'appliquer dans cette région, ainsi que sur les bords du Rhin, aux matières fournies par les



cribles continus et même par les cribles filtrants, ces derniers servant, comme on le verra plus loin, au traitement de minerais dont la grosseur atteint 14 millimètres à Steinenbrück. Il y a là une introduction progressive du travail à la main dans l'opération du criblage mécanique, introduction d'autant plus intéressante à signaler que la substitution des cribles continus et des cribles filtrants aux anciens cribles à travail intermittent semblait impliquer une tendance de plus en plus exclusive à l'emploi des machines.

Ces trois éléments du travail à la main : cassage, scheidage et klaubage, peuvent être associés de différentes manières et combinés entre eux avec une souplesse qui est un de leurs principaux avantages. Les repassages de l'un à l'autre assurent le succès du traitement des minerais complexes, lorsque, comme à Himmelfahrt, la série de ces traitements est judicieusement combinée.

(b) *Appareils*. — Il n'y a que peu de chose à dire des dispositions qui servent à l'exécution de cette première phase du traitement.

La séparation du gros et du menu, à l'entrée du minerai dans l'atelier, s'effectue sur une grille qui est ordinairement formée de barreaux parallèles et inclinés, mais qui parfois au contraire, par exemple à Ems, est horizontale et percée de trous de forme hexagonale. Cette disposition donne un classement plus précis ; mais elle exige plus de main-d'œuvre ; parce que, pour assurer le passage du menu à travers les trous, il faut remuer, à l'aide de râteaux, le tout-venant jeté sur la grille.

Le cassage à la main s'effectue auprès de la grille sous de simples hangars.

Le scheidage est exécuté dans des ateliers présentant, dans leur installation, une symétrie qui correspond à celle du traitement qui y est appliqué. L'atelier du scheidage

d'Ems, par exemple, se compose de fosses rectangulaires parallèles (voir Pl. I, *fig. 1 a* et *1 b*) creusées dans le sol. Les wagonnets qui amènent le minerai arrivent sur les rails *rr* et sont culbutés dans les fosses *FF'*, où se trouvent les scheideurs assis sur les bancs *a* ; entre deux fosses consécutives *FF'*, s'élèvent de petits gradins qui reçoivent les boîtes *b* contenant le minerai scheidé. Ces boîtes, une fois pleines, sont vidées dans des brouettes qui transportent les minerais dans les stalles *S* auxquelles les rails *pp* amènent les wagonnets destinés à transporter à la préparation mécanique les produits déposés dans ces stalles.

Le klaubage doit s'effectuer dans des conditions différentes suivant l'opération à laquelle il succède. S'il s'agit du klaubage qui a lieu au début du traitement, et qui porte en conséquence sur des quantités considérables de matières, il faudra recourir à l'emploi, soit de tables tournantes, soit même d'ateliers spéciaux analogues à celui de Clausthal que je décrirai ci-après. S'il s'agit au contraire du klaubage des minerais criblés à la cuve, il suffit de petits pupitres inclinés en bois où l'on porte à la pelle les faibles quantités sur lesquelles on opère ; cette dernière solution est représentée à Laurenburg.

L'atelier de Clausthal (Pl. I, *fig. 2*), qui, en raison du caractère accidenté du sol, a pu être disposé en contre-bas de ceux qui lui envoient leurs produits, porte, en *rr* sur des poutres de sa charpente, le prolongement des rails qui amènent les wagonnets chargés de minerai à klauber ; ces wagonnets peuvent ainsi être culbutés sur le massif de maçonnerie *M* présentant, à sa partie supérieure, une arête horizontale qui divise les matières sur deux plans inclinés. Les rails *r'r'* servent au départ des wagonnets vides. Ces plans constituent le fond d'une sorte de trémie limitée d'autre part par les parois verticales *mnpq* dont la partie inférieure est séparée des tables de klaubage

TT' par une fente qui permet la descente du minerai.

L'arrivée des produits sur les tables TT', qui se produit d'elle-même, est éventuellement activée par des klaubeurs armés de râteaux que ces ouvriers emploient aussi à pousser immédiatement le stérile dans les conduits *aa'* qui l'envoient aux trémies *bb'*. Un registre vertical permet de vider ces trémies dans des wagonnets circulant sur les rails R R' dont le niveau est celui des ateliers où l'on traite les produits klaubés. Les banquettes *dd'* reçoivent les boîtes de minerais klaubés en attendant que celles-ci soient vidées dans les trémies *bb'*. L'eau nécessaire au lavage des morceaux à klauber est amenée par les conduits en fonte *cc'*; elle s'écoule des tables de klaubage par les rigoles V V'.

Un perfectionnement récemment appliqué au travail du klaubage à Friedrichsseggen consiste dans la substitution de l'eau chaude à l'eau froide pour le lavage destiné à mettre à nu les surfaces dans les morceaux à klauber. L'emploi de cette eau chaude, qui est fournie par la condensation de la vapeur des machines motrices, assure aux klaubeurs, notamment dans la saison froide, un bien-être qu'il est facile de leur procurer toutes les fois que la force motrice n'est pas une force hydraulique:

## 2° Broyage mécanique.

(a) *Méthode de traitement.* — Le broyage mécanique s'opère, soit aux concasseurs, soit aux sectorateurs, soit aux meules, soit aux bocards, soit aux cylindres.

1° *Concasseurs.* On passe aux concasseurs, soit des produits qui proviennent du cassage à la main comme à Steinenbrück et à Weiss, soit des produits destinés au klaubage comme à Churprinz. Dans le premier cas, le concasseur prépare le passage du minerai aux cylindres

broyeurs; dans le second, il prépare le triage à la main. Dans certains ateliers, le cassage n'existe pas, tantôt, comme à Ems et Himmelfahrt, à cause de l'excessive complexité du minerai, tantôt, comme à Gesegnete Bergmanns Hoffnung, en raison de la concentration naturelle des parties riches qui permet de séparer, au cassage à la main, le minerai en deux classes; l'une très riche qui est triée à la main et l'autre très pauvre qui ne peut être utilement désagrégée que par les bocards. Les ateliers du Hartz donnent la gradation complète de l'emploi des concasseurs, depuis l'atelier de Clausthal, où le concassage mécanique supplante le cassage à la main, jusqu'à l'atelier de Schulenberg où les concasseurs manquent, en passant par l'atelier de Lautenthal qui, servant d'intermédiaire entre ces deux extrêmes, offre l'exemple d'une association rationnelle de l'emploi des concasseurs et du travail manuel. Enfin, sur les bords du Rhin, le concasseur n'est en usage que pour les minerais relativement simples qui n'exigent qu'un scheidage peu soigné.

2° *Sectorateur.* Le sectorateur qui n'est encore représenté que par l'appareil récent de M. Schranz, prend place entre les concasseurs à mâchoires et les cylindres. Il se rapproche des premiers par sa forme et des seconds par la finesse des grains qu'il fournit et par la facilité avec laquelle on peut le régler. Cet appareil qui ne fonctionne qu'à Laurenburg, sera étudié plus loin.

3° *Meules.* Je ne parlerai pas des vieilles meules saxonnes et ne m'attacherai qu'à la meule Schranz, également en usage à Laurenburg où elle a supplanté les bocards. Elle convient surtout aux produits d'un broyeur de 8 millimètres et au-dessous et est employée au broyage de produits intermédiaires. On en trouvera ci-après la description détaillée.

4° *Bocards.* Les bocards, qui sont encore très employés



en Saxe, et parfois à l'exclusion de tout autre appareil de broyage (à Gesegnete Bergmanns Hoffnung par exemple), tendent au contraire à disparaître sur les bords du Rhin. Si la constitution spéciale du grès à Knottes, que l'on lave à Mechernich, rend l'emploi de ces appareils indispensable dans cet atelier, les bocards de la préparation mécanique d'Ems ont depuis longtemps cessé de travailler; et, même dans l'atelier récemment construit de Weiss, on ne trouve pas une seule flèche. Ailleurs ils ont cédé la place, soit aux meules comme à Laurenburg, soit aux cylindres comme à Steinenbrück. Je n'insisterai pas sur les qualités bien connues du bocard comme broyeur, ni sur ses inconvénients au point de vue de la quantité d'eau qu'il consomme et du bruit assourdissant qu'il produit. Il suffira de dire que la suppression complète des bocards ne semble pas plus à recommander que leur usage exclusif, et l'emploi simultané des bocards et des cylindres, dont le Hartz offre une heureuse association, paraît être la solution la plus conforme à la diversité de nature des minerais qu'une terminologie déjà ancienne, caractérisant le rôle des deux principaux genres de broyeurs, a distingué en Pocherz et Walzerz, minerai de bocards et minerai de cylindres.

5° Cylindres. Les cylindres, qui (à l'exception de Laurenburg où le sectorateur Schranz les a en partie remplacés), sont en faveur sur les bords du Rhin, ne sont pas encore aussi appréciés ni en Saxe, ni dans le Hartz. Les ingénieurs de la Prusse rhénane vantent la précision et la facilité avec laquelle on obtient aux cylindres le degré de broyage voulu, sans produire autant de farine qu'avec les bocards, et tout en reconnaissant que ces derniers sont nécessaires à la pulvérisation des minerais où les parties riches sont disséminées dans la masse, ils font valoir, à l'appui de leurs préférences, l'inopportunité de l'emploi des bocards pour les produits plus riches

dans lesquels le degré de concentration du minerai proprement dit est plus élevé.

(b) *Appareils.* — Après avoir défini le rôle de chaque genre de broyeur, il convient de décrire les deux seuls appareils qui aient un caractère de nouveauté, savoir: le sectorateur Schranz et la meule Schranz.

1° *Sectorateur Schranz.* Le sectorateur Schranz consiste en un concasseur dont la mâchoire mobile est animée d'un mouvement simultané de roulement et de glissement par rapport à la mâchoire fixe.

La Pl. I, *fig. 3*, indique assez clairement la constitution de l'appareil pour qu'il suffise d'ajouter les détails de construction suivants:

Les deux mâchoires sont en acier fondu; leur écartement est réglable à volonté au moyen d'une vis verticale V qui agit sur un coin c. La courte bielle b, en fonte, a été calculée avec une section telle que sa rupture doit se produire avant celle de toutes les autres pièces du sectorateur, si une matière trop dure vient à s'engager entre les mâchoires.

Le tableau suivant donne les éléments des modèles du sectorateur:

DÉSIGNATION DES MODÈLES	I	II	III	IV	V		
Surface utile des mâchoires . . . . (millim.).	200×150	300×200	400×250	500×300	600×350		
Nombre de tours de la poulie motrice par minute . . . . .	250	250	250	250	250		
Diamètre de la poulie motrice . . . (millim.).	400	500	650	750	1.000		
Largeur . . . . .	100	125	150	160	180		
Espace occupé par le sectorateur.	} Longueur . . . . .	1.050	1.450	1.650	1.800	1.950	
		} Largeur . . . . .	900	1.150	1.400	1.700	2.000
			} Hauteur jusqu'à la partie supérieure du volant . . . . .	900	1.150	1.350	1.550
Poids de la machine . . . . . (kilogr.).	800	2.500		4.500	6.500	9.000	
— d'une paire de mâchoires . . . . .	100	200	300	400	600		
Force motrice en chevaux . . . . .	1-2	3-4	5-6	8-10	10-12		
Quantité de minerai broyée par heure . . . . . (kilogr.).	600-1.000	1.500-2.000	2.000-3.000	3.000-4.000	4.000-5.000		

L'avantage de cet appareil consiste dans la finesse des grains qu'il peut fournir (8 millimètres) et qui n'ont pas besoin d'être envoyés aux cylindres dégrossisseurs auxquels il faut généralement faire passer les produits sortant du concasseur américain. Le sectorateur remplit en même temps l'office de ce dernier appareil, grâce à l'angle aigu que forment les mâchoires. Celles-ci peuvent en conséquence saisir et broyer des morceaux que leur grosseur empêcherait de s'engager entre les surfaces des cylindres dont on ne saurait d'ailleurs réduire l'angle au delà d'une certaine limite, sans donner au diamètre de ces cylindres une grandeur exagérée. C'est ainsi qu'à Laurenburg, on a pu se contenter d'un sectorateur broyant à 8 millimètres suivi d'une seule paire de cylindres, tandis qu'à Steinenbrück, il a fallu, dans des conditions analogues, faire accompagner de trois paires de cylindres un concasseur ordinaire qui ne broie qu'à 30 millimètres.

2° Meule Schranz. La meule Schranz (Pl. I, *fig.* 4 et 5) se compose de trois troncs de cône  $xyz$  et d'un plateau annulaire  $a$ . Ce plateau est fixé par des boulons à un disque D calé sur une douille A, dans l'intérieur de laquelle passe un axe fixe I. La douille A porte elle-même une roue conique R engrenant avec la roue R' calée sur l'arbre B. La rotation de D détermine, par friction, celle des troncs de cône qui peuvent tourner chacun autour d'un axe X fixe dans l'espace. En déterminant convenablement la conicité de ces troncs de cône, dont le sommet est sur l'axe vertical I, on obtient un écrasement des matières par roulement simple, ce qui diminue la production de farine.

Le plateau A et le disque D sont en fonte. Ce dernier, qui a 275 millimètres de large, 50 d'épaisseur et 1.000 de diamètre, présente, du côté de l'extérieur, une inclinaison de 10 p. 100. Le rapport des diamètres des deux

roues de l'engrenage conique est de  $1/4$ . Le disque D fait 12 tours et  $1/2$  par minute. Les troncs de cône, dont les bases ont 475 et 750 millimètres de diamètre, se composent chacun d'un noyau auquel est fixée, par des boulons, une enveloppe tronconique en fonte de 55 millimètres d'épaisseur, et dont les génératrices ont 275 millimètres de longueur. Le remplacement de ces enveloppes est très aisé en raison de leur forme même et de leur mode de fixation. Les axes de ces troncs de cône sont fixés, d'un côté, par le boulon d'articulation H à la douille A' qui entoure la partie supérieure de l'axe I, et de l'autre, ils reposent à l'intérieur de montants en fonte K. La partie supérieure  $mn$  de chacun de ces montants se compose de deux moitiés réunies par des boulons, et dont la séparation permet l'enlèvement des troncs de cône lorsque le boulon H a été détaché de la douille A'. Celle-ci est d'ailleurs suspendue aux vis V dont le réglage, combiné avec celui des ressorts en caoutchouc P, permet d'éloigner ou de rapprocher du plateau les troncs de cône  $xyz$ , et, par suite, de modifier la grosseur des grains obtenus.

La distribution des matières à broyer est assurée au moyen de la trémie T qui est animée d'un mouvement alternatif assez rapide pour alimenter avec une parfaite régularité le plateau dont le mouvement est au contraire fort lent. Si la rotation de ce dernier a lieu dans le sens des flèches, les produits passent d'abord sous le tronc de cône  $x$ , puis sous le tronc de cône  $y$  et enfin sous le tronc de cône  $z$ . On règle l'appareil de telle sorte que la distance de chaque tronc de cône au plateau soit minima pour le tronc de cône  $z$  et maxima pour le tronc de cône  $x$ , et qu'elle ait une valeur intermédiaire entre ces deux limites pour le tronc de cône  $y$ . Les fragments les plus tendres sont donc les moins fortement comprimés. Un jet d'eau placé derrière chaque tronc de cône en détache les particules qui y resteraient adhérentes; un



dernier jet d'eau fait tomber le minerai broyé, de la surface du plateau, dans le conduit M qui entoure ce plateau et amène les produits dans le canal N débouchant dans le trommel S de 3 millimètres. Le refus de celui-ci est broyé de nouveau.

En tournant à raison de 12 tours et 1/2 par minute, cet appareil peut passer par heure 1.460 kilogrammes de produits d'une grosseur de 3 à 8 millimètres provenant du criblage à la cuve. Il consomme par minute 97 litres d'eau pour la meule et 20 litres pour le trommel. La meule exige une force motrice de 3 chevaux à 3<sup>ch</sup>,5.

Une série d'expériences a été faite à Laurenburg sur cet appareil qui y est employé avec succès.

Dans la première série, on a voulu comparer le travail de la meule Schranz à celui d'un bocard de 15 flèches. Ce bocard, qui avait été remis à neuf avant l'expérience, était pourvu d'un tamis de 2<sup>mm</sup>,4. Chaque flèche pesait 160 kilogrammes et donnait par minute 60 coups d'une levée de 200 millimètres. On fit passer dans chacun de ces appareils des poids égaux (calculés déduction faite de l'eau contenue) de grains de 5 à 8 millimètres provenant du criblage à la cuve. Le minerai pulvérisé par chacun de ces deux broyeurs fut envoyé, avec l'eau nécessaire à l'entraînement des produits, dans un canal de 7 mètres de long sur 0<sup>m</sup>,24 de large, que des cloisons permettaient de diviser en compartiments. Le sable déposé fut pesé avec soin; on en retrancha l'eau contenue; enfin on fit passer, à travers des tôles perforées de trous de 0<sup>mm</sup>,2, 0<sup>mm</sup>,5, 0<sup>mm</sup>,9, 1<sup>mm</sup>,6, 2<sup>mm</sup>,4, 3<sup>mm</sup>,2, la portion qui avait été extraite de la masse pour rechercher la proportion d'eau contenue, et l'on prit exactement le poids de chacune des sortes fournies par le classement de volume. Dans ces conditions, la meule pulvérisa par heure 1.350 kilogrammes de matières, tandis que le bocard n'en put broyer que 855; la meule consomma 117 litres d'eau par

minute, soit 5<sup>lit</sup>,21 par kilogramme de minerai broyé; le bocard au contraire, consomma 450 litres d'eau par minute, soit 31<sup>lit</sup>,6 par kilogramme de matières pulvérisées.

Le tableau suivant donne les résultats de ces expériences.

GROSSEUR DES GRAINS	POIDS rapportés à 100 kilog. de minerai broyé		RÉSULTATS D'ANALYSE du minerai broyé						POIDS DE MÉTAL contenu dans le poids correspondant des diverses sortes					
	Bocard	Meule	Zn (p. 100)		Pb (p. 100)		Ag (gramm.)		Zn (kilogrammes)		Pb (kilogr.)		Ag (grammes)	
			Bocard	Meule	Bocard	Meule	Bocard	Meule	Bocard	Meule	Bocard	Meule	Bocard	Meule
	COMPOSITION du minerai avant broyage													
		31,86		32,91		4,40		4,20		52		50		
COMPOSITION des diverses sortes														
3 <sup>mm</sup> ,2 à 2 <sup>mm</sup> ,4 . . .	"	6,95	"	27,02	"	3,32	"	52	"	18,779	"	2,307	"	3,614
2 <sup>mm</sup> ,4 à 1 <sup>mm</sup> ,6 . . .	4,68	21,07	17,81	29,89	1,32	3,23	20	52	8,335	62,978	0,618	6,911	0,936	10,956
1 <sup>mm</sup> ,6 à 0 <sup>mm</sup> ,9 . . .	15,15	26,27	24,76	30,50	2,10	3,34	23	52	37,511	80,121	2,000	8,774	4,242	13,660
0 <sup>mm</sup> ,9 à 0 <sup>mm</sup> ,5 . . .	16,96	16,92	29,74	31,40	2,22	2,88	23	32	50,439	53,124	3,765	4,873	4,749	5,414
0 <sup>mm</sup> ,5 à 0 <sup>mm</sup> ,2 . . .	23,08	15,81	34,73	33,22	2,42	3,72	32	60	83,630	52,521	5,827	5,881	7,706	9,486
Total des sortes supérieures à 0 <sup>mm</sup> ,2.	60,87	87,02	"	"	"	"	"	"	170,915	267,531	12,210	38,746	17,633	43,130
Au dessous de 0 <sup>mm</sup> ,2.	16,72	7,21	35,63	31,86	7,10	9,02	94	120	59,573	22,971	11,871	6,503	15,717	8,652
Premier schlam. . .	5,87	2,23	32,76	28,99	7,32	6,40	96	94	19,230	6,465	4,297	1,427	5,635	2,096
Second . . .	3,88	1,71	32,16	28,84	9,10	7,10	118	110	12,478	4,932	3,531	1,214	4,578	1,881
Produits entraînés avec les eaux aux bassins de dépôt.	12,66	1,83	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Total des sortes inférieures à 0 <sup>mm</sup> ,2.	39,13	12,98	"	"	"	"	"	"	91,281	34,368	19,639	9,144	25,930	12,629
Total général. . .	100	100	Un poids de 1.000 — 126,6 = 873 <sup>kg</sup> ,4 de minerai broyé au bocard contient						271,196	"	31,909	"	43,563	"
			Un poids de 1.000 — 18,3 = 981 <sup>kg</sup> ,7 de minerai broyé à la meule contient						"	301,899	"	37,890	"	55,759

Ces chiffres montrent la supériorité de la meule Schranz sur les bocards, du moins pour le minerai de Laurenburg. Considérés à un point de vue absolu, les résultats

obtenus à l'aide de cette meule sont d'ailleurs très favorables, puisqu'elle fournit très peu de schlamms et qu'elle donne au contraire 43 p. 100 de grains compris entre 0<sup>mm</sup>,5 et 1<sup>mm</sup>,6, et 15 p. 100 de grains compris entre 0<sup>mm</sup>,5 et 0<sup>mm</sup>,2 dont le traitement est facile.

Dans une seconde série d'expériences, on a soumis au broyage à la meule des produits de 8 à 15 millimètres et de 15 à 20 millimètres de grosseur. Les résultats ont été encore très satisfaisants; il importe toutefois, en ce cas, d'entourer le plateau soit d'une tôle, soit d'un filet métallique, pour arrêter et retenir les produits qui s'étaient sur le bord de ce plateau. Cet inconvénient n'est pas à redouter avec les grains d'une grosseur comprise entre 3 et 8 millimètres. Aussi la complication résultant de l'emploi de cette tôle ou de ce filet a-t-elle conduit à reconnaître que c'est surtout aux produits d'une grosseur inférieure à 8 millimètres que convient la meule Schranz; et, si l'on s'astreint (comme on le fait dans la formule de traitement actuellement appliquée à Laurenburg) à ne lui envoyer que des matières de cette dimension, on peut en attendre d'excellents résultats.

### 3° Débourage et classement de volume.

Je ne cite que pour mémoire l'opération du débourage; les méthodes et appareils qui s'y rapportent ne présentent effectivement aucune particularité nouvelle. Ce sont, ou bien des rätter à secousses comme en Saxe, ou bien des trommels à tôle pleine avec cornières faisant saillie à l'intérieur pour diviser la masse, ou bien même, comme à Steinenbrück, un trommel à barreaux dirigés suivant les génératrices du tronc de cône dont l'appareil affecte la forme.

Quant au classement de volume, il s'effectue soit sur des rätter à secousses, soit dans des trommels ordi-

naires, soit, depuis peu de temps, dans l'appareil Schmitt-Manderbach.

(a) *Méthode de traitement.* — La succession des trous des tôles dont les diamètres étaient réglés autrefois d'après une progression géométrique, n'est plus aujourd'hui l'objet d'une détermination aussi minutieuse. C'est bien plutôt par des considérations pratiques que les ingénieurs allemands se laissent guider, et notamment par le désir de réduire le nombre des tôles que l'application de cette règle conduisait parfois à multiplier jusqu'à l'exagération. On trouve une manifestation très nette de cette tendance dans le traitement qui est pratiqué à l'atelier de Schulenberg (Hartz). Le minerai que l'on y traite est essentiellement formé de blende, galène, pyrite de cuivre; on sépare à la main la pyrite de cuivre associée à la blende, les densités de ces deux corps étant trop voisines pour permettre leur séparation par équivalence, et l'on se trouve ramené à la séparation de l'une des deux associations « galène et blende » ou « galène et pyrite de cuivre. » On devait donc, si l'on voulait appliquer la théorie, calculer les diamètres des trous des trommels de façon à pouvoir séparer les deux corps dont les densités étaient les plus voisines l'une de l'autre, c'est-à-dire la galène et la pyrite de cuivre. La raison de la progression géométrique correspondante était  $\frac{7.5-1}{4.2-1} = 2.03$ , ce qui donnait la série de diamètres suivante :

1 2,03 4,669 9,478

Or, il y a quelques années encore, on avait adopté à Schulenberg la série :

1 2 3 4 5 8 10 12



Récemment, lors de la reconstruction de l'installation, on a adopté la série suivante :

1 2 3 4 6 10 15

qui contient un trommel en moins et qui se rapproche moins de la série théorique (puisque le trommel de 5 millimètres qui correspondait approximativement à celui de 4.669 a été supprimé). On n'a d'ailleurs pas remarqué que la perfection du classement final ait eu à en souffrir.

(b) *Appareils.*

1° *Rätter à secousses.* — Ces appareils, qui n'existent plus que dans les anciennes préparations mécaniques, notamment en Saxe, sont aujourd'hui définitivement condamnés.

2° *Trommels.* — Les dimensions les plus avantageuses à adopter pour les trommels sont évidemment celles qui donnent la plus grande production et les pertes les moins considérables. L'augmentation de production peut, *a priori*, s'obtenir en accroissant la vitesse de rotation. Mais la force centrifuge applique les gros grains contre les trous et empêche le passage, à travers ceux-ci, des parties plus fines pour lesquelles la force centrifuge est moins considérable. L'augmentation de production ne peut donc s'obtenir pratiquement qu'en exagérant le diamètre du trommel ; toutefois on n'avait pas, jusqu'à ces derniers temps, dépassé 65 à 70 centimètres pour le diamètre de la grande base et c'est tout récemment qu'on vient d'essayer, à Laurenburg, un trommel dont le plus petit diamètre est de 1<sup>m</sup>,50. Les produits s'étaient alors sur une surface beaucoup plus considérable, en sorte que, pour une même quantité introduite, l'épaisseur est moindre et par suite le classement plus rapide, ce qui correspond à une augmentation de production. Cette rapidité de classement a permis de réduire à 650 millimètres

la longueur perforée du trommel, longueur qui, dans les trommels ordinaires, ne descend pas au-dessous de 1<sup>m</sup>,25. La même raison a permis de porter à 10 p. 100 la pente des génératrices qui, dans les trommels normaux, est de 5 p. 100. Cette augmentation de l'inclinaison jointe à la diminution de la longueur a pour effet de diminuer la durée du séjour du refus dans le trommel, et par suite d'éviter non seulement la formation de farine, mais encore l'usure de la tôle perforée. Ce trommel à trous de 8 millimètres est employé à Laurenburg, à une vitesse de six tours par minute, pour le traitement des minerais dits spathiques, qui, comme on le verra dans la deuxième partie de ce mémoire, sont lavés dans un bâtiment spécial de cet atelier.

Les autres détails de construction des trommels ne méritent aucune mention spéciale. L'installation de ces appareils présente au contraire des particularités intéressantes.

L'emploi des trommels concentriques en nombre supérieur à deux, est aujourd'hui complètement abandonné, et si, dans le cas où l'on ne dispose que d'une faible hauteur, à Lautenthal par exemple, on a encore recours à l'emploi de trommels doubles suivis d'une série de trommels successifs, les deux seules solutions pratiques qui soient actuellement en présence sont la disposition dite étagée ou la disposition dite juxtaposée. Dans ces deux dispositions les axes des trommels sont à des niveaux différents ; mais, dans le premier cas, les projections horizontales des axes de ces appareils sont en prolongement les unes des autres, tandis que dans le second, elles constituent une série de droites parallèles dont les extrémités sont limitées aux deux mêmes plans verticaux. Ces deux solutions, qui sont toutes les deux adoptées dans l'atelier récemment reconstruit de la préparation mécanique d'Ems, ont chacune leurs avantages et

leurs inconvénients. La première a l'avantage d'exiger une différence de niveau moins considérable, et non seulement de rendre plus facile le remplacement d'un trommel mis hors de service, mais encore de permettre l'introduction directe de matières dans un trommel quelconque de la série. Cette disposition se prête en effet à la commande de l'ensemble des trommels par un arbre unique portant, au droit de chacun d'eux, une poulie fixe et une poulie folle, sur l'une desquelles on amène à volonté la courroie spéciale à chaque trommel qui passe d'autre part autour d'une poulie calée sur l'axe de ce dernier. On pourra donc arrêter le mouvement d'un trommel quelconque de la série; dès lors il suffira de réduire à l'immobilité les trommels placés au-dessus de celui dans lequel on veut introduire les matières à classer, et de placer à leur intérieur une tôle pleine, pour que les produits, amenés au niveau du trommel supérieur de la série, traversent, sans y subir aucun classement, les appareils qui précèdent celui auquel ces produits sont destinés. La deuxième disposition, qui ne présente pas l'inconvénient d'exiger autant de place que la première, ne se prête pas aux combinaisons dont je viens d'indiquer le principe et dont l'utilité est incontestable dans les ateliers où la variété des minerais traités conduit à des modifications éventuelles de la formule de traitement. On serait effectivement obligé, dans ce cas, d'employer une série d'arbres de renvoi distincts, si l'on voulait assurer l'indépendance des divers trommels; et, pour éviter la complication qui résulterait de cette disposition, on est conduit à faire commander chaque trommel par le trommel voisin, ce qui rend impossible l'immobilisation d'un certain nombre d'appareils de la série.

3° Appareil Schmitt-Manderbach. — L'appareil Schmitt-Manderbach se compose d'une série de tôles concentriques perforées sur une partie seulement de leur surface

et dont les parties pleines, disposées de façon à ne point se recouvrir d'une tôle à l'autre, sont reliées entre elles par des tôles pleines dirigées suivant des plans diamétraux. Ces dernières tôles pleines qui aboutissent ainsi aux génératrices extrêmes de deux tôles perforées successives, retiennent le refus de celle de ces deux tôles dont le diamètre est le plus considérable. La *fig. 6* de la Pl. I donne la coupe de l'appareil perpendiculaire à l'axe. Le refus de chaque tôle s'écoule par un canal légèrement incliné, dont la direction, presque parallèle à l'axe de rotation, amène les produits qui y cheminent, à un déversoir latéral tel que ceux dont les *fig. 9* et *10* de la Pl. I donnent la représentation en *a*; la distance, différente pour chacun des déversoirs, qui les sépare de l'enveloppe de l'appareil permet d'envoyer le refus d'une tôle déterminée dans une stalle située à une distance quelconque de la paroi latérale de l'appareil; de plus la présence des tôles pleines intérieures (qui empêchent le refus d'une tôle déterminée de s'écouler pendant toute la durée de la révolution) permet d'amener ce refus dans une stalle située à une distance quelconque de l'axe de rotation. Ces stallses sont désignées par les lettres MNPQM'N'P'Q'M,N<sub>1</sub>, etc. Sur les *fig. 7* et *8* de la Pl. I, les dimensions de l'appareil qui fonctionne à l'atelier d'Himmelsfürst (Saxe) sont les suivantes :

Les tôles étant numérotées de l'intérieur vers l'extérieur :

	Diamètre des trous.	Diamètre des tôles.	Surface perforée.	Surface pleine.
	millim.	mètr.	mètr.	mètr.
1° Tôle	15	1,06	2,00	0,00
2° —	10	1,22	2,10	0,20
3° —	7	1,38	2,34	0,26
4° —	5	1,52	2,57	0,29
5° —	2,5	1,66	2,81	0,32
6° —	1	1,80	3,03	0,00



Largeur de l'appareil, 0<sup>m</sup>,600.

La force motrice consommée est de 1/2 cheval, on y passe 2 mètres cubes par heure, l'appareil marchant à la vitesse de 8 tours par minute. Aucun personnel spécial, indépendamment des machinistes ordinaires de l'atelier, n'est nécessaire à la conduite de l'appareil.

Indépendamment des autres avantages qu'il présente et dont on parlera plus loin, cet appareil offre celui d'occuper peu de place et de s'user moins rapidement que les trommels. Par contre, on est obligé de le placer à un niveau élevé, inconvénient qui, dans le cas d'une série de trommels étagés, ne se présente que pour le premier de ces trommels; cet inconvénient consiste non seulement dans les frais qu'entraîne l'installation d'un tel appareil à une grande hauteur dans l'atelier, mais encore dans la difficulté qui en résulte pour la surveillance de l'état de ses tôles.

Les mêmes figures représentent en T la table de klau-bage qui reçoit le refus de la première tôle, qui y est versé par le conduit c. Les produits sont amenés à l'appareil après séparation des schlamms.

Cette opération ne s'impose pas avec les trommels, parce que, dans ce dernier cas, le traitement exige l'emploi d'une très grande quantité d'eau, tant pour l'introduction des produits dans le trommel que pour leur classement pendant leur séjour dans l'appareil. Les inconvénients résultant de la présence des schlamms sont donc relativement bien moins sensibles dans les trommels, en raison de la grande quantité d'eau qui est nécessaire, qu'il y ait ou non des schlamms.

Au contraire, l'appareil Schmitt consommant beaucoup moins d'eau que les trommels quand les matières qu'il reçoit ne sont point particulièrement bourbeuses, il importe de séparer les schlamms des produits destinés à l'appareil. On y réussit (Pl. I, *fig.* 7 et 8) au moyen

d'un trommel laveur à tôle pleine A dans lequel arrivent les matières avec un courant d'eau fourni par la pomme d'arrosoir B. La grille G n'a pour office que de retenir les très gros morceaux. Le trommel A porte, autour de son extrémité antérieure, une rigole X limitée, du côté de l'intérieur du trommel, par une cornière dont la hauteur varie d'une façon continue d'un point de la circonférence à l'autre. La rotation du trommel amène donc successivement au même point de l'espace des éléments de cloison de hauteur variable, et détermine, en conséquence, lorsque ce sont les parties les moins élevées de la cloison qui viennent se présenter au niveau de la génératrice inférieure du trommel, un écoulement de la partie supérieure de la lavée contenue dans le trommel; cette lavée, qui comprend la presque totalité des schlamms, se rend ensuite dans une sorte de gouttière D. La communication entre le trommel A et la tôle intérieure de l'appareil Schmitt, est réalisée au moyen d'une sorte d'auget longitudinal qui élève les produits contenus dans ce trommel et les verse à l'entrée de la tôle perforée intérieure. Dans l'appareil employé à Himmelsfürst, le trommel laveur a 1<sup>m</sup>,200 de long sur 1<sup>m</sup>,200 de diamètre.

Les détails de construction de l'appareil sont les suivants :

Sur l'axe de rotation horizontal qui repose sur deux paliers, sont calées deux rondelles réunies par un manchon auquel sont vissés deux ou trois bras qui portent les tôles perforées. Chaque enveloppe cylindrique se compose de deux ou trois parties percées, à leurs quatre coins, de trous qui permettent de les boulonner aux châssis que portent les bras. Une fois les châssis mis en place, on installe, par-dessus le fer à T qui constitue le bras, un fer en U qui s'abaisse de part et d'autre du bras sur la tête des boulons et qu'on fixe au moyen d'un écrou traversé par l'extrémité de la vis de tension des

deux bras correspondants. Cette disposition permet le démontage facile de l'appareil et le remplacement rapide des tôles détériorées. Avec un appareil à trois bras et à sept tôles, deux ouvriers peuvent effectuer, en un quart d'heure, le remplacement d'une tôle.

Il est intéressant de donner ici les résultats d'une comparaison que M. Schmitt a établie entre son appareil et d'autres classeurs de volume et qu'il a eu l'obligeance de me communiquer.

Il a choisi comme termes de comparaison :

- 1° Le classement de volume à Immekeppel près Bensberg (Prusse rhénane);
- 2° Le classement de volume à la laverie Dorothée de Clausthal;
- 3° Le classement de volume à l'atelier d'Altlay, près Zell-sur-Moselle.

Dans le premier de ces ateliers, on emploie trois trommels à tôles successives (à trous de diamètres croissants), du premier au dernier trommel; dans le second, cinq trommels étagés (à trous de diamètres décroissants); dans le troisième, un appareil Schmitt-Manderbach à 7 tôles.

Le premier atelier passe 13 mètres cubes de minerai en 10 heures, le second et le troisième en passent chacun 40 dans le même temps. Pour établir la comparaison, M. Schmitt admet qu'il s'agit d'un minerai composé de trois sortes présentant les proportions suivantes :

1° Sorte supérieure à 20 millim. . . . .	60 p. 100
2° — à 5 — . . . . .	24 —
3° Sorte inférieure à 5 — . . . . .	16 —

Or le rendement d'un classeur de volume s'apprécie, non seulement d'après la quantité qu'il est capable de passer, mais encore d'après la finesse et le nombre des sortes qu'il est en état de fournir.

L'avantage restera donc à l'appareil qui, toutes choses égales d'ailleurs, fournira, par mètre carré de tôle perforée, la plus grande quantité de minerai classé.

Les éléments à considérer sont donc :

- 1° La quantité de minerai brut qui passe par minute;
- 2° La composition de grosseur de ce minerai;
- 3° L'étendue de la surface que le minerai brut doit parcourir sur les diverses tôles, ou bien la quantité de minerai que ces tôles doivent livrer par mètre carré et par minute.

D'autre part, la difficulté du classement croît proportionnellement à la quantité de minerai brut et dans un rapport inversement proportionnel au carré des diamètres des trous, ou (en négligeant les différences de grosseur des grains d'une même sorte), au carré du diamètre moyen de la classe reçue sur la tôle considérée.

Si donc on désigne par :

- $m$  le volume du refus d'une tôle déterminée, rapporté à mètre carré de tôle et à la minute;
- $n$  le volume correspondant de menu qui a traversé la même tôle;
- $d_1$  le diamètre moyen des grains qui constituent le refus;
- $d_2$  celui des grains qui constituent le menu correspondant, le rendement  $l$  du mètre carré de la tôle considérée pourra s'exprimer par la formule

$$l = \frac{n}{d_1^2} + \frac{m}{d_2^2},$$

et le rendement total  $L$  par minute de l'appareil tout entier sera, en désignant par  $F_1$  la surface de chaque tôle qui entre en jeu

$$L = \Sigma F_1 \left( \frac{n}{d_1^2} + \frac{m}{d_2^2} \right).$$

C'est d'après les considérations précédentes que M. Schmitt a dressé le tableau suivant :



NATURE DE L'APPAREIL	DIA- MÈTRE des trous des tôles	COMPO- SITION du minerai	REFUS par minute	MENU traver- sant les tôles	DIA- MÈTRE de chaque tôle	LAR- GEUR de chaque tôle	SUR- FACE de tôle utile	VITESSE circonfé- rentielle	SUR- FACE de chaque entrant en jeu	REFUS par mètre de tôle	MENU traver- sant par mètre carré de tôle	CALCUL DES ÉLÉMENTS du rendement de chaque tôle			RENDEMENT total de l'appareil par minute	
												$\frac{n}{d^2}$	$\frac{m}{d^2}$	$\frac{n}{d^2} + \frac{m}{d^2}$		
Atelier d'Immekoppel (trommels à tôles successives). 13 <sup>h</sup> en 10 heures. 53,3 par minute.	17,0	p. 100	litres	litres	mètres	m. carr.	mètres	m. carr.	m. carr.	litres	litres	$\frac{n}{d^2}$	$\frac{m}{d^2}$	$\frac{n}{d^2} + \frac{m}{d^2}$	161,80	
	24,0	44,0	2,53	7,98	0,63	1,77	0,37	90,0	0,390	0,767	7,30	8,09	8,09	0,39		
	4,3	35,0	12,80	2,53	0,63	1,48	0,37	13,3	0,190	0,963	0,46	0,43	0,43	35,10		
	8,5	5,0	1,16	2,30	0,58	1,65	0,37	20,0	0,115	0,234	3,15	3,15	3,15	5,54		
	8,5	5,0	1,28	1,98	0,58	1,37	0,37	16,0	0,070	0,274	2,74	2,80	2,80	3,18		
	1,30	7,5	1,49	1,98	0,58	1,18	0,37	14,4	0,080	0,226	4,75	1,43	1,43	12,72		
	0,75	3,0	0,69	0,23	0,47	0,90	0,37	11,1	0,134	0,158	0,80	1,34	1,34	23,75		
	1,20	4,0	0,92	0,35	0,47	0,60	0,37	20,0	0,041	0,109	17,65	32,30	50,04	1,000,80		
	3,20	2,0	0,46	0,76	0,47	0,60	0,37	13,1	0,026	0,131	12,90	26,08	39,18	521,20		
	0,75	1,0	0,23	0,23	0,47	0,50	0,37	11,1	0,068	0,030	6,93	15,77	22,70	219,70		
	100,0	23,33			10,69		140,0					166,92		2,130,77		
Atelier de Dorothée, à Clausthal (trommels étagés). 40 <sup>h</sup> en 10 heures. 66,66 par minute.	16,0	10	44,60	22,00	0,97	1,16	1,08	30	0,380	0,750	4,70	5,49	5,49	329,40		
	22,0	57	38,00	6,60	0,97	0,59	1,80	60	0,220	1,260	0,70	1,40	1,40	33,00		
	40,0	9	6,00	16,00	0,43	1,46	1,90	29	0,550	0,900	1,48	15,30	16,48	477,90		
	6,0	8	5,30	10,70	0,43	1,46	1,90	29	0,360	0,360	2,81	32,50	35,34	736,97		
	3,0	7	4,00	6,10	0,43	1,46	1,90	29	0,240	0,160	8,00	52,50	60,50	1,754,50		
	1,5	5	3,46	2,70	0,43	1,46	1,90	29	0,090	0,120	24,00	90,00	114,00	3,306,00		
	1,5	4	2,70		0,43										6,637,86	
		100	66,66			12,80		206					232,88		6,637,86	
Atelier d'Altlay (Appareil Schmitt- Manderbach). 40 <sup>h</sup> en 10 heures. 81 par minute.	25,0	54	35,96	30,70	0,77	0,55	1,65	43	2,35	2,766	1,56	16,40	17,96	233,48		
	16,0	13	8,76	11,94	1,00	0,53	1,25	40	2,19	0,876	2,19	44,70	46,89	469,50		
	10,0	9	5,99	15,93	1,18	0,35	1,50	44	1,36	0,499	2,80	53,20	56,00	672,00		
	6,0	8	5,33	10,62	1,38	0,35	1,75	44	1,76	0,381	6,00	84,44	90,44	1,166,16		
	4,0	7	4,66	8,96	1,59	0,35	2,00	46	0,37	0,297	9,02	101,41	110,13	1,170,88		
	2,5	5	3,97	3,97	1,59	0,35	2,45	47	0,22	0,143	16,88	177,48	194,06	3,386,85		
	1,5	4	3,31	2,66	1,57	0,35	2,90	47	0,14	0,070	47,82	140,00	187,82	3,588,58		
		100	66,66			12,70		101					709,30		11,206,95	

Pour comparer ces trois ateliers au point de vue de l'activité de la production, il faut considérer la valeur moyenne du rendement d'un mètre carré de tôle, ce qui donne :

TROMMELS à tôles successives	TROMMELS étagés	APPAREIL Schmitt-Manderbach
167	233	709
19	39	100
1	2	5

Les rendements totaux sont entre eux comme 2.130, 6.637 et 11.276, c'est-à-dire comme 1, 3 et 5.

Enfin, au point de vue de la dépense de force motrice et d'installation, M. Schmitt prétend que les chiffres relatifs aux trois cas considérés sont entre eux comme 6, 2, 1.

L'économie de force motrice, que M. Schmitt énonce comme un fait d'expérience, peut, ce semble, être expliquée comme suit :

Considérons un trommel à 6 tôles successives et à trous croissants, passant 50 tonnes de minerai en dix heures, à une vitesse de 16 à 17 tours par minute, ce qui donne environ 1.000 tours par heure. Il passera, par tour, un poids de minerai égal à  $\frac{50}{10 \times 1.000} = 0,005$ . Soit,

d'autre part,  $h$  la hauteur à laquelle sera élevé un fragment avant qu'il ne tombe, et soit  $\alpha$  l'angle que fait avec l'horizontale le rayon aboutissant au point où le fragment quitte la tôle pour commencer sa chute. On aura, en désignant par  $d$  le diamètre du trommel :

$$h = \frac{d}{2} (1 - \cos \alpha).$$

On peut admettre  $\alpha = 50^\circ$ , d'où en effectuant :

$$h = \frac{d}{2} \times 0,358.$$

La valeur  $H$  de la quantité  $h$ , correspondant à un tour complet du trommel, s'obtiendra en multipliant  $h$  par le rapport  $\frac{360}{50} = 7,19$ . Toutefois, en raison du glissement, que subissent les fragments en sens inverse de la rotation du trommel, il convient de remplacer 7,19 par un coefficient inférieur 6,5 par exemple, ce qui donne :

$$H = \frac{d}{2} \times 0,358 \times 6,5 = 1,16d.$$

Cela posé, le travail à développer par tour du trommel de diamètre  $d$  marchant à 17 tours par minute sera :

$$\mathfrak{E} = 1,16 \times d \times \frac{17}{60} \times Q.$$

$Q$  étant la charge élevée par tour. En admettant que chaque fragment exécute 5 révolutions sur chacune des 6 tôles du trommel considéré, on voit que l'on aura :

$$Q = \frac{5 \times 6 \times 5}{2} = 75 \text{ kilogrammes.}$$

D'ailleurs, en prenant  $d = 0^m,8$  on aura

$$\mathfrak{E} = 20 \text{ kilogrammètres par seconde.}$$

En y ajoutant 12 kilogrammètres pour les autres dépenses de force motrice, notamment la distribution de l'eau, on arrive définitivement à un chiffre d'environ 1/2 cheval.

Passons au cas de six trommels étagés. Les frottements, qui se produisent dans les nombreux coussinets et dans les transmissions, ne consomment pas moins de 25 kilogrammètres par seconde, soit 1/3 de cheval, y compris la dépense de force motrice pour la distribution de l'eau. On aura donc, dans ce cas, une consommation de 5/6 de cheval pour la même production que dans le cas précédent (50 tonnes en dix heures).

Un appareil Schmitt à 6 tôles donne au contraire des résultats bien plus favorables. La consommation de force motrice, pour les travaux étrangers au déplacement du minerai à l'intérieur de l'appareil, est comme ci-dessus égale à 12 kilogrammètres. Si l'on suppose une production de 50 tonnes en dix heures, l'appareil ayant un diamètre de 1<sup>m</sup>,40 et marchant à la vitesse de 10 tours par minute, la quantité passée par tour sera  $Q \times \frac{50.000}{10.60.10} = 8^{\text{kg}},3$ .

On aura donc :

$$\mathfrak{E} = 1,16 \times d \times \frac{10}{60} \times Q,$$

$$\mathfrak{E} = 2^{\text{kg}},1 \text{ par seconde.}$$

En ajoutant à ce nombre, pour plus de sécurité, la moitié de sa valeur, on trouve une consommation de force motrice de 3 kilogrammètres dans des circonstances où nous venons de trouver 20 kilogrammètres pour le trommel; ce qui établit le rapport 1 : 7 entre les consommations de force motrice. Le rapport 1 : 6 donné par M. Schmitt est donc ainsi largement justifié.

Un autre avantage de cet appareil consiste dans la proportion relativement peu considérable de farine qu'il fournit, et qui, bien que moins nuisible pour le classement des minerais que pour celui des charbons, n'en est pas moins une cause réelle de pertes.

Or, la production de farine est liée directement à la longueur du trajet que parcourt le minerai à l'intérieur de l'appareil. Comparons en conséquence le trajet  $T$  parcouru par un fragment dans divers classeurs donnant le même nombre de sortes, 7 par exemple.

1° Trommel à 7 tôles successives (à trous de diamètres croissants). On admet que pour obtenir un classement satisfaisant dans un tel appareil, les grains les plus fins doivent faire 13 révolutions et les plus gros 6 révolu-



tions, ce qui correspond en moyenne à 9 révolutions, de 2 mètres chacune;

On a donc :

$$T = 2 \times 9 \times 7 = 126 \text{ mètres.}$$

2° Trommels étagés au nombre de 7 à trous décroissants. On compte 8 révolutions de 2 mètres à l'intérieur de chaque trommel et un mètre pour chacune des six conduites intermédiaires d'un trommel à l'autre;

On a donc :

$$T = 2 \times 8 \times 7 + 6 \times 1 = 118 \text{ mètres.}$$

3° Appareils Schmitt-Manderbach à 7 tôles, diamètre extérieur 1<sup>m</sup>,80, diamètre intérieur 1<sup>m</sup>,00; le diamètre moyen est donc 1<sup>m</sup>,40 et la circonférence de 4<sup>m</sup>,40.

On a donc :

$$T = 4,40 \times 7 = 30<sup>m</sup>,80.$$

En comparant les deux premiers appareils, on constate que T a sensiblement la même valeur et il semblerait, par suite, indifférent de comparer à l'un quelconque d'entre eux, l'appareil Schmitt, au point de vue de la proportion de farine produite. Ce serait une grave erreur. En effet, le classement est loin de s'opérer de la même façon dans les trommels à tôles successives et dans les trommels étagés. Dans ceux-ci, comme le montre le tableau de la page 32, les deux premiers trommels de la série séparent 75 p. 100 de la masse, tandis que ces 75 p. 100 dans les trommels à tôles successives, parcourront les 3/4 de la longueur des tôles. Les chemins parcourus par ces 75 p. 100 seront donc :

1° Dans le cas des trommels à tôles successives :

$$0,75T = 0,75 \times 126 = 94 \text{ mètres.}$$

2° Dans le cas des trommels étagés :

$$(2 \times 8 \times 2 + 1) = 33 \text{ mètres.}$$

Le rapport des poids de farine obtenus dans ces deux cas est donc 94 : 33, soit 3 : 1 pour les 75 p. 100 de la masse totale.

Quant aux 25 p. 100 qui restent, la présence des gros fragments rend leur classement très peu favorable dans le cas des trommels à tôles successives, et l'on peut par suite adopter pour eux le rapport de 3 : 1 comme pour les premiers 75 p. 100 de la masse totale.

Cela posé, il suffit de comparer l'appareil Schmitt au système des trommels étagés; on constate ainsi que le rapport des valeurs de T, pour ces deux classeurs, est celui de 1 à 4. Le rapport des poids de farine produits sera donc de 1 à 4 entre l'appareil Schmitt et la série des trommels étagés, et de 1 à 12 entre le même appareil et les trommels à tôles successives.

#### 4° Traitement des grenailles.

(a) *Méthode de traitement.* — Les grenailles comprennent tous les grains dont la grosseur est supérieure à 0<sup>mm</sup>,5. Le classement de volume de ces produits peut s'exécuter sur les tôles perforées des appareils dont il vient d'être question. Le traitement des diverses classes de grosseur doit s'achever d'après les principes de l'équivalence (Gleichfälligkeit) dans les appareils de criblage à la cuve. Ces appareils sont les cribles continus et les cribles filtrants. L'emploi des cribles filtrants qui étaient autrefois réservés aux grains les plus fins, s'étend aujourd'hui à des grenailles plus volumineuses. C'est ainsi qu'à Steinenbrück on est arrivé à passer au crible filtrant des grenailles de 14 millimètres au cours d'un traitement dont on trouvera le détail dans la deuxième partie de ce mémoire. L'extrême sensibilité de cet appareil, dont on peut faire varier le fonctionnement en modifiant la nature de la couche filtrante, a ainsi permis de géné-

raliser son emploi et a même conduit à la solution mixte du crible fonctionnant à la fois comme crible continu, et comme crible filtrant. On vient, en effet, d'essayer, à Laurenburg, l'application de cette méthode dans les conditions suivantes; on traite des grains d'une grosseur de 3 à 15 millimètres sur un crible dont les tamis sont à mailles carrées de 8 millimètres; ce tamis retient tous les produits supérieurs à cette dimension qui forment dès lors une couche filtrante, au sein de laquelle les produits de grosseur moindre subiront un criblage, avant d'atteindre le tamis dont ils peuvent, en raison de leur grosseur, traverser les trous. Dans le même atelier, on crible également, sur un tamis à mailles de 1 millimètre, les produits inférieurs à 3 millimètres. On a pu ainsi à Laurenburg augmenter la production de l'appareil et éviter la mise en service simultanée : 1° d'un crible filtrant pour les produits inférieurs à 8 millimètres dans un cas et à 1 millimètre dans l'autre.

2° D'un crible continu pour les produits dont la grosseur est supérieure à ces chiffres. Un crible unique peut effectivement, d'après ce qui précède, remplir l'emploi de ces deux appareils.

Quant aux cribles continus, la seule innovation à signaler au sujet de leur mode d'emploi, est relative à la détermination du nombre des tamis nécessaires pour le traitement d'une nature de produits déterminée. S'il s'agit, par exemple, de traiter sur un crible continu un produit composé de deux espèces minérales, on a recours d'ordinaire à un crible à quatre tamis, dont le premier donne l'espèce la plus lourde, le troisième l'espèce la plus légère, le deuxième un mélange de ces deux espèces, et le quatrième un mélange de l'espèce la plus légère avec le stérile; les matières qui s'écoulent au delà du déversoir du dernier compartiment sont composées de stérile à rejeter. A ce procédé qui est le plus généralement adopté,

on a récemment substitué, dans l'atelier d'Ems, l'emploi de cribles continus n'ayant que trois tamis. Le premier donne la matière la plus lourde, le second l'espèce la plus légère mélangée à l'espèce la plus lourde, le troisième un mélange de l'espèce la plus légère et de stérile. Les produits qui s'écoulent au delà du déversoir du dernier compartiment, sont, comme ci-dessus, formés de stérile. *A priori*, cette méthode semble moins avantageuse que la précédente, puisque, au lieu d'avoir les deux produits finis que fournissaient le premier et le troisième tamis dans le premier cas, on n'obtient dans le second qu'un seul produit fini, savoir sur le premier tamis. Il n'en est rien : car en donnant un nombre suffisant de coups de piston, on arrive à ne laisser dans les produits recueillis sur le troisième tamis que la quantité de stérile admissible dans le bon à fondre. On a d'ailleurs réalisé, par la suppression du quatrième tamis, non seulement une simplification dans l'appareil, mais encore une simplification dans le traitement; le nombre des produits intermédiaires à repasser qui s'élevait à deux dans le crible à quatre tamis (produits recueillis sur le 2° et le 4° tamis), est effectivement réduit à l'unité dans le crible à trois tamis (produit recueilli sur le 2° tamis).

(b) *Appareils*. — La construction des cribles a subi peu de perfectionnements : on y observe principalement une tendance à l'abandon des dispositions compliquées dont le crible du Bleyberg a donné l'exemple. L'écoulement des produits s'effectue dans les cribles continus, soit au moyen d'un tuyau à cloche analogue à celui du crible de Moresnet, soit au moyen d'un déversoir occupant toute l'étendue de la petite dimension du crible. Le réglage de la position du bord de ce déversoir s'effectue aisément au moyen d'une vis dans le type qui a été adopté à Clausthal et à Lautenthal (Pl. I, fig. 11).



On s'attache d'ailleurs, dans ces mêmes ateliers, à faire varier d'un tamis à l'autre le mode d'écoulement, en choisissant celui qui est le mieux approprié à la position qu'occupe le tamis considéré par rapport au point d'arrivée des matières sur le crible. C'est ainsi que dans les derniers modèles de cribles, on emploie le tuyau à cloche pour le premier tamis, afin d'éviter un entraînement trop rapide et par suite un criblage imparfait des produits à leur entrée dans l'appareil; l'emploi du déversoir, qui est loin de donner au travail la même symétrie que le tuyau à cloche, ne présente pas, pour les tamis suivants, les mêmes inconvénients que pour le premier, en raison de la vitesse moindre avec laquelle les matières déjà criblées sur celui-ci parcourent les autres compartiments.

Il convient enfin de signaler une disposition adoptée à Ems pour le canal d'écoulement des produits au delà du dernier tamis. Ces matières, qui sont rejetées comme stériles, passent dans un petit appareil à courant ascendant du système spécial à Ems et qui sera décrit plus loin. Cet appareil, réduit dans le cas actuel à une caisse unique, permet de recueillir un dépôt de produits riches qui ne sont pas envoyés aux haldes.

### 5° Traitement des sables.

(a) *Méthode de traitement.* — Le traitement des sables (grains dont la grosseur varie entre 0<sup>mm</sup>,50 et 0<sup>mm</sup>,25) se compose d'un classement de volume suivi d'un classement par équivalence.

A. *Classement de volume.* — Le classement de volume a pour objet : 1° de séparer les sables des produits inférieurs à 0<sup>mm</sup>,25 ou schlamms; 2° de diviser les sables en plusieurs catégories de grosseurs. Il s'opère parfois au

trommel, dans le Hartz par exemple. C'est là toutefois un cas particulier, et le classement au trommel des sables inférieurs à 0<sup>mm</sup>,50 ne se présente en général que comme le terme d'un classement, au même appareil, de sortes dont la grosseur est plus considérable. Le traitement s'opère plus logiquement dans les appareils à courant d'eau ascendant. Ces appareils que l'on a coutume de considérer comme fondés sur le principe de l'équivalence, sont, au contraire, employés aujourd'hui par les ingénieurs allemands comme des classeurs de volume précédant et préparant le travail des classeurs par équivalence qui seront énumérés plus loin. C'est à ce type de classeurs de volume que ces ingénieurs rapportent les spitzkastens, le Sandsortirupparat d'Ems, le sandsortirupparat Meinicke, le spitzgerinne de Weiss et le classificateur de Steinenbrück.

B. *Classement par équivalence.* — Les diverses classes séparées au moyen des appareils précédents, sont soumises séparément à un classement par équivalence, soit sur des tamis à secousses, soit sur des cribles filtrants, soit dans des caissons allemands, soit enfin sur des tables.

Le principe des tamis à secousses se rattache à une idée tellement primitive qu'il suffit d'en mentionner l'existence; il paraît cependant intéressant de signaler, dans l'atelier d'Himmelfahrt (Saxe), un système de trois tamis à secousses qui traite avec succès la sorte la plus volumineuse, séparée dans un spitzkasten ordinaire, de produits préalablement bocardés. Le caisson allemand, appareil également bien ancien, a subsisté même dans le Hartz, en dépit de la grande consommation de main-d'œuvre qu'il entraîne : la perfection du travail, quand il est confié à des ouvriers aussi expérimentés que ceux de cette région, suffit à expliquer la faveur dont cet appareil jouit encore actuellement.

Les cribles filtrants représentent le type par excellence de ce genre de classeurs qui se distinguent par leur souplesse et leur facilité de réglage. On peut y rattacher l'appareil désigné à Mechernich, sous le nom d'heberwäsche; cet appareil, souvent décrit, mérite une mention au point de vue du rôle qu'il est appelé à jouer, et qui a été étudié jusqu'ici de bien moins près que ses détails de construction proprement dits. On verra plus loin, dans l'exposé de la formule de traitement de Mechernich, que l'emploi de cet appareil est combiné avec celui des spitzkastens dans une série complète de repassages successifs à travers ces deux genres de classeurs. Ces repassages, qui précèdent le traitement sur les tables, sembleraient à bon droit peu logiques vu le caractère essentiellement distinct (du moins d'après les idées qui ont actuellement cours en Allemagne) du spitzkasten d'une part, et de l'heberwäsche de l'autre, le premier de ces appareils étant assimilable aux classeurs de volume et le second aux classeurs d'équivalence. Mais il ne faut pas oublier que la nature toute spéciale du minerai traité à Mechernich justifie les complications et les anomalies apparentes de la méthode appliquée dans cet atelier. La combinaison du travail de l'heberwäsche avec celui des cribles filtrants qui appartiennent à la même catégorie de classeurs, est au contraire parfaitement logique. Quoiqu'il en soit, l'heberwäsche est essentiellement réservée au traitement des sables, et ne s'applique point à celui des schlamms, qui, divisés en plusieurs classes par un passage au spitzkasten, sont traités, soit aux roundbuddles, soit aux tables de Rittinger, soit aux tables tournantes dont une partie des produits intermédiaires est finalement lavée sur des roundbuddles.

Les tables de lavage, considérées comme appareils à sables et non comme appareils à schlamms, sont représentées par les tables à secousses longitudinales,

par les tables Rittinger et par les roundbuddles. Les tables à secousses longitudinales jouissent encore, malgré leurs défauts, d'une faveur réelle, et elles figurent dans l'atelier d'Ems récemment reconstruit; les ingénieurs allemands reconnaissent, il est vrai, que la production de ces tables est inférieure à celle des cribles filtrants, que les frais d'installation et la consommation de force motrice en sont plus élevés, et que la conduite doit en être confiée à un personnel plus expérimenté que celui qui peut être attaché au service des cribles filtrants. Mais ils croient que ces inconvénients des tables à secousses sont largement compensés par les avantages suivants :

1° Les résultats du traitement sur les tables dépendent, moins directement que ceux du traitement sur les cribles, du degré de perfection du classement de volume qui précède le classement par équivalence effectué sur ces appareils.

2° Le passage des produits à travers la couche filtrante détermine, dans le traitement sur les cribles filtrants, la production d'une quantité de farine plus considérable qu'on ne le croit, *a priori*, et les pertes qui en résultent constituent une infériorité des cribles par rapport aux tables sur lesquelles ces causes de pulvérisation des grains n'existent pas. — Quant au roundbuddle, les avis sont actuellement très partagés en Allemagne. A Ems, on prétend que le roundbuddle ne convient qu'aux gros sables et que, appliqué, soit aux schlamms, soit aux sables fins (voisins de 0<sup>mm</sup>,25), il donne lieu à des pertes sensibles. Ces pertes seraient d'ailleurs, ajoute-t-on, toujours plus élevées aux roundbuddles qu'aux tables à secousses et aux cribles filtrants. Les ingénieurs d'Ems ne comparent point du reste les tables précédentes ou les cribles filtrants aux tables Rittinger qu'ils réservent exclusivement au traitement des schlamms. L'atelier de



Laurenburg donne également l'exemple de l'emploi des tables à secousses longitudinales.

Ces opinions ne sont point partagées par d'autres ingénieurs, comme le prouve la présence des roundbuddles dans l'atelier récemment installé à la fosse Weiss, dans lequel on ne rencontre du reste aucune table à secousses. Je n'insiste pas sur les idées qui prédominent dans le Hartz et en Saxe relativement au classement des sables par équivalence; elles sont absolument conformes à celles qui sont exprimées dans les traités de préparation mécaniques publiés jusqu'à ce jour. L'innovation importante à signaler dans ces deux dernières régions est l'emploi du classeur Meinicke qui appartient aux types de classeur de volume et qui sera décrit plus loin.

Je me contenterai de mentionner ici que c'est seulement en Saxe que l'on trouve l'usage courant de la table Rittinger pour le traitement des sables, et que, dans le Hartz, cet appareil ne reçoit, en général, que les produits déjà traités aux cribles filtrants.

(b) *Appareils*. — Je me bornerai à décrire les appareils que leurs perfectionnements ou leur caractère de nouveauté signale à l'attention.

1° *Spitzkasten*. — Le type de spitzkasten le plus récent est celui qui a été construit en 1886 à Friedrichsseggen. Cet appareil, dont la planche II donne le plan (*fig. 1*), la coupe longitudinale (*fig. 2*) et la coupe transversale (*fig. 3*), se compose de deux rangées parallèles de 24 compartiments chacune. La lavée arrive en *m*, parcourt toute la première rangée de 24 compartiments, puis passe par le tuyau *n* de la première à la seconde. Les produits déposés dans quatre compartiments successifs sont réunis dans un canal *c* qui se prolonge par la conduite *d*. Les eaux clarifiées par le dépôt de ces produits, s'écoulent de chaque compartiment par un canal *b*;

seuls, les quatre premiers compartiments où la clarification des eaux n'est pas encore suffisante, ne sont pas munis d'un canal de ce genre; les canaux *b*, qui débouchent à 95 millimètres au-dessous du bord supérieur du spitzkasten, aboutissent, par chacune des moitiés de l'appareil, à une conduite D débouchant elle-même dans le canal F, qui emmène les eaux aux tables de lavage. Une série d'ouvertures, pratiquées sur les longs côtés de l'appareil, et en face de chaque compartiment, permettent de juger, par l'écoulement d'une petite quantité de matières, de la nature des produits déposés. Chacune de ces ouvertures est normalement fermée par un disque de fonte (voir Pl. II, *fig. 4* et 5) mobile autour du point O de la paroi du spitzkasten, et muni d'une queue Q servant de poignée, qui, dans la position de fermeture, est engagée dans l'étrier E fixé à l'appareil.

2° *Sandsortirapparat d'Ems*. — Le Sandsortirapparat est un appareil à courant ascendant. Dans les appareils déjà anciens, où le courant ascendant est produit dans chaque caisse d'un spitzkasten par un tuyau vertical qui y plonge, il se produit, dans chaque caisse, une sorte de « nuage flottant » dont on a depuis longtemps reconnu les inconvénients. On a cherché à y remédier dans les appareils également anciens formés de deux plans inclinés qui constituent une sorte de gouttière sans fond, les deux faces inclinées n'arrivant pas exactement au contact.

L'arête inférieure est d'ailleurs inclinée, la partie la plus élevée se trouvant du côté de l'entrée de la lavée dans l'appareil, et la largeur de la partie supérieure de ce dernier va en augmentant à mesure que l'arête inférieure s'abaisse. Ces deux plans inclinés sont placés à l'intérieur d'une caisse parallépipédique en bois, dans laquelle arrive le courant d'eau ascendant. Les inconvénients provenant de la discontinuité des caisses pointues

sont ainsi évités, et, si l'appareil a des dimensions suffisantes, chaque catégorie de grains peut trouver une section où la vitesse est celle qui convient à la descente et au dépôt de la sorte considérée. Le défaut d'un tel appareil consiste dans ses dimensions encombrantes; aussi, dans le Sandsortirapparat d'Ems, a-t-on cherché à les réduire, tout en conservant le même principe.

L'appareil d'Ems consiste (Pl. II) en une série de petits classeurs de ce genre, en nombre égal à celui des classes que l'on se propose d'obtenir. Chacun de ces classeurs présente des dimensions plus considérables que celles du classer qui le précède. Vu la faible longueur de chaque classer, on a pu lui donner sans inconvénient une section constante. Le sandsortirapparat donne un classement satisfaisant, quoique théoriquement moins rigoureux que celui de l'appareil primitif dont il dérive; il a d'ailleurs, sur ce dernier, l'avantage d'occuper moins de place et de présenter une remarquable souplesse dans ses dimensions, en raison des variations qu'on peut faire subir à la distance de deux classeurs élémentaires consécutifs. La *fig. 6* de la Pl. II donne la coupe longitudinale d'un appareil à quatre éléments: la *fig. 7* en donne le plan et la *fig. 8* une coupe transversale: *ab* et *cd* sont les deux plans inclinés dont il a été question ci-dessus, *bc* constitue la fente qui sert à l'entrée du courant ascendant, qui, amené par les tuyaux T, débouche en O dans la caisse qui contient la gouttière *abcd*. Les conduits *g*, munis des vannes *r*, servent à l'écoulement des produits déposés dans chaque caisse.

L'appareil peut passer 800 litres de lavée par minute. La section d'un classer élémentaire quelconque est double de celle du classer immédiatement précédent, ce qui correspond à un rapport des dimensions homologues égal à  $\sqrt{2} = 1.414$ .

3° Sandsortirapparat Meinicke. Le sandsortirapparat Mei-

nicke (Pl. II) se compose d'une caisse en bois A dans laquelle le tuyau R amène un courant d'eau ascendant. La lavée arrive en M et la portion la plus légère s'écoule par le conduit N. Les produits les plus lourds descendent dans la caisse A et y subissent le classement par le courant d'eau ascendant. Dans le type primitif, qui date de 1887 (Pl. II, *fig. 12, 13, 14, 15*), l'eau de lavage était amenée par les quatre robinets  $R_1, R_2, R_3, R_4$ ; le courant fourni pour chacun d'eux, après avoir passé par les fentes projetées en  $p, p_2, p_3, p_4$ , rencontrait les produits qui, sous l'influence de la pesanteur, descendaient en  $q_1, q_2, q_3, q_4$ , et il déterminait leur séparation en quatre classes qui sortaient respectivement par les conduits  $d_1, d_2, d_3, d_4$ . Le canal *d* réglable au moyen de la vanne  $\delta$  permettait de réunir, à la portion de la lavée entraînée directement en N, les parties les plus légères descendues en B. A la disposition ancienne (dont la *fig. 12* donne une coupe verticale, la *fig. 13* une projection verticale dans un plan perpendiculaire, la *fig. 14* une projection horizontale et la *fig. 15* une coupe par le plan de symétrie  $q_3 d_3$  de l'un des deux conduits d'écoulement, perpendiculairement au plan de la *fig. 12*), on a apporté des modifications dans la direction de l'écoulement des produits et on a de plus supprimé les robinets  $R_1, R_2, R_3$ , et bouché les fentes  $p, p_2, p_3$ .

On a obtenu ainsi l'appareil actuel dont la *fig. 9* donne une première projection verticale, la *fig. 10* une projection verticale sur un plan perpendiculaire à la précédente et la *fig. 11* une projection horizontale, figures sur lesquelles les lettres ont la même signification que sur les *fig. 12, 13, 14, 15*, R désignant le canal unique d'arrivée de l'eau de lavage; les éléments de la construction et du fonctionnement de l'appareil sont donnés par le tableau suivant. En appelant

*b* la largeur intérieure FG de la caisse A;  
*b*<sub>1</sub> — extérieure CD de cette caisse;



$L_1$	la longueur KX;			
$L_2$	la dimension horizontale ZY de la caisse A;			
$h_1$	la différence de niveau entre KX et le fond du tuyau	$d_1$	} au point où il sort de l'appareil;	
$h_2$	—	—		$d_2$
$h_3$	—	—		$d_3$
$h_4$	—	—		$d_4$
$h_5$	—	KX et le fond du tuyau N;		
H	—	KX et VT.		

on aura :

Valeur de $b$ en millimètres . . . . .	250 à 350		350 à 700		700 à 1.100	
$L_1$ . . . . .	2.250		2.250		2.250	
$L_2$ . . . . .	750		900		1.050	
H . . . . .	1.550		1.730		2.050	
$b_1$ . . . . .	$b + 80$		$b + 100$		$b + 100$	
Dimensions des grains en millimètres.						
$h_1$ . . . . .	0,25	2,5	0,25	2,5	0,25	2,5
$h_2$ . . . . .	550	660	600	710	700	760
$h_3$ . . . . .	550	610	600	660	700	760
$h_4$ . . . . .	500	560	500	560	600	660
$h_5$ . . . . .	500	510	500	560	600	610
$h_5$ . . . . .	400	400	400	400	450	450

L'appareil peut recevoir en une minute 10 litres de lavée par centimètre de largeur intérieure, la lavée contenant en volume 6 à 8 p. 100 de matières solide.

Cet appareil, qui fonctionne actuellement à Churprinz (Saxe), à Clausthal et à Lauthenthal (Hartz), dans les conditions qui seront indiquées plus loin, se différencie essentiellement du sandsortirapparat d'Ems en ce que l'influence du ralentissement de la lavée à l'intérieur de l'appareil n'entre pas en jeu. Or, dans les classeurs où ce ralentissement intervient, la sorte qui se dépose la première est la sorte la plus volumineuse et la plus lourde, et l'eau de lavage sert principalement à séparer de la sorte qui se dépose et à réunir aux portions entraînées par le courant de la lavée, les portions les plus fines; l'eau de lavage vient donc augmenter le volume de la lavée et par suite, diminuer son degré de concentration. Dans l'appareil Meinicke, au contraire, c'est la classe la

plus légère qui se sépare la première, et l'on n'introduit qu'une seule fois de l'eau de lavage au sein de la lavée. On réalise ainsi un classement plus parfait, en même temps qu'une économie d'eau de lavage et l'on évite de diluer inutilement la lavée (\*).

4° Roundbuddle. Le seul perfectionnement à signaler de cet appareil consiste dans la forme convexe et légèrement bombée donnée aux roundbuddles de l'atelier dit « Pochwerk » de la préparation mécanique de Clausthal. Cette disposition a pour objet de retenir plus aisément les produits galéneux qui s'accumulent à la partie supérieure de la table, tandis que l'écoulement de la blende qui se réunit à la périphérie de l'appareil, se trouve accéléré par l'inclinaison plus forte que présente sur cette zone la table de lavage.

#### 6° Traitement des schlamms.

(a) *Méthode de traitement.* — Les schlamms, c'est-à-dire les produits de grosseur inférieure à 0<sup>mm</sup>,25 qui ont été isolés dans le classement de volume des sables, sont soumis à un traitement qui s'exécute en deux temps, le premier consistant comme pour les sables (d'après les idées que professent les ingénieurs allemands), en un classement de volume; et le second en un classement par équivalence.

(\*) On doit reconnaître que l'application de cet appareil dans l'atelier de Clausthal n'a pas donné les résultats qu'on était en droit d'en attendre. Il faut en chercher la raison dans la nature même des sables traités à Clausthal. La sorte la plus volumineuse fournie par cet appareil contient, en effet, une proportion trop élevée de gros grains qui roulent sur les tables de lavage avec une rapidité qui exclut tout classement méthodique. Dans le Spitzkasten au contraire la quantité de schlamms mélangés aux gros grains est assez considérable pour ralentir le mouvement de ceux-ci sur les surfaces de lavage.

A. **Classement de volume.** Les appareils que ces ingénieurs rapportent à ce mode de classement, sont les caisses pointues, les labyrinthes et le spitzluttenapparat Meinicke. Le classement par les trommels a été exceptionnellement appliqué à ce traitement dans l'atelier de Saint-Andreasberg (Hartz), où l'on fait passer à travers un trommel à trous de  $1/8$  de millimètre, des schlamms que l'on a passés dans un petit broyeur formé de deux cylindres de diamètres inégaux dont le plus grand est seul animé d'un mouvement de rotation. Ce traitement appliqué à des minerais très riches, sera étudié en détail dans la deuxième partie de ce mémoire.

B. **Classement par équivalence.** Le classement par équivalence s'opère sur des tables. Ce sont des tables dormantes ordinaires, des tables à balais, des tables à toile, des tables à secousses longitudinales, des tables Rittinger, des tables tournantes, des roundbuddle et des tables de Linkenbach. Les deux premiers types de tables ne méritent aucune mention. Les tables à toile sont actuellement représentées en Saxe par un type récent, la table Stein, qui sera décrite plus loin. Les tables à secousses longitudinales que certains ingénieurs, comme on l'a vu plus haut, apprécient pour le traitement des sables, ne sauraient être recommandées pour le traitement des schlamms. La diminution dans l'amplitude de la secousse et dans la tension de la table qu'exige la petitesse des grains traités, exagère encore la faiblesse de production déjà sensible dans le traitement des sables au moyen de cet appareil. En outre le tassement que subissent les schlamms nuit à la perfection du classement. Ces inconvénients déjà signalés par M. l'Ingénieur en chef des mines Henry (*Annales des mines*, 6<sup>e</sup> série, tome XIX, 1871 p. 358) n'ont pas empêché les ingénieurs de Laurenburg de persévérer dans l'emploi de ces appareils. Il faut en chercher la raison dans la facilité avec laquelle ces tables viennent

prendre place dans une préparation mécanique telle que celle de Laurenburg (où les variations fréquentes de la composition du minerai à traiter ont conduit à adopter un type d'atelier discontinu), et dans la souplesse avec laquelle elles se prêtent à des repassages dont le nombre varie avec la nature même des produits à traiter. La table Rittinger, qui jouissait, il y a peu de temps encore d'une telle faveur qu'on allait jusqu'à la considérer comme un élément nécessaire de toute préparation mécanique, vient de trouver dans la table de Linkenbach une redoutable concurrence. Je renvoie, pour la comparaison de ces deux appareils, à la description que je ferai de cette dernière table. Les tables tournantes, dont le travail est avec raison regardé comme satisfaisant, sont cependant considérées aujourd'hui comme inférieures aux tables fixes, en raison des oscillations que la rotation de la surface de lavage ne manque pas d'imprimer à la lavée. Ce défaut est assez sensible pour que l'emploi du roundbuddle (que l'on s'accorde en général à regarder comme un appareil peu convenable pour le traitement des schlamms) ait été adopté sur une grande échelle dans le récent atelier de Weiss. C'est aussi ce qui explique le succès de la table fixe construite par M. Linkenbach qui, en substituant des jets d'eau réglables aux balais du roundbuddle, a donné à ce dernier appareil la précision qui lui manquait, sans faire perdre à la nouvelle table les avantages que les surfaces fixes présentent pour le lavage si délicat des matières fines. Il convient d'ajouter que la forme convexe pour les tables de lavage est aujourd'hui préférée à la forme concave qui donne lieu à des pertes plus élevées. Toutefois, dans le cas de tables superposées, on adopte en général, pour la table supérieure, la forme concave, dans le but de faciliter la surveillance du travail sur la table inférieure. Dans les tables de Linkenbach superposées, on a cependant, en proscrivant cette forme, pré-



férent sacrifier cette facilité d'accès des tables inférieures à la réduction des pertes dans le traitement.

(b) *Appareils.*

1° *Spitzlutenapparat Meinicke.* Le spitzlutenapparat Meinicke, (Pl. II, *fig.* 16 à 19 et Pl. III, *fig.* 1 et 2), est tout entier contenu à l'intérieur d'un cylindre de tôle surmontant un tronc de cône dont la petite base est la base inférieure. La lavée arrive à la partie supérieure de l'appareil par le canal  $a$  et l'entonnoir  $b$  qui le verse dans un tuyau  $c_1$  rétréci à sa partie supérieure. Le canal  $d_1$ , limité par deux surfaces tronconiques, reçoit à son tour cette lavée qu'il amène dans l'espace annulaire  $e_1$ , où elle s'élève pour redescendre au delà du bord supérieur de l'enveloppe extérieure de  $e_1$  dans un deuxième espace annulaire  $e_2$ . A la partie inférieure de ce dernier, la lavée s'engage dans le canal  $d_2$  dont la forme est analogue à celle du canal  $d_1$  et qui la conduit dans l'espace  $e_2$  où elle suit une marche ascendante comme dans l'espace correspondant  $e_1$ . Le canal  $f$ , qui entoure l'appareil, reçoit la lavée et l'amène au conduit  $f_1$ . Des enveloppes concentriques à celles qui limitent les espaces  $e_1$  et  $d_1$  d'une part,  $e_2$  et  $d_2$  de l'autre, déterminent dans chacun de ces espaces des subdivisions  $g_1, h_1, h'_1$  et  $g_2, h_2, h'_2$  qui aboutissent, les premières dans l'espace  $i_1$  et les secondes dans l'espace  $i_2$ . L'espace  $i_1$  communique avec le tuyau d'évacuation  $k_1$ , et l'espace  $i_2$  avec le tuyau correspondant  $k_2$ . L'eau de lavage est amenée dans le premier de ces deux espaces  $i_1$  et  $i_2$  par le tuyau  $l_1$  et dans le second par le tuyau  $l_2$ ; les prolongements  $h''_1$  et  $h''_2$  mettent les canaux  $h_1$  et  $h_2$  respectivement en communication avec les espaces  $c_1$  et  $c_2$ . Dès lors, les grains les plus lourds (c'est-à-dire la première classe) descendent de l'espace annulaire  $e_1$  par  $g_1, h_1$  et  $h'_1$  dans l'espace  $i_1$ , d'où ils sortent par le tuyau  $k_1$ . La deuxième classe de schlamms provenant de  $e_2$  se rassem-

ble de même dans l'espace  $i_2$ , d'où elle est évacuée par le tuyau  $k_2$ . Enfin la troisième classe, c'est-à-dire la plus légère, est reçue dans le canal  $f$  et est entraînée par le courant qui sort de l'appareil.

Toutefois les grains d'une grosseur déterminée entraînent, dans leur chute, des grains plus fins appartenant aux classes suivantes, et c'est à l'élimination de ces derniers que sont destinés les deux courants d'eau de lavage amenés, l'un par le tuyau  $l_1$  et l'autre par le tuyau  $l_2$ . L'eau de lavage rencontre, dans leur chute, les grains de la classe correspondante et entraîne les schlamms les plus légers par les canaux  $h''_1$  (et  $h''_2$ ) dans les espaces  $c_1$  (et  $c_2$ ) et de là dans le canal suivant où ils accompagnent, dans leur descente, les grains de la sorte immédiatement inférieure. Les canaux  $h_1, h_2$  peuvent, soit entourer complètement l'appareil, soit au contraire se diviser en une série de conduits distincts  $a, a', a''$ ... limitées par les tôles courbes  $m$  (Pl. II, *fig.* 20); cette division doit, dans ce cas, être également appliquée aux canaux  $h'_1$  et  $h'_2, h''_1$  et  $h''_2$ . On réalise ainsi une économie d'eau de lavage. On peut d'ailleurs la faire entrer dans le canal  $h'_1$  (ou  $h'_2$ ) avec une vitesse supérieure à la vitesse dont elle est animée à sa sortie du canal  $h''_1$  (ou  $h''_2$ ), ou inversement; il suffit, pour cela, de choisir en conséquence les dimensions de la section des canaux  $h_1$  et  $h'_1$  (ou  $h_2$  et  $h'_2$ ); il faut, en tout cas, que les canaux  $h_1, h'_1, h''_1$  (ou  $h_2, h'_2, h''_2$ ) aient la même section à leur point de jonction.

Indépendamment de la *fig.* 16 qui représente la coupe verticale de l'appareil, de la *fig.* 19 qui donne une partie de la même coupe à plus grande échelle, de la *fig.* 17 qui est la projection horizontale correspondant à la *fig.* 16, et de la *fig.* 20 qui donne le développement de l'une des surfaces coniques limitant le canal  $h_1$ , la Pl. II contient la coupe horizontale suivant I, II (*fig.* 18) de la partie co-

nique. La Pl. III donne (*fig. 1*) la vue d'ensemble et (*fig. 2*) la coupe suivant AB de l'appareil.

Les éléments de cet appareil, que M. Meinicke a mis en service pour la première fois au mois d'août 1888 dans l'atelier de Clausthal, sont contenus dans le tableau suivant dans lequel sont désignés par :

- D le diamètre extérieur de la partie cylindrique;  
 $h_1$  la différence de niveau entre le bord supérieur de l'entonnoir  $b$  (voir Pl. III, *fig. 1*) et le fond du canal  $f_1$ ;  
 $h_2$  la différence de niveau entre ce même bord et l'orifice de sortie  $\alpha$  des tuyaux  $K_1$  ou  $K_2$ ;  
 $h_3$  la différence de niveau entre l'orifice  $\alpha$  et l'extrémité inférieure  $\beta$  de la partie tronconique.

Valeur de D en millimètres . . . . .	1.100	1.400
— $h_1$ — . . . . .	350	350
— $h_2$ — . . . . .	750	850
— $h_3$ — . . . . .	1.100	1.350
Lavée traitée par minute (en litres) . . . . .	200 à 250	300 à 400

Le spitzlutenapparat Meinicke présente, en raison de sa forme annulaire, les avantages suivants sur les appareils du même genre :

1° La répartition de la lavée entre les divers compartiments est parfaitement symétrique, les produits arrivant suivant l'axe de l'appareil et passant ensuite successivement de loge en loge jusqu'à la périphérie ;

2° La clarification de la lavée, sous l'influence de l'eau pure amenée par les tuyaux  $l_1$  et  $l_2$ , s'opère également d'une façon symétrique à partir de l'axe de l'appareil ;

3° L'appareil, dont chaque compartiment enveloppe le précédent, occupe une place bien autrement restreinte que les anciens appareils construits d'après le même principe ;

4° Enfin la forme annulaire permet de placer, à l'intérieur même de l'appareil, les organes de clarification,

qui, dans les classeurs ordinaires, sont relégués à l'extérieur et par suite sont plus encombrants.

Le seul atelier où l'on rencontre jusqu'ici cet appareil si récent, est celui de Clausthal, où il donne des résultats satisfaisants. Il n'est toutefois pas douteux que ces résultats seraient encore meilleurs, s'il était associé à des appareils mieux appropriés que le sandsortirapparat Meinicke, au lavage des sables traités au Clausthal (voir ci-dessus la note de la page 45). Si l'on substituait un spitzkasten au sandsortirapparat, on obtiendrait des résultats généraux plus satisfaisants et les avantages du spitzlutenapparat seraient mis plus nettement en évidence.

M. Meinicke a complété le spitzlutenapparat par un distributeur (Schlammaufgabevorrichtung) dont la Pl. III représente deux types de dimensions légèrement différentes. Les *fig. 3, 4, 5*, donnent les trois projections de l'un de ces appareils ; les *fig. 6 et 7*, la coupe verticale et la coupe horizontale de l'autre ; enfin la *fig. 8* est la projection de l'axe de ce dernier appareil sur un plan vertical perpendiculaire à celui de la coupe de la *fig. 6*.

Les matières à distribuer au spitzlutenapparat sont chargées dans un récipient cylindrique  $a$  au centre duquel tourne l'axe  $b$  qui porte un couteau  $c$  et au-dessus un tuyau perforé  $d$  qui amène une pluie d'eau. La vis sans fin  $e$  et la roue dentée  $f$  transmettent à l'axe  $b$  le mouvement que l'axe de la vis sans fin reçoit des poulies P. Le filetage que porte l'extrémité  $g$  de l'axe  $b$  détermine le mouvement de descente de l'axe  $b$  dès que celui de l'écrou  $h$  est arrêté. L'immobilisation de cet écrou  $h$  s'obtient en serrant l'écrou  $l$ , ce qui arrête le mouvement du pignon  $n$  et par suite celui de la roue dentée O qui engrène avec lui. Cette roue O est elle-même calée sur l'écrou  $h$ . La portion filetée  $g$  porte d'ail-



leurs une rainure longitudinale  $k$  dans laquelle s'engage un coin saillant fixé à la partie intérieure du moyeu de la roue  $f$ . Le couteau  $c$  décrit une surface hélicoïdale et découpe une tranche mince de matière, tandis que l'eau amenée par le tuyau  $d$  en assure la dilution. La sortie des produits s'effectue par les ouvertures  $i$  pratiquées dans l'axe vertical dont la coupe horizontale est donnée à part sur la droite de la *fig. 7*. Le couteau une fois arrivé au fond du récipient, on enlève les courroies motrices qui actionnent les poulies  $P$ , on desserre l'écrou  $l$ , et, en tournant une manivelle  $m$ , on détermine la rotation du pignon  $n$ , et, par suite, on peut remonter le couteau à sa position initiale. L'appareil est alors prêt à servir de nouveau. L'eau nécessaire au fonctionnement est amenée par le tuyau  $p$  dans le réservoir annulaire  $q$  qui participe à la rotation de l'axe  $b$ . Si cet axe  $b$  est creux, on peut l'utiliser comme canal d'amenée de l'eau. Il est d'ailleurs aisé de ne faire participer le tuyau  $d$  qu'à la rotation, et non au mouvement de descente de l'axe. La seule condition essentielle à réaliser dans l'installation de cet appareil, est de le placer à un niveau suffisamment élevé, et de lui fournir, au moyen d'un élévateur, les matières qu'il doit distribuer aux appareils suivants. L'absence d'un élévateur dans l'atelier de Clausthal oblige à charger les schlamms à la pelle dans le distributeur Meinicke. Cet inconvénient, auquel il serait bien facile de remédier, est une des raisons pour lesquelles les appareils de M. Meinicke ne sont pas en faveur à Clausthal.

Les éléments de l'appareil sont résumés dans le tableau suivant où l'on a désigné par :

- D le diamètre extérieur du cylindre  $a$ ;
- H sa hauteur;
- A la différence de niveau qui doit exister entre le fond du réservoir  $a$  et la partie supérieure des appareils à alimenter;
- V la capacité du cylindre  $a$ ;

Q le débit en litres par heure rapporté à un tour de l'axe vertical  $b$ .

Valeur de B en mètres . . . . .	1	1,5	2
H — . . . . .	A + 0,15	A + 0,20	A + 0,30
A — . . . . .	1	1	1
V en mètres cubes . . . . .	3/4	1 3/4	3
Q en litres . . . . .	2	4,5	8

2° Table Stein. — La Pl. III, qui représente la table à toile Stein, donne : 1° (*fig. 9*) une élévation parallèle à l'un des côtés de l'appareil; 2° (*fig. 12*) une élévation vue de l'autre côté; 3° (*fig. 11*) un plan; 4° (*fig. 10*) une vue parallèle à l'un des petits côtés de l'ensemble.

Cette table comprend :

I. Une base formée de deux poutres horizontales en bois  $a$  et de deux montants  $c$  également en bois, qui y sont assemblés (*fig. 9*). Sur la face intérieure du montant de gauche, est boulonnée une plaque de choc  $d$  en fer portant une rainure qui sert à guider la cheville  $e$  du cadre de la table; la pièce  $f$ , placée également contre la face intérieure du même montant, sert de support au canal qui amène la lavée, et la tige filetée  $g$  traverse un écrou fixé à la partie supérieure du montant vertical  $c$  qui porte sur sa face extérieure le ressort spiral  $h$ . Le montant vertical  $c$ , de droite, porte, sur sa face intérieure, des pièces  $d$ ,  $f$ ,  $g$ , identiques à celles qui viennent d'être désignées par les mêmes lettres; mais, sur sa face extérieure, se trouve le palier  $i$  qui reçoit l'arbre  $k$ , le rochet à trois dents  $l$ , la poulie motrice  $m$ , et le volant  $n$ .

II. Un cadre de choc placé entre les deux montants  $c$  et muni sur chacun de ses petits côtés d'une cheville-guide de 10 millimètres de diamètre dirigée à l'extérieur du cadre. La cheville de gauche porte deux écrous, l'un,  $p$ , qui sert à régler l'amplitude du choc, et l'autre,  $q$ ,

placé à l'extrémité de cette cheville et destiné à régler la tension du ressort spiral *h*. La cheville de droite détermine le déplacement de la table, par l'intermédiaire d'une fourche, d'un levier *r*, d'un boulon d'accouplement, et du rochet à trois dents *l*, déjà mentionné.

Le cadre porte, en outre, deux cylindres en tôle de 22 centimètres de longueur et de 22 centimètres de diamètre dont l'axe est incliné de 1/10 sur l'horizon; la distance d'axe en axe des deux cylindres est de 67 centimètres. La partie postérieure de l'axe du cylindre de droite (*fig.* 9 et 11) porte une roue à rochet *t* de 56 dents, et dont le diamètre est de 183 millimètres. Cette roue, qui est fixée sur l'axe du cylindre au moyen de deux écrous, est placée à l'extérieur du cadre. Entre les dents de cette roue s'engagent les deux doigts *v* et *w*, dont l'un (*v*), fixé au canal qui amène la lavée, et l'autre (*w*), au cadre mobile. Quand le déplacement du cadre est égal aux 5/4 de l'intervalle qui sépare les deux dents consécutives, le cylindre tourne d'une dent vers l'arrière, tandis que le doigt *w* s'engage dans la dent suivante pour conserver cette position pendant la durée de la secousse.

Le cylindre de gauche porte, à sa partie antérieure, un coussinet dont la position, réglable à l'aide d'une vis, permet de répartir convenablement le poids de la toile malgré l'inclinaison que celle-ci présente vers l'avant.

La toile sans fin *x*, qui passe sur les deux cylindres, a 205 millimètres de large; elle est en caoutchouc. Un petit rouleau placé contre la partie inférieure de la toile, en assure la tension; la partie supérieure de celle-ci passe au-dessus d'une surface plane *u* fixée au cadre et portant, à sa partie inférieure, deux conduites d'eau; un système de trois trous, pratiqués dans chacun de ces conduits, distribue l'eau sur la surface *u* et, par suite, au-dessus de la toile dont l'adhérence à la surface *u* est ainsi rendue impossible et dont l'usure par frottement est nota-

blement diminuée. Pour assurer l'indépendance du cadre et permettre d'en modifier à volonté l'inclinaison, on l'a suspendu par trois crochets *m* aux leviers *l* vissés sur l'axe fileté *z*, qui repose lui-même sur les montants *c*; on modifie l'inclinaison de la toile au moyen de la vis *S*.

III. *Une conduite n.* — Cette conduite, placée à une très faible distance de la table de lavage, est supportée à droite et à gauche par les pièces *f*. Deux crochets *γ* la réunissent aux leviers *L* et à l'axe *z*, si bien qu'elle peut suivre la toile de lavage, quelle que soit l'inclinaison donnée à cette dernière. Ce canal *n* sert à amener la lavée, qu'il reçoit de la trémie *M* destinée à la concentrer, en envoyant, par le tuyau *T*, les eaux en excès aux bassins de dépôt. Quatre orifices munis de vannes à vis donnent accès, chacun à une portion de la lavée sur un distributeur distinct *N* qui l'étale en couche mince. La trémie *M*, recevant par exemple d'un classificateur une lavée composée de 3/4 d'eau et de 1/4 de matières solides, livre à la table les matières solides qui constituaient 1/4 de la lavée primitive, et une quantité égale d'eau, soit 1/4 de cette même lavée, tandis que le reste de l'eau s'échappe par le tuyau *T*. L'extrémité de gauche (voir *fig.* 9) de la conduite *n* présente un réservoir recouvert d'un tamis; un tuyau de zinc *q* y prend l'eau nécessaire à l'arrosage de la toile. Le tuyau *Q* sert de trop-plein à ce réservoir. Les compartiments *D* aboutissent aux becs en tôle *F*, qui évacuent les diverses sortes de minerai séparées sur la table. Le canal *G* reposant sur les deux supports *H*, sert, non seulement à soutenir les becs *F*, mais encore à recevoir les eaux qui se rendent aux bassins de dépôt.

Cette table est donc à la table Rittinger ce que la table Hartweg est à la table à secousses ordinaire. Le minerai s'y répand comme sur la table Rittinger en lignes diver-



gentes à partir de l'angle supérieur qui reçoit la lavée. Cette table, qui fonctionne dans l'atelier d'Himmelfahrt, y est conduite à raison de 130 chocs par minute; au bout de 53 chocs, chaque grain a décrit la surface utile totale de la toile. Elle reçoit 43 litres de lavée par minute. Un perfectionnement introduit à Himmelfahrt consiste dans la substitution, aux compartiments D portés par la table, de divisions mobiles et par suite aisément réglables, installées dans la rigole fixée au sol, qui reçoit les produits lavés.

3° Table de Linkenbach. — Les tables de Linkenbach n'ayant été encore l'objet d'aucune publication en France, je crois intéressant d'emprunter à l'ouvrage allemand publié par M. Linkenbach « *Die Aufbereitung der Erze* », les Pl. IV, *fig.* 1 à 4 et III, *fig.* 13, qui représentent trois types différents de ces tables. Le principe commun à tous ces types se résume dans la substitution de jets d'eau aux balais du roundbuddle. Les tables de Linkenbach sont d'ailleurs ou simples ou superposées.

La table simple, dit M. Linkenbach, se compose d'un cône convexe formé d'une couche de ciment de 8 millimètres d'épaisseur, reposant, soit sur un massif brut de maçonnerie, soit sur des fondations voûtées, soit sur une masse de béton, soit sur une charpente en fer revêtue d'une couche de béton de 50 millimètres.

La Pl. IV (*fig.* 1 et 2) représente en coupe verticale et en plan une table de Linkenbach de 8 mètres de diamètre; *a* est la table proprement dite formée d'un massif de maçonnerie ordinaire revêtue d'une couche unie de ciment; *b* est un arbre vertical qui sert à produire la rotation des appareils de distribution de la lavée et celle des dispositifs destinés au lavage ou à l'évacuation des produits. Cet arbre reçoit son mouvement de rotation par l'intermédiaire de la roue dentée *c* qui engrène avec la vis sans fin *d* calée sur l'arbre de transmission. L'appareil d'évacuation *g*, les tuyères de dégrossissage *h* et les tuyères de finissage *i* sont suspendues par des armatures à des bras, qui, au nombre de huit, sont boulonnés à la rondelle *f* calée sur l'arbre vertical *b*; la gouttière annulaire *k* qui, reposant sur ces bras, est entraînée dans

le mouvement de rotation, reçoit, par le tuyau fixe *l* qui est muni d'un robinet de réglage, l'eau nécessaire au lavage. Le tuyau fixe *m* sert à amener la lavée; il suit le canal *n*, puis s'élève verticalement jusqu'à la gouttière circulaire *o* du distributeur *o* où elle débouche. Ce distributeur se compose, indépendamment du canal d'arrivée de la lavée, d'un compartiment qui donne la lavée et d'un compartiment qui donne l'eau de lavage; les tuyaux *p* amènent l'eau de la gouttière *k* aux diverses tuyères, et la rigole fixe *q* comprend trois compartiments concentriques de même largeur, dont l'un, *q'*, le plus voisin de la table, reçoit le stérile, celui du milieu *q''* les intermédiaires, et le dernier *q'''*, situé à l'extérieur, les produits finis. Le passage des produits intermédiaires et des produits finis, de la table aux compartiments correspondants des rigoles, s'opère au moyen de l'appareil *g* suspendu au bras *c* et animé ainsi du mouvement général de rotation. Cet appareil *g* se compose d'une armature circulaire formée de cornières qui entoure la circonférence extérieure de la table; cette armature porte des feuilles de zinc qui se recouvrent les unes les autres, les feuilles destinées à l'évacuation des produits intermédiaires devant se terminer au compartiment *q''*, tandis que les feuilles qui sont appelées à jouer le même rôle pour les produits finis, doivent se prolonger jusqu'au compartiment extérieur *q'''*. Le passage du stérile dans le compartiment *q'* contigu à la table, s'opère sans le concours de l'appareil *g* qui, par suite, n'est pas muni de feuilles de zinc sur l'étendue du compartiment correspondant. Les canaux *r''* et *r'''* conduisent respectivement les produits déposés en *q''* et *q'''* aux bassins de dépôt destinés, les uns aux produits intermédiaires, les autres aux produits finis; le canal *r'*, qui dessert le compartiment *q'*, se rend directement aux bassins de dépôt du stérile.

L'opération se passe, en général, sur cette table, de la même façon que sur la table tournante. La lavée est donnée sur les 3/8 de la surface de la table, dont 4/8 sont occupés par les intermédiaires et 1/8 par les produits finis. Cette répartition des surfaces est d'ailleurs susceptible de modifications; il suffit de changer le rapport établi dans le distributeur entre le compartiment de la lavée et celui de l'eau de lavage, et de munir l'appareil d'évacuation de feuilles de zinc d'une largeur convenable.

Si l'on veut obtenir sur ces tables deux sortes de produits finis, au lieu d'une seule, le canal *q* doit avoir un compartiment spécial pour recevoir cette nouvelle sorte, et l'appareil *g* doit être muni de feuilles de zinc de largeur convenable pour l'évacuation

de ces produits dans le compartiment qui leur est destiné. Il faut de plus établir pour le finissage et le balayage de la deuxième sorte de produits finis, une tuyère mobile capable d'arroser le tiers inférieur de la surface de la table, et, après l'expulsion de la deuxième sorte, une tuyère plus large entre en jeu pour balayer les produits intermédiaires de la deuxième sorte, dont la richesse est plus élevée. Cette deuxième classe d'intermédiaires est en général envoyée à celui des compartiments de la rigole *q* qui reçoit la première sorte d'intermédiaires, et ces deux classes d'intermédiaires passent ensemble au traitement ultérieur. On peut d'ailleurs recueillir à part, dans un cinquième compartiment de la rigole *q*, la seconde sorte de produits intermédiaires. Dans le cas où l'on produit deux classes de produits finis, la surface de la table se divise comme celle d'une table tournante, savoir : 2/8 pour la lavée, 3/8 pour la première classe d'intermédiaires, 1/8 pour la deuxième sorte de produits finis, 1/8 pour la deuxième classe d'intermédiaires, 1/8 pour la première sorte de produits finis.

La Pl. IV, (*fig.* 3 et 4) donne une autre disposition de la table de Linkenbach. Cette table, de 7 mètres de diamètre, sert à la production de deux sortes de produits finis, et la rigole qui entoure sa circonférence extérieure comprend dès lors trois compartiments concentriques. La surface de la table est construite comme dans la table précédente; mais on constate des différences essentielles dans les dispositifs qui assurent la rotation du distributeur et de l'appareil d'évacuation, ou qui amènent l'eau destinée au lavage ou à l'expulsion des matières. L'axe creux *b* est mis en communication, par la boîte à étoupe *c*, avec le tuyau *d* qui amène l'eau de lavage. A cet axe est suspendu le distributeur *e*, dans lequel le tube *g* amène directement les matières provenant d'un appareil à caisses pointues. La gouttière d'évacuation *h*, fixée sur une armature formée de cornières, est portée par des galets *i*, qui se déplacent sur une voie circulaire *k*; elle se compose de vingt-quatre segments égaux et distincts, dont chacun est muni d'un tuyau d'évacuation *l*. Les tuyaux *l* ont chacun une longueur différente, qui dépend de la nature du produit qu'ils doivent conduire dans le compartiment correspondant de la rigole d'évacuation. Ces tuyaux de longueur différente remplacent les feuilles de zinc de largeur différente qui remplissent le même office dans la table précédemment décrite.

Les bras *m*, au nombre de quatre, sont formés par des tuyaux à gaz solidement assemblés, d'une part à l'armature qui porte la

gouttière d'évacuation, et d'autre part à l'arbre vertical *b* dont la cavité intérieure communique avec celle des tuyaux *m*. A ces quatre bras sont fixées les tuyères de lavage *n* et *n'* et celles d'expulsion des produits finis *o* et *o'*, qui peuvent être déplacées à volonté comme les premières. Le mouvement de rotation est obtenu au moyen de la chaîne *s* qui passe sur les poulies *q* et sur la gorge *x* fixée à l'extérieur de l'armature qui porte la rigole d'évacuation; cette chaîne entoure d'autre part la poulie *p* calée sur l'arbre de transmission. La disposition permet de donner à la chaîne la tension nécessaire.

Les quatre bras *m* transmettent à l'arbre creux *b* et aux appareils de lavage le mouvement de rotation.

Le travail sur cette table est le même que sur la précédente.

A l'exception du stérile qui se rend directement aux bassins de clarification, les produits obtenus sont recueillis dans les bassins *u* destinés aux intermédiaires et dans les bassins *u'* et *u''* réservés aux produits finis.

Dans les grands ateliers de préparation mécanique, chaque classe de schlamms qui doit subir le classement par équivalence se rend à une table spéciale. Dès lors, comme dans la plupart des ateliers, on doit, pour obtenir un classement régulier, produire trois sortes de schlamms, on est conduit à l'emploi de trois tables. Toutes les fois que la place le permet, on doit installer des tables simples analogues à celles que je viens de décrire; mais si le défaut de place rend cette disposition impraticable, on monte sur le même axe deux ou trois tables ou même un plus grand nombre de ces appareils, qui, comme les tables simples, opèrent chacune séparément le lavage d'une classe déterminée de schlamms.

La Pl. III (*fig.* 13) représente la disposition de trois tables de Linkenbach superposées; chacune de ces trois tables donne de la galène et de la blende marchandes comme si les deux autres n'existaient pas. Toutefois les produits identiques fournis par les tables superposées sont réunis dans une même conduite. La table supérieure a 6 mètres de diamètre, la table intermédiaire 6<sup>m</sup>,50, et la table inférieure 7 mètres. La surface de chaque table est formée d'une couche de ciment de 80 millimètres dont la partie supérieure est parfaitement unie. Cette couche repose sur une armature en fer K, à huit bras, qui, pour la table inférieure, repose tout autour de la table sur un massif de maçonnerie, et, pour les autres tables, est supportée par huit montants en fonte *l*. La table supérieure reçoit la sorte la plus grosse, la table inférieure



la sorte la plus fine, la table du milieu la sorte de grosseur intermédiaire. Les tables sont fixes; les seules pièces animées d'un mouvement de rotation sont l'axe creux *b*, les distributeurs *c c'* qui y sont fixés, ainsi que les tuyères de lavage *d d'* et les tuyères de balayage des produits *e e'*; la gouttière d'évacuation *f''* de la table inférieure est également entraînée dans ce mouvement; les gouttières *f* et *f'*, relatives aux deux autres tables sont, au contraire, immobiles.

Les tuyaux *g g' g''* amènent les trois sortes de schlamms. Le travail sur les tables s'opère absolument de la même façon et à l'aide des mêmes dispositifs que sur les tables isolées.

Les différents produits obtenus sur chaque table sont évacués dans la rigole *h* (qui n'existe que sous la table inférieure de l'appareil) par l'intermédiaire de la gouttière *f''* qui porte des tuyaux *i* de longueur variable. Les produits de la table inférieure s'y rendent directement; ceux des deux autres tables sont d'abord reçus dans une gouttière fixe qui fait le tour de la table correspondante. Le fond de la gouttière fixe est constitué par une série d'entonnoirs juxtaposés, dont les pointes, distantes l'une de l'autre de 0<sup>m</sup>,60, débouchent dans des tuyaux, par lesquels les produits de la table la plus élevée se rendent à la gouttière fixe de la table intermédiaire, d'où les produits correspondants des deux tables supérieures sont conduits ensemble à la rigole *f''*.

Le mouvement de rotation est réalisé comme pour les tables simples.

Depuis l'époque (1886) où M. Linkenbach donnait les descriptions que je viens d'emprunter à son livre, daté de 1887, la construction de ces tables a reçu des perfectionnements qui méritent une mention.

Tout d'abord, on semble avoir renoncé aux tables superposées dont le seul représentant se trouve dans l'atelier d'Ems et qui présentent le grave inconvénient de rendre impossible l'accès des deux tables inférieures. Il suffit d'être entré dans cet atelier pour s'apercevoir qu'on ne saurait se rendre compte du travail qui s'opère sur ces deux parties de l'appareil. Les inconvénients résultant des oscillations que présentent les tables tournantes

superposées ne sont pas à redouter pour les tables fixes de Linkenbach; mais l'ombre que porte chaque surface sur celle qui se trouve immédiatement au-dessous, place cette dernière dans une obscurité très peu favorable à la conduite du lavage.

De plus, dans les tables primitives qui viennent d'être décrites, l'appareil d'évacuation à tuyaux de longueur différente n'avait été combiné qu'à une commande par chaîne. Ce mode de transmission a été complètement abandonné et remplacé par la commande à engrenage qui est figurée sur la Pl. IV, (*fig. 1 et 2*) et qui présente l'avantage de faciliter l'accès de l'appareil. On a de plus renoncé à l'emploi des feuilles de zinc de largeur variable dont le réglage est plus difficile que celui des tuyaux de longueur variable. Enfin le type d'arbre creux de la Pl. IV (*fig. 3 et 4*) a été substitué à la rigole annulaire K, qui, dans la table représentée par les *fig. 1 et 2* de la même planche, a l'inconvénient de surcharger, à sa partie supérieure, l'arbre vertical (\*).

Le diamètre qui, dans les tables tournantes, ne dépasse que rarement une largeur de 5 mètres, peut atteindre dans la table fixe de Linkenbach une valeur bien plus considérable. Cet appareil présente, à ce point de vue, une élasticité qui permet de l'appliquer au traitement de schlamms de diverses grosseurs, en modifiant ses dimensions. C'est ainsi que l'on emploie à Ems des tables de 6 mètres, 7 mètres et 8 mètres pour des schlamms de trois grosseurs, la troisième sorte lavée sur la plus grande table étant celle dont les grains sont les plus fins. L'inclinaison de la table, qui doit atteindre la plus

(\*) C'est l'ensemble de ces dernières dispositions que les ateliers de construction Humboldt de Kalk (près Cologne) ont adoptées pour les tables qu'ils construisent actuellement et qui sont destinées aux préparations mécaniques des phosphates de Saint-Symphorien, près Mons (Belgique).

grande valeur pour les grains les plus gros, est, à Ems, de 1/9 pour la table de 6 mètres, de 1/10 pour celle de 6<sup>m</sup>,50, et de 1/12 pour celle de 8 mètres. La vitesse de rotation est de trois tours par minute. On traite sur chaque table 120 litres de lavée par minute, en consommant 150 litres d'eau dont les 2/3 servent au lavage proprement dit et 1/3 seulement au balayage des produits lavés. La force motrice est de 0<sup>ch</sup>,1 par table; la lavée ne doit pas contenir en poids plus de 10 p. 100 de matières solides. Le rendement, rapporté au poids de schlamms traités par les tables de Linkenbach employés à Ems, est exprimé par les chiffres suivants :

GROSSEUR DES GRAINS	DIAMÈTRE de la table de Linkenbach	POIDS par heure sur chaque table
	millimètres	kilogrammes
1 <sup>re</sup> sorte (la plus grosse) . . . . .	6.000	720
2 <sup>e</sup> — . . . . .	7.000	660
3 <sup>e</sup> — (la moins grosse) . . . . .	8.000	600

Il suffit pour un ensemble de huit tables de deux ouvriers assistés d'un aide pour l'extraction à la pelle des produits déposés dans les bassins, soit trois ouvriers en tout, ce qui donne par table 3/8 de journées de main-d'œuvre par table.

Les éléments sont tous proportionnels au nombre des tables, même pour les tables superposées, sauf en ce qui concerne la force motrice qui, pour un groupe de trois tables, n'est que de 0<sup>ch</sup>,2.

Le tableau suivant donne (\*) :

(\*) Il est essentiel de signaler l'exagération de certains chiffres donnés pour les tables Rittinger. On a annoncé que ces appareils peuvent traiter 3 à 6 tonnes par 10 heures, tandis qu'en réalité le chiffre de 1 tonne doit être considéré comme un maximum.

1° Les chiffres relatifs aux tables Rittinger qui ont été donnés par M. Henry à propos de l'atelier de Przibram (*Annales des mines*, 7<sup>e</sup> s., t. II, 1872, p. 292);

2° Les chiffres actuels admis sur les bords du Rhin relativement aux tables Rittinger de même dimension (2<sup>m</sup>,40 de long sur 2<sup>m</sup>,40 de large);

3° Les chiffres obtenus à Ems dans le traitement sur les tables de Linkenbach.

	TABLES			
	de Rittinger (Przibram)	de Rittinger (Prusse rhénane)	de Linkenbach	
Nombre de chocs par minute.	Gros . . . . .	200	120	»
	Moyen . . . . .	240	150	»
	Fin . . . . .	240	240	»
Nombre de tours par minute.	Gros . . . . .	»	»	3
	Moyen . . . . .	»	»	»
	Fin . . . . .	»	»	»
Amplitude du choc . . . . .	Gros . . . . .	20 <sup>mm</sup>	40 <sup>mm</sup>	»
	Moyen . . . . .	13 <sup>mm</sup>	25 <sup>mm</sup>	»
	Fin . . . . .	13 <sup>mm</sup>	15 <sup>mm</sup>	»
Quantité de lavée traitée en litres par minute . . . . .	Gros . . . . .	3	12	120
	Moyen . . . . .	1,5	10	120
	Fin . . . . .	0,7	6 à 7	120
Proportion en poids de matières solides dans la lavée.	Gros . . . . .	»	20 p. 100	9 p. 100
	Moyen . . . . .	»	15 —	9 —
	Fin . . . . .	»	12 —	9 —
Consommation d'eau en litres par seconde . . . . .	Gros . . . . .	74	40	150
	Moyen . . . . .	74	30	150
	Fin . . . . .	74	24	150
Force motrice consommée par appareil . . . . .	0,50 à 0 <sup>ch</sup> ,75	0 <sup>ch</sup> ,50	0 <sup>ch</sup> ,10	
Main-d'œuvre (en journées d'ouvriers) par appareil . . . . .	1	1	3/8	
Production par heure . . . . .	Gros . . . . .	225 <sup>kg</sup>	144 <sup>kg</sup>	720 <sup>kg</sup>
	Moyen . . . . .	125 <sup>kg</sup>	90 <sup>kg</sup>	660 <sup>kg</sup>
	Fin . . . . .	75 <sup>kg</sup>	50 <sup>kg</sup>	600 <sup>kg</sup>

Les chiffres inscrits dans ce tableau montrent la supériorité de la table de Linkenbach sur la table de Rittinger, au point de vue de la production de la force motrice et de la main-d'œuvre, même si l'on adopte, pour les tables Rittinger, les chiffres supérieurs à 1 tonne en dix heures (c'est-à-dire 100 kilogrammes par heure) dont les ingénieurs allemands contestent aujourd'hui l'exactitude.

Il est vrai que l'enrichissement est fort peu élevé à



Ems puisque, pour des raisons qui seront développées à propos de la description de cet atelier, on n'enrichit la galène que jusqu'à 88 p. 100 de plomb et 30 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de galène. Mais il est facile de citer un exemple de traitement, sur la table de Linkenbach, d'un minerai où l'enrichissement est poussé beaucoup plus loin. Cet exemple est celui de l'atelier de la fosse Neuhof, près Beuthen (Haute-Silésie), qui traite un minerai à gangue argileuse composé de galène et de calamine; le minerai brut contient 4 à 5 p. 100 de galène qui renferme 56 à 60 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de grenailles et 50 à 80 grammes aux 100 kilogrammes de sable ou schlamms. Quant à la calamine, les fragments purs contiennent jusqu'à 45 p. 100 de zinc. Une table de Linkenbach employée dans cet atelier passe 280 kilogrammes par heure, et donne de la galène à 60 p. 100 de plomb avec 60 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de galène, et de la calamine à 10 p. 100 de zinc et 0,5 à 2 p. 100 de plomb. Cet enrichissement à 60 p. 100 de plomb, qui correspond aux teneurs que M. Henry cite à propos de Przibram, est suffisamment élevé pour que l'objection qui vient d'être prévue puisse être considérée comme réfutée.

Il convient d'ajouter que la conduite de la table de Rittinger est bien autrement délicate et exige une attention bien autrement soutenue que celle de la table de Linkenbach. Par suite, la table de Rittinger ne donne que rarement des stériles assez pauvres pour pouvoir être immédiatement rejetés, et les repassages qui en sont la conséquence constituent un grave inconvénient, non seulement par suite des frais qu'ils entraînent, mais encore à cause des pertes auxquelles ils donnent lieu.

*Classement par le vent.* — A l'étude du traitement des sables et des schlamms se rattachent des essais de clas-

sement par le vent récemment entrepris à Himmelsfürst (Saxe).

L'appareil classeur à vent d'Himmelsfürst diffère de ceux qui ont été employés jusqu'à présent et dont le principe est l'action d'un courant d'air comprimé sur le minerai tombant en chute libre. Dans l'appareil saxon, le minerai est étalé sur une toile sans fin A (Pl. IV, *fig.* 5, 6, 7) qui se déplace dans le sens des flèches et à la surface de laquelle on dirige le courant d'air. Cette toile de caoutchouc passe au-dessus de la table E et sur deux cylindres C et D, et sa tension est assurée par les deux rouleaux R et R'. Le vent est amené par la conduite M et distribué à la surface de la toile au moyen des tuyères TT'T''T'''. Le minerai, chargé dans la caisse V, est envoyé sur la toile A par le rouleau distributeur U qui est actionné par les poulies X et X'. Une règle G placée dans le voisinage de la caisse V, et au-dessus de la toile A, contribue, ainsi que les courroies en cuir FF'F''F''' tendues au-dessus de cette toile, à y assurer la répartition uniforme des matières. Les stalles SS'S''S'''S'''' reçoivent les sortes résultant du classement par le vent des tuyères TT'T''T'''. L'ouverture O de ces tuyères est d'ailleurs aisément réglable au moyen des vis H et K (Pl. IV, *fig.* 7 et 8) qui commandent chacune l'une des enveloppes cylindriques P et Q. La vis H peut être actionnée au moyen du volant Z; d'autre part, le logement ménagé dans l'enveloppe cylindrique Q, pour le passage de la vis H, présente une forme allongée qui permet d'imprimer, à la main, à l'enveloppe Q un déplacement de 10 millimètres suivant la circonférence de la section droite du tuyau M. La valeur maxima du déplacement que l'on peut donner au moyen du volant Z à l'enveloppe P, est également de 10 millimètres. Le vent est fourni par le ventilateur W, dont les ailes ont 0<sup>m</sup>,34 de hauteur et qui marche à la vitesse de 1.275 tours par

minute. Ce ventilateur est actionné par une petite machine à vapeur, qui commande également, par une courroie, l'arbre B, dont le mouvement est transmis par les poulies YY' à l'axe du cylindre C. Les éléments essentiels de l'appareil sont les suivants :

Longueur de la toile A soumise à l'action du vent.	4.910 <sup>mm</sup>
Largeur — A . . . . .	480
Vitesse de la toile par seconde . . . . .	110
Longueur des tuyères . . . . .	250
Distance de milieu en milieu des tuyères. . . . .	350

La caisse J reçoit les produits restés sur la toile, que le vent des tuyères successives n'a pas fait tomber dans les stalles SS'S''S'''. Dans le cas de minerai d'une faible richesse, on admet la formule suivante :

- 1° Produit recueilli dans la stalle S stérile (à rejeter);
- 2° — — — S'
- 3° — — — S'' intermédiaire;
- 4° — — — S'''
- 5° — — — S''''
- 6° — — — dans la caisse J produit fini (pour l'usine).

Les produits intermédiaires sont repassés au même appareil. Ce traitement présente la plus grande analogie avec le lavage sur les tables. Toutefois, pour l'application en grand du classement par le vent, au moyen de la toile sans fin, la multiplication des appareils est préférable à l'augmentation de production de chacun d'eux. Si l'on remarque en effet que le vent n'agit que sur les couches supérieures des produits transportés par la toile, on reconnaît que le transport des matières d'un appareil au suivant offre l'avantage d'amener à la surface des portions du mélange, qui, si elles étaient restées sur la même table, auraient échappé à l'action du vent. C'est ainsi qu'au lieu de se servir d'une table unique à 20 tuyères, il est préférable d'en employer 4 à 5 tuyères.

Expériences. — Pour se rendre compte des résultats qu'on peut obtenir de ce genre de classement, les ingénieurs d'Himmelsfürst se sont livrés à de très nombreuses expériences, parmi lesquelles je citerai les six qui m'ont paru présenter le plus d'intérêt.

Les trois premières ont porté sur trois sortes différentes provenant d'un même minerai de galène argentifère avec blende; les trois dernières ont porté de même sur trois sortes obtenues dans le traitement d'un autre minerai du même genre. Le premier de ces deux minerais avait été bocardé. Le second avait été au contraire broyé sous des meules. Dans le premier cas, les matières soumises au classement par le vent se composaient à la fois de sables et de schlamms; dans le second, toutes les sortes appartenaient à la catégorie des sables qu'on a définis plus haut « des produits dont la grosseur ne descend pas au-dessous de 0<sup>mm</sup>,25. »

Les résultats de ces deux séries d'expériences sont contenus dans le tableau suivant :



DÉSIGNATION DES PRODUITS	POIDS		COMPOSITION centésimale					
	Kilog.	P. 100	Ag	Pb	S	Zn		
<b>Première série d'expériences. — Minerai bocardé.</b>								
1 <sup>re</sup> expérience. Sorte de 1,5 à 2 millim.	Produit brut.	22,5	100,00	0,065	13,5	6,0	6	
	Produits obtenus.	1 <sup>o</sup> et 2 <sup>o</sup> Produits de la 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> stalle.	12,3	54,67	0,050	2,5	3,4	5
		3 <sup>o</sup> Galène marchande.	3,2	14,22	0,185	71,0	15,0	4
		4 <sup>o</sup> — — — — —	1,3	5,78	0,140	50,5	18,0	5
		5 <sup>o</sup> Intermédiaires.	5,7	25,33	0,130	11,5	10,4	6
Pertes.								
2 <sup>e</sup> expérience. Sorte de 1 à 1 <sup>mm</sup> ,5.	Produit brut.	12,2	100,00	0,085	27,5	7,8	4	
	Produits obtenus.	1 <sup>o</sup> et 2 <sup>o</sup> Produits de la 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> stalle.	5,2	42,62	0,073	4,5	3,4	3
		3 <sup>o</sup> Galène marchande.	3,0	24,59	0,162	71,5	15,1	3
		4 <sup>o</sup> — — — — —	1,0	8,20	0,280	41,5	14,8	5
		5 <sup>o</sup> Intermédiaires.	3,0	24,59	0,115	9,5	7,3	5
Pertes.								
3 <sup>e</sup> expérience. Sorte de 0,2 à 0 <sup>mm</sup> ,5.	Produit brut.	24,6	100,00	0,145	33,0	8,0	5,0	
	Produits obtenus.	1 <sup>o</sup> et 2 <sup>o</sup> Produits de la 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> stalle.	4,6	18,70	0,045	0,2	4,8	3,0
		3 <sup>o</sup> Galène marchande.	7,1	28,86	0,160	70,0	15,0	3,0
		4 <sup>o</sup> — — — — —	3,8	15,45	0,235	51,5	12,6	4,6
		5 <sup>o</sup> Intermédiaires.	7,6	30,89	0,132	4,5	5,0	4,0
Pertes.		6,10						
<b>Deuxième série d'expériences. — Minerai broyé aux meules.</b>								
1 <sup>re</sup> expérience. Sorte de 1,5 à 2 <sup>mm</sup> ,5.	Produit brut.	500,0	100,00	0,102	7,5	16,2	9	
	Produits obtenus.	1 <sup>o</sup> et 2 <sup>o</sup> Produits de la 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> stalle.	25,2	5,04	0,035	0,2	5,1	4
		3 <sup>o</sup> Galène.	36,4	6,88	0,342	32,0	23,7	9
		4 <sup>o</sup> Minerai I.	113,2	22,64	0,125	9,5	23,8	9
		5 <sup>o</sup> Produits fournis par les intermédiaires dans la 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> stalle.	104,5	20,90	0,020	0,2	4,8	4
		6 <sup>o</sup> Minerai II.	92,0	18,40	0,065	3,5	17,3	8
		7 <sup>o</sup> — III.	107,0	21,40	0,050	2,2	11,3	7
		8 <sup>o</sup> Intermédiaires.	23,0	4,60	0,022	0,2	6,5	4
Pertes.		0,14						
2 <sup>e</sup> expérience. Sorte de 1 à 1 <sup>mm</sup> ,5.	Produit brut.	265,5	100,00	0,122	8,5	8,8	9	
	Produits obtenus.	1 <sup>o</sup> et 2 <sup>o</sup> Produits de la 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> stalle.	34,0	12,81	0,036	1,5	5,6	6
		3 <sup>o</sup> Galène.	32,3	12,17	0,492	50,5	20,1	7
		4 <sup>o</sup> Minerai I.	45,0	16,95	0,182	13,5	19,3	9
		5 <sup>o</sup> Produits fournis par les intermédiaires dans la 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> stalle.	42,3	15,93	0,032	1,5	7,2	6
		6 <sup>o</sup> Minerai II.	52,8	19,89	0,072	3,5	8,8	9
		7 <sup>o</sup> — III.	35,0	13,18	0,046	1,0	7,2	6
		8 <sup>o</sup> Intermédiaires.	22,5	8,47	0,027	1,5	5,6	5
Pertes.		0,60						
3 <sup>e</sup> expérience. Sorte de 0,3 à 1 millim.	Produit brut.	989,0	100,00	0,115	10,2	12,8	9	
	Produits obtenus.	1 <sup>o</sup> et 2 <sup>o</sup> Produits de la 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> stalle.	439,4	44,09	0,031	0,2	10,2	7
		3 <sup>o</sup> Galène.	103,7	10,49	0,535	53,2	20,1	9
		4 <sup>o</sup> Minerai I.	123,6	13,00	0,212	15,5	20,0	11
		5 <sup>o</sup> Produits fournis par les intermédiaires dans la 1 <sup>re</sup> et 2 <sup>e</sup> stalle.	216,0	21,84	0,030	0,2	9,6	6
		6 <sup>o</sup> Minerai II.	193,8	19,60	0,091	5,5	15,2	10
		7 <sup>o</sup> — III.	157,8	15,96	0,072	3,5	11,6	9
		8 <sup>o</sup> Intermédiaires.	35,0	3,54	0,032	1,5	8,7	6
Pertes.		1,48						

Les résultats numériques contenus dans ces tableaux donnent lieu aux observations suivantes.

**Première série d'expériences.** — Dans la première expérience de cette série, l'enrichissement du minerai en galène a été parfaitement réalisé; le mélange des deux sortes de galène donnait un produit dont la teneur en plomb dépassait 60 p. 100.

La seconde expérience a également donné d'excellents résultats qui peuvent être attribués à la texture du minerai qui permet notamment un isolement facile des particules de galène.

Enfin, dans la troisième expérience, non moins heureuse que les précédentes, les deux sortes de galène, dont le mélange représentait 44,3 p. 100 de la masse du produit brut, avaient une teneur moyenne en plomb supérieure à 60 p. 100. Les deux autres produits obtenus dans cette expérience étaient également des produits finis.

**Deuxième série d'expériences.** — La première expérience de cette série ne donna qu'une quantité de galène inférieure à 7 p. 100 avec une teneur en plomb qui n'atteignait pas 33 p. 100; de plus, si la teneur en plomb des produits considérés comme stériles descendait à 0,2 p. 100, la teneur en argent y était supérieure à 0,02 p. 100. Le traitement par voie humide de cette sorte n'aurait pas donné, d'ailleurs, des résultats plus favorables, à cause de l'importance des pertes résultant de la haute teneur en argent; la comparaison établie entre la valeur des produits bruts et celle des produits obtenus, soit dans le classement par le vent, soit dans le lavage ordinaire, permet de conclure qu'il était plus avantageux d'envoyer directement le produit brut à l'usine sans lui faire subir aucun traitement.

La seconde expérience conduisit aux mêmes conclu-

sions, bien que les résultats du traitement fussent moins défavorables. Il en fut de même de la troisième.

Résultats généraux. — En observant :

1° Que le minerai traité dans la première série d'expériences était plus riche en galène que le minerai traité dans la seconde ;

2° Que la présence des schlamms, auxquels ce mode de traitement convient bien moins qu'aux sables, nuit au succès de l'opération ;

Les ingénieurs saxons ont formulé les conclusions suivantes :

1° Le classement par le vent doit être appliqué de préférence aux minerais riches en galène ;

2° Le bocardage à sec, qui donne beaucoup trop de farine, doit être proscrit toutes les fois que le minerai ne présente pas une texture grenue, analogue à celle des produits qui ont été traités dans les trois premières expériences précitées ;

3° Les meules saxonnnes, qui ne donnent que 20 p. 100 de farine d'une grosseur supérieure à 0<sup>mm</sup>,2 (tandis que les bocards en donnent 60 p. 100), peuvent être employées au broyage des produits que l'on veut soumettre au classement par le vent ;

4° Les schlamms doivent être traités par lavage quand ils ne sont pas immédiatement livrables à l'usine ; au cours des expériences dont il vient d'être question, on a criblé ces schlamms sur un tamis ayant jusqu'à 800 mailles par centimètre carré ;

5° Les produits qui se prêtent le mieux au classement par le vent, sont ceux qui sont compris entre 0<sup>mm</sup>,5 et 1,5, les grains trop gros n'étant pas aisément entraînés par le vent.

On admet d'ailleurs en Saxe, sans avoir fait de calculs à ce sujet, que les frais de classement par le vent sont plus élevés que ceux du bocardage dans l'eau suivi du

criblage à la cuve, mais qu'ils sont inférieurs à ceux du traitement au concasseur et au cylindre. Des minerais de cylindres contenant au moins 5 p. 100 de plomb, seront avec avantage soumis au classement par le vent.

La deuxième série d'expériences que j'ai mentionnée plus haut, a d'ailleurs fait ressortir la concordance des résultats économiques fournis par ce mode de classement, avec ceux que fournit le lavage sur les tables ; mais il présente sur ce dernier l'avantage essentiel de permettre un contrôle incessant des produits obtenus, qui, au lieu d'être entraînés dans un courant d'eau, sont déposés à l'état sec dans des stalles, et échappent ainsi aux nombreuses causes de pertes, auxquelles le lavage ordinaire expose les matières fines.

#### 7° Traitement magnétique.

Le traitement magnétique s'applique aux produits dont les densités sont trop voisines, pour qu'il soit possible de recourir aux procédés ordinaires de la préparation mécanique. Tel est le cas de la blende associée au fer carbonaté spathique qui donne lieu à l'application de ce traitement dans l'atelier de Friedrichsseggen.

Les appareils de traitement magnétique peuvent être rapportés à deux types distincts.

Les uns sont basés sur l'emploi des aimants fixes, les autres sur celui des électro-aimants.

I. Les appareils du premier genre ont l'avantage d'être moins coûteux, mais ils sont moins productifs. Ainsi, tandis que la trieuse Vavin ne passe jamais plus de 200 kilogrammes par heure, on peut avec l'appareil de Friedrichsseggen, qui sera décrit plus loin, passer jusqu'à 500 kilogrammes dans le même temps. De plus, la possibilité, compatible seulement avec l'emploi d'électro-aimants, d'interrompre à volonté l'arrivée du courant et par suite



l'influence attractive du fer doux, dispense, dans les appareils du second genre, de l'emploi des brosses, qui, dans la trieuse Vavin, sont nécessaires pour enlever les parcelles de fer. Or les brosses, qui s'usent rapidement et qui de plus retiennent entre leurs poils des particules de fer sont à la fois une cause de dépenses d'entretien et de pertes de minerai.

II. Les appareils basés sur l'emploi d'électro-aimants correspondent eux-mêmes à deux types distincts. Dans les uns, comme dans la trieuse de Sella, le courant est interrompu à certains moments pour permettre la chute des portions attirées; dans les autres le courant est constant et l'on détermine la séparation des particules attirées, en les faisant sortir du champ magnétique. Cette dernière solution, qui est évidemment la moins compliquée, puisqu'on peut la réaliser au moyen d'un simple déplacement de l'appareil par rapport aux électro-aimants, a été adoptée dans l'appareil de Friedrichsseggen. Il convient d'ailleurs d'observer que le magnétisme rémanent, qui s'oppose à la désaimantation instantanée du fer doux, ne permet pas de compter dans l'appareil de Sella sur une séparation aussi rigoureuse que dans la trieuse de Friedrichsseggen. Cette dernière trieuse (voir Pl. IV, *fig.* 9 et 10) se compose d'un cylindre de laiton A mobile autour d'un axe horizontal fixe H qui porte quatre rangées d'électro-aimants immobiles B; un distributeur à secousses D amène jusqu'au cylindre les matières contenues dans une trémie T.

Le distributeur est une simple tôle inclinée suspendue par quatre bielles, et reçoit son mouvement d'oscillation par l'intermédiaire d'une came.

Les produits, arrivant au contact du cylindre, subissent l'influence attractive des électro-aimants excités par une machine dynamo-électrique. Une série de saillies S, parallèles aux génératrices, retiennent les ma-

tières, et facilitent ainsi la fixation des parcelles de fer: les particules zingueuses non attirées tombent dans le réservoir sous-jacent Z. Quant aux particules de fer, elles ne tardent pas à être entraînées en dehors du champ magnétique des électro-aimants par la rotation du cylindre qui a lieu dans le sens de la flèche, et elles tombent alors dans le réservoir F; le courant arrive par l'une des extrémités de l'axe creux K, passe dans le fil des électros, puis retourne à la dynamo par l'autre extrémité du même axe. Le mouvement de la poulie P communiqué à l'axe H est transmis à l'axe qui porte la came du distributeur, par l'intermédiaire d'une courroie passant sur les poulies R et Q.

L'appareil peut traiter diverses grosseurs de grains suivant la distance, réglable à volonté au moyen de la vis V, qui sépare du cylindre de laiton le bord inférieur du distributeur.

Une dynamo Siemens, qui consomme une force de 1 cheval, suffit pour actionner quatre trieuses, dont chacune peut passer, par heure, 500 kilogrammes d'un mélange de blende et de fer oxydulé analogue à celui de Friedrichsseggen dont la composition sera donnée à l'occasion de la description de cet atelier. Le mouvement propre de l'appareil ne consomme que 1/6 de cheval.

La dynamo fournissant un courant de 17 ampères marche à la vitesse de 1.000 tours par minute, le cylindre de laiton à 45 tours et l'axe de la came de distribution à 400. Un ouvrier suffit pour desservir un groupe de 4 appareils.

Cet appareil présente les avantages suivants:

1° Les électro-aimants, étant fixes et enveloppés par le cylindre en laiton qui les met à l'abri de la poussière, n'exigent que de très rares réparations;

2° La production y est plus élevée que dans les appareils du même genre; les essais faits à Przibram sur un

appareil à courants interrompus n'ont donné qu'une production horaire maxima de 150 kilogrammes.

## II. RÉSULTATS DE LA PRÉPARATION MÉCANIQUE.

### 1° Enrichissement.

L'enrichissement des produits bruts est l'objet même de la préparation mécanique : toutefois les pertes qui accompagnent toute opération de ce genre conduisent naturellement à limiter l'enrichissement. Il convient donc de déterminer, dans chaque cas particulier, le point à partir duquel les pertes résultant du traitement sont supérieures à l'accroissement de valeur que l'enrichissement donne aux produits traités. Il arrive même parfois que la nature du minerai et la répartition des matières riches qui peut être différente dans le remplissage du filon et dans la roche encaissante, conduisent à un enrichissement très peu considérable. On peut citer, comme exemple de ce genre, la préparation mécanique d'Ems où une étude attentive de la composition du remplissage d'une part, et du stérile de l'autre, a déterminé depuis quelques années à limiter à 36 p. 100 de plomb l'enrichissement de la galène que l'on poussait autrefois jusqu'à 60 p. 100. Comme on le verra avec plus de détail dans la deuxième partie de ce mémoire, le remplissage a effectivement une teneur en plomb supérieure à celle de la roche encaissante, tandis que la richesse du plomb en argent est plus élevée pour la roche encaissante que pour le remplissage du filon. C'est également la différence des rapports de grandeur existant entre les teneurs en plomb et les teneurs en argent des sables et des schlamms, qui

détermine, dans la formule de traitement appliquée à Mechernich, certaines particularités dont l'explication détaillée sera donnée à propos de cet atelier (voir p. 113). Le rôle capital que jouent les pertes dans les procédés d'enrichissement me dispense d'insister sur cette question. Je passerai donc immédiatement à l'étude des pertes résultant de la préparation mécanique.

### 2° Pertes.

Les deux questions qui se posent naturellement à propos des pertes sont les suivantes :

1° Étant donné un atelier de préparation mécanique en fonctionnement régulier, quelles sont les pertes totales auxquelles donne lieu le traitement qui est appliqué ?

2° Quelles sont les pertes partielles qui se produisent dans chacune des opérations de la préparation mécanique ?

PREMIÈRE QUESTION. *Calcul des pertes totales.* — Les ingénieurs allemands appliquent l'une des deux méthodes suivantes :

1° Pour les minerais dans lesquels la répartition des produits est uniforme et régulière, la facilité des prises d'essai permet de calculer directement la teneur du produit brut ; il suffit ensuite de calculer, d'après cette teneur, le poids de métal contenu dans un poids déterminé de minerai brut, et de retrancher du nombre ainsi obtenu le nombre correspondant relatif au produit fini, pour avoir le poids du métal considéré qui a été entraîné avec le stérile dans le traitement du poids de minerai brut dont il a été fait choix.

2° Pour les minerais de constitution irrégulière, il faut, au contraire, calculer la teneur en métal des produits



stériles que l'on rejette à la suite de chaque opération élémentaire ; on en déduit, connaissant le poids de chacun de ces produits stériles, le poids  $P$  du métal considéré qui s'y trouve contenu ; d'ailleurs, connaissant la composition de chacun des produits finis, on peut calculer pour ceux d'entre eux qui ne doivent pas fournir le métal considéré, le poids  $p$  de ce métal qui y est contenu. La somme  $\Sigma p$  de ces derniers poids, ajouté au poids total  $P$  du même métal calculé ci-dessus, donnera la perte ( $Q = P + \Sigma p$ ) de ce métal pour les poids de matière considérés qui correspondent à un poids de minerai brut facile à obtenir par des pesées directes.

Toutefois, si l'on veut comparer la perte relative à un métal donné, avec le poids de ce métal contenu dans le minerai brut, on ne saurait prendre pour point de départ la composition du minerai brut fournie par des analyses directes, à cause du défaut d'homogénéité de ce minerai ; et, à cette méthode, qui, dans le cas des minerais de constitution régulière et uniforme, peut être appliquée sans erreur, on doit en substituer une autre, dont le principe est le suivant : Une analyse directe donne la proportion p. 100 du métal dont on étudie les pertes, contenue dans le produit fini qui est destiné à le fournir. Connaissant le poids de ce produit fourni par un poids déterminé de minerai brut, on en déduit le poids du métal considéré contenu dans ce produit fini. En y ajoutant le poids  $Q$  des pertes calculé précédemment, on obtient le poids total du métal contenu dans le poids considéré de minerai brut, ce qui, par une simple règle de trois, donne alors la teneur du minerai brut relative au métal considéré.

Une fois qu'on connaît cette teneur, soit par la méthode que je viens d'indiquer pour les minerais de constitution irrégulière, soit par l'analyse directe pour les minerais de composition uniforme, on pourra déterminer le rapport

$R$  de la perte calculée pour un poids de minerai brut égal à 100, à la teneur pour 100 du même minerai brut relative au métal considéré.

La valeur de ces pertes varie dans des limites très étendues ; je donnerai ci-dessous les résultats relatifs à trois ateliers dont on trouvera plus loin la formule de traitement : ces trois ateliers sont ceux d'Himmelfahrt, de Churprinz et d'Ems.

1° Atelier d'Himmelfahrt. Le minerai traité à Himmelfahrt contient, par 100 kilogrammes de minerai brut, 2<sup>kg</sup>,75 de plomb, 0<sup>kg</sup>,275 de zinc et 23 grammes d'argent, avec 500 grammes d'arsenic, 10 grammes de cuivre et 5 kilogrammes de soufre. On enrichit la galène jusqu'à 85 p. 100 de plomb et 300 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de galène, la blende jusqu'à 40 p. 100 de zinc et 30 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de blende et les produits pyriteux jusqu'à 40 p. 100 de soufre avec 50 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de matières. Les pertes rapportées à la teneur du minerai brut (c'est-à-dire la valeur, pour chaque métal, du rapport  $R$  défini plus haut) s'élèvent à 21 p. 100 pour l'argent, 38 p. 100 pour le plomb et 60 p. 100 pour le soufre. L'importance de ces pertes est due à l'inégalité de résistance des différents minéraux qui amènent la pulvérisation par bocardage et l'entraînement d'une partie de la galène dans les schlamms. Quoique la pyrite et la blende soient argentifères, l'association qui se produit entre ces deux éléments, au cours de la préparation mécanique, a une telle compacité et une telle intimité qu'on ne peut les enrichir séparément et rendre le mélange vénal. Il faut donc l'envoyer sur les tas de stérile ; mais, comme cette masse atteint et parfois excède une proportion de 20 p. 100 des minerais qui vont au bocardage, il résulte de ce chef des pertes qui sont loin d'être négligeables.

2° Atelier de Churprinz. Le minerai traité à Churprinz

contient, aux 100 kilogrammes de minerai brut, 3 kilogrammes de plomb et 9<sup>gr</sup>,5 d'argent.

On l'enrichit jusqu'à 70 p. 100 de plomb et 50 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de galène.

Les pertes rapportées à la teneur initiale s'élèvent à 22,8 p. 100 pour l'argent et 14,9 p. 100 pour le plomb.

3° Atelier d'Ems. Le minerai traité à Ems, contient, par 100 kilogrammes de minerai brut, 4 kilogrammes de plomb, 2<sup>gr</sup>,5 de zinc, et 5<sup>gr</sup>,4 d'argent, on n'enrichit la galène qu'à 36 p. 100 de plomb et 30 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de galène. Quant à la blende, on l'enrichit à 44,5 p. 100 de zinc, elle n'est d'ailleurs pas argentifère. Les pertes rapportées à la teneur initiale s'élèvent à 8 p. 100 pour l'argent, à 6 p. 100 pour le plomb et à 34 p. 100 pour le zinc.

DEUXIÈME QUESTION. *Calcul des pertes relatives à chaque opération.* — Les Ingénieurs saxons ont récemment entrepris une série d'expériences qui peuvent servir de type pour le calcul des pertes correspondant à chaque opération de la préparation mécanique. Ces expériences ont eu pour but de comparer les résultats du traitement par bocardage et lavage sur les tables à secousses longitudinales, au résultat du broyage aux cylindres suivi de criblage. Il s'agissait de certains filons pauvres de la formation filonienne qui porte, en Saxe, le nom de formation pyriteuse (kiesige bleiformation) et pour laquelle on trouvera plus loin (voir page 98), à propos de l'atelier d'Himmelfahrt, le type de la formule de traitement. Le minerai soumis à l'expérience, et dont le tableau suivant donne la composition, fut traité d'abord dans une paire de cylindres broyeurs qui la réduisirent à une grosseur de 8 millimètres seulement, puis classé sur des rätter afin que l'on pût se rendre compte de l'économie qu'il y aurait à faire précéder le bocardage d'un passage aux cy-

lindres suivi d'un criblage. L'expérience porta sur 48 mètres cubes, soit 87.100 kilogrammes de matière. On obtint les produits dont les poids sont indiqués dans la première colonne du tableau dans laquelle les produits n° 1, 2, 6,  $a_1, d_2, a_3, b_2, b_3$ , sont des produits finis. Les produits n° 3, 7, et  $b_1$ , sont des minerais qui seront qualifiés plus loin de « non marchands », parce que leur préparation mécanique ne serait pas rémunératrice en raison de leur teneur et du prix des métaux. Le produit n° 4 est un intermédiaire à bocarder dans l'eau. Enfin les produits n° 5, et  $c_1, c_2, c_3$ , sont à rejeter comme stériles.

Les frais de préparation mécanique s'élevèrent, dans cet essai à :

marcs

229,96 de salaires;

111,40 de force motrice et service;

1,47 de frais de broyage pour 490 kilogr. de minerai criblé;

15,20 de frais de lavage pour 11.390 kilogr. de schlamms;

28,80 d'apport du minerai brut;

22,30 de livraison du minerai marchand.

---

409,13

Soit 8<sup>marcs</sup>,52, c'est-à-dire 10<sup>fr</sup>,65 par mètre cube de minerai brut.

Le tableau suivant résume les chiffres relatifs à cette expérience.



	POIDS à l'état sec (kilogr.)	PROPORTION pour 100 de		TENEURS en pour 100			
		gros	schlamms	Ag	Pb	S	Zn
Composition et quantité du minerai traité . . . . .	87.100	100	»	0,015	1-2	10-15	8-10
<b>Produits fournis par le criblage suivi du lavage sur les tables des produits broyés aux cylindres.</b>							
1. Galène criblée . . . . .	80	0,09	»	0,185	64	22	4
2. Minerai de plomb criblé . . . . .	4,10	0,48	»	0,07	21	26	9
3. Dürrerz criblé . . . . .	17.790	20,42	»	0,025	1	26	8
4. Minerai de bocard criblé . . . . .	14.490	16,63	»	0,015	1	22	10
5. Stérile criblé . . . . .	38.070	43,70	»	0,01	»	13	7
6. Minerai de plomb lavé . . . . .	2.190	2,51	»	0,055	16	25	9
7. Dürrerz lavé . . . . .	1.310	1,50	»	0,02	4	26	13
8. Schlamms S <sub>1</sub> (sorte la moins fine des caissons allemands) . . . . .	4.880	5,60	»	»	»	»	»
9. — S <sub>2</sub> (sorte la plus fine des caissons allemands) . . . . .	2.880	3,31	»	»	»	»	»
10. — S <sub>3</sub> (des bassins de dépôt) . . . . .	3.635	4,16	»	»	»	»	»
<b>Produits fournis par les schlamms S<sub>1</sub>.</b>							
a <sub>1</sub> Minerai de plomb lavé . . . . .	220	0,25	4,51	0,065	26	30	7
b <sub>1</sub> Dürrerz lavé . . . . .	820	0,94	16,80	0,025	10	31	14
c <sub>1</sub> Produits entraînés par les eaux . . . . .	3.840	4,42	78,69	»	»	»	»
<b>Produits fournis par les schlamms S<sub>2</sub>.</b>							
a <sub>2</sub> Minerai de plomb lavé . . . . .	50	0,06	1,73	0,105	35	26	6
b <sub>2</sub> Dürrerz lavé . . . . .	580	0,67	20,14	0,04	»	31	13
c <sub>2</sub> Produits entraînés par les eaux . . . . .	2.250	2,58	78,13	»	»	»	»
<b>Produits fournis par les schlamms S<sub>3</sub>.</b>							
a <sub>3</sub> Minerai de plomb lavé . . . . .	255	0,29	7,02	0,065	19	31	9
b <sub>3</sub> Dürrerz lavé . . . . .	345	0,40	9,49	0,03	»	31	14
c <sub>3</sub> Produits entraînés par les eaux . . . . .	3.035	3,47	83,49	»	»	»	»
	85.735	98,41	»	»	»	»	»
	1.385	1,60	Pertes.				
	9.125	10,47	Produits entraînés par les eaux.				

POIDS DU MÉTAL CONTENU				VALEUR d'après les cours en 1888				DURÉE du travail	DÉ- PENSES	OBSERVATIONS
Ag	Pb	S	Zn	Ag	Pb	S	Total			
hegr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	francs	francs	francs	francs	heures	francs	
0,147	51,00	17,50	3,00	23,00	11,17	»	34,17			
0,285	86,00	106,50	37,00	26,47	6,38	»	32,85			
4,447	178,00	4.625,50	1.601,00	162,89	»	88,95	[251,84]			
2,172	145,00	3.188,00	1.449,00	»	»	»	»			
3,805	»	4.949,00	2.665,00	»	»	»	»			
1,202	350,00	547,50	197,00	96,96	8,49	10,95	116,40	128	427	1 A déduire 5 <sup>5</sup> / <sub>100</sub> à cause de la haute teneur en zinc.
0,260	52,50	340,50	170,50	6,92 <sup>1</sup>	»	6,55	[10,20]			
»	»	»	»	»	»	»	»			
»	»	»	»	»	»	»	»			
»	»	»	»	»	»	»	»			
0,142	57,50	66,00	15,50	12,74	7,09	»	19,83			2 A déduire 2 <sup>9</sup> / <sub>100</sub> à cause de la haute teneur en zinc.
0,205	82,00	254,00	115,00	7,62 <sup>2</sup>	»	8,20	[43,77]			
»	»	»	»	»	»	»	»			
0,052	17,50	13,00	3,00	5,90	3,26	»	9,16			3 A déduire 1 <sup>4</sup> / <sub>100</sub> à cause de la haute teneur en zinc.
0,230	»	169,00	69,50	13,89 <sup>3</sup>	»	5,80	18,24	»	19	
»	»	»	»	»	»	»	»			
0,165	48,50	79,00	23,00	14,74	1,17	3,00	18,91			4 A déduire 0 <sup>8</sup> / <sub>100</sub> à cause de la haute teneur en zinc.
0,102	»	107,00	48,50	4,66 <sup>4</sup>	»	3,45	7,25			
»	»	»	»	»	»	»	»			
13,217	1.068,00	14.462,50	6.397,00	368,50	37,56	126,90	256,81	»	»	Les chiffres entre [] représentent la valeur des produits « non marchands ».
							[275,81]			

On a comparé à ces résultats ceux du traitement par bocardage et lavage sur les tables à secousses appliqué normalement dans le même atelier à un minerai contenant 0,015 p. 100 d'argent, 1 p. 100 de plomb, 12 p. 100 de soufre et 8 p. 100 de zinc, qui donna, comme produits de la préparation mécanique, 19,7 p. 100 de minerai marchand à 0,009 p. 100 d'argent, 0,44 p. 100 de plomb et 4,91 p. 100 de soufre. Les produits obtenus se composaient de :

(a) 3,7 p. 100 de galène dont la teneur en argent variait de 0,105 à 0,175 p. 100 et la teneur en plomb de 30 à 54 p. 100.

(b) 3,4 p. 100 de minerai de plomb dont la teneur en argent variait de 0,09 à 0,115 p. 100 et la teneur en plomb de 22 à 29 p. 100.

(c) Enfin 92,9 p. 100 de dürrerz ou minerai dont la teneur en argent variait de 0,03 à 0,055 p. 100, la teneur en soufre de 25 à 30 p. 100 et la teneur en zinc de 7 à 14 p. 100.

Le rendement relatif aux divers métaux s'élevait, d'après les teneurs précédentes à 59,3 p. 100 pour l'argent, 44,3 p. 100 pour le plomb, 40,9 p. 100 pour le soufre.

L'ensemble des dépenses pour le traitement de 2.368 mètres cubes ou 4.309.760 kilogrammes de minerai brut s'éleva à :

marcs	
6.804,13	de salaires au bocardage, lavage sur les tables et classement de minerai;
520,96	de salaires pour relevage de minerai dans la trémie du bocard;
909,92	de matières;
130,32	de salaires pour la forge;
1.129,52	de salaires pour enlèvement et chargement des sables et schlamms;
463,70	de frais de réparations;
481,29	— d'essais;

727,80	de consommation d'eau;
1.627,60	de frais d'apport de minerai brut;
4.778,54	— de livraison de produits finis.

Ensemble. 17.573,54

Soit 7<sup>m</sup>,42 ou 9<sup>f</sup>,27 par mètre cube de minerai brut.

Les chiffres qui précèdent montrent que les pertes s'élèvent à 40,7 p. 100 pour l'argent, 55,7 p. 100 pour le plomb et 59,1 p. 100 pour le soufre. L'importance de ces pertes doit être attribuée à la constitution même du minerai. C'est ainsi que les pertes en argent sont dues à la présence d'un mélange de blende et de pyrite de fer, qui constitue parfois 25 p. 100 de la masse du minerai brut, et qui, ne pouvant être transformé en produit marchand, doit être rejeté comme stérile. La richesse en argent des deux éléments du mélange donne lieu à une perte de ce métal qui peut atteindre 30 p. 100.

De plus le soufre du mélange est perdu. Quant au faible rendement en plomb, il s'explique aisément par la teneur de 1 à 3 p. 100 du dürrerz qui constitue 92,9 p. 100 des produits obtenus : Ce minerai, dit dürrerz, qui se compose de blende et pyrite de fer, ne peut être enrichi en plomb sans un traitement coûteux, et l'on se contente de l'enrichir en argent jusqu'à une teneur permettant de le livrer au commerce. Les pertes de plomb dans les produits bocardés entraînés par les eaux, sont d'ailleurs peu élevées ; elles proviennent, en effet de l'enlèvement, à l'état de farine, de parcelles de galène dont l'éclatement ne se produit que trop aisément sous le choc du bocard. Les pertes provenant de l'entraînement des produits sur les tables de lavage sont plus sensibles en raison des repassages que nécessitent l'intimité et la complexité du mélange à traiter.

Le tableau suivant donne les résultats de la comparaison des deux procédés :



		BOCARDAGE et lavage sur les tables à secousses	BROYAGE aux cylindres et criblage
Quantité de minerai traité . . . . .	(kilogr.)	4.309.750	87.100
Nombre de jours de travail . . . . .	(m. cub.)	2.368	48
Quantité de minerai traitée par jour . . . . .	(jours)	347	5 4/3
Quantité de minerai traitée par jour . . . . .	(kilogr.)	12.250	16.500
Minerais marchands . . . . .		853.300	4.130
— non marchands . . . . .		—	19.920
Retour d'opérations . . . . .		—	14.490
Total . . . . .		853.300	38.540
D'où pertes et stériles . . . . .		3.456.450	48.560
Minerais marchands . . . . .		383.58	2.327
— non marchands . . . . .		—	4.912
Retour d'opération . . . . .		—	2.473
Total . . . . .		383,58	9.412
Stérile de criblage . . . . .		—	3.805
Total général des poids d'argent contenus dans le minerai brut . . . . .		383,58	13.217
Minerais marchands . . . . .		19.067,50	610,50
— non marchands . . . . .		—	342,50
Retour d'opération . . . . .		—	145,00
Total . . . . .		19.067,50	1.068,00
Comparés au minerai brut . . . . .	(p. 100)	19,7	4,74
Galène . . . . .		0,7	0,15
Minerai de plomb . . . . .		0,6	3,53
Durrerz . . . . .		18,4	1,06
Minerai non marchand . . . . .		—	22,87
Intermédiaires . . . . .		—	16,63
Stériles . . . . .		25,0	43,70
D'où produits entraînés par les eaux aux tables à secousse . . . . .		—	55,3
Pertes au criblage et sur tables dormantes . . . . .		—	1,60
Argent . . . . .		0,009	0,0027
Plomb . . . . .		0,44	0,70
Soufre . . . . .		4,91	1,03
Recette brute par mètre cube de minerai traité . . . . .	(francs)	14,70	5,34
— par 100 kilogrammes . . . . .		4,08	6,48
Frais de préparation mécanique proprement dits par mètre cube de minerai traité . . . . .		5,89	9,32
Frais totaux de préparation mécanique (y compris l'apport du minerai brut et la livraison des produits finis) . . . . .		9,27	10,65
Recette nette par mètre cube . . . . .		5,43	—
Perte nette par mètre cube . . . . .		—	5,31

La comparaison des résultats numériques contenus dans ce tableau donne lieu aux remarques suivantes :

1° La quantité passée par les bocards se rapportant à une batterie de 12 flèches, on voit que, pour bocarder une quantité égale à celle qui est passée aux cylindres, il

faudrait un bocard de 15 flèches. Il convient toutefois d'observer que les cylindres ne broyaient qu'à 8 millimètres de grosseur, tandis que la pulvérisation aux bocards allait jusqu'à 3 millimètres.

2° La proportion de produits marchands est au bocardage environ quadruple de la valeur qu'elle atteint dans l'autre série d'expériences. La production de galène est quintuple ; mais, en minerai de plomb, elle est environ six fois moindre, tandis qu'en durrerz elle est dix-huit fois plus grande dans le traitement aux bocards que dans le broyage aux cylindres ; et, au lieu de permettre l'enrichissement de la totalité du minerai brut, cette dernière méthode fournit une proportion élevée de produits intermédiaires et « non marchands ». Le désaccord apparent entre ces résultats s'explique par la composition du minerai désigné sous le nom de durrerz, qui est formé d'un mélange de blende et pyrite contenant 0,02 à 0,025 p. 100 d'argent, 1 p. 100 de plomb, 8 p. 100 de zinc, 26 p. 100 de soufre, et dont l'enrichissement en plomb ne serait point rémunérateur.

3° Le traitement aux bocards fournit environ trois fois plus d'argent et cinq fois plus de soufre que le broyage aux cylindres.

4° Il fournit au contraire moitié moins de plomb. Cette particularité résulte de la pulvérisation plus complète réalisée au bocardage qui donne une plus forte proportion de galène pure et une moindre proportion de minerai de plomb (galène avec pyrite et blende), mais fournit en outre le durrerz qui contient encore des traces de galène. On réalise ainsi, d'une part, une concentration plus avancée de la galène, et de l'autre, l'introduction de celle-ci dans le durrerz qui est livrable à l'usine.

En résumé, et sans insister sur les autres résultats consignés dans ce tableau, qui s'expliquent d'eux-mêmes, on est conduit à reconnaître que le broyage aux cylindres

donnait une désagrégation imparfaite du minerai brut. Les éléments friables ou dont l'éclatement se produit aisément (les gneiss, les carbonates, la galène et parfois la blende) étaient broyés les premiers, tandis que le quartz et le mélange de pyrite et de blende où se trouve disséminée de la galène, arrivaient intacts sur les cribles qui accompagnaient les bocards. Les cribles donnaient en conséquence un produit intermédiaire, qui devait subir une désagrégation plus complète, et un minerai sulfuré, dont l'enrichissement en plomb ne pouvait être réalisé économiquement. Si l'on voulait d'ailleurs pousser, avec les cylindres, le broyage jusqu'à 3 millimètres, il aurait fallu recourir à l'emploi de deux paires de cylindres, l'une dégrossisseuse, l'autre finisseuse, et l'on aurait vu les frais s'élever rapidement, puisque le broyage des masses quartzeuses aux cylindres finisseurs est, ainsi qu'on le sait, plus cher que le bocardage.

L'insuffisance de la désagrégation par les cylindres a eu cette autre conséquence, que certains produits, notamment les produits n° 7 et *b*<sub>1</sub>, du tableau de la page 84-85, n'étaient pas assez riches pour être immédiatement livrables au commerce, et exigeaient un nouveau traitement; une concentration plus avancée de la galène et l'enrichissement en argent qui en est la conséquence, auraient sans doute élevé la recette brute; il ne faut pas toutefois oublier que le traitement de petites quantités de matières ne permet pas toujours de réaliser, à chaque opération, entre les teneurs, la gradation la plus économique.

On peut trouver dans les expériences qui viennent d'être résumées ci-dessus, une justification de l'emploi du bocard dans les ateliers saxons, où la conservation d'appareils déjà anciens, loin d'être le résultat d'habitudes routinières, est au contraire, le fruit d'observations attentives et d'expériences raisonnées.

## 3° Frais.

Je donnerai, à titre d'exemple, le détail des frais par tonne de minerai brut :

1° De la préparation mécanique dans l'atelier saxon d'Himmelfahrt.

2° Du traitement dans l'atelier d'Ems.

## 1° Atelier d'Himmelfahrt.

	francs
Cassage à la main, scheidage, klaubage . . . .	2,50
Débouillage suivi de klaubage et criblage . . .	1,75
Broyage aux cylindres et criblage . . . . .	0,60
Bocardage dans l'eau et lavage sur les tables . .	2,20
Frais de transport, d'essais, etc. . . . .	5,00
	<hr/>
Total (par tonne de minerai brut). . . . .	12,05

## 2° Atelier d'Ems.

	francs
Cassage à la main et scheidage préliminaire. . .	0,34
Scheidage soigné. . . . .	1,05
Traitement du menu. . . . .	2,01
Traitement des blendes et des galènes . . . . .	0,88
	<hr/>
Total (par tonne de minerai brut). . . . .	4,28

Les traitements appliqués dans chacun de ces deux ateliers sont trop différents (voir plus loin pages 98 et 162) pour que les prix en soient comparables. On peut toutefois observer que celui de l'atelier d'Ems ne contient pas les frais d'essais, et que, d'autre part, la disposition continue qui est adoptée pour cet atelier y diminue beaucoup la main-d'œuvre. D'ailleurs les frais de travail à la main ne peuvent manquer d'être beaucoup plus élevés en Saxe qu'à Ems, à cause de la complexité du minerai d'Himmelfahrt et surtout de sa grande richesse qui exige, de la part des ouvriers affectés à ce travail, une habileté qui n'est pas nécessaire dans le traitement du minerai d'Ems.



Enfin la richesse du minerai d'Himmelfahrt et la haute teneur à laquelle on l'amène correspondent à des frais fort élevés que le minerai d'Ems, plus pauvre et moins enrichi, serait incapable de supporter.

### III. CHOIX DE LA FORMULE DE TRAITEMENT.

Les détails qui viennent d'être donnés à propos des pertes et des frais de la préparation mécanique prouvent surabondamment l'erreur que l'on commettrait en prétendant appliquer une formule unique à tous les minerais ou même en cherchant à tracer les limites d'un cadre dont il serait interdit de sortir. Toutefois, il semble intéressant, pour permettre d'apprécier le rôle des appareils tout récents qui ont été décrits plus haut, d'imaginer le type d'une méthode dans laquelle ils seraient tous employés.

Ce type ne se rencontre encore dans aucun atelier ; c'est ainsi, par exemple, que le classeur Schmitt-Manderbach n'est employé qu'en Saxe, que le sandsortirapparat Meinicke n'est pas en usage sur les bords du Rhin, que le spitzlutenapparat Meinicke n'est encore appliqué que dans le Hartz et enfin que les tables Linkenbach, ainsi que le sectorateur et la meule Schranz, ne se rencontrent que dans la Prusse rhénane.

J'essayerai donc de donner l'exposé sommaire d'un pareil traitement.

Une séparation exécutée sur une grille à trous hexagonaux de 60 millimètres de côté, donnera deux classes (le gros et le menu) qui seront traitées chacune séparément.

1° Le gros sera soumis successivement à un cassage à la main, suivi d'un scheidage soigné, dont les produits seront broyés au sectorateur Schranz jusqu'à la grosseur de 8 millimètres. Les matières broyées dans cet appareil

seront reçues dans un trommel de 8 millimètres dont le refus passera aux cylindres broyeurs qui les renverront au même trommel.

Les grains qui auront traversé le trommel de 8 millimètres seront classés dans un appareil Schmitt-Manderbach. Les grains dont la grosseur est supérieure à 3 millimètres ou même seulement à 4 millimètres, seront traités par un crible continu à trois tamis, qui donnera deux produits finis et un intermédiaire qui sera broyé à la meule Schranz, jusqu'à une grosseur inférieure à 3 millimètres. Le classement de volume qui sera réalisé jusqu'à 1 millimètre au moyen de l'appareil Schmitt-Manderbach, sera obtenu au-dessous de cette limite, au moyen du sandsortirapparat Meinicke.

Les diverses classes de grosseur inférieure à 3 millimètres ou même à 4 millimètres seront traitées séparément sur des cribles filtrants. Les produits entraînés par les eaux au delà du sandsortirapparat, seront envoyés au spitzlutenapparat qui donnera, par exemple, trois classes dont chacune sera traitée sur une table de Linkenbach distincte.

2° Le menu sera débourbé dans un trommel suivi d'un appareil Schmitt-Manderbach dont le refus d'une grosseur supérieure à 30 millimètres passera au klaubage sur une table tournante, tandis que les produits inférieurs à cette dimension seront envoyés au sectorateur et passeront par la série d'opérations qui vient d'être indiquée.

Cette formule de traitement, n'est, je le répète, qu'un exemple basé :

1° Sur les pratiques les plus conformes aux idées actuelles des ingénieurs allemands.

2° Sur l'emploi des nouveaux appareils.

La discussion de la formule à adopter dans chaque cas particulier est réservée à la deuxième partie du présent mémoire où l'on cherchera à mettre en lumière toutes les

formes dont elle est susceptible, depuis la simplicité du traitement de certains minerais saxons jusqu'à la complication de la préparation mécanique de certains minerais du Hartz ou de la Prusse rhénane.

#### IV. CHOIX ET DISPOSITION RELATIVE DES APPAREILS.

L'énumération des avantages et des inconvénients des appareils, accompagnant la description qui en a été faite, permettra de fixer le choix relatif à ceux-ci dans chaque cas particulier. Quant à leur disposition relative, elle doit permettre un passage facile des produits d'un appareil au suivant. Les conditions de ce passage sont essentiellement différentes, suivant qu'il s'agit d'ateliers continus ou d'ateliers discontinus, c'est-à-dire ou bien d'ateliers dans lesquels les produits passent d'un appareil à l'autre sans que l'ouvrier ait à intervenir, ou bien d'ateliers dans lesquels les produits sont transportés à bras d'hommes d'un appareil au suivant. Dans le premier cas, les appareils sont étagés dans l'ordre même que la formule de traitement leur assigne. Dans le second, ils sont placés à des niveaux peu différents et séparés par des aires assez vastes pour recevoir les produits intermédiaires qui attendent l'achèvement de leur transformation par les appareils subséquents. L'atelier de Silberau, à Ems (voir page 162), donne un exemple remarquable du premier genre de disposition. L'atelier de Laurenburg (voir page 125) appartient au contraire au 2<sup>e</sup> type.

Il peut sembler étonnant que la tendance à la substitution des transports mécaniques à la force humaine n'ait pas conduit à l'abandon complet des ateliers discontinus. Cependant le maintien des dispositions de ce genre dans des installations récemment reconstruites, comme celle de Laurenburg, paraîtra au contraire très logique, si l'on

observe que des minerais de composition continuellement variable ne comportent point l'application d'un système continu. L'exemple de Steinenbrück, où, malgré des modifications récentes, le type discontinu a été conservé, en est une nouvelle preuve. On a d'ailleurs cherché à solidariser, à l'intérieur même des ateliers discontinus, les appareils dont le fonctionnement est nécessairement simultané, par exemple les broyeurs et les trommels qui les accompagnent. Quoiqu'il en soit, le nombre des ateliers discontinus a notablement diminué depuis quelques années, et leur existence ne se justifie que par des circonstances exceptionnelles du même ordre que celles qui viennent d'être mentionnées pour les ateliers de Steinenbrück et de Laurenburg.

J'ajouterai, à propos de la disposition relative des appareils, que les distributeurs employés au chargement de ces derniers ne présentent aucun perfectionnement récent à l'exception de la schlammaufgabevorrichtung du système Meinicke dont la description a été donnée ci-dessus (voir page 55).

Quant à l'enlèvement des produits fournis par les cribles, la tendance actuelle est de chercher à réduire à son minimum la dépense de main-d'œuvre qu'elle exige.

C'est ainsi que dans l'atelier de Weiss, les produits qui s'écoulent au delà du dernier compartiment des cribles, tombent directement dans des wagonnets dont les parois latérales sont formées de tôles perforées laissant échapper l'eau dont sont imprégnées les matières solides ; deux hommes poussent le wagonnet lorsqu'il est plein et le remplacent par un vide. Ce système économise les frais de main-d'œuvre qu'entraîne l'enlèvement à la pelle des produits déposés dans les bassins ordinairement placés au-dessous des cribles, mais il ne convient en général qu'aux ateliers dans lesquels on peut amener l'eau dans



des conditions assez économiques pour qu'il n'y ait pas intérêt à la récupérer.

#### V. ORGANISATION GÉNÉRALE DES ATELIERS.

Indépendamment du système continu ou du système discontinu, dont l'adoption établit entre les divers ateliers une distinction absolue, l'organisation générale est essentiellement liée à la configuration du sol. Parmi les ateliers qui seront décrits dans la deuxième partie de ce mémoire, j'en ai choisi quatre qui correspondent à des conditions, d'établissement complètement différentes :

1° Vallée très étroite et très inclinée : ateliers de Friedrichsseggen ;

2° Coteau régulièrement incliné : atelier de Weiss ;

3° Coteau à pente raide présentant une croupe : atelier de Lautenthal ;

4° Terrain horizontal sans limitation d'étendue : atelier d'Ems ;

La première de ces circonstances conduit à l'installation de bâtiments étroits et allongés qui se suivent dans le sens de leur plus grande dimension. Dans la seconde, les constructions s'étagent en s'allongeant suivant l'horizontale des divers niveaux du coteau, afin de profiter des plates-formes locales que sa pente régulière lui permet de présenter. Aucune disposition systématique, autre que celle qui correspond à la descente des produits successifs, ne s'impose, dans le troisième cas, et, quant au quatrième, les facilités qu'il procure, au point de vue de la position en plan à donner aux diverses parties de l'atelier, se prêtent à ces installations luxueuses dont la préparation mécanique d'Ems a toujours donné l'exemple.

Le transport des produits à l'intérieur de l'atelier dépend aussi directement de la configuration du sol. Tandis que, dans le cas d'un terrain horizontal, il faut recourir

aux norias, aux roues élévatoires et aux traînages mécaniques, etc., on trouve, au contraire, dans le cas des terrains en pente, un auxiliaire naturel dans les forces de la pesanteur. La gravité, pourtant, dont le concours paraît à première vue si précieux, donne lieu quelquefois à des difficultés qui se présentent, notamment, dans l'atelier de Friedrichsseggen, où la pente exagérée de la vallée oblige à transvaser à un niveau intermédiaire les produits qui passent d'un atelier au suivant.

## DEUXIÈME PARTIE.

### DESCRIPTION DES ATELIERS.

La deuxième partie comporte, ainsi qu'on l'a dit au début de ce mémoire, l'étude monographique des principaux ateliers de préparation mécanique de la Saxe, du Hartz et de la Prusse Rhénane. Elle forme ainsi le complément indispensable de la première partie, puisqu'elle a pour but :

1° De montrer comment les appareils décrits dans la première partie du mémoire interviennent dans le traitement des différentes natures de minerais ;

2° De faire connaître les détails d'installation générale des ateliers.

Les ateliers qui y seront mentionnés figureront donc à des titres différents :

Les uns au point de vue seulement de leur formule de traitement ; les autres au double point de vue de leur méthode et de leur installation.

A la première catégorie appartiennent :

1° L'atelier d'Himmelfahrt qui fournit l'exemple du traitement d'un minerai saxon ;

2° L'atelier de Saint-Andreasberg qui traite un type de minerai du Hartz;

3° Celui de Mechernich, auquel le caractère tout particulier de son minerai assigne une place à part;

4° Celui de Laurenburg, que l'application systématique d'une méthode discontinue signale en outre à l'attention.

Dans la deuxième catégorie rentrent :

1° L'atelier de Lautenthal pour le Hartz;

2° L'atelier de Weiss pour le district de Dietz;

3° Ceux d'Ems et de Friedrichslegen pour la vallée de la Lahn.

Ces quatre ateliers, comme il en a déjà été fait mention, résolvent, au point de vue de la disposition des bâtiments et des appareils, quatre problèmes différents qui peuvent être considérés comme les cas limites qui se présentent dans la pratique. En ce qui concerne la formule de traitement, on trouve dans l'atelier de Lautenthal le lavage d'un minerai dans lequel la présence de la blende vient compliquer la série des opérations. L'atelier de Weiss d'une part, et celui d'Ems de l'autre, donnent respectivement le type du traitement, dans un atelier continu, de minerais analogues à celui qui est lavé dans l'atelier discontinu de Laurenburg. Enfin, à Friedrichslegen, l'obligation de recourir au traitement magnétique exerce, jusque sur l'organisation du travail à la main, une influence qui donne à la série des opérations un intérêt tout particulier.

#### § 1. — Ateliers d'Himmelfahrt, de St-Andreasberg, de Mechernich et de Laurenburg.

##### Atelier d'Himmelfahrt (près Freiberg-Saxe).

*Nature du minerai.* — Le minerai que l'on soumet à la préparation mécanique, à la fosse d'Himmelfahrt, ap-

partient à la formation dite des *filons de plomb pyriteux*.

Le minerai, tel qu'il vient de l'abatage, est composé, en majeure partie, de minerai de plomb à 70 p. 100, parfois même à 85 p. 100 de plomb avec 0,20 à 0,30 d'argent (cette proportion d'argent est rarement dépassée). Il contient, en outre, de la blende à 35 ou 40 p. 100 de zinc, mais pas au-dessus, avec 0,03 à 0,25 d'argent, de la pyrite et du mispickel très pauvres en argent (0,005 à 0,020 p. 100); enfin de la pyrite cuivreuse à 20 allant jusqu'à 35 p. 100 de cuivre et 0,039 à 0,06 d'argent. La gangue est formée de quartz, de carbonate de fer, de barryte, de dolomie, de fluorine, de spath calcaire; la roche encaissante (gneiss et micaschiste) s'y trouve parfois en fragments.

*Formule de traitement.* — Une première séparation a lieu devant le front de taille; on fait des envoyages: 1° de minerai riche; 2° de minerai de scheidage (S); 3° de minerai de bocard (B); 4° de stérile.

Le minerai riche est soumis au scheidage et donne: 1° de la galène, produit fini (65 p. 100 de plomb et 0,20 à 0,30 p. 100 d'argent); 2° un minerai des cheidage (S<sub>1</sub>). Le minerai de scheidage (S) est séparé, au moyen de deux rätter superposés, en trois sortes, qui sont, dans l'ordre de grosseur décroissante: 1° du minerai de scheidage (S<sub>2</sub>); 2° du minerai de klaubage; 3° du grubenklein (G).

Le grubenklein est passé aux cylindres. Le minerai de klaubage donne au klaubage: 1° du minerai de bocard (B<sub>1</sub>); 2° du minerai de scheidage (S<sub>3</sub>); 3° du stérile.

Le minerai de bocard (B), obtenu au début, est également séparé par des rätter en: 1° minerai de bocard (B<sub>2</sub>); 2° minerai de klaubage (K<sub>1</sub>); 3° grubenklein (G<sub>1</sub>).

Le minerai de klaubage (K<sub>1</sub>) donne au klaubage: 1° du minerai de bocard (B<sub>3</sub>); 2° du minerai de scheidage (S<sub>1</sub>); 3° du stérile.



Le minerai de bocard ( $B_2$ ) et le minerai de bocard ( $B_3$ ) ne sont pas deux minerais de même texture ; ce sont, sans doute, des matières qui ont besoin d'un cassage à la main, mais les morceaux ( $B_2$ ) sont plus gros que les morceaux ( $B_3$ ), et, par suite, la dissémination du minerai riche y est plus grossière que dans ( $B_3$ ); la texture du minerai de bocard ( $B_1$ ) est intermédiaire entre celle de ( $B_2$ ) et celle de ( $B_3$ ).

Ces trois catégories sont soumises à un cassage à la main qui donne : 1° du minerai de scheidage ( $S_5$ ); 2° du minerai de bocard siliceux ( $B_4$ ); 3° du minerai de bocard blendeux ( $B_5$ ); 4° du grubenklein ( $G_2$ ); 5° du quartz; 6° du stérile.

Le minerai de bocard siliceux contient 0,02 à 0,03 p. 100 d'argent et 1 de plomb, 7 à 10 de zinc et 10 à 12 de soufre. Le minerai blendeux contient 0,015 à 0,025 d'argent, 3 de plomb, 3 à 5 de soufre et 16 à 19 de zinc. Ces deux sortes ( $B_4$ ) et ( $B_5$ ) vont à des bocards que j'appellerai par abréviation bocards humides, parce qu'on y emploie le concours d'un courant d'eau. Les grubenkleins  $G_1$  et  $G_2$  sont envoyés au débourage. J'y reviendrai plus loin.

Les différents minerais de scheidage  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$ , sont soumis au scheidage à la main et donnent : 1° de la galène ( $\alpha$ ); 2° du minerai de cuivre plombeux ( $\beta$ ); 3° du minerai pyriteux ( $\gamma$ ); 4° du minerai blendeux ( $\delta$ ); 5° trois catégories de pyrite de cuivre ( $\epsilon$ ); 6° trois catégories de mispickel ( $\zeta$ ); 7° de la pyrite ( $\eta$ ); 8° de la blende ( $\theta$ ); 9° du minerai de bocard ( $B_6$ ); 10° de la baryte ( $\chi$ ); 11° du menu de scheidage ( $\lambda$ ); 12° du stérile ( $\mu$ ).

La galène ( $\alpha$ ) est bocardée à sec avant d'être livrée à l'usine. Elle a la même teneur que la galène obtenue par le scheidage du minerai plombeux séparé dans la mine. Les minerais désignés par les lettres  $\beta, \gamma$ , etc., ont la composition suivante p. 100 :

## DANS LA SAXE, LE HARTZ ET LA PRUSSE RHÉNANE. 101

( $\beta$ )	0,6 à 1,0 Cu; 0,07 à 0,09 Ag;	4 Zn;	17 à 19 Pb.
( $\gamma$ )	14 à 18 S; 0,07 à 0,09 Ag;	10 Zn;	14 à 15 Pb, 4 à 6 As.
( $\delta$ )	14 à 16 S; 0,04 à 0,08 Ag;	20 Zn;	17 à 19 Pb.
( $\epsilon_1$ )	34 S;	0,045 Ag;	4,5 Zn; 3 Cu.
( $\epsilon_2$ )	29 à 30 S;	0,035 Ag;	6 à 8 Zn; 1,8 à 2,2 Cu.
( $\epsilon_3$ )	24 à 26 S;	0,035 Ag;	8 à 10 Zn; 0,90 à 1,1 Cu.
( $\zeta_1$ )	34 à 36 S;	0,035 Ag;	3,0 Zn; 29 à 31 As.
( $\zeta_2$ )	30 S;	0,033 Ag;	5 à 6 Zn; 24 à 26 As.
( $\zeta_3$ )	24 à 26 S;	0,012 Ag;	8 à 10 Zn; 19 à 20 AS.
( $\eta$ )	30 à 40 S;	0,02 Ag;	0,30 Cu; 7 à 11 Zn; 3 As.
( $\theta$ )	24 à 26 S;	0,03 à 0,04 Ag;	2 Pb; 0,30 à 0,65 Cu; 31 à 37 Zn.
( $B_6$ )	4,5 à 10,5 S;	0,02 à 0,04 Ag;	1,5 Pb; 5 à 8 Pb.
( $\lambda$ )	14,5 à 15,5 S;	0,075 Ag;	17 à 19 Pb; 13 à 19 Zn;
( $\chi$ )		0,015 Ag.	

( $\beta$ ) va aux cylindres broyeurs. Il en est de même de ( $\gamma$ ) et ( $\delta$ ), nous verrons dans quelles conditions; ( $\epsilon_1$ ), ( $\epsilon_2$ ), ( $\epsilon_3$ ), ( $\zeta_1$ ), ( $\zeta_2$ ), ( $\zeta_3$ ), ( $\eta$ ), ( $\theta$ ) sont des produits finis livrables tels quels, en morceaux; ( $B_6$ ) va aux bocards humides; ( $\lambda$ ) va aux cylindres et ( $\chi$ ) à l'usine.

Le minerai ( $\gamma$ ) et le minerai ( $\delta$ ) passent par des cylindres broyeurs et de là à une série de trommels à trous de 10 millimètres, puis successivement de 7<sup>mm</sup>,5; 4<sup>mm</sup>,5 de diamètre. Le trommel de 10 millimètre donne son refus aux cylindres qui le rebroient de nouveau. Ce qui le traverse est élevé, par une roue à augets, jusqu'au trommel à trous de 7<sup>mm</sup>,5. Le refus de chacun de ces trommels passe aux cribles continus. On obtient ainsi quatre sortes: la première, de 7<sup>mm</sup>,5 à 10 millimètres; la deuxième, de 7<sup>mm</sup>,5 à 4<sup>mm</sup>,5; la troisième, de 4<sup>mm</sup>,5 à 2 millimètres; la quatrième inférieure à 2 millimètres.

Les deux premières sont envoyées à deux cribles *grobkornsetzmaschine*, la troisième à un crible dit *mittelkornsetzmaschine* et la dernière passe à un *spitzkasten* à deux caisses pointues. Les produits de la première caisse se rendent à une *feinkornsetzmaschine* ou crible destiné au travail de produits plus fins que les précédents, ceux de la deuxième caisse vont à un crible des-

tiné au travail des schlamms. Tous ces cribles sont des cribles continus à cinq compartiments ou tamis. Les feins et *schlammsetzmaschinen* sont des cribles du Hartz à lit de galène, tandis que les cribles pour les grains plus gros sont munis de tuyaux déversant au dehors les produits lavés.

Ces cribles donnent : 1° galène à 70 p. 100 de Pb et 0,20 p. 100 Ag; 2° pyrite de plusieurs catégories : 0,02 à 0,04 p. 100 Ag, 25 à 35 de S et 15 à 23 Zn; 3° blende à 0,015 p. 100 Ag, 25 de S et 30 Zn; 4° produits intermédiaires ( $\omega$ ); 5° stérile; 6° schlamms de 0,03 à 0,05 p. 100 Ag, 8 Pb, 15 à 17 Zn.

Le travail des *grob-mittel-* et *feinkornsetzmaschinen* donne les mêmes produits, sauf que, avec les *feinkornsetzmaschinen*, on obtient, au lieu de la première sorte de pyrite, une galène à 0,10 p. 100 Ag et 40 p. 100 Pb.

La marche que j'indique est celle que l'on suit actuellement; mais il arrive parfois, lors du traitement de certains filons, que les cribles donnent, en outre, un autre produit intermédiaire à 0,06 jusqu'à 0,10 d'argent, 15 à 20 de plomb et 5 de zinc, qui, traité sur une table dormante, donne : 1° galène I à 0,18 Ag et 60 à 65 p. 100 Pb; 2° galène II, à 0,01 Ag et 30 à 40 Pb; 3° galène III à 0,06 Ag et 15 à 20 Pb; 4° produits intermédiaires à repasser; 5° schlamms à 0,03 jusqu'à 0,05 Ag, 8 Pb, 16 Zn.

Les trois premiers produits sont des produits finis. Les schlamms sont traités aux tables à secousses. Les produits à repasser sur la table dormante donnent : 1° galène II; 2° galène III; 3° minerai de bocard à 0,02 jusqu'à 0,25 Ag, 3,5 Pb, 13 à 18 Zn, 10 à 13 S ( $B_3$ ); 4° schlamms.

Ce dernier minerai de bocard est destiné à un bocardage dans l'eau. La blende obtenue dans les cribles continus va aux bocards secs. La galène est envoyée sous

une meule, aussi bien la galène riche fournie par le premier tamis que la galène pauvre fournie à la place de la première classe de pyrite, lors du travail sur les feinkornsetzmaschinen. Les produits intermédiaires ( $\omega$ ) sont soumis à un nouveau broyage entre les cylindres, ce qui donne encore deux sortes de grosseurs de grains, qui sont lavés séparément sur des cribles continus et, en outre, des menus ( $p_1$ ). Toutefois, comme ce broyage s'opère ici dans un courant d'eau, on évite l'obligation de relever les menus ( $p_1$ ), obligation qui s'impose pour le traitement, que nous expliquerons plus loin, des menus ( $p_2$ ) inférieurs à 2 millimètres fournis par le broyage effectué à sec dans les cylindres et suivi du classement par trommel.

Les deux sortes de grains obtenus en même temps que menus ( $\mu_1$ ) donnent par le criblage : 1° des produits finis (kiesaftern) ( $a$ ) de 0,035 à 0,05 Ag, 10 à 15 Zn, 35 S; 2° des minerais arsénicaux-plombeux ( $b$ ) à 0,06 Ag, 25 Pb, 15 As, 6 Zn; 3° de la galène ( $c$ ) à 0,20 Ag et 65 à 70 Pb; 4° des schlamms ( $d$ ).

Le produit fini ( $a$ ) va aux bocards secs, ainsi que les produits ( $b$ ) et ( $c$ ) également finis. Les schlamms ( $d$ ) vont aux tables à secousses.

Les menus ( $p_2$ ) sont relevés sur un canal en pente où passe un courant d'eau et donnent trois catégories qui, dans l'ordre de grandeur décroissante, seront désignés par les nos I, II et III. La catégorie I est retravaillée au caisson allemand et donne : 1° un produit à laver sur un crible ( $P_1$ ); 2° un produit à laver sur une table dormante.

Ce dernier donne sur cette table dormante : 1° un produit à laver sur un crible ( $P_2$ ); 2° de la galène III; 3° de la galène II; 4° de la galène I; 5° des schlamms.

Les trois galènes sont des produits finis. Les produits  $P_2$  et  $P_1$  sont criblés et donnent : 1° minerais de bocards ( $B_7$ ); 2° minerais blendeux à 0,025  $j$ , 0,03 Ag,



1 Pb, 18 à 28 Zn, 25 S; 3° *kiesaftern*; 4° galène III; 5° galène I.

(B<sub>7</sub>) va aux bocards humides; les deuxième et troisième produits vont aux bocards secs; les quatrième et cinquième à la meule.

Le traitement de la catégorie n° II fournis par les menus ( $\mu_1$ ) s'opère sur une table dormante où l'on obtient: 1° galène I; 2° galène II; 3° minerai dit *dürreerz* (à 0,025 Ag, 5 Zn, 30 S; 4° minerai de bocard; 5° schlamms identiques aux précédents.

Les trois premiers produits sont des produits finis.

La catégorie III est constituée par des schlamms identiques aux précédents.

Le traitement des minerais ( $\mu_1$ ) est analogue à celui de ( $\mu_2$ ). On obtient sur le canal en pente, où le courant d'eau, qui agit pendant l'opération même du broyage, amène de lui-même les produits ( $\mu_1$ ), des catégories (I'), (II'), (III'), analogues à (I), (II), (III). La catégorie (I) donne au caisson allemand: 1° un produit à laver sur une table dormante; 2° un produit à cribler (P<sub>1</sub>). Le premier produit donne sur la table dormante: 1° un produit (P<sub>2</sub>) à cribler; 2° de la galène I, II et III et des schlamms.

Mais le criblage de (P<sub>1</sub>) et (P<sub>2</sub>) ne donne ni minerai de bocard ni minerai blendeux (à 18-28 Zn) mais: 1° galène I; 2° minerais arsénicaux blendeux (b); 3° *kiesaftern*.

Ce dernier produit arsenical plombeux est immédiatement livrable, ainsi que la galène I, sans avoir besoin d'un nouveau broyage (ce qui avait lieu dans le traitement des menus ( $\mu_2$ )). Les produits ( $\beta$ ) et ( $\lambda$ ), cités plus haut, vont chacun aux cylindres broyeurs. Le produit  $\beta$  est broyé comme ( $\gamma$ ) et ( $\delta$ ), mais à part, et donne les mêmes produits, à cette différence près que, au lieu d'avoir des pyrites ordinaires, on obtient, au sortir des cribles continus, des pyrites contenant 2 à 3 p. 100 de

cuivre. Le produit ( $\lambda$ ) donne les mêmes produits que ( $\gamma$ ) et ( $\delta$ ), mais on y obtient au criblage, du stérile, ce qui n'a pas lieu avec ( $\gamma$ ) et ( $\delta$ ).

Il reste à expliquer: 1° le traitement du grubenklein G; 2° du grubenklein G<sub>1</sub> et G<sub>2</sub>; 3° des minerais de bocards destinés aux bocards humides; 4° des schlamms obtenus dans les diverses opérations.

Je dirai d'ailleurs, dès maintenant, que toutes les sortes de stérile obtenues, sont portées aux haldes, et que le quartz provenant du cassage à la main sert à empierrer les routes.

1° Traitement de G. — Ce traitement est le même que celui du produit ( $\lambda$ ).

2° Traitement de G<sub>1</sub> et G<sub>2</sub>. — On obtient, par le débouillage sur des rätter à secousses: 1° un minerai de klaubage; 2° un minerai à cribler; 3° des schlamms; 4° des stériles (sous forme de schlamms).

Le minerai de klaubage donne au klaubage les mêmes produits que le minerai de scheidage. Le minerai à cribler est criblé dans un crible à tamis mobile à secousses et donne: 1° du stérile; 2° du minerai de bocard; 3° du minerai blendeux ( $\omega$ ); 4° du minerai de bocard (B<sub>9</sub>); 5° de la galène III; 6° de la galène I; 7° sous le crible, un minerai dit *fasserz* (0,06-0,1 Ag, 15-20 Pb, 5 Zn).

Le minerai ( $\omega$ ) est envoyé aux bocards secs ou aux bocards humides, suivant que sa teneur en zinc est plus ou moins élevée. Le minerai (B<sub>9</sub>) est traité comme (B<sub>2</sub>) et (B<sub>3</sub>). Le *fasserz* va aux tables dormantes et donne: 1° de la galène I; 2° de la galène III; 3° du minerai de bocard B<sub>10</sub>; 4° des schlamms identiques à ceux qui proviennent des cylindres.

La galène I et la galène III obtenues dans ces deux séries d'opérations vont aux bocards secs. Le minerai de bocard (B<sub>10</sub>) est traité aux bocards humides.

3° Traitement des minerais de bocards aux bocards hu-

mides. — La composition de la matière à bocarder est en moyenne : 0,02 Ag, 20 S, 5 Pb. Le produit bocardé est élevé au niveau d'un spitzkasten à huit pointes. La première caisse pointue envoie ses produits à une série de trois tamis à secousses, dont le premier donne une galène qu'on envoie sur une table à secousses T; le second donne de la blende (produit fini, 0,02 Ag, 30 S, 20 Zn); le troisième donne du mispickel (produit fini, 0,03 Ag, 18 As, 35 S, 6 Zn). Ce qui est entraîné au delà du troisième tamis est du sable.

La table à secousses T donne : 1° galène ( $\varphi$ ); 2° mispickel; 3° minerai de plomb (0,09 Ag, 35 Pb, 15 As, 30 S, 6 Zn) (X); 4° galène (0,15 Ag; 66 Pb) (Y).

Ces trois derniers produits sont des produits finis.

La galène ( $\varphi$ ) retraitée à la table donnera : 1° minerai identique à (X); 2° galène (Y).

Les produits fournis par les spitzkasten 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 sont traités sur des tables de Rittinger, qui donnent : produit, 1, 2; sable.

Le produit 2 retraité donne : produit 1', sable.

Le produit 1 retraité donne : produit identique à 1' et qui lui est joint : produit 2', blende (produit fini), sable.

Le produit 1' retraité donne : produits 1'', 2''.

Le produit 2' retraité donne : produit identique à 1' et à y joindre : pyrite (produit fini, 0,03 Ag, 35 S, 14 Zn), blende.

Le produit 1'' retraité donne : produit 1''', galène (Y).

Le produit 2'' retraité donne : produit identique à 1''' et qui lui est joint, pyrite et galène (X).

Le produit 1''' retraité donne lieu à la même série de produits que la galène  $\varphi$  ci-dessus.

Enfin, les produits entraînés par le courant d'eau, au delà de la dernière caisse de spitzkasten, arrivent sur une table Stein après passage dans deux caisses pointues qui n'ont pour but que de concentrer la masse et d'éviter

l'envoi d'une trop grande quantité de liquide sur la table. Celle-ci travaille comme une table de Rittinger. Les explications que je viens de donner me dispensent de tout nouveau détail. Je dirai simplement que les produits finis obtenus avec cette table Stein ne doivent pas contenir d'arsenic. Ce dernier doit avoir été enlevé complètement dans les produits dont je viens de donner le mode d'obtention et la nomenclature.

4° Traitement des schlamms. — Les schlamms sont traités à une table à secousses ordinaire qui donne les produits : Produit I, produit I $\alpha$ , produit I $\beta$ , produit entraîné par les eaux (qui va aux cinq bassins de dépôt).

Le produit I est retraité et donne : produit II, produit II $\alpha$ , produit II $\beta$ , produit II $\gamma$ , produit entraîné par les eaux.

Le produit I $\alpha$  retraité donne : produit II' $\beta$  (à joindre à II $\beta$ ), produit II' $\gamma$  (à joindre à II $\gamma$ ), produit entraîné par les eaux.

Le produit I $\beta$  retraité donne : produit II'' $\gamma$  identique à II $\gamma$ , produit entraîné par les eaux.

Le produit II retraité donne : galène à enrichir ( $g_1$ ), produit III $\alpha$ , produit III $\beta$ , produit fini (0,02 Ag, 25 S, 20 Zn) (durrerz).

Le produit II $\alpha$  retraité donne : produit III' $\alpha$  (à joindre à III $\alpha$ ), produit III' $\beta$  (à joindre à III $\beta$ ), produit fini (0,03 Ag, 30 S, 15 Zn) (kiesschlich), produit entraîné par les eaux.

Le produit II $\beta$  retraité donne : produit III'' $\beta$  (à joindre à III $\beta$ ), kiesschlich, produit III $\gamma$ , produit entraîné par les eaux.

Le produit II $\gamma$  donne : un produit identique à III $\gamma$ .

La galène à enrichir ( $g_1$ ) retraitée donne : galène I, galène à enrichir ( $g_2$ ), minerai de plomb ( $m$ ) (produit fini) (0,08 Ag, 25 Pb; 30 S; 9 Zn), schlich à retraiter.

Le produit III $\alpha$  donne, après repassage : galène



( $g_2$ ), minerai ( $m$ ), produit IV  $\alpha$ , kiesschlich, durrerz.

Le produit III  $\beta$  retraits donne : minerai ( $m$ ), produit IV  $\alpha$  identique à IV  $\alpha$ , kiesschlich, produit entraîné par les eaux.

Le produit III  $\gamma$  retraits donne : kiesschlich, produit IV  $\beta$ , produit entraîné par les eaux.

La galène ( $g_2$ ) donne, après repassage : galène I, galène II, minerai identique à ( $m$ ).

Le produit IV  $\alpha$  retraits donne : minerai ( $m$ ), kiesschlich, produit V, produit entraîné par les eaux.

Le schlich à repasser retraits donne : produit VI, kiesschlich, produit VI  $\alpha$ , produit entraîné par les eaux.

Le produit VI  $\alpha$  réuni à IV  $\beta$  et V donne : kiesschlich, stérile, produit entraîné par les eaux.

Le produit VI retraits donne : minerai ( $m$ ), kiesschlich, produit entraîné par les eaux.

*Production.* — Sur 100 kilogrammes extraits, on admet qu'il y en aura 25 de minerai de scheidage et 75 de minerai de bocard. Le classement sur les rätter donne 28 p. 100 de minerai de scheidage; 21 de minerai de bocard, 21 de minerai de klaubage et 30 de grubenklein. Les trois premières sortes qui représentent 70 p. 100 de la masse extraite, passent à la préparation exécutée sans le secours de l'eau. Ces 70 parties fourniront elles-mêmes 35 de stérile, 22 de minerai de bocard, 6 de minerai à passer aux cylindres (désigné plus haut par les lettres ( $\gamma$ ) et ( $\delta$ )) et enfin 7 de produits finis. La préparation mécanique où intervient le concours de l'eau a donc à traiter :

Grubenklein . . . . .	30
Minerai de bocard. . . . .	22
Minerai ( $\gamma$ ) et ( $\delta$ ) ou de cylindres. . . . .	6
	<hr/>
	58

c'est-à-dire 58 p. 100 de la masse extraite.

Le grubenklein produit 40 p. 100 de minerai de cylindres et de minerai de bocards et les minerais de cylindres donnent 30 p. 100 de minerai de bocards. Dans les 28 parties de minerai de bocards et de cylindres, il rentre 17 parties dans la préparation qui constitue la laverie proprement dite. Donc pour 100 de masse extraite, il y en a 75 ( $58 + 17 = 75$ ) à laver.

Voici, pour compléter ces données les résultats obtenus sur le banc de scheidage en une semaine : matières scheidées, 98 mètres cubes; poids 196 tonnes.

#### Atelier de Saint-Andreasberg (Hartz).

*Nature du minerai.* — Le minerai se compose de galène, blende et minerais d'argent (argent rouge, argent natif, antimoniure et arséniure d'argent) avec carbonate de chaux et quartz. Les poids de la galène de la blende et de la pyrite cuivreuse sont comme les nombres 100, 5 et 4. On y trouve également de l'arsenic métallique, du cuivre gris et des arséniures de nickel et de cobalt. Mais tous ces éléments sont très peu abondants dans la masse.

*Formule de traitement.* — La préparation mécanique de Saint-Andreasberg comprend deux séries d'opérations : la première, réalisée près de l'orifice du puits Samson, consiste en un scheidage soigné et un traitement rapide des minerais riches; la seconde réalisée au fond de la vallée dans le « Neufanger Pochwerk » consiste dans le traitement des morceaux à texture complexe résultant du scheidage.

I. La première partie ne présente qu'un intérêt médiocre. Je la résumerai brièvement.

Le scheidage à la main donne : minerais d'argent, minerais de plomb riches, minerais de plomb pauvres.

Les minerais d'argent sont mis à part à cause des

pertes que leur lavage ne manquerait pas de déterminer. Les minerais de plomb riches sont bocardés, puis classés dans une série de trommels à axes parallèles, mais non situés dans un même plan vertical et disposés à des niveaux différents. Ces trommels ont des trous de 4, 3, 2 et 1 millimètres. Comme on le voit, le bocardage est grossier (puisqu'on obtient des grains de 3 et 4 millimètres). La raison en est la présence de minerais très argentifères dont il faut éviter la perte.

Le classement de volume ainsi réalisé est suivi de criblage dans des bacs à piston.

II. L'atelier du Neufanger Pochwerk, qui vient d'être l'objet d'améliorations récentes, reçoit tous les minerais pauvres qui proviennent du scheidage. Ils sont d'abord bocardés jusqu'à une grosseur de 0<sup>mm</sup>,5, puis élevés par une roue à augets jusqu'au niveau d'un trommel de contrôle à trous de 1 millimètre destiné à arrêter les grains trop volumineux qui auraient traversé le tamis du bocard, dans le cas où ce dernier aurait été crevé à l'insu des ouvriers laveurs. Les produits supérieurs à 1 millimètre retournent au bocardage. Ceux qui ont traversé le trommel passent à un spitzkasten S à six caisses; les produits de deux caisses consécutives sont traités sur un même crible à trois compartiments et à couche filtrante de galène mélangée de stérile. On a supprimé le tamis du troisième compartiment, en sorte qu'il ne reste que deux tamis; sur le premier la couche filtrante contient plus de galène que de stérile; sur le second, c'est le contraire. On obtient :

- 1° Sous le 1<sup>er</sup> tamis. . . Galène (pour l'usine).
- 2° — 2<sup>e</sup> — . . . Produits intermédiaires (*a*).
- 3° Au delà du 2<sup>e</sup> — . . . Produit (*b*).

Le produit (*a*) est rechargé dans la première caisse de spitzkasten S.

Ce mode de travail est le même pour tous les cribles de cet atelier. Quant au traitement des produits (*b*) il varie avec la grosseur du grain travaillé. Pour les grains du premier crible (ceux qui proviennent des deux premières caisses du spitzkasten S), le produit (*b*<sub>1</sub>) correspondant à (*b*) est traité dans trois caisses pointues K qui servent à concentrer le liquide; on réunit les produits déposés dans ces trois caisses et une roue à augets *x* les élève au-dessus d'une table tournante T formée de deux surfaces de lavage coniques, l'une concave, l'autre convexe montées sur un axe vertical commun.

Les produits entraînés par les eaux au delà de la troisième des caisses K sont envoyés à une grande caisse pointue de concentration C.

Les produits (*b*<sub>2</sub>) et (*b*<sub>3</sub>) sont ceux qui, dans le 2<sup>e</sup> et le 3<sup>e</sup> crible, correspondent à (*b*<sub>1</sub>). Ils se rendent directement à la caisse C.

Cette caisse C contient cinq divisions à fond pointu : les produits qui s'y déposent sont élevés par une roue à augets *x'* au niveau d'un trommel à mailles de 1/8 de millimètre de côté. Ce qui traverse le trommel se rend à la table T. Le refus est entraîné par les eaux entre deux petits cylindres, l'un de 0<sup>m</sup>,35 de diamètre et l'autre de 0<sup>m</sup>,08. Le premier est seul mobile. Les produits qui ont traversé le petit broyeur ainsi constitué se rendent à la table T. Celle-ci donne :

- (*α*) sur l'entonnoir supérieur; 1<sup>o</sup> galène (pour l'usine); 2<sup>o</sup> produit intermédiaire (*d*).
- (*β*) sur le cône convexe inférieur qui reçoit le produit (*d*): 1<sup>o</sup> galène (pour l'usine); 2<sup>o</sup> intermédiaires (*f*); 3<sup>o</sup> produits entraînés par les eaux (*g*).

Les intermédiaires (*f*) sont extraits à la pelle du bassin où ils se sont déposés et traités avec les produits entraînés par les eaux au delà du dernier compartiment du spitzkasten S. Ceux-ci recueillis dans le labyrinthe où ils



se sont déposés, sont traités sur une table T' analogue à la table T, et qui donne :

( $\alpha$ ) sur l'entonnoir supérieur : 1° galène (pour l'usine); 2° produit intermédiaire ( $h$ ).

( $\beta$ ) sur le cône convexe placé au-dessous qui reçoit le produit ( $h$ ) : 1° galène (pour l'usine); 2° produit intermédiaire ( $m$ ); 3° produits entraînés par les eaux ( $g_1$ ).

Le produit ( $m$ ) est repassé à la table T.

Les produits ( $g$ ) et ( $g_1$ ), élevés par une roue à augets passent à un spitzkasten qui alimente cinq tables dormantes sur chacune desquelles on obtient : 1° galène (pour l'usine); 2° intermédiaires ( $p$ ); 3° produits entraînés par les eaux.

Les intermédiaires ( $p$ ) sont chargés sur deux tables dormantes qui donnent : 1° galène (pour l'usine); 2° intermédiaire ( $p_1$ ); 3° produits entraînés par les eaux ( $q$ ).

Les produits ( $q$ ) sont détachés à la pelle des bassins où ils se déposent et sont traités sur la table T'. Les produits ( $p_1$ ) sont réunis aux produits ( $p$ ).

*Production.* — Le Neufanger Pochwerk (qui contient un spitzkasten S, trois cribles, trois caisses K, une caisse C, deux tables doubles T et T' et sept tables dormantes) peut être cité comme un modèle de travail de minerais bocardés. Il convient de signaler l'importance qu'on attache ici à faire précéder le lavage dans les cribles ou sur les tables, d'un classement de volume dont le degré de précision est suffisamment caractérisé par l'emploi de ce petit broyeur à deux cylindres destiné à réduire à 1/8 de millimètre de diamètre des produits qui ont été bocardés à 1/2 millimètre.

La valeur des minerais d'argent est trop considérable par rapport à celle de la blende pour qu'on cherche à isoler cette dernière à l'atelier de Saint-Andreasberg. On y produit par an, avec 3.750 tonnes de minerai brut, 250 tonnes de minerais de plomb et 3 tonnes de minerais d'argent proprement dits.

#### Atelier de Mechernich (Prusse Rhénane).

*Nature du minerai.* — Le minerai lavé dans l'atelier de Mechernich est un sulfure de plomb argentifère disséminé dans un grès sans cohésion, sous forme de knottes ou concrétions de sable et de galène. Ces grains présentent une solidité bien autrement considérable que le grès et, en les cassant grossièrement, on arrive à séparer le conglomérat compact de la masse friable dont il est entouré. La teneur moyenne du minerai, tel qu'il sort de la mine, est de 2,8 p. 100 de plomb avec 220 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb.

*Formule de traitement.* — La préparation mécanique de ce minerai comprend deux phases distinctes : dans la première, on isole les knottes du grès qui les environne; et, dans la seconde, on cherche à enrichir les knottes. Réduite à ces termes, la formule est identique à celle que l'on appliquait déjà à Mechernich, à l'époque où M. l'ingénieur en chef des mines Henry l'a décrite (*Annales des mines*, 6<sup>e</sup> s., t. XIX, année 1871). Toutefois, la reconstruction de l'atelier de séparation des knottes de Schafsberg, qui n'a été terminée qu'en 1885, et la construction de l'atelier d'enrichissement des knottes, qui n'existait qu'à l'état de projet en 1871, me semblent justifier, sinon la description détaillée de l'installation de cet atelier, du moins un exposé de la formule du traitement qui y est appliqué et dont les plus légers détails ont été récemment l'objet des perfectionnements les plus minutieux.

(a) *Séparation des knottes.* — La séparation des knottes s'effectue dans les deux ateliers de Schafsberg et de Virginia. On se bornera à décrire le traitement pratiqué dans le premier qui est le plus récemment construit.

Le tout-venant de la mine est jeté sur une grille à barreaux écartés de 50 millimètres, et le refus est l'objet, sur la grille même, d'un triage sommaire à la main. Les ouvriers chargent le stérile dans les wagonnets qui l'emmènent aux haldes, ils brisent les fragments qui leur semblent devoir contenir des parties riches et les font ainsi passer entre les barreaux de la grille. Tous les morceaux qui ont traversé la grille tombent dans un trommel à trous de 50 millimètres ( $T_1$ ) qui donne deux sortes : l'une ( $a$ ) supérieure, l'autre ( $b$ ) inférieure à 50 millimètres.

La sorte ( $b$ ) tombe dans un trommel ( $T_2$ ) à trous de 20 millimètres qui donne deux sortes : l'une ( $c$ ) supérieure, l'autre ( $d$ ) inférieure à 20 millimètres.

Les sortes ( $a$ ) et ( $c$ ) vont au triage à la main, opération qui fournit : 1° du stérile (à rejeter); 2° des matières riches ( $f$ ).

Les matières ( $f$ ) sont relevées par un petit monte-charge qui les élève au niveau du trommel ( $T_1$ ) dont il sera question plus loin.

La sorte ( $d$ ) tombe dans un trommel à deux tôles successives de 5 millimètres et de 6<sup>mm</sup>,2 qui donne : 1° une sorte inférieure à 5 millimètres ( $g$ ); 2° une sorte comprise entre 5 et 6 millimètres ( $h$ ); 3° une sorte supérieure à 6 millimètres ( $k$ ).

La sorte ( $h$ ) se rend à la laverie des knottes; la sorte ( $k$ ) passe au trommel ( $T_3$ ) dont il sera question plus loin; la sorte ( $g$ ) se rend à une heberwäsche ( $H_1$ ) à trois compartiments qui donne : 1° dans le 1<sup>er</sup> compartiment, produit (I); 2° dans le 2<sup>o</sup>, produit (II); 3° dans le 3<sup>o</sup>, produit (III); 4° au delà du 3<sup>o</sup>, produit (IV).

Le produit (I) va à la laverie des knottes; le produit (IV) va à un spitzkasten S. Les produits (II) et (III) se rendent à une heberwäsche ( $H_2$ ) analogue à ( $H_1$ ) qui donne : 1° dans le 1<sup>er</sup> compartiment, produit ( $I_a$ ); 2° dans le 2<sup>o</sup>, produit

( $II_a$ ); 3° dans le 3<sup>o</sup>, produit ( $III_a$ ); 4° au delà du 3<sup>o</sup>, produit ( $IV_a$ ).

Le produit ( $I_a$ ) va à la laverie des knottes. Les produits ( $II_a$ ) et ( $III_a$ ) se rendent à une heberwäsche ( $H_3$ ) à un seul compartiment qui donne : 1° dans le compartiment, produit ( $I_b$ ); 2° au delà du compartiment, produit ( $II_b$ ).

Le produit ( $I_b$ ) va à la laverie des knottes, tandis que le produit ( $II_b$ ) se rend, avec le produit ( $IV_a$ ) à une heberwäsche ( $H_4$ ) à deux compartiments qui donne : 1° dans le 1<sup>er</sup> compartiment, produit ( $I_c$ ); 2° dans le 2<sup>o</sup>, produit ( $II_c$ ); 3° au delà du 2<sup>o</sup>, produit ( $III_c$ ).

Les produits ( $I_c$ ) et ( $II_c$ ) vont à un crible ( $c_1$ ), et les produits ( $III_c$ ) au spitzkasten ( $\Sigma$ ) dont il sera question plus loin.

Revenons au spitzkasten (S), qui se compose de huit caisses pointues dont les cinq dernières donnent un dépôt qui rejoint les autres produits sableux, tandis que les trois premières envoient leurs produits à une heberwäsche ( $H_5$ ) à deux compartiments qui donne : 1° dans le 1<sup>er</sup> compartiment, produit ( $I_k$ ); 2° dans le deuxième, produit ( $II_k$ ); 3° au delà du 2<sup>o</sup>, produit ( $III_k$ ).

Chacun des produits ( $I_k$ ) et ( $II_k$ ) se rend séparément à une heberwäsche ( $H_6$ ) à un seul compartiment qui donne : 1° dans le compartiment, produit ( $I_m$ ); 2° au delà du compartiment, produit ( $II_m$ ).

Les produits ( $I_m$ ) se rendent aux cylindres I qui seront mentionnés ci-dessous; les produits ( $II_m$ ) vont à un crible ( $c$ ) à deux compartiments.

Le produit ( $III_k$ ) va au spitzkasten ( $\Sigma$ ).

Le crible ( $c$ ) filtrant donne : 1° sous le 1<sup>er</sup> tamis, intermédiaire ( $\alpha$ ); 2° sous le 2<sup>o</sup>, intermédiaire ( $\beta$ ); 3° au delà du 2<sup>o</sup>, intermédiaire ( $\gamma$ ).

Le produit ( $\gamma$ ) se rend au spitzkasten ( $\Sigma$ ). Les intermédiaires ( $\alpha$ ) et ( $\beta$ ) sont retraités sur un crible filtrant ( $c_2$ ) à deux tamis qui donne : 1° sous le 1<sup>er</sup> tamis, intermédiaire



( $\alpha_2$ ); 2° sous le 2, intermédiaire ( $\beta_2$ ); 3° au delà du 2° intermédiaire ( $\gamma_2$ ).

( $\gamma_2$ ) est traité comme ( $\gamma$ ).

( $\alpha_2$ ) et ( $\beta_2$ ) se rendent sur un crible filtrant à trois tamis ( $c_2$ ) qui donne : 1° sous le 1<sup>er</sup> tamis, produit fini ( $\alpha_2$ ); 2° sous le 2°, intermédiaire ( $\beta_2$ ); 3° sous le 3°, intermédiaire ( $\gamma_2$ ); 4° au delà du 3°, intermédiaire ( $\delta_2$ ).

( $\beta_2$ ) et ( $\gamma_2$ ) vont à un crible filtrant ( $c_2''$ ) à deux tamis ( $\delta_2$ ) se rend au spitzkasten ( $\Sigma$ ).

Le crible ( $c_2$ ) donne : 1° sous le 1<sup>er</sup> tamis, produit fini ( $\alpha_2$ ); 2° sous le 2°, intermédiaire ( $\beta_2$ ); 3° au delà du 2°, intermédiaire ( $\gamma_2$ ).

( $\gamma_2$ ) rejoint ( $\gamma_2$ ), tandis que ( $\beta_2$ ) est repassé sur un crible filtrant à deux tamis, dit crible auxiliaire, qui donne : 1° sous le 1<sup>er</sup> tamis, produit fini; 2°, sous le 2°, produit à repasser au même crible; 3° au delà du 2°, produit pour le spitzkasten ( $\Sigma$ ).

Le trommel ( $T_4$ ), qui a été mentionné plus haut et dont les trous ont 20 millimètres de diamètre, donne : 1° une sorte supérieure à 20 millimètres ( $m$ ); 2° une sorte inférieure à 20 millimètres ( $n$ ).

La sorte ( $n$ ) passe aux cylindres I.

La sorte ( $m$ ) passe au triage à la main qui donne : 1° du stérile (à rejeter); 2° du minerai riche ( $p$ ).

Ce minerai ( $p$ ) passe aux cylindres II.

Les produits broyés aux cylindres I et II passent à un trommel ( $T_5$ ) à tôles successives de 4 à 20 millimètres qui donne : 1° une sorte inférieure à 4 millimètres ( $q$ ); 2° une sorte comprise entre 4 et 20 millimètres ( $r$ ); 3° une sorte supérieure à 20 millimètres ( $t$ ).

La sorte ( $t$ ) va rejoindre les produits ( $f$ ) cités plus haut.

La sorte ( $r$ ) va au trommel ( $T_6$ ).

La sorte ( $q$ ) va à un heberwäsche ( $H_4$ ) à deux compartiments qui donne : 1° dans le 1<sup>er</sup> compartiment, produit ( $I_n$ ); 2° dans le 2°, produit ( $II_n$ ); 3° au delà du 2°, produit ( $III_n$ ).

Le produit ( $III_n$ ) va à l'heberwäsche ( $H_4$ ).

Les produits ( $I_n$ ) et ( $II_n$ ) vont au trommel ( $T_6$ ).

Le trommel ( $T_6$ ) est à tôles successives de 7<sup>mm</sup>, 5, 10 et 14 millimètres.

La plus petite des sortes qu'il fournit passe à un trommel ( $T_7$ ) à tôles, dont la sorte la plus petite se rend à un trommel ( $T_8$ ) à tôles successives de 2 et 3 millimètres; la sorte la plus petite fournie par ce dernier se rend à une heberwäsche ( $H_8$ ) à un seul compartiment qui donne : 1° dans le compartiment, produit ( $I_o$ ); 2° au delà du compartiment, produit ( $II_o$ ).

Le produit ( $II_o$ ) se rend à l'heberwäsche ( $H_7$ ).

Le produit ( $I_o$ ) est traité comme les sortes les plus grosses fournies par les trommels ( $T_6$ ) ( $T_7$ ) ( $T_8$ ); chacun de ces produits est lavé à son tour sur un crible continu à deux tamis qui donne : 1° sur le 1<sup>er</sup> tamis, intermédiaire ( $x$ ); 2° sur le 2°, intermédiaire ( $y$ ); 3° au delà du 2°, stérile (à rejeter).

( $x$ ) va à la laverie des knottes, ( $y$ ) passe au crible auxiliaire. Il a été dit ci-dessus que les produits ( $I_o$ ) et ( $II_o$ ) de l'heberwäsche ( $H_4$ ) vont à un crible ( $c_1$ ). Ce crible filtrant à deux tamis se comporte absolument comme ( $c_2$ ) et est suivi d'un crible ( $c_1'$ ) à trois tamis qui joue le même rôle que ( $c_2$ ) et est accompagné d'un crible ( $c_1''$ ) identique à ( $c_2$ ).

Quant au spitzkasten ( $\Sigma$ ), il donne les produits qui s'y déposent à des round-buddles qui achèvent le lavage jusqu'à ce que la teneur en plomb atteigne 50 p. 100. Enfin les produits sableux de toute provenance sont élevés, par une pompe, à une place supérieure de dépôt; ils y abandonnent, par égouttage, leur eau qui, recueillie dans des bassins de clarification, sert de nouveau comme eau de lavage, tandis que le sable est porté aux haldes de stérile.

Une précaution très remarquable à signaler dans le

traitement est celle qui consiste à chercher dans le sable même destiné aux haldes les particules du minerai riche qui peuvent s'y trouver; à cet effet, la portion inférieure des tuyaux de pompe, dont l'inclinaison est 1/10, porte une série de petit tuyaux normalement fermés par des écrous borgnes et que l'on ouvre de temps en temps pour déterminer la sortie des matières déposées. Une pompe centrifuge élève celles-ci au niveau d'un spitzkasten ( $\sigma$ ), dont le dépôt se rend sur un crible ( $c_3$ ), tandis que les produits entraînés au delà du dernier compartiment du spitzkasten se rendent au spitzkasten ( $\Sigma$ ). Le crible filtrant à trois tamis ( $c_3$ ) donne les trois produits qui traversent ses tamis à un crible ( $c'_3$ ) identique à ( $c_2$ ) et ce qui est entraîné au delà du dernier compartiment du crible ( $c_3$ ) va au spitzkasten ( $\Sigma$ ).

Cet atelier, où la circulation des produits est absolument continue, présente cinq niveaux distincts, qui sont les suivants, en allant de haut en bas :

1° Le niveau supérieur contient le crible ( $c$ ), le trommel ( $T_6$ ) et l'heberwäsche ( $H_7$ ). Au-dessus de ce niveau sont étagés, dans l'ordre où ils figurent dans la série des opérations, les trommels ( $T_1$ ) ( $T_2$ ) ( $T_3$ ) ( $T_4$ ) ( $T_5$ ), le heberwäsche ( $H_1$ ) ( $H_2$ ) ( $H_3$ ) ( $H_4$ ) ( $H_5$ ), le spitzkasten ( $S$ ) et les cylindres I et II;

2° Entre le premier et le deuxième niveau, viennent se placer le trommel ( $T_7$ ) et l'heberwäsche ( $H_4$ );

3° Au deuxième niveau se trouvent les cribles ( $c_1$ ) ( $c_2$ ) ( $c_3$ ) et le trommel ( $T_8$ );

4° L'heberwäsche ( $H_8$ ) est placée entre ce niveau et le niveau suivant, sur lequel sont installés les cribles ( $c'_1$ ) ( $c'_2$ ) ( $c'_3$ ) et le crible continu qui traite le refus des trommels et de l'heberwäsche ( $H_8$ );

5° Les cribles ( $c'_1$ ) et ( $c'_2$ ) se trouvent à un niveau légèrement inférieur au-dessous duquel sont placés le spitzkasten ( $\Sigma$ ) et le crible auxiliaire.

Pour définir la consistance de l'atelier, je dirai qu'il comprend deux trommels ( $T_1$ ), deux trommels ( $T_2$ ), quatre trommels ( $T_3$ ), quatre heberwäsche ( $H_1$ ), deux heberwäsche ( $H_2$ ), deux heberwäsche ( $H_3$ ), deux heberwäsche ( $H_4$ ), deux heberwäsche ( $H_5$ ), une heberwäsche ( $H_6$ ), une heberwäsche ( $H_7$ ), une heberwäsche ( $H_8$ ), un trommel ( $T_4$ ), un trommel ( $T_5$ ), un trommel ( $T_6$ ), un trommel ( $T_7$ ), une paire de cylindres (I), une paire de cylindres (II), huit cribles ( $c$ ), huit cribles ( $c_1$ ), quatre cribles ( $c_2$ ), deux cribles ( $c_3$ ), quatre cribles ( $c'_1$ ), deux cribles ( $c'_2$ ), deux cribles ( $c'_3$ ), deux cribles continus, un crible auxiliaire, deux cribles ( $c'_1$ ) et deux cribles ( $c'_2$ ).

Il n'y a qu'un spitzkasten appartenant à chacun des types mentionnés. L'atelier reçoit en vingt-quatre heures 1.000 mètres cubes, c'est-à-dire 1.400 tonnes de minerai brut.

(b) *Laverie des knottes*. — La laverie des knottes reçoit les produits qui, obtenus à l'atelier de séparation des knottes, viennent d'être indiqués à propos de ce dernier.

Elle comprend elle-même deux parties : l'une s'appelle l'atelier de bocard et la laverie proprement dite (Pochwerk nebst Wäsche), l'autre s'appelle la laverie auxiliaire (Hülfswäsche).

1° *Bocards et laverie proprement dite*. — Les knottes sont bocardés et les produits de ce bocardage, entraînés par les eaux dans un spitzkasten ( $S$ ), y sont divisés en quatre sortes : 1<sup>re</sup> sorte ou gros ( $a$ ), 2<sup>e</sup> ou moyen ( $b$ ), 3<sup>e</sup> ou fin ( $c$ ), 4<sup>e</sup> ou impalpable ( $d$ ).

Les produits entraînés par les eaux sont formés de stérile et vont directement aux bassins de clarification.

Chacune des trois premières sortes de minerai passe séparément à des heberwäsche distinctes ( $H$ ), et la quatrième se rend, avec les matières qui ne se sont pas déposées dans ces heberwäsche, à un classificateur ( $c_1$ ) formé de huit caisses pointues.



Les heberwäsche ( $H_a$ ) qui traitent la sorte ( $a$ ) sont accompagnées d'un trommel à trous de  $1^{\text{mm}},5$  qui donne deux sortes : 1° sorte inférieure à  $1^{\text{mm}},5$  ( $f$ ); 2° sorte supérieure à  $1^{\text{mm}},5$  ( $g$ ).

La sorte ( $f$ ) se rend à des cribles ( $c_1$ ) filtrant à trois tamis qui donnent : 1° sous le 1<sup>er</sup> tamis, produit fini (pour l'usine); 2° sous le 2<sup>e</sup>, intermédiaire (1); 3° sous le 3<sup>e</sup>, intermédiaire (2); 4° au delà du 3<sup>e</sup>, stérile (à rejeter).

Les intermédiaires (1) et (2) vont chacun à un crible ( $c_1'$ ) identique au précédent, qui donne : 1° sous le 1<sup>er</sup> tamis, produit fini (pour l'usine); 2° sous le 2<sup>e</sup>, intermédiaire (3); 3° sous le 3<sup>e</sup>, intermédiaire (4); 4° au delà du 3<sup>e</sup>, stérile (à rejeter).

Les intermédiaires (3) et (4) sont séparément relevés par des pompes centrifuges au niveau d'une heberwäsche à deux compartiments ( $H_3$ ) et ( $H_4$ ), l'une pour (3), l'autre pour (4).

La sorte ( $g$ ) se rend d'ailleurs à une heberwäsche ( $H'$ ) à un compartiment; les produits qui s'y déposent retournent aux bocards, et les eaux qui en sortent vont à l'hülfswäsche.

Les sortes ( $b$ ) et ( $c$ ) sont traitées comme la sorte ( $a$ ), l'une dans les heberwäsche ( $H_b$ ), l'autre dans les heberwäsche ( $H_c$ ); à ( $H_b$ ) correspondent les cribles ( $c_2$ ) et à ( $H_c$ ) les cribles ( $c_3$ ). Ces cribles jouent le même rôle que ( $c_1$ ) et les deux sortes d'intermédiaires qu'ils fournissent vont séparément à des cribles distincts ( $c_2'$ ) et ( $c_3'$ ) identiques à ( $c_1'$ ). Les produits intermédiaires que fournissent ces derniers sont réunis aux intermédiaires (3) et (4) et vont avec eux à ( $H_3$ ) ou à ( $H_4$ ). La seule différence à signaler est que les produits entraînés au delà du troisième tamis de ( $c_2$ ) et ( $c_3$ ) ne sont pas rejetés comme stérile, mais lavés sur des round-buddles; ceux-ci fournissent un produit enrichi qu'une pompe centrifuge conduit au spitzkasten ( $S$ ) placé au pied des bocards.

L'heberwäsche ( $H_3$ ) donne : 1° dans le 1<sup>er</sup> compartiment, produit (I); 2° dans le 2<sup>e</sup>, produit (II); 3° au delà du 2<sup>e</sup>, produit (III).

Le produit (III) retourne au spitzkasten ( $S$ ).

Les produits (I) et (II) vont séparément à des cribles ( $c_1''$ ) identiques aux précédents et qui donnent : 1° sous le 1<sup>er</sup> tamis produit fini (pour l'usine); 2° sous le 2<sup>e</sup> tamis intermédiaire (5); 3° sous le 3<sup>e</sup> tamis intermédiaire (6); 4° au delà du 3<sup>e</sup> tamis stérile (à rejeter).

L'intermédiaire (6) retourne à l'heberwäsche ( $H_3$ ).

L'intermédiaire (5) va à l'hülfswäsche.

L'heberwäsche ( $H_4$ ) donne lieu à la même série d'opérations que l'heberwäsche ( $H_3$ ) et est suivi d'un crible ( $c_2''$ ) analogue à ( $c_1''$ ). La seule différence est que, au lieu de retourner au spitzkasten  $S$ , les produits entraînés au delà du 3<sup>e</sup> compartiment de ( $H_4$ ) sont réunis à ceux qui sont entraînés au delà du troisième tamis des cribles ( $c_3$ ) et ( $c_3'$ ).

Le classificateur ( $c$ ), qui se compose de huit caisses pointues, envoie à des tables Rittinger ( $R_1$ ) les produits qui se déposent à son intérieur, tandis que les eaux qui s'écoulent au delà de la dernière caisse se rendent à un spitzkasten ( $\Sigma$ ).

Les tables Rittinger ( $R_1$ ) donnent : 1° un produit fini (pour l'usine); 2° un intermédiaire ( $i_1$ ); 3° un intermédiaire ( $i_1'$ ).

Les intermédiaires ( $i_1$ ) sont traités sur des tables Rittinger ( $R_2$ ) qui donnent : 1° un produit fini (pour l'usine); 2° un intermédiaire ( $i_2$ ); 3° un intermédiaire ( $i_2'$ ).

Les intermédiaires ( $i_2$ ) se rendent sur des tables analogues ( $R_3$ ) qui donnent un produit fini et deux sortes d'intermédiaires qui réunis à ( $i_1'$ ) et ( $i_2'$ ) vont à un spitzkasten ( $V$ ).

Les produits déposés dans les quatre caisses qui constituent le spitzkasten ( $\Sigma$ ) sont lavés sur des tables tour-

nantes T qui donnent : 1° un produit fini (pour l'usine); 2° un intermédiaire ( $t_1$ ); 3° un intermédiaire ( $t_1$ ).

Les intermédiaires ( $t_1$ ) sont lavés sur des tables tournantes ( $T_1$ ) qui donnent de même : 1° un produit fini (pour l'usine); 2° un intermédiaire ( $t_2$ ); 3° un intermédiaire ( $t_2$ ).

( $t_2$ ) repasse sur (T); ( $t_1$ ) et ( $t_2$ ) vont au spitzkasten (V).

Les produits qui se déposent dans ce spitzkasten sont traités sur des round-buddles jusqu'à donner des produits finis pour l'usine et des stériles pour les haldes. Les eaux qui sortent au delà du dernier compartiment de ce spitzkasten vont aux bassins de clarification dans lesquels il se dépose encore 14 p. 100 de la masse bocardée. On ne soumet pas ces derniers produits à une nouvelle préparation mécanique et on se contente de les mélanger aux produits finis déjà obtenus pour former un produit final à 56 p. 100 de plomb. Les eaux sont relevées par des pompes.

2° Laverie auxiliaire (Hülfswäsche). — Les produits qui arrivent à l'hülfswäsche proviennent : 1° de l'heberwäsche ( $H_1$ ); 2° des cribles ( $c_1''$ ) et ( $c_2''$ ).

Les premiers passent à une heberwäsche ( $h_1$ ) à deux compartiments; les produits qui s'y déposent vont séparément à deux cribles ( $c_1'''$ ) analogues aux précédents et qui donnent : 1° pour le 1<sup>er</sup> tamis produit fini (pour l'usine); 2° pour le 2<sup>e</sup> tamis intermédiaire (à repasser à  $h_1$ ); 3° pour le 3<sup>e</sup> tamis intermédiaire (à repasser à  $h_1$ ); 4° au delà du 3<sup>e</sup> tamis, stérile (à rejeter).

Les produits qui ne se déposent pas dans ( $h_1$ ) sont composés de stériles à rejeter.

Les seconds passent à une heberwäsche ( $h_2$ ) et subissent le même traitement.

Dans tout ce qui précède, j'ai fait abstraction, pour simplifier l'exposé de la formule de traitement, de la sorte supplémentaire que peut fournir chaque crible grâce à la disposition déjà indiquée par M. Henry et qui permet

de faire travailler le crible, à la fois comme crible filtrant et comme crible continu. Cette disposition appliquée aux cribles ( $c_1$ ) ( $c_2$ ) ( $c_1'$ ) ( $c_2'$ ) donne lieu à des produits qui sont traités ensemble dans une heberwäsche ( $h$ ) qui fonctionne comme ( $H_1$ ) et est accompagnée d'un crible ( $c_3''$ ) qui joue, par rapport à ( $h$ ), le même rôle que ( $c_1''$ ) joue par rapport à ( $H_3$ ). Les cribles ( $c_1''$ ) ( $c_2''$ ) ( $c_3''$ ) donnent eux aussi la sorte supplémentaire dont il est ici question et qui se rend à l'hülfswäsche où elle est traitée dans une heberwäsche ( $h_3$ ) analogue à ( $h_1$ ) et accompagnée d'un crible ( $c_3'''$ ) qui donne : 1° sous le 1<sup>er</sup> tamis, produit à traiter dans ( $h_2$ ); 2° sous le 2<sup>e</sup> tamis, produit à traiter dans ( $h_2$ ); 3° sous le 3<sup>e</sup> tamis, produit à traiter dans ( $h_3$ ); 4° au delà du 3<sup>e</sup> tamis, stérile à rejeter.

L'atelier de laverie des knottes présente plusieurs niveaux régulièrement étagés. Au sommet de l'atelier, on trouve 53 batteries comprenant en tout 265 bocards, puis le spitzkasten (S), les deux heberwäsche ( $H_a$ ); les deux heberwäsche ( $H_b$ ) et les deux heberwäsche ( $H_c$ ); au-dessous, les quatre cribles ( $c_1$ ) les quatre cribles ( $c_2$ ) les quatre cribles ( $c_3$ ) et le classificateur ( $c$ ); plus bas, deux cribles ( $c_1'$ ) deux cribles ( $c_2'$ ) deux cribles ( $c_3'$ ) et 8 doubles tables de Rittinger (R); au niveau suivant quatre tables doubles ( $R_1$ ), enfin au niveau inférieur, les deux cribles ( $c_1''$ ) les deux cribles ( $c_2''$ ) et les deux cribles ( $c_3''$ ), ainsi que deux tables de Rittinger ( $R_2$ ). C'est également à ce dernier niveau qu'est installée l'hülfswäsche (une heberwäsche ( $h_1$ ), une ( $h_2$ ) et une ( $h_3$ ), deux cribles ( $c_1'''$ ), deux ( $c_2'''$ ), deux ( $c_3'''$ ), ainsi que trois tables (T) et une table ( $T_1$ ).

La laverie des knottes peut traiter 200.000 kilogrammes de matières en 12 heures.

Si l'on se reporte à l'exposé sommaire donné par M. Henry dans son mémoire déjà cité inséré aux *Annales des Mines*, on constatera que la formule de traitement appliquée aujourd'hui à Mechernich échappe aux critiques



qu'il formulait contre le projet dont il rendait compte ; et on remarquera que la solution adoptée est précisément celle qu'il indiquait dès cette époque, en proposant de séparer, au début de la préparation mécanique, « au moyen d'un appareil à courant d'eau, les sables des schlamms, puis de verser directement les sables aux cribles du Hartz et les schlamms aux tables Rittinger » (Henry, *Annales*, 6<sup>e</sup> série tome XIX, 1871, page 407). Par contre, on a continué à mélanger aux sables enrichis les schlamms déposés dans les bassins de clarification, pratique que condamne M. Henry (*loc. cit.*, page 406). On peut toutefois essayer de la justifier en faisant observer que les chiffres invoqués par cet auteur sont exclusivement relatifs à la teneur en plomb, et non à la teneur en argent, qui est, pour les schlamms, plus élevée que pour les sables. Si en effet, la teneur en plomb des sables est de 70 à 80 p. 100, tandis que celle des schlamms n'est que de 28 à 35 p. 100 (ces nombres qui représentent les proportions actuelles sont très voisins de ceux que cite M. Henry), les schlamms ont 260 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb, tandis que les sables n'ont que 180 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb.

L'introduction des schlamms dans la masse des sables ne constitue pas la simple addition d'une matière pauvre en plomb à une matière enrichie en plomb ; mais elle a pour résultat l'apport d'un produit dont la teneur en argent rapportée au plomb est, en raison de la nature du minerai, plus élevée dans les schlamms que dans les sables. On conçoit donc qu'en calculant convenablement le rapport des mélanges des deux natures de produits, on puisse compenser, par l'augmentation de la teneur en argent, la diminution de la teneur en plomb. Ces calculs sont trop simples pour qu'il y ait intérêt à les développer ici. Je me contenterai d'en donner les résultats.

En partant des données précédentes et en admettant, comme on le fait aujourd'hui, que le mélange de sables et de schlamms soit combiné de façon à contenir 56 p. 100 de plomb, j'ai trouvé que le mélange contiendrait 198 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb, proportion supérieure de 18 grammes à celle qui a été mentionnée plus haut.

#### Atelier de Laurenburg (Prusse Rhénane).

*Nature du minerai.* Le minerai lavé à Laurenburg est un mélange de blende, galène, carbonate de fer, carbonate de cuivre et traces de cuivre gris argentifère. Le rapport de la blende à la galène est celui de 25 à 8. L'argent, dont la proportion, dans le minerai livré au commerce à la sortie de la laverie, est de 40 à 50 grammes pour 100 kilogrammes de ce minerai, n'est pas totalement uni au plomb. On a, en effet, constaté que les pertes en argent, au cours de la préparation, étaient indépendantes des pertes en plomb. La gangue est formée de quartz, de schiste et de grauwacke.

*Formule de traitement.* Le traitement commence par un passage sur une grille à barreaux écartés de 40 millimètres. On obtient ainsi :

- 1° Une sorte supérieure à 40 millimètres (gros) ;
- 2° Une sorte inférieure à 40 millimètres (menu).

A. *Traitement du gros.* — Le gros est soumis à un casage à la main accompagné d'un triage qui donne les sortes suivantes : 1° minerai galéneux ; 2° minerai blendeux ; 3° minerai spathique ; 4° stérile.

Chacune de ces catégories passe au scheidage soigné auquel est soumis directement le menu de 40 millimètres et qui donne : 1° galène ; 2° cuivre gris ; 3° minerai de cuivre avec quartz ; 4° minerai de cuivre sans quartz ; 5° blende.

6° galéneux; 7° blendeux; 8° minéral spathique; 9° carbonate de fer; 10° stérile (à rejeter).

Les cinq premières sortes, ainsi que la sorte n° 9, sont des produits finis.

Les sortes inscrites sous les n°s 6°, 7°, 8° sont envoyées à la préparation mécanique proprement dite et elles y subissent chacune un traitement distinct.

B. Traitement du menu. — Le blendeux est jeté dans un trommel à tôles successives de 15 et 35 millimètres, qui donne trois sortes : la première (*a*) inférieure à 15 millimètres ; la deuxième (*b*) comprise entre 15 et 35 millimètres ; la troisième (*c*) supérieure à 35 millimètres.

La sorte (*c*) est triée à la main sur des tables tournantes et donne les mêmes catégories qu'au scheidage.

La sorte (*b*) est traitée dans un crible continu à trois tamis, qui donne : 1° sur le premier tamis, galéneux (*g*); 2° sur le deuxième, blendeux (*h*); 3° sur le troisième, intermédiaires (*i*); 4° au delà du troisième, stérile (à rejeter).

Les intermédiaires (*i*) sont repassés aux mêmes cribles.

Le galéneux (*g*) est klaubé et donne de la galène (pour l'usine) et du galéneux.

Le blendeux (*h*), également klaubé, donne de la blende (pour l'usine) et du blendeux.

Le blendeux obtenu dans cette opération ou dans le triage sur les tables tournantes ne doit pas être mélangé au blendeux provenant du scheidage, quoique ces diverses catégories de blendeux doivent subir le même traitement dont il sera question plus loin. Ce dernier est en effet plus riche que les deux sortes de blendeux fournies par le traitement du menu de 40 millimètres.

Cette remarque s'applique également au galéneux.

La sorte (*a*) se rend à un trommel de 3 millimètres qui donne deux sortes : l'une (*k*) supérieure, et l'autre (*l*) inférieure à 3 millimètres.

La sorte (*k*) est traitée dans un crible à trois tamis, qui

travaille à la fois comme crible continu et comme crible filtrant ; ce crible donne : 1° sur le premier tamis, galène (pour l'usine); 2° sous le premier, galène (pour l'usine); 3° sur le deuxième, blendeux; 4° sous le deuxième, intermédiaire (*m*); 5° sur le troisième, intermédiaire (*n*); 6° sous le troisième, intermédiaire (*p*); 7° au delà du troisième, stérile (à rejeter).

Le blendeux passe au traitement des blendeux qui sera décrit ci-dessous. Les intermédiaires (*m*) et (*p*), suivant qu'ils sont plus ou moins riches, sont passés soit à un crible (*c*), dont il sera question plus loin, soit aux cylindres. L'intermédiaire (*n*) repasse au crible qui l'a fourni. La sorte (*l*) se rend à un classificateur ( $\Gamma$ ) formé de trois caisses pointues, lesquelles envoient leurs produits réunis à un crible spécial fonctionnant comme le précédent.

Le crible (*c*), qui fonctionne comme le précédent, donne : 1° sur et sous le premier tamis, intermédiaire [à repasser au crible (*c*)]; 2° sur et sous le deuxième, blende (pour l'usine); 3° sur et sous le troisième, intermédiaire [à repasser sur (*c*)]; 4° au delà du troisième, stérile (à rejeter).

Les produits entraînés par les eaux au delà du classificateur ( $\Gamma$ ) se rendent à un spitzkasten  $\Sigma$  à six caisses, dont les trois premières envoient leurs produits sur une table à secousses longitudinales, et les trois dernières sur une autre table du même genre. Chaque table à secousses donne : 1° un stérile (à rejeter); 2° trois intermédiaires.

On repasse ces intermédiaires jusqu'à obtenir un galéneux et un blendeux assez riches pour pouvoir être envoyés à l'usine.

Les produits entraînés par les eaux au delà de la dernière caisse du spitzkasten  $\Sigma$ , se déposent dans des labyrinthes, d'où on les extrait pour les traiter sur des tables tournantes qui donnent les produits suivants : 1° stérile



(à rejeter); 2° stérile de blende (à repasser); 3° blende (pour l'usine); 4° blende de galène (à repasser); 5° galène (pour l'usine).

Reste à indiquer le traitement du galéneux, du blendeux et du minéral spathique obtenu dans le scheidage du gros et dans le traitement du menu.

1° Galéneux. — Le galéneux est broyé au sectorateur Schranz, puis tombe au pied d'une noria, qui l'élève au niveau d'un trommel de 8 millimètres qui donne deux sortes : l'une ( $x$ ) supérieure et l'autre ( $y$ ) inférieure à 8 millimètres.

La sorte ( $x$ ) passe aux cylindres broyeurs, puis tombe au pied de la même noria que les produits sortant du sectorateur; elle repasse ainsi au trommel de 8 millimètres.

La sorte ( $y$ ) se rend à un trommel à deux tôles successives percées de trous de 3 à 5 millimètres, qui donne trois sortes : 1° la première ( $\alpha$ ) inférieure à 3 millimètres; 2° la deuxième ( $\beta$ ) comprise entre 3 et 5 millimètres; 3° la troisième ( $\gamma$ ) supérieure à 5 millimètres.

La sorte ( $\gamma$ ) se rend à un crible ( $C_1$ ). La sorte ( $\beta$ ) se rend à un crible ( $C_2$ ). La sorte ( $\alpha$ ) se rend à un classificateur ( $F_1$ ) formé de trois caisses pointues; les produits qui s'y déposent vont ensemble à un crible ( $C_3$ ).

Le crible ( $C_1$ ) continu à trois tamis donne : 1° sur le premier tamis, galène (pour l'usine); 2° sur le deuxième, intermédiaire ( $\delta$ ); 3° sur le troisième, intermédiaire ( $\epsilon$ ); 4° au delà du troisième, stérile (à rejeter).

( $\delta$ ) et ( $\epsilon$ ) sont passés à la meule Schranz; les produits broyés sont reçus dans un trommel de 3 millimètres dont le refus mis à part est plus tard rejeté à la pelle sous la même meule.

Les produits qui sont recueillis sous les tamis du crible ( $C_1$ ) sont jetés à la pelle au pied de la noria mentionnée plus haut, qui les porte au trommel de 8 millimètres.

Le crible ( $C_2$ ), qui est un crible à la fois continu et fil-

trant à quatre tamis, donne : 1° sur le premier tamis, intermédiaire ( $\zeta$ ); 2° sous le premier, galène (pour l'usine); 3° sur et sous le deuxième, intermédiaire ( $\theta$ ); 4° sur et sous le troisième, intermédiaire ( $\lambda$ ); 5° sur et sous le quatrième intermédiaire, ( $\gamma$ ); 6° au delà du quatrième, stérile (à rejeter).

Les intermédiaires ( $\zeta$ ) et ( $\lambda$ ) sont retraités respectivement sur les cribles ( $C_4$ ) et ( $C_5$ ), qui seront mentionnés ci-après. L'intermédiaire ( $\gamma$ ) est traité comme ( $\lambda$ ).

L'intermédiaire ( $\theta$ ) repasse sur le crible ( $C_2$ ),

Le crible ( $C_3$ ), qui fonctionne comme le précédent, mais qui n'a que trois tamis, donne : 1° sur et sous le premier tamis, galène (pour l'usine); 2° sur et sous le deuxième, intermédiaire ( $\varphi$ ); 3° sur et sous le troisième, intermédiaire ( $\chi$ ); 4° au delà du troisième, stérile (à rejeter).

Les intermédiaires ( $\varphi$ ) et ( $\chi$ ) sont traités séparément sur le crible ( $C_4$ ).

Le crible ( $C_4$ ), qui n'a qu'un seul tamis, travaille d'une façon discontinue. Après un nombre de coups de piston jugé suffisant, on l'arrête, puis on détache, à l'aide d'une petite lame de tôle, les couches successives résultant du criblage. Les couches que l'on détermine sont les suivantes : 1° couche supérieure, (qui va à la meule Schranz); 2° couche médiane, blende (pour l'usine); 3° couche inférieure, intermédiaire (à repasser au crible  $C_1$ ).

Le crible ( $C_5$ ) donne, lors du repassage de la couche inférieure du traitement précédent : 1° couche supérieure, qui va à la meule Schranz; 2° couche inférieure, galène (pour l'usine).

Le crible ( $C_5$ ), qui a été cité plus haut, est un crible analogue à ( $C_2$ ); il donne : 1° sur et sous le premier tamis, intermédiaire ( $\psi$ ); 2° sur et sous le deuxième, blende (pour l'usine); 3° sur et sous le troisième, blende (pour l'usine); 4° sur et sous le quatrième, intermédiaire ( $\omega$ ); 5° au delà du quatrième, stérile (à rejeter).

L'intermédiaire ( $\psi$ ) est retraité sur le crible ( $C_4$ ) et l'intermédiaire ( $\omega$ ) sur le crible ( $C_5$ ).

Les produits entraînés par les eaux au delà de la dernière caisse du classificateur ( $\Gamma_1$ ) se rendent dans un classificateur ( $\Gamma_2$ ) également formé de trois caisses pointues dont les produits vont ensemble à un crible ( $C_6$ ) analogue à ( $C_2$ ) et qui donne : 1° galène (pour l'usine), 2° intermédiaire ( $a_1$ ), 3° intermédiaire ( $a_2$ ), 4° intermédiaire ( $a_3$ ), 5° stérile (à rejeter).

( $a_1$ ) repasse sur ( $C_6$ ).

( $a_2$ ) est traité sur un crible ( $C_7$ ) et ( $a_3$ ) sur un crible ( $C_8$ ).

Le crible ( $C_7$ ), qui travaille comme ( $C_3$ ), donne : 1° galèneux ( $b_1$ ); 2° blende (pour l'usine); 3° blende (pour l'usine); 4° stérile (à rejeter).

Le galèneux ( $b_1$ ) est, ou bien retraité sur ( $C_6$ ), ou bien, s'il est trop impur, jeté au pied de la noria, qui l'élèvera au niveau du trommel de 8 millimètres et le fera ainsi rentrer dans toute la série des opérations.

Le crible ( $C_8$ ), qui fonctionne comme ( $C_7$ ), donne : 1° blende (pour l'usine); 2° intermédiaire ( $b_2$ ); 3° intermédiaire ( $b_3$ ); 4° stérile (à rejeter).

Les intermédiaires ( $b_2$ ) et ( $b_3$ ) repassent respectivement aux cribles ( $C_7$ ) et ( $C_8$ ).

Les produits entraînés au delà du classificateur ( $\Gamma_2$ ) se rendent à un classificateur ( $\Gamma_3$ ) identique aux précédents; les produits qui s'y déposent vont ensemble à un crible ( $C_9$ ), qui fonctionne comme ( $C_2$ ) et donne : 1° galène (pour l'usine); 2° intermédiaire ( $f_1$ ); 3° intermédiaire ( $f_2$ ); 4° intermédiaire ( $f_3$ ); 5° stérile (à rejeter).

L'intermédiaire ( $f_1$ ) est traité, soit de nouveau sur le crible ( $C_9$ ), soit sur une table à secousses longitudinales; ( $f_2$ ) est passé sur une table à secousses analogues; enfin ( $f_3$ ) repasse sur le crible ( $C_9$ ).

Les produits entraînés au delà du classificateur ( $\Gamma_3$ ) se rendent dans un spitzkasten ( $\Sigma'$ ).

Ce spitzkasten se compose de quatorze caisses, dont les trois premières sont desservies par une table de Rittinger, et les onze dernières par six tables à secousses longitudinales.

La table de Rittinger donne : 1° galène (pour l'usine); 2° intermédiaires.

Les intermédiaires les plus pauvres sont traités aux tables à secousses longitudinales et les plus riches aux tables tournantes dont le fonctionnement a déjà été indiqué.

2° Blendeux. — Les produits blendeux sont traités comme le galèneux et donnent lieu à une série de produits analogues et sur les mêmes appareils. Il suffit de mentionner les différences suivantes :

Le crible ( $C_1$ ) donne sur le troisième tamis, au lieu d'un intermédiaire à passer à la meule Schranz, un produit de blende pour l'usine.

De même, le troisième et le quatrième tamis du crible ( $C_2$ ), au lieu de fournir des intermédiaires à retraiter, donnent ici de la blende pour l'usine.

Il en est de même du troisième tamis de ( $C_3$ ).

De plus, les produits obtenus au delà du dernier tamis du crible ( $C_2$ ) passent au crible ( $C_6$ ), et ceux que l'on obtient au delà du dernier tamis de ( $C_6$ ) vont sur le crible ( $C_7$ ).

3° Minerai spathique. — Le minerai spathique venant du scheidage passe au sectorateur Schranz et, de là, à un trommel de 8 millimètres dont le refus est broyé entre des cylindres (I), puis tombe au pied d'une noria avec les produits inférieurs à 8 millimètres, qui ont traversé le trommel précédent. Cette noria élève les produits à un trommel de 8 millimètres dont le refus se rend dans un trommel de 16 millimètres; tandis que les produits qui



ont traversé le second trommel de 8 millimètres vont à un trommel de 5<sup>mm</sup>,5. Le trommel de 16 millimètres donne deux sortes : l'une ( $p_1$ ) supérieure et l'autre ( $p_2$ ) inférieure à 16 millimètres. ( $p_1$ ) est passée aux cylindres (I), et ( $p_2$ ) aux cylindres (II) qui broient plus fin que les précédents.

Le trommel de 5<sup>mm</sup>,5 donne deux sortes : l'une ( $q_1$ ) supérieure et l'autre ( $q_2$ ) inférieure à 5<sup>mm</sup>,5.

( $q_1$ ) est traitée sur un crible ( $\sigma_1$ ) et ( $q_2$ ) passe à un trommel de 4 millimètres, qui est suivi de trommels à trous de 2<sup>mm</sup>,75, 2 et 1<sup>mm</sup>,5. Les refus de ces trommels se rendent respectivement à des cribles ( $\sigma_2$ ), ( $\sigma_3$ ), ( $\sigma_4$ ), ( $\sigma_5$ ), tandis que les produits qui ont traversé un trommel quelconque de la série se rendent au trommel suivant. Les produits qui ont passé à travers le trommel de 1<sup>mm</sup>,5 se rendent dans un classificateur (D) formé de huit caisses pointues dont les trois premières alimentent un crible (1), les deux suivantes un crible (2) et les trois dernières un crible (3). Les eaux entraînent, au delà de la dernière caisse du classificateur, des produits qui se déposent dans un spitzkasten (O) et passent de là sur des tables à secousses longitudinales.

Il reste à faire connaître le détail du fonctionnement de ces divers appareils.

Le crible filtrant ( $\sigma_1$ ) à trois tamis donne : 1° galène riche ( $r$ ); 2° intermédiaire ( $r_1$ ); 3° intermédiaire ( $r_2$ ); 4° stérile (à rejeter).

( $r$ ) est traité sur un crible ( $\sigma_6$ ) analogue à ( $C_4$ ); ( $r_1$ ) et ( $r_2$ ) passent à la meule Schranz.

Le crible ( $\sigma_2$ ) fonctionne comme ( $\sigma_1$ ). Il en est de même de ( $\sigma_3$ ) à cette différence près, que les intermédiaires obtenus sur le 2° et 3° tamis de ce dernier crible, au lieu d'aller à la meule Schranz, sont retraités sur le crible ( $\sigma_6$ ).

Le crible ( $\sigma_4$ ) est un crible filtrant à 4 tamis qui donne : 1° galéneux riche ( $u$ ); 2° intermédiaire ( $u_1$ ); 3° blende

(pour l'usine); 4° intermédiaire ( $u_2$ ); 5° stérile (à rejeter).

( $u$ ) et ( $u_1$ ) sont passés au crible ( $\sigma_6$ ); ( $u_2$ ) est traité sur le crible ( $\sigma_3$ ).

Le crible ( $\sigma_5$ ) fonctionne comme ( $\sigma_4$ ).

Les cribles (1), (2), (3) sont, ainsi que les cribles (4)(5)(6) qui les accompagnent, des cribles filtrants à 4 tamis. Le crible filtrant (7), qui est accolé au crible (6), n'a au contraire que trois tamis.

La série des repassages sur ces 7 cribles est un type de travail discontinu qu'il importe de détailler.

Le crible (1) donne : 1° galène (pour l'usine); 2° intermédiaire [(repassé au crible (1))]; 3° blende (pour l'usine); 4° intermédiaire [(passe au crible (5))]; 5° intermédiaire [(passe au crible (5))].

Le crible (2) donne : 1° galène (pour l'usine); 2° intermédiaire [(repassé au crible (2))]; 3° blende [(passe au crible (6))]; 4° intermédiaire [(passe au crible (4))]; 5° intermédiaire [(passe au crible (4))].

Le crible (3) donne : 1° galène (pour l'usine); 2° intermédiaire [(passe au crible (3))]; 3° blende (passe aux tables à secousses); 4° intermédiaire (passe aux tables à secousses); 5° intermédiaire (passe aux tables à secousses).

Le crible (4) donne : 1° intermédiaire (passe aux tables à secousses); 2° intermédiaire [(passe au crible (6))]; 3° intermédiaire [(passe au crible (6))]; 4° intermédiaire [(repassé au crible (4))]; 5° stérile (à rejeter).

Le crible (5) donne : 1° blende [(passe au crible (7))]; 2° blende [(passe au crible (7))]; 3° blende [(passe au crible (7))]; 4° intermédiaire [(repassé au crible (5))]; 5° stérile (à rejeter).

Le crible (6) donne : 1° intermédiaire (passe aux tables à secousses); 2° blende (pour l'usine); 3° blende pour l'usine); 4° intermédiaire [(passe au crible (4))]; 5° intermédiaire [(passe au crible (4))].

Le crible (7) donne : 1° intermédiaire [(passe au classi-

ficateur (D)]; 2° blende (pour l'usine); 3° blende (pour l'usine); 4° intermédiaire [(passe au crible (5)].

Le spitzkasten (O) contient 24 compartiments. Les douze premiers sont desservis deux à deux par une table à secousses longitudinales; les douze derniers, en raison du peu de concentration des eaux qui les traversent, ne sont desservis que par trois tables à secousses; enfin trois tables de ce genre servent pour les repassages de matière. Chaque table à secousses donne effectivement: 1° une catégorie de stérile (à rejeter); 2° trois catégories d'intermédiaires.

Les intermédiaires recueillis au bas de la table sont enrichis sur une autre table analogue. Les deux autres catégories d'intermédiaires passent à l'une des trois tables tournantes de cet atelier qui travaillent comme on l'a vu plus haut (\*).

*Production.* — Sans revenir sur le nombre des appareils qui a été indiqué plus haut, je me contenterai de dire que l'atelier se divise en deux parties bien distinctes: l'une réservée au travail à la main, se réduit à un petit atelier situé au haut du coteau de Laurenburg; l'autre qui contient la préparation mécanique proprement dite, comprend deux bâtiments; le premier affecté au travail du menu, du galéneux et du blendeux, le second au traitement du minerai spathique.

L'atelier de Laurenburg produit par an, avec 25.000 tonnes de minerai brut, 2.150 tonnes de minerai de plomb et 6.300 tonnes de blende. On ne produit guère que 1 à 2 tonnes de cuivre gris argentifère par an. Le minerai de

(\*) Si nous avons cru devoir insister avec détail sur cette formule de traitement c'est que, d'une part, elle donne l'exemple d'un traitement discontinu justifié par la variété des produits et que, d'autre part, elle est actuellement la seule dans laquelle le sectorateur Schranz soit appliqué.

DANS LA SAXE, LE HARTZ ET LA PRUSSE RHÉNANE. 135  
plomb contient 60 p. 100 de plomb et 40 à 50 grammes d'argent pour 100 kilogrammes de la masse totale de ce minerai.

§ 2. — Ateliers de Lautenthal, de Weiss, d'Ems et de Friedrichsseggen.

Atelier de Lautenthal (Hartz),

*Nature du minerai.* — Le minerai de Lautenthal se compose de blende, galène, pyrite de cuivre et traces de pyrite de fer. Les poids de ces éléments sont, proportionnels à 10 pour la galène, 100 pour la blende, 1 pour la pyrite de cuivre.

L'abondance de la blende dans ce dernier minerai, oblige, en raison des complications que cet élément introduirait dans la préparation mécanique proprement dite, à faire précéder le traitement d'un travail à la main très soigné destiné à séparer la blende.

*Formule de traitement.* — Un premier triage à la main, opéré au jour, sépare le minerai en deux classes: l'une de grosseur supérieure à 80 millimètres (A) et l'autre inférieure à 80 millimètres (B). Un cassage à la main donne, avec le produit (A): 1° minerais riche en pyrite de cuivre (a); 2° blendeux pauvre (b); 3° galéneux pauvre (c); 4° blendeux riche (d); 5° galéneux riche (f.)

Le minerai (B) se rend immédiatement à des trommels classeurs.

Le produit (a) est cassé à la main et donne: 1° minerai de bocard riche (B<sub>1</sub>); 2° minerai de bocard pauvre (B<sub>2</sub>); 3° minerai de scheidage (S<sub>1</sub>); 4° minerai blendeux (b<sub>1</sub>); 5° stérile.

Le produit (b) traité de même, donne les produits sui-



vants : 1° minerai blendeux ( $b_2$ ); 2° minerai plombeux ( $p_1$ ); 3° stérile.

Le produit ( $d$ ) traité de même donne : 1° blende marchande; 2° blende de scheidage ( $S_2$ ); 3° minerai blendeux ( $b_3$ ); 4° stérile.

Le produit ( $f$ ) traité de même donne : 1° galène marchande; 2° galène de scheidage ( $S_3$ ); 3° minerai plombeux ( $p_2$ ); 4° stérile (\*).

Le produit ( $c$ ) est traité comme ( $b$ ).

La sorte (B) est envoyée à des tromeles classeurs qui donnent les sortes suivantes : 1° sorte supérieure à 32 millimètres ( $a'$ ); 2° de 32 à 24 millimètres ( $b'$ ); 3° de 24 à 18 millimètres ( $c'$ ); 4° de 18 à 13,3 ( $d'$ ); 5° de 13,3 à 1 millimètre ( $e'$ ); 6° sorte inférieure à 1 millimètre ( $f'$ ).

La dimension de 1 millimètre a été récemment substituée à celle de 2 millimètres dans cette série de grosseur.

La sorte ( $a'$ ) va au klaubage. La sorte ( $b'$ ) se rend à un crible continu ( $\gamma_1$ ) à deux tamis; les sortes ( $c'$ ) et ( $d'$ ) se rendent à deux autres cribles semblables, mais distincts du précédent. La sorte ( $e'$ ) se rend à des tromeles (T) dont il sera question plus loin. La sorte ( $f'$ ) va rejoindre les produits de même grosseur qui seront signalés ci-dessous.

Ces cribles continus donnent chacun : 1° sur le 1<sup>er</sup> tamis, produit ( $\alpha_1$ ); 2° sur le 2<sup>o</sup> tamis, produit ( $\beta_1$ ); 3° au

(\*) Le minerai de bocard riche ( $B_1$ ) est formé de galène et de stérile accompagnant la pyrite de cuivre qui forme l'élément dominant. Le minerai de bocard pauvre ( $B_2$ ) ne contient que de la pyrite de cuivre et du stérile, sans galène. Le minerai blendeux ( $b_1$ ), ( $b_2$ ), ( $b_3$ ) est composé de blende formant la plus grande partie de la masse, avec galène et stérile. Le minerai plombeux ( $p_1$ ) et ( $p_2$ ) est formé en majeure partie de galène avec du stérile et une faible quantité de blende. Les minerais ( $b_1$ ), ( $b_2$ ), ( $b_3$ ), ( $p_1$ ) et ( $p_2$ ) doivent être en raison de leur texture, concassés au broyeur à mâchoires.

delà du 2<sup>o</sup> tamis, produit ( $\gamma_1$ ); 4° à travers les tamis, produit ( $\delta_1$ ).

Le produit ( $\alpha_1$ ) va au klaubage; ( $\beta_1$ ) repasse au même crible; ( $\gamma_1$ ) passe aux cylindres (I); enfin le produit ( $\delta_1$ ) est réuni à la sorte ( $e'$ ).

Le klaubage fournit : 1° galène (pour l'usine); 2° blende marchande; 3° pyrite de cuivre (pour l'usine); 4° galène de scheidage ( $S_4$ ); 5° blende de scheidage ( $S_5$ ); 6° minerai de scheidage ( $S_6$ ); 7° minerai blendeux ( $b_4$ ); 8° minerai plombeux ( $p_3$ ); 9° minerai de bocard riche ( $B_3$ ); 10° minerai de bocard pauvre ( $B_4$ ); 11° stérile.

Les différents produits ci-dessus ont la même composition que ceux qui ont été obtenus au cassage à la main et que j'ai désignés par les mêmes dénominations. Ils sont d'ailleurs réunis aux produits correspondants obtenus dans ce cassage initial.

Le scheidage, dont je vais indiquer les produits, porte sur les sortes ( $S_1$ ) et ( $S_6$ ) (composées de pyrite, blende, galène et stérile), ( $S_3$ ) et ( $S_4$ ) (galène et stérile), ( $S_5$ ) et ( $S_2$ ) (blende et stérile).

1° ( $S_1$ ) et ( $S_6$ ) donnent au scheidage : 1° minerai de bocard riche ( $B_5$ ); 2° minerai de bocard pauvre ( $B_6$ ); 3° blendeux ( $B_7$ ); 4° pyrite de cuivre (pour l'usine).

2° ( $S_2$ ) et ( $S_3$ ) donnent : 1° blende marchande; 2° stérile; 3° minerai blendeux ( $b_5$ ).

3° ( $S_4$ ) et ( $S_5$ ) donnent : 1° minerai plombeux ( $p_4$ ); 2° stérile; 3° galène (pour l'usine).

Les minerais ( $p_1$ ) ( $p_2$ ) ( $p_3$ ) ( $p_4$ ) et ( $b_1$ ) ( $b_2$ ) ( $b_3$ ) ( $b_4$ ) ( $b_5$ ), vont au broyeur à mâchoires. Le blendeux ( $B_7$ ) est destiné aux bocards. Les produits ( $B_5$ ) et ( $B_6$ ) sont réunis respectivement aux produits déjà obtenus et désignés par les mêmes dénominations.

Le broyeur à mâchoires est suivi d'un tromele à trous de 13<sup>mm</sup>,3. Les produits supérieurs à 13<sup>mm</sup>,3 sont passés aux cylindres broyeurs (I) qui reçoivent également les

produits ( $\gamma_1$ ) déjà mentionnés qui sont entraînés par les eaux au delà des cribles continus à deux tamis.

Les produits inférieurs à 13<sup>mm</sup>,3 sont réunis à la sorte ( $\epsilon'$ ) et se rendent, avec les produits qui ont passé entre les cylindres (I), à une série de trommels (T) qui donnent les produits suivants : 1° au-dessus de 13,3 ( $\alpha$ ); 2° de 13,3 à 10 ( $\beta$ ); 3° de 10,0 à 7,5 ( $\gamma$ ); 4° de 7,5 à 5,6 ( $\delta$ ); 5° de 5,6 à 4,2 ( $\epsilon$ ); 6° de 4,2 à 0 ( $\eta$ ).

( $\alpha$ ) repasse aux cylindres; ( $\beta$ ) ( $\gamma$ ) ( $\delta$ ) ( $\epsilon$ ) sont traités séparément sur des cribles continus à 3 tamis; ( $\eta$ ) se rend à des trommels classeurs (T<sub>2</sub>). Voici le détail du traitement de ( $\beta$ ) ( $\gamma$ ) ( $\delta$ ) ( $\epsilon$ ) :

1° Traitement de ( $\beta$ ) crible ( $c_1$ ). — 1° Sur le 1<sup>er</sup> tamis, blende et galène ( $m_1$ ); 2° sur le 2<sup>e</sup> tamis, blende et galène ( $n_1$ ); 3° sur le 3<sup>e</sup> tamis, blende, galène et stérile ( $q_1$ ); 4° au delà du 3<sup>e</sup> tamis, produit à envoyer aux cylindres (II); 5° à travers les tamis, produits à joindre à ( $\eta$ ).

2° Traitement de ( $\gamma$ ) crible ( $c_2$ ). — Il est le même que celui de ( $\beta$ ) et donne les mêmes produits.

Les matières ( $m_1$ ) et ( $m_2$ ), ( $n_1$ ) et ( $n_2$ ) sont traitées sur des cribles ( $c_3$ ) à un tamis à travail discontinu. Les matières ( $q_1$ ) et ( $q_2$ ) repassent aux mêmes cribles continus.

Les cribles ( $c_3$ ) discontinus donnent :

a) pour les matières ( $m_1$ ) et ( $n_1$ ) : 1° matières à broyer aux cylindres II; 2° matières à repasser au même crible discontinu; 3° matières à klauber; 4° blende marchande; 5° galène et blende (à repasser au même crible discontinu); 6° galène (pour l'usine); 7° ce qui traverse le tamis est traité comme ( $\eta$ ).

Les matières du 3° donnent au klaubage : 1° blende marchande; 2° matières à broyer aux cylindres II (en quantité très faible).

Une autre formule est parfois appliquée aux produits 3°, 4°, 5°, 6°, fournis par le passage de ( $m_1$ ) et ( $n_1$ ) au crible discontinu. Elle consiste à réunir ces quatre caté-

gories en trois catégories seulement, savoir : blende, blende et galène, galène que l'on soumet, chacune séparément, au klaubage; ce dernier donne : 1° galène (pour l'usine); 2° blende (pour le commerce); 3° minerai de bocard riche (B<sub>7</sub>); 4° minerai de bocard pauvre (B<sub>8</sub>); 5° blendeux ( $\beta_2$ ); 6° pyrite de cuivre (pour l'usine); 7° minerai plombeux de cylindres ( $b'$ ); 8° minerai blendeux de cylindres ( $b''$ ).

Les minerais (B<sub>7</sub>) et (B<sub>8</sub>) sont joints respectivement aux minerais (B<sub>1</sub>) et (B<sub>2</sub>); enfin ( $b'$ ) et ( $b''$ ) sont envoyés aux cylindres (II).

b) pour les matières ( $m_2$ ) et ( $n_2$ ), on obtient les mêmes produits (au nombre de 7) que dans le traitement initial des matières ( $m_1$ ) et ( $n_1$ ). Mais le traitement de la classe (3°) c'est-à-dire des « matières à klauber » présente parfois des difficultés qui obligent à recourir à un traitement spécial. Il consiste dans un passage au trommel de ces matières qui sont classées en trois catégories : la 1<sup>re</sup> de 3 millimètres et au-dessous, la 2<sup>e</sup> de 4<sup>mm</sup>,5 à 3, la 3<sup>e</sup> au-dessus de 4,5.

Ces catégories sont traitées chacune sur un crible ( $c_4$ ) discontinu à un tamis qui donne : 1° matières à broyer aux cylindres II; 2° matières à klauber; 3° blende marchande; 4° matières à broyer aux cylindre III; 5° Produits qui ont traversé le tamis (à traiter comme  $\eta$ ).

Les cylindres I donnent des grains de 13<sup>mm</sup>,3; les cylindres II des grains de 6<sup>mm</sup>,4, et les cylindres III des grains de 4<sup>mm</sup>,2. On envoie, dans le cas actuel, aux cylindres II les matières du 1° qui contiennent du stérile et des produits riches mélangés, et aux cylindres III les matières du 4° dans lesquelles le mélange est beaucoup plus intime et qui, par suite, ont besoin d'être broyées beaucoup plus fin.

3° Traitement de ( $\delta$ ) et de ( $\epsilon$ ). — Crible ( $c_5$ ) pour ( $\delta$ ); crible ( $c_6$ ) pour ( $\epsilon$ ). Autrefois le traitement de ces matières



s'effectuait sur des cribles identiques aux cribles qui servent au traitement de  $(\beta)$  et de  $(\gamma)$ . On se sert aujourd'hui de cribles filtrants à trois compartiments où le tamis du premier compartiment est recouvert d'un lit de galène et celui du 2<sup>e</sup> d'un lit de blende. L'écoulement hors du 3<sup>e</sup> s'effectue, comme cela a lieu pour les trois compartiments des cribles continus qui servent au traitement de  $(\beta)$  et  $(\gamma)$ , par un déversoir dont l'orifice est au-dessus du tamis. On obtient, lors du traitement des produits  $(\delta)$  : 1<sup>o</sup> sous le 1<sup>er</sup> tamis, blende et galène ( $m_3$ ) ; 2<sup>o</sup> sous le 2<sup>e</sup> tamis, matières à retraiter au même crible ; 3<sup>o</sup> sur le 3<sup>e</sup> tamis, matières pour les cylindres III ; 4<sup>o</sup> sous le 3<sup>e</sup> tamis, matières à réunir à  $(\gamma)$  ; 5<sup>o</sup> au delà du 3<sup>e</sup> tamis, stérile (à rejeter).

On obtient de même, dans le traitement de  $(\varepsilon)$  une sorte ( $m_4$ ) analogue à la sorte ( $m_3$ ). Ces sortes ( $m_3$ ) et ( $m_4$ ) sont traitées séparément au crible discontinu ( $c_7$ ) qui donne : 1<sup>o</sup> matières à broyer aux cylindres III ; 2<sup>o</sup> matières à repasser au même crible discontinu ; 3<sup>o</sup> blende marchande ; 4<sup>o</sup> matières à repasser au même crible ; 5<sup>o</sup> galène (pour l'usine).

Les cylindres II et les cylindres III sont suivis chacun d'une série de trommels ( $T_2$ ) qui donnent les catégories suivantes [les matières  $(\eta)$  et celles qui leur sont jointes sont amenées à l'entrée du trommel de 4<sup>mm</sup>,2 de la série] : 1<sup>o</sup> au-dessus de 6<sup>mm</sup>,4 ( $\lambda$ ) ; 2<sup>o</sup> de 6,4 à 4,2 ( $\mu$ ) ; 3<sup>o</sup> de 4,2 à 2,6 ( $\rho$ ) ; 4<sup>o</sup> de 2,6 à 1,6 ( $\varphi$ ) ; 5<sup>o</sup> de 1,6 à 1,0 ( $\chi$ ) ; 6<sup>o</sup> au-dessous de 1,0 ( $\psi$ ).

Les produits  $(\lambda)$  sont traités sur un crible ( $c_8$ ) continu à trois tamis. Les produits  $(\mu)$  sont traités de même [crible ( $c_{10}$ )].

On obtient : 1<sup>o</sup> sur le 1<sup>er</sup> tamis, produit  $(\lambda_1)$  ; 2<sup>o</sup> sur le 2<sup>e</sup> tamis, produit  $(\lambda_2)$  ; 3<sup>o</sup> sur le 3<sup>e</sup> tamis, minerai de bocard ( $\lambda_3$ ) ; 4<sup>o</sup> au delà du 3<sup>e</sup> tamis, stérile ; 5<sup>o</sup> à travers les tamis, produits  $(\lambda')$ .

Les produits  $(\lambda')$  vont à des trommels ( $T_3$ ). Les produits  $(\lambda_2)$  et  $(\lambda_3)$  sont passés à des cribles continus ( $c_9$ ) analogues à celui dont ils proviennent, et qui donnent : 1<sup>o</sup> et 2<sup>o</sup> produit à repasser aux cylindres III ; 3<sup>o</sup> minerai de bocard ( $\lambda_4$ ) ; 4<sup>o</sup> stérile (à rejeter) ; 5<sup>o</sup> produits pour les trommels ( $T_3$ ).

Les trommels  $T_3$  donnent actuellement : 1<sup>o</sup> produit ( $\varphi'$ ) supérieur à 2 millimètres et inférieur à 3 millimètres ; 2<sup>o</sup> ( $\varphi''$ ) comprise entre 2 et 1 millimètre ; 3<sup>o</sup> ( $\varphi'''$ ) inférieur à 1,0.

Les produits ( $\varphi'$ ) passent aux cribles continus à 4 tamis sur lesquels on lave les produits ( $\rho$ ). Les produits ( $\varphi''$ ) sont lavés sur les cribles continus à 4 tamis destinés au traitement de ( $\varphi$ ). Il est bien entendu que ces divers produits sont traités chacun à leur tour sur les appareils en question.

Les produits ( $\rho$ ) sont traités, sur des cribles filtrants à 4 tamis ( $c_{11}$ ) à couche filtrante de galène pour le 1<sup>er</sup> tamis et de blende pour les 3 derniers. On obtient ainsi : 1<sup>o</sup> blende et galène ( $\rho'$ ) ; 2<sup>o</sup> blende marchande ( $\rho''$ ) ; 3<sup>o</sup> blende et stérile ( $\rho'''$ ) ; 4<sup>o</sup> minerai de bocard ( $\lambda_5$ ) ; 5<sup>o</sup> stérile.

Le produit ( $\rho'''$ ) est repassé au même crible. Le produit ( $\rho'$ ) est traité encore une fois à un crible ( $c_{12}$ ) à 4 tamis analogue au précédent et donne : 1<sup>o</sup> galène (pour l'usine) ; 2<sup>o</sup> blende et galène (à repasser au même crible) ; 3<sup>o</sup> blende marchande ; 4<sup>o</sup> blende et stérile (à joindre à  $\rho'''$ ) ; 5<sup>o</sup> stérile.

Les produits ( $\varphi$ ) et ( $\chi$ ) sont traités de même que ( $\rho$ ) sur des cribles distincts ( $c_{13}$ ) et ( $c_{14}$ ) et donnent les mêmes sortes.

Les produits ( $\psi$ ) sont conduits, par un courant d'eau, dans un spitzkasten à 4 pointes dont chacune alimente un crible distinct ( $c_{15}$ ) ( $c_{16}$ ) ( $c_{17}$ ) ( $c_{17}'$ ) ; ces cribles filtrants ont 4 tamis recouverts, le 1<sup>er</sup> d'un lit de galène et les 3 autres d'un lit de blende ; ils donnent : 1<sup>o</sup> blende et galène ( $\Psi'$ ) ;

2° blende marchande ( $\Psi''$ ); 3° blende et stérile ( $\Psi'''$ ); 4° stérile avec un peu de blende ( $\Psi''''$ ); 5° stérile.

( $\Psi'$ ) est traité comme ( $\rho'$ ); ( $\Psi'''$ ) est repassé à l'appareil à quatre tamis qui a donné la sorte de ( $\psi$ ) d'où cette sorte ( $\Psi''''$ ) a été extraite; il en est de même de ( $\Psi''''$ ).

Les produits ( $\lambda_3$ ) ( $\lambda_4$ ) ( $\lambda_5$ ) sont bocardés dans un atelier de bocard appelé « Pochhaus » qui est distinct de l'atelier (I. Pochwerk) où l'on traite les sortes ( $B_1$ ) ( $B_2$ ) ( $B_3$ ) ( $B_4$ ) ( $B_5$ ) ( $B_6$ ) ( $\beta_1$ ) ( $B_7$ ) ( $B_8$ ) ( $\beta_2$ ) et qui est également distinct de l'atelier (IV Pochwerk) où l'on traite la sorte ( $f'$ ); c'est également à la série des opérations exécutées dans ce dernier atelier que se rendent les produits ( $\omega$ ) entraînés par les eaux au delà de la dernière caisse du spitzkasten.

Dans l'ancienne formule de traitement, on obtenait, lors du passage aux cribles à 4 tamis, des produits ( $\psi$ ) déposés dans le spitzkasten, les sortes suivantes: 1° galène pure (pour l'usine); 2° galène et blende (à repasser au même appareil); 3° blende marchande; 4° blende et stérile (à repasser au même appareil); 5° stérile.

Le traitement actuel, qui consiste à repasser la matière fournie sous le 1<sup>er</sup> tamis avec le produit ( $\rho'$ ), correspond à une purification plus complète du minerai de plomb livré à l'usine.

Le Pochhaus contient un bocard dont les produits doivent traverser un tamis de 2 millimètre. On les divise en outre par des trommels  $T_4$  en plusieurs sortes: 1° ( $\theta'$ ) supérieure à 2 millimètres; 2° ( $\theta''$ ) de 2 à 1 millimètre; 3° ( $\theta'''$ ) inférieure à 1 millimètre.

( $\theta'$ ) repasse au même bocard; ( $\theta''$ ) se rend sur un crible ( $c_{18}$ ) filtrant à 4 tamis avec couches filtrantes de même nature que celle du crible ( $c_{17}$ ) et qui donne: 1° blende et galène ( $x'$ ); 2° blende marchande ( $x''$ ); 3° blende et galène ( $x'''$ ); 4° blende et stérile ( $x''''$ ) 5° stérile; et un peu de blende ( $x''''$ ).

( $x'$ ) est traité sur un crible ( $c_{19}$ ) identique au précédent

et qui donne: 1° galène pour l'usine ( $y'$ ); 2° blende et galène ( $y''$ ); 3° blende et galène ( $y'''$ ); 4° blende et stérile ( $y''''$ ); 5° stérile.

( $y'$ ) et ( $y'''$ ) repassent au crible qui les a fournis; ( $y''$ ) repasse au crible qui a produit ( $x'$ ); ( $x'''$ ) et ( $x''''$ ) repassent au crible qui les a fournis; ( $x''$ ) se rend sur une table à toile (Plannherd) qui donne du stérile à rejeter et des produits à joindre à ( $\omega$ ).

Les produits ( $\theta'''$ ) se rendent à un spitzkasten à 3 caisses pointues qui alimentent chacune un crible ( $c_{20}$ ) à 4 tamis, identique à celui qui traite ( $\theta''$ ). Ce qui sort entraîné par les eaux au delà du dernier compartiment du spitzkasten est réuni à ( $\omega$ ).

Il y a, dans le Pochhaus, 6 bocards de 9 flèches; pour 3 de ces bocards, on a substitué au classement de volume réalisé par les trommels  $T_4$ , le classement au moyen du classeur à courant ascendant de M. Meinicke donnant quatre produits qui, au moyen de 4 tuyaux de sortie, se rendent séparément à autant de cribles filtrants à 4 tamis. Cet appareil n'a pas toutefois donné d'aussi bons résultats qu'à Churprinz. On lui reproche ici de donner un mauvais classement de volume, les grains de faible diamètre des espèces lourdes passant dans le même tuyau de sortie que des grains de diamètre plus considérable appartenant à des produits moins lourds. Le classement de volume étant imparfait, la séparation sur les cribles l'est également d'après la loi de la gleichfälligkeit.

L'atelier appelé le « IV Pochwerk » renferme un spitzkasten à deux caisses pointues; les produits réunis dans ces deux caisses sont traités ensemble dans un trommel à trous de 0<sup>mm</sup>,5. On obtient ainsi un produit supérieur ( $Z'$ ) et un produit ( $Z''$ ) inférieur à 0<sup>mm</sup>,5.

( $Z'$ ) est traité sur un crible ( $c_{21}$ ) filtrant à 4 tamis avec couche filtrante identique à la couche indiquée ci-dessus; ( $Z''$ ) est traité dans un trommel à trous de 0<sup>mm</sup>,25 qui donne



un produit ( $Z'''$ ) supérieur et un produit ( $Z''$ ) inférieur à  $0^{\text{mm}},25$ .

Les produits ( $Z'''$ ) sont traités sur un crible ( $c_{22}$ ) analogue à celui ( $c_{21}$ ) qui sert à traiter ( $Z'$ ). Les produits ( $Z''$ ) sont entraînés par les eaux à une caisse pointue ( $\sigma$ ); les produits qui s'y déposent sont traités à un crible filtrant à 3 compartiments ( $c_{23}$ ) avec couche filtrante de galène sur le 1<sup>er</sup> tamis et de blende sur les suivants.

Les cribles filtrants à 4 tamis du « IV Pochwerk » donnent : 1<sup>o</sup> blende et galène ( $\xi'$ ); 2<sup>o</sup> blende marchande; 3<sup>o</sup> blende et stérile ( $\xi''$ ); 4<sup>o</sup> blende et stérile ( $\xi'''$ ); 5<sup>o</sup> stérile. ( $\xi'$ ) est repassé au crible ( $c_{19}$ ); ( $\xi''$ ) et ( $\xi'''$ ) sont à repasser sur les mêmes cribles qui donnent alors : 1<sup>o</sup> galène (pour l'usine); 2<sup>o</sup> galène et blende (à repasser au même crible), 3<sup>o</sup> blende marchande; 4<sup>o</sup> blende et stérile [(à joindre à ( $\xi'''$ ))]; 5<sup>o</sup> stérile.

Le crible à 3 compartiments donne : 1<sup>o</sup> blende et galène ( $\xi'$ ); 2<sup>o</sup> blende marchande; 3<sup>o</sup> blende et stérile ( $\xi''$ ); 4<sup>o</sup> stérile et un peu de blende ( $\xi'''$ ), ( $\xi'$ ) est repassé au crible ( $c_{19}$ ); ( $\xi''$ ) repasse à ( $c_{23}$ ).

Les produits entraînés par les eaux au delà des deux derniers spitzkastens se rendent au bassin à schlamms avec les produits ( $\xi'''$ ).

Les produits entraînés au delà du spitzkasten à 3 caisses qui a reçu ( $\Theta'''$ ) se rendent à un spitzkastein à 3 caisses dont le déversoir envoie les eaux au bassin à schlamms; la caisse ( $\sigma$ ) reçoit les produits déposés dans ces 3 caisses.

Les schlamms sont retirés, à la pelle, des bassins à schlamms, puis distribués au moyen d'un agitateur à une table ronde double (la table supérieure est un round-buddle concave; la table inférieure est un round-buddle convexe).

La table supérieure donne : 1<sup>o</sup> stérile; 2<sup>o</sup> blende, galène, stérile ( $\Omega'$ ); 3<sup>o</sup> blende marchande; 4<sup>o</sup> blende et galène ( $\Omega''$ ).

( $\Omega'$ ) est traité sur la table inférieure et donne : 1<sup>o</sup> sté-

rile; 2<sup>o</sup> stérile et blende ( $\Omega'''$ ); 3<sup>o</sup> blende marchande, 4<sup>o</sup> blende et galène ( $\Omega''$ ); ( $\Omega'$ ) ( $\Omega'''$ ) ( $\Omega''$ ) sont repassés à la même table ronde.

Dans l'ancienne formule de traitement, les produits ( $\Omega'$ ) et ( $\Omega''$ ) étaient traités sur une table dormante : les tables de ce genre qui existent encore, au nombre de 3, dans cet atelier ne sont plus en service.

Dans l'état actuel du travail, les produits retraités sur une table ronde y donnent les mêmes produits que ci-dessus, sauf que ( $\Omega'$ ) et ( $\Omega''$ ) sont livrables à l'usine comme galène pure.

Le « I Pochwerk » comprend d'abord un bocard qui est accompagné d'un tamis de 2 millimètres et suivi de trommels qui donnent : 1<sup>o</sup> produits de 1 à 2 millimètres ( $\Phi'$ ); 2<sup>o</sup> produits inférieurs à 1 millimètre.

Les produits inférieurs à 1 millimètre sont conduits dans un spitzkasten qui donne : 1<sup>o</sup> des produits déposés à traiter au crible filtrant à 6 tamis ( $c_{24}$ ); 2<sup>o</sup> des produits entraînés par les eaux (E).

Le crible ( $c_{24}$ ) donne : 1<sup>o</sup> galène (pour l'usine) ( $X_1$ ); 2<sup>o</sup> galène et pyrite ( $X_2$ ); 3<sup>o</sup> pyrite (pour l'usine) ( $X_3$ ); 4<sup>o</sup>, 5<sup>o</sup>, 6<sup>o</sup>, pyrite et stérile ( $X_4$ ); 7<sup>o</sup> produit ( $\Phi''$ ).

Les produits ( $X_2$ ) et ( $X_3$ ) sont repassés à des cribles à un seul tamis ( $c_{25}$ ) à travail discontinu, où l'on traite aussi les produits ( $\Phi'$ ). On obtient, sur les appareils discontinus ( $c_{25}$ ) : 1<sup>o</sup> stérile; 2<sup>o</sup> produit à repasser au même appareil; 3<sup>o</sup> pyrite pour l'usine; 4<sup>o</sup> produit à repasser au même appareil; 5<sup>o</sup> galène pour l'usine.

Les produits ( $\Phi''$ ) sont traités sur les tables à toile (Plannherd) et donnent : 1<sup>o</sup> stérile; 2<sup>o</sup> produits à joindre à (E).

Les produits E sont traités aux tables dormantes et donnent : 1<sup>o</sup> galène pour l'usine; 2<sup>o</sup> pyrite pour l'usine; 3<sup>o</sup> produit ( $Y_1$ ); 4<sup>o</sup> schlamms ( $\Sigma$ ).

Les schlamms ( $\Sigma$ ) vont aux haldes avec tous les stériles

de la préparation mécanique. Le produit ( $Y_1$ ) composé d'un mélange de galène, pyrite et stérile, repasse aux tables.

*Description de l'atelier.* — L'atelier de Lautenthal se compose d'un double groupe de bâtiments étagés qui assurent, par leur disposition, la descente des produits.

1° Premier groupe de bâtiments. — L'atelier du premier travail à la main est situé au sommet du coteau sur le flanc duquel sont installés les autres bâtiments. Il ne comprend qu'une grande pièce au milieu de laquelle se fait le classement qui donne les produits A et B. Celui qui donne les catégories de ( $a$ ) à ( $f$ ) se fait sur les bancs de scheidage tout autour de la salle.

La sorte (B) est traitée dans l'atelier qui porte le nom de laverie de Grubenklein (voir pl. IV, fig. 13). Les trommels auxquels on passe la sorte (B) sont disposés comme suit : Deux trommels doubles ( $t_1$ ) coniques ont les dimensions suivantes :

Trommel intérieur,	D = 800 <sup>mm</sup> ,	d = 900 <sup>mm</sup> ,	δ = 32 <sup>mm</sup> ;
— extérieur,	D = 1.000	d = 1.080	δ = 13,3

en appelant

D	le diamètre intérieur à la sortie du trommel;
d	— à l'entrée —
δ	le diamètre des trous.

Chacun des deux trommels doubles constitués par l'ensemble de deux cônes de ce genre est suivi d'un trommel simple ( $t_2$ ) à deux tôles successives de 18 à 24 millimètres. Les produits qui leur arrivent sont ceux qui sont compris entre 32 et 12,3; ils leur sont amenés par un conduit de tôle. Les produits inférieurs à 13,3, fournis par chaque trommel double, vont à un tamis incliné à trous de 1 millimètre. Cette disposition de trommels mérite d'être signalée au point de vue : 1° de la combinai-

son des trommels concentriques avec les trommels à tôles successives; 2° de l'emploi d'un tamis en même temps que de trommels. La combinaison du type de trommels concentriques et du type de tôles successives a pour but d'éviter les inconvénients : 1° des trommels à tôles concentriques employés exclusivement; 2° des trommels étagés. Les premiers, en effet, ont le défaut de rendre difficile, sinon impossible, la visite des tôles intérieures, et les seconds exigent une très grande hauteur d'atelier. Dans la combinaison actuelle, au contraire, il n'y que deux tôles concentriques, et, comme la tôle intérieure a les trous les plus gros et est la plus solide, on n'aura qu'à la retirer complètement quand elle sera détériorée, ce qui sera beaucoup plus simple que de la réparer par morceaux. Quant à la tôle extérieure, qui est la plus faible, il sera très aisé, vu son accès facile, de la remettre en état en remplaçant les parties détériorées. Ce trommel double classe par refus; le trommel simple ne classe point de cette manière, car la tôle qui se présente la première à la masse à classer, est celle dont les trous sont les plus petits. Un trommel concentrique à deux tôles classant par refus (avec tôle extérieure de 18 et tôle intérieure de 24) présenterait les avantages bien connus des appareils qui classent d'après ce principe. Toutefois, dans le cas actuel, on n'a pas adopté cette dernière solution, parce que les défauts du classement par série de trous de diamètres croissants (notamment celui de fatiguer la tôle à petits trous par le passage des plus gros morceaux et celui de laisser obstruer par les gros morceaux les trous du plus petit diamètre que les menus ne peuvent traverser) sont ici peu sensibles à cause de la dimension (18 millimètres) des trous du plus petit diamètre. Ces défauts sont amplement compensés par la facilité que l'on trouve dans cette disposition pour allonger l'appareil dans le sens perpendicu-



laire à la direction de l'axe du double trommel précédent, ce qui, vu l'organisation de cet atelier et la place donnée aux autres appareils, est la solution qui assure la meilleure utilisation du terrain. En effet, les produits résultant du classement de volume, sont destinés à être reçus dans des wagonnets et non pas à être envoyés directement aux cribles; on ne dispose pas ici de la hauteur qui serait nécessaire pour réaliser le passage direct des produits du trommel aux cribles; car la hauteur du niveau de l'axe des trommels doubles est déterminée par la condition que les wagonnets qui viennent du premier atelier de scheidage, puissent y être culbutés directement sans l'intervention d'un élévateur. Cette nécessité d'un chargement dans des wagonnets, implique celle de l'établissement de stalles pour recueillir les produits, et ces stalles sont plus aisées à placer au-dessous des trommels à tôles concentriques dont l'extrémité se trouve encombrée par la présence de récipients à minerai. Mais si l'adoption de cette disposition est facile à justifier, il n'en est pas de même de celle du tamis incliné à 1 millimètre; les tamis ne sont pas des appareils à recommander, et la seule raison que l'on ait ici de s'en servir est la difficulté d'établir un trommel à un niveau assez bas pour recueillir les produits qui ont traversé la tôle extérieure du trommel double.

Les wagonnets qui contiennent les produits (a') (b') (c') (d') (f') (e') sont élevés, par un monte-charge, au niveau des caisses en forme d'entonnoir qui servent à charger les cribles ( $\gamma_1$ ).

Les cribles ( $\gamma_1$ ) n'ont pas de couche filtrante; la sortie des produits s'y fait par un tuyau émergeant au-dessus du tamis. Ce tuyau est constitué par une tôle recourbée qui emmène les produits dans un conduit légèrement incliné et perpendiculaire à la grande dimension horizontale du crible. (Pour éviter les redites je ferai observer

que ce mode d'évacuation est celui qui est appliqué à tous les cribles de Lautenthal qui n'ont pas de couche filtrante, sauf pour les deux premiers tamis des cribles ( $c_8$ ) ( $c_{10}$ ) et ( $c_9$ ) qui sont pourvus d'une conduite de tôle cylindrique aboutissant un peu au-dessus du tamis et s'avancant hors du crible à une certaine distance de la paroi longitudinale antérieure de celui-ci.)

On y donne par minute 90 coups de piston de 70 millimètres de course.

Les eaux qui alimentent la laverie de Grubenklein proviennent du fossé de Lautenthal. Elles actionnent une roue hydraulique en dessus, fournissant un travail utilisable de 3<sup>ch</sup>,6. Les eaux sortant de la laverie se rendent à un bassin de clarification; ce qui s'y dépose est envoyé à l'atelier dit: « IV Pochwerk ».

L'atelier de klaubage est placé à un niveau tel que la voie inférieure de l'atelier du Grubenklein coïncide avec la voie supérieure de l'atelier de klaubage. L'ouvrier jette dans des caisses rectangulaires sans fond, construites en tôle, les stériles et les minerais destinés à un broyage au bocardage mécanique; il jette au contraire derrière lui dans des wagonnets les produits finis et les minerais de scheidage. En poussant les caisses sans fond au-dessus de l'ouverture des caisses de dépôt, on déverse les produits des premières dans les secondes. L'atelier est d'ailleurs disposé de manière à pouvoir contenir une quantité notable de minerai attendant le klaubage. Les eaux nécessaires au klaubage sont fournies par le fossé de Lautenthal. Les eaux utilisées sont envoyées à un bassin de clarification. Les produits qui se déposent dans ce dernier se rendent à l'atelier des cylindres I, tandis que les eaux limpides s'écoulent dans la vallée.

L'atelier de scheidage a pour niveau de ses voies supérieures celui des voies inférieures de l'atelier de klaubage; il est disposé comme ce dernier.

2° Second groupe de bâtiments. — Les bâtiments de cette deuxième partie se trouvent dans le fond de la vallée et sur le coteau opposé à celui sur lequel sont construits les ateliers précédents. Ils sont disposés en gradins, le niveau supérieur de chacun d'eux coïncidant avec le niveau inférieur de celui qui le précède immédiatement. Les transports de la première et deuxième partie de la préparation mécanique sont effectués dans des wagonnets. Le premier bâtiment de cette seconde partie est celui des concasseurs et des cylindres I (Grobwalzwerk).

Les broyeurs sont au nombre de deux; chacun d'eux est suivi d'un trommel de 13,3 et d'une paire de cylindres I, celle-ci est accompagnée d'une série de trommels; savoir deux trommels doubles coniques à tôle intérieure percée de trous de 13,3 et à tôle extérieure à trous de 4,2. Les produits supérieurs à 13,3 sont élevés par deux chapelets placés entre les deux trommels coniques (je ne parle que d'une partie de l'atelier, celui-ci étant symétrique) et retournent ainsi aux cylindres. Les produits inférieurs à 4,2 sont conduits, par un canal, dans un courant d'eau jusqu'aux trommels  $T_2$ . Les produits compris entre 13,3 et 4,2 sont conduits directement à un trommel à 3 tôles successives de 5,6, 7,5 et 10.

Cet atelier est actionné : 1° par une turbine Girard partielle de 10 à 30 chevaux, avec la variation indiquée de 0<sup>m</sup>c,017 à 0<sup>m</sup>c,05; 2° par une transmission de 180 mètres de câble qui relie l'atelier à une roue hydraulique établie sur le puits et dont la puissance utilisable est de 15 chevaux.

L'atelier suivant dit Röschsetzhaus (Pl. IV, fig. 14) ou atelier des cribles à grenailles contient les cribles ( $c_1$ ) à ( $c_7$ ).

Cet atelier contient en outre un trommel ( $b$ ) à deux tôles successives de 3 et 4<sup>mm</sup>,5, une table de klaubage ( $\theta$ ) et deux caisses ( $c$ ) à entonnoir pour la blende provenant du klaubage.

Ces cribles marchent à 150 tours par minute et ont les courses de pistons suivantes :

Cribles	( $c_1$ )	45	Les tamis des cribles	( $c_1$ )	ont	4,5	} de largeur de maille.
—	( $c_2$ )	35	—	( $c_2$ )	—	4,5	
—	( $c_3$ )	29	—	( $c_3$ )	—	3	
—	( $c_4$ )	25	—	( $c_4$ )	—	2	

L'atelier dit Feinwalzwerk renferme les cylindres II et III. Il contient deux paires de cylindres II et deux paires de cylindres III. Il y a, de chaque côté du plan de symétrie de l'atelier, une paire de chaque genre de cylindres, et les paires de cylindres II sont plus rapprochées du plan de symétrie que les cylindres III. Les appareils de distribution sont : 1° pour les cylindres III, des cylindres; 2° pour les cylindres II, une conduite à courant d'eau. Chaque paire de cylindres est suivie d'une série de trommels étagés dont les trous ont pour diamètre 6<sup>mm</sup>,4, 4,2, 2,6, 1,6 et 1 millimètre. De plus, à peu près au milieu du bâtiment, se trouvent quatre couples de trommels à trous de 4,2, 2,6, 1,6 et 1 millimètre, auxquels on amène les produits ( $\eta$ ) et leurs analogues. Il y a donc au total six trommels à trous de 1 millimètre, c'est-à-dire trois de chaque côté du plan de symétrie de l'atelier.

L'atelier dit Feinsetzhaus (voir pl. IV, fig. 11) contient 2 cribles ( $c_8$ ), 2 cribles ( $c_{10}$ ), 1 crible ( $c_9$ ), 2 cribles ( $c_{11}$ ), 2 cribles ( $c_{13}$ ) et 1 crible ( $c_{14}$ ), 1 crible ( $c_{12}$ ), 1 crible ( $c'_{12}$ ) destiné à traiter le produit obtenu sous le 2° tamis de ( $c_{13}$ ) quand on lave  $\varphi$  : un crible ( $c''_{12}$ ) destiné à traiter le produit obtenu sur le 2° tamis de ( $c_{14}$ ) quand on lave ( $\chi$ ). Ce nombre d'appareils a été augmenté depuis la construction de l'atelier et porté aux chiffres que je viens d'indiquer. Il faut également citer un trommel ( $l'$ ) à deux tôles de 3 millimètres et 4,5 (tôles successives et non



concentriques) et un trommel ( $t''$ ) à deux tôles successives de 2 et 1 millimètre.

Pour les trois trommels à trous de 1 millimètre situés dans une des moitiés de l'atelier, il y a un spitzkasten à 4 pointes et 4 cribles.

La grosseur des mailles des tamis est de 3 millimètres pour les cribles ( $c_8$ ), ( $c_{10}$ ), ( $c_{13}$ ), ( $c_{14}$ ), ( $c_{12}$ ), ( $c'_{12}$ ), ( $c_{15}$ ), ( $c_{16}$ ), ( $c_{17}$ ), ( $c'_{17}$ ); et de 2 millimètres pour les cribles ( $c_9$ ); et de 4,5 pour le crible ( $c_{11}$ ). La couche filtrante a 50 millimètres d'épaisseur pour les cribles ( $c_{11}$ ), ( $c_{13}$ ) et ( $c_{14}$ ); 40 millimètres pour ( $c_{17}$ ) et ( $c'_{17}$ ) et 60 millimètres pour les autres.

Le nombre de coups de piston par minute pour les sortes variant de 4 à 0<sup>mm</sup>,5 varie de 150 à 180 et la course du piston varie de 21 à 9 millimètres.

Le pochhaus (Pl. IV, *fig.* 12) contient 6 bocards A à 9 flèches l'un; chacun des groupes de 3 bocards comprend 2 trommels étagés l'un ( $b'$ ) de 3 millimètres, l'autre ( $b''$ ) de 1 millimètre. Le bocard pulvérise jusqu'à 2 millimètres.

Les cribles qui se trouvent dans le Röschsetzhaus sont actionnés [ainsi que : 1° les cylindres II et III (Feinwalzwerk); 2° les cribles depuis ( $c_8$ ) à ( $c'_{17}$ ) (Feinsetzhaus); 3° les bocards du pochhaus et ses 9 cribles], par une turbine Girard partielle et une roue en dessus. La force utilisable de la turbine varie de 8 à 34 chevaux. Celle de la roue est de 18 chevaux, le rendement étant de 0,7.

Les cribles ( $c_{18}$ ), ( $c_{18}\alpha$ ), et ( $c_{19}$ ) ont un tamis à trous de 3 millimètres; ( $c_{20}$ ) et ( $c_{20}\alpha$ ), ( $c'_{20}$ ) et ( $c'_{20}\alpha$ ) en ont un de 2 millimètres et ( $c''_{20}$ ) et ( $c''_{20}\alpha$ ) de 1 millimètre.

La couche filtrante a une épaisseur variable avec les quantités que l'on traite. Plus celles-ci sont grandes et plus celle-là est faible.

Enfin les deux tables à toile (Z) qui se trouvent dans l'axe de symétrie de chacune des moitiés de l'atelier

sont composées de trois parties. Les parties latérales sont affectées chacune au service d'une moitié de l'atelier, la partie centrale est employée quand on nettoie l'une des deux parties latérales.

Le « IV Pochwerk » qu'on appelle encore parfois à Lautenthal, la laverie auxiliaire contient : 1° un bocard que je n'ai pas cité plus haut, parce qu'il ne sert que de réserve, et 2° une série d'appareils définis ci-dessus.

Il suffira de dire ici que les cribles ( $c_{21}$ ), ( $c_{22}$ ) et ( $c_{23}$ ) ont des mailles de 2 millimètres et une couche filtrante de 50 millimètres.

Il y a dans le « IV Pochwerk » trois tables dormantes et deux tables rondes doubles. L'une est formée de deux round-buddles convexes; l'autre est formée d'un round-buddle concave surmontant un round-buddle convexe. Le premier sert de réserve.

Le « I Pochwerk » contient 1 bocard à 9 flèches, 3 cribles ( $c_{25}$ ), 1 crible ( $c_{24}$ ) et 1 table à toile.

L'installation est complétée par deux plans inclinés à moteurs hydrauliques dont l'un situé en amont, élève, au niveau du dépôt supérieur de minerai, les produits venant de la fosse et l'autre plan incliné situé près des ateliers de laverie, a pour but de remonter aux différents niveaux les produits à traiter et de descendre aux places de chargement les produits finis.

*Production.* — L'atelier de Lautenthal traite, par an, 40.000 tonnes de minerai brut et fournit 480 tonnes de galène (à 65 p. 100 de plomb et 0,10 d'argent), 4.800 tonnes de blende et 48 tonnes de pyrite de cuivre. Il occupe trois cent dix ouvriers.

#### Atelier de Weiss (Prusse Rhénane).

*Nature du minerai.* — Le minerai traité dans l'atelier de la fosse Weiss, situé non loin de Bensberg, a la même

constitution que celui qui est lavé à Steinenbrück et qui a été défini plus haut. Les seules différences sont exprimées par les chiffres suivants qui sont relatifs à la fosse Weiss; la galène contient 260 grammes d'argent par tonne, le rapport de la blende à la galène est de 100 à 9,4.

*Formule de traitement.* — Les berlines provenant de la recette, qui est située à 80 mètres du premier atelier, sont culbutées sur une grille à barreaux écartés de 50 millimètres. On obtient ainsi : 1° du gros; 2° du menu.

1° *Traitement du gros.* — Le gros est transporté dans des brouettes en bois à la salle de scheidage.

On y sépare : 1° blende (à 56 p. 100 Zn) (pour l'usine); 2° minerai de cylindres ( $a_1$ ); 3° galène (à 70 p. 100 Pb) (pour l'usine); 4° stérile (à rejeter).

Le minerai des cylindres ( $a_1$ ) passe au broyeur à mâchoires ( $b$ ) qui broie à 50 millimètres (voir Pl. XIX); de là les produits tombent à une paire de cylindres broyeurs I, d'où les matières broyées sont relevées par une noria (N) au niveau d'un trommel (T) à deux tôles successives de 10 à 15 millimètres. On obtient les sortes : 1° au-dessous de 10 ( $b_1$ ); 2° de 10 à 15 ( $b_2$ ); 3° au-dessus de 15 ( $b_3$ ).

La sorte ( $b_3$ ) repasse aux cylindres I. La sorte ( $b_2$ ) passe à deux cribles ( $c_1$ ) continus à trois tamis.

On aura : 1° sur le 1<sup>er</sup> tamis, galène (pour l'usine); 2° sur le 2<sup>e</sup> tamis, blende (pour l'usine); 3° sur le 3<sup>e</sup> tamis, intermédiaire ( $f_1$ ); 4° au delà du 3<sup>e</sup> tamis, stérile.

( $f_1$ ) va aux cylindres broyeurs II qui broient plus fin que les cylindres I.

La sorte ( $b_1$ ) va à un trommel de 6 millimètres ( $T_1$ ) qui donne deux sortes, l'une supérieure à 6 millimètres ( $g_1$ ), l'autre inférieure à 6 millimètres ( $g_2$ ).

La sorte ( $g_1$ ) passe à deux cribles ( $c_2$ ) identiques à ( $c_1$ ) et qui donnent les mêmes produits. La galène étant peu abondante est extraite à la main. La blende est extraite par un tuyau qui débouche au niveau du tamis. Il en est de même de ( $f_1$ ).

La sorte ( $g_2$ ) va à un trommel ( $T_2$ ) de 3 millimètres qui donne deux sortes : l'une supérieure à 3 millimètres ( $h_1$ ), l'autre inférieure à 3 millimètres ( $h_2$ ).

La sorte ( $h_1$ ) passe à deux cribles continus ( $c_3$ ) à 4 tamis et qui donnent : 1° sur le 1<sup>er</sup> tamis, galène (pour l'usine); 2° sur le 2<sup>e</sup> tamis, intermédiaire ( $f_3$ ); 3° sur le 3<sup>e</sup> tamis, blende (pour l'usine); 4° sur le 4<sup>e</sup> tamis, intermédiaire ( $f_2$ ); 5° au delà du 4<sup>e</sup> tamis, stérile.

La galène est encore ici extraite à la main, vu sa faible quantité. La blende et les autres produits sortent par un tuyau d'évacuation; ( $f_2$ ) va aux cylindres II; ( $f_3$ ) repasse au même crible ( $c_3$ ).

La sorte ( $h_2$ ) va à un trommel ( $T_1$ ) de 1<sup>mm</sup>,5 qui donne deux sortes : l'une ( $K_1$ ) supérieure et l'autre ( $K_2$ ) inférieure à 1<sup>mm</sup>,5.

La sorte ( $K_1$ ) est traitée sur deux cribles filtrants ( $c_4$ ) à 4 tamis à couche filtrante de galène. On obtient : 1° sous le 1<sup>er</sup> tamis, galène (pour l'usine); 2° sous le 2<sup>e</sup> tamis, intermédiaire (à repasser au même crible); 3° sous le 3<sup>e</sup> tamis, blende (pour l'usine); 4° sous le 4<sup>e</sup> tamis, intermédiaire ( $f_4$ ); 5° au delà du 4<sup>e</sup> tamis, stérile.

L'intermédiaire ( $f_4$ ) est traité sur un crible spécial identique à ( $c_4$ ).

La sorte ( $K_2$ ) se rend à un classificateur (C) à caisses pointues qui donne trois catégories ( $m_1$ ) ( $m_2$ ) ( $m_3$ ) rangées par ordre de grosseur décroissante.

La catégorie ( $m_1$ ) est traitée sur deux cribles filtrants ( $c_5$ ) à 5 tamis, à couche filtrante de galène, qui donnent : 1° galène (pour l'usine); 2° intermédiaire (à repasser au



même crible); 3° blende (pour l'usine); 4° intermédiaire ( $f_6$ ); 5° intermédiaire ( $f_6$ ); 6° stérile.

( $f_8$ ) est une sorte de blende fine que l'on mêle aux schlamms afin de les enrichir; ( $f_2$ ) est formée de blende et de stérile; on la traite sur un crible spécial ( $c_6$ ) à 4 tamis identique à ( $c_1$ ). Il n'y a d'ailleurs qu'un crible ( $c_6$ ) pour les deux cribles ( $c_6$ ); ce crible ( $c_6$ ) donne : 1° intermédiaire ( $f_7$ ); 2° intermédiaire ( $f_8$ ); 3° blende (pour l'usine); 4° intermédiaire ( $f_9$ ); 5° stérile.

( $f_7$ ) et ( $f_8$ ) sont formées chacune de blende avec un peu de galène et passent aux cylindres II; ( $f_9$ ) est formée de stérile avec un peu de blende et passe aux cylindres II.

Les catégories ( $m_2$ ) et ( $m_3$ ) vont ensemble à une table tournante R qui donne : 1° stérile; 2° produits 1; 3° produits 2.

Les produits 1 sont un mélange de blende avec un peu de stérile et vont à un round-buddle R'. Les produits 2 sont formés de blende enrichie, mais non pure qui va à une autre table tournante R''.

La table R'' donne : 1° galène (pour l'usine); 2° blende (pour l'usine); 3° produits (1 a).

Les produits (1 a) (blende et stérile) vont à un round-buddle R<sub>3</sub>.

Le round-buddle R' donne : 1° stérile; 2° blende pauvre ou produits (1 b); 3° produits (2 b).

Les produits (1 b) sont repassés sur R'. Les produits (2 b) (blende enrichie) vont à un round-buddle R<sub>2</sub>.

Le round-buddle R'' donne : 1° blende (pour l'usine); 2° produits (1 c); 3° produits (2 c).

Les produits (1 c) (blende enrichie) vont au round-buddle R<sub>3</sub>. Les produits (2 c) (blende pauvre) vont à la table R.

Le round-buddle R<sub>3</sub> donne : 1° blende (pour l'usine); 2° produits (1 g); 3° produits (2 g).

Les produits (1 g) (blende enrichie) repassent à R<sub>3</sub>. Les produits (2 g) (blende pauvre) vont à R a.

Ce qui passe au delà de la dernière loge du classificateur se rend sur la table R.

Revenons aux cylindres II. J'ai défini les produits qui viennent à ces cylindres. Ceux-ci broient jusqu'à 1<sup>mm</sup>,5. Les produits broyés tombent au pied d'une noria (N') qui les élève à l'entrée d'un trommel (T<sub>3</sub>) à trois tôles successives de 3, 6, 10 millimètres. On obtient ainsi :

1° Une sorte qui traverse le trommel sur la tôle de 3 millimètres ( $n_1$ );

2° Une sorte qui traverse la tôle de 6 ( $n_2$ );

3° — la tôle de 10 ( $n_3$ );

4° Un refus ( $n_4$ ).

La sorte ( $n_1$ ) est réunie à ( $h_2$ ).

La sorte ( $n_2$ ) et la sorte ( $n_3$ ) vont chacune à un crible continu ( $c_7$ ) à 3 tamis; chacun de ces deux cribles ( $c_7$ ) donne :

1° Galène (pour l'usine); 2° blende (pour l'usine); 3° intermédiaire ( $f_{10}$ ); 4° au delà du 3° tamis, stérile.

On enlève encore ici la galène à la main, les autres produits sortent par des tuyaux d'évacuation. ( $f_{10}$ ) repasse aux cylindres II. Le refus ( $n_4$ ) repasse aux cylindres II.

2° Traitement du menu (< 50 millimètres). — Le menu est versé par un culbuteur  $\Delta$  dans un trommel  $\Theta$  débourbeur (on joint du reste à ce menu le menu obtenu au scheidage). Le trommel est à trous de 30 millimètres. Son refus va à une table tournante de klaubage (K) qui donne : 1° galène (S<sub>1</sub>); 2° blende (pour l'usine); 3° stérile.

Le (S<sub>1</sub>) est scheidé de nouveau et donne : 1° galène (pour l'usine); 2° minerai de cylindre à joindre à ( $a_1$ ).

Les produits qui ont traversé le trommel de 30 millimètres vont à un trommel (T<sub>6</sub>) à tôles successives de 15 et 20 millimètres qui donne les sortes : 1° au-dessus de 20 millimètres ( $t_1$ ); 2° de 20 à 15 ( $t_2$ ); 3° au-dessous de 15 ( $t_3$ ).

La sorte ( $t_1$ ) est traitée sur deux cribles continus à

3 tamis ( $c_8$ ) qui donnent : 1° galéneux ( $f_{11}$ ); 2° blende (pour l'usine) ( $\beta$ ); 3° intermédiaire ( $f_{12}$ ); 4° stérile.

Le galéneux ( $f_{11}$ ) est soumis au klaubage sur une table fixe. Le produit ( $f_{12}$ ) composé de blende et de stérile, va aux cylindres II. Tous les produits de ces cribles ( $c_8$ ) sont extraits à la main, non plus comme ci-dessus à cause de leur faible poids, mais à cause de la grosseur des grains qui pourraient obstruer les tuyaux d'évacuation.

La table fixe de klaubage donne : 1° galène (pour l'usine); 2° intermédiaire ( $f_{13}$ ) (blende et galène).

Les produits ( $t_2$ ) passent à un crible ( $c_9$ ) identique à ( $c_8$ ) et qui donne : 1° galéneux (à klauber); 2° blendeux ( $\beta'$ ); 3° intermédiaire ( $f_{14}$ ); 4° stérile.

Les produits ( $t_3$ ) vont à un trommel ( $T_7$ ) à deux tôles successives de 6 à 10 millimètres qui donne les sortes : 1° au-dessous de 6 ( $u_1$ ); 2° de 6 à 10 ( $u_2$ ); 3° au-dessus de 10 ( $u_3$ ).

Les produits ( $u_3$ ) vont à un crible ( $c_{10}$ ) continu, identique à ( $c_9$ ), sauf que, pour le 2° et le 3° tamis, il y a un tuyau d'évacuation. On obtient : 1° galène (pour l'usine); 2° blende (pour l'usine); 3° intermédiaire ( $f_{15}$ ); 4° stérile.

Les produits ( $u_2$ ) vont à un crible ( $c_{11}$ ) continu à 4 tamis. Sur les deux premiers, les matières sont enlevées à la main; sur les deux autres elles sortent par un tuyau.

On obtient : 1° galène (pour l'usine); 2° intermédiaire (à repasser au même crible); 3° blende (pour l'usine); 4° intermédiaire ( $f_{16}$ ); 5° stérile.

( $f_{13}$ ), ( $f_{14}$ ), ( $f_{15}$ ) et ( $f_{16}$ ) vont aux cylindres II.

Les produits ( $u_1$ ) vont à un trommel ( $T_8$ ) de 3 millimètres qui donne deux sortes : l'une ( $v_1$ ) supérieure et l'autre ( $v_2$ ) inférieure à 3 millimètres. ( $v_1$ ) passe sur un crible continu à 4 tamis ( $c_{12}$ ) qui travaille absolument comme ( $c_{11}$ ). ( $v_2$ ) se rend à un trommel ( $T_9$ ) de 1<sup>mm</sup>,5 qui

donne deux sortes : l'une ( $w_1$ ) supérieure et l'autre ( $w_2$ ) inférieure à 1,5.

( $w_1$ ) se rend à un crible filtrant à 4 tamis ( $c_{13}$ ), à couche de galène, donnant les mêmes produits que ( $c_{11}$ ).

( $w_2$ ) se rend à un classificateur ( $c'$ ) identique au classificateur ( $c$ ) donnant trois sortes ( $m'_1$ ) ( $m'_2$ ) ( $m'_3$ ) qui subissent le même traitement que plus haut, à cette différence près que ( $m'_1$ ), se rend, non plus sur deux cribles à 5 tamis ( $c_8$ ), mais sur un seul crible ( $c_{14}$ ) à 4 tamis également à couche filtrante de galène qui fonctionne comme ( $c_{11}$ ).

Les produits ( $m'_2$ ) ( $m'_3$ ) vont, avec les eaux sortant au delà du déversoir de la troisième caisse du classificateur ( $c'$ ), à la table R et, à partir de ce moment, le traitement est le même que celui du gros.

Les produits entraînés par les eaux au delà des tables tournantes se rendent dans des bassins distincts qui sont destinés chacun à l'une des sortes suivantes : 1° galène; 2° blende; 3° intermédiaires.

On les retire, à la pelle, de ces bassins où ils se sont déposés et on les traite chacun à leur tour sur la table R.

Les eaux qui traversent les tôles des cribles continus sont élevés par une pompe centrifuge à un spitzgerinne.

Les produits contenus dans ces eaux s'y déposent et différents tuyaux les versent dans des cases d'où on les retire à la pelle pour les charger sur la table R. Le premier de ces tuyaux aboutit à l'entrée du trommel de 1<sup>mm</sup>,5 de la partie de l'atelier affectée au traitement du menu, et les produits se trouvent, dans ce trommel, mélangés aux autres sortes qui y sont traitées.

*Description de l'atelier.* — Cet atelier, tout récemment construit, ne fonctionne que depuis quelques mois. On a su y utiliser avec beaucoup de sagacité la pente dont on disposait. Les produits extraits de la mine arrivent à la



grille de 50 millimètres située au même niveau. Sous cette grille se trouve l'orifice supérieur d'un tuyau en tôle s'appuyant le long du coteau et débouchant, à sa partie inférieure, au-dessus d'une plate-forme P qui coïncide avec le niveau supérieur de l'atelier proprement dit. La table de scheidage se trouve au niveau de la grille de 50 millimètres. Les produits supérieurs à 50 millimètres sont apportés dans des brouettes en bois qui servent également : 1° à verser, à l'orifice du tuyau placé sous la grille, le menu provenant du scheidage; 2° à verser, à l'orifice d'un tuyau distinct du précédent, le minerai des cylindres ( $a_1$ ) qui est ainsi amené au niveau d'une plate-forme horizontale. C'est à ce dernier niveau que se trouvent : 1° le culbuteur qui permet de vider les wagonnets dans le trommel débourbeur; 2° la partie supérieure de la trémie de chargement du concasseur à mâchoires.

Vingt-cinq hommes sont employés au scheidage, trois au chargement du menu sur la plate-forme dont il vient d'être question, deux au chargement du minerai de cylindres au même niveau de cette plate-forme. En dix heures de travail, on a ainsi à culbuter au trommel débourbeur deux cents wagonnets (de 600 kilogrammes de charge) de menu, et à vider au-dessus du concasseur cent dix à cent vingt wagonnets de minerai ( $a_1$ ). Dans l'atelier proprement dit dont la Pl. IV (fig. 15 et 16) donne le plan et le profil en long, le transport des produits se fait d'une façon mécanique, grâce à la disposition en gradins que présente le sol de l'atelier, à l'exception toutefois des transports inévitables tels que ceux qui sont nécessités par le chargement des tables (\*). Les transports de

(\*) Les lettres inscrites sur ce plan pour désigner les divers appareils étant précisément celles qui ont été employées dans l'exposé de la formule de traitement une légende spéciale semble inutile.

ce genre se font par brouettes. L'enlèvement du stérile recueilli au delà du dernier tamis des différents cribles s'opère à l'aide de wagonnets poussés par deux hommes. L'égouttage est réalisé au moyen de deux tôles perforées qui occupent une portion de chacune des parois latérales de la caisse. Ce procédé a l'avantage de supprimer le travail de chargement; mais il présente l'inconvénient de répandre sur le sol de l'atelier une grande masse d'eau.

*Production.* — On produit par an : 1° au scheidage, 120 tonnes de galène et 1.350 tonnes de blende; 2° à l'atelier proprement dit (qui reçoit 180 tonnes de minerai par journée de dix heures), par an, 250 tonnes de galène et 2.750 tonnes de blende. La production totale annuelle est donc de 370 tonnes de galène et de 4.100 tonnes de blende.

La composition de ces produits est la suivante :

	Teneur en zinc. p. 100	Production par an. tonnes
Blende massive (de scheidage) . . . . .	56,00	1.330
Blende en grenailles I . . . . .	50,50	} 1.350
— II . . . . .	51,30	
Blende en sable I . . . . .	53,12	} 1.400
— II . . . . .	50,29	
Blende en schlamms . . . . .	36,36	
	Teneur en plomb. p. 100	Production par an. tonnes
Galène massive . . . . .	75,00 (a)	120
— en grains . . . . .	70,80 (b)	120
— en sables et schlamms . . . . .	71,40 (c)	130

*Teneur en grammes d'argent aux 100 kilogr. de plomb.*

	grammes
1° Pour la sorte (a) . . . . .	64,50
2° — (b) . . . . .	33,50
3° — (c) . . . . .	27,60

Le personnel occupé à cet atelier comprend : 25 scheideurs (à l'atelier de scheidage supérieur), 2 chargeurs pour le minerai de cylindres (sur la plate-forme P), 3 chargeurs pour le menu (sur la plate-forme P), 10 klau-beurs, 1 homme aux cylindres I, 1 homme aux cylindres II, 8 ouvriers pour les cribles (non compris les rouleurs de stériles), 2 manœuvres pour travaux divers, 1 ouvrier pour les classificateurs, 4 rouleurs de stérile pour les cribles, 1 ouvrier au spitzgerinne, 1 ouvrier pour les tables R et R'', 2 ouvriers pour R' R<sub>2</sub> et R<sub>3</sub>, 1 mécanicien, en tout, 62 ouvriers.

L'atelier discontinu de Steinenbrück, qui n'est éloigné de l'atelier continu de Weiss que de quelques kilomètres, occupe 130 ouvriers, quoiqu'il ne reçoive par jour que 28 tonnes de minerai brut au lieu de 180 comme à Weiss.

La consommation d'eau n'a pas été évaluée. Comme on n'en manque pas, il est à constater que l'on ne cherche pas à l'économiser. On s'en aperçoit dès que l'on pénètre dans l'atelier, en voyant le torrent d'eau qui entre, avec le minerai, dans le trommel débourbeur, et c'est également l'impression que produit la vue des eaux qui se répandent sur le sol en jaillissant des parois des wagonnets, qui emportent le stérile, des cribles aux halles de déblais.

#### Atelier d'Ems (Prusse Rhénane).

*Nature du minerai.* — Les minerais de la société des mines et usines d'Ems sont traités dans les deux ateliers de Silberau et de Pflingstwiase. Le seul intéressant est celui de Silberau reconstruit à la fin de 1886 avec tous les perfectionnements qui justifient la réputation de luxe parfois exagéré dont jouissent les établissements de cette société.

L'atelier de Pflingstwiase est loin de posséder d'aussi

brillantes installations. D'ailleurs il n'amène pas jusqu'à l'état de produits finis tous les minerais qui y sont traités; et c'est ainsi que les produits zingueux et cuivreux qui se séparent, à titre d'intermédiaires, au cours de la préparation mécanique des minerais de la fosse Mercur exécutée à Pflingstwiase, sont transportés à Silberau pour y subir le traitement qui les rend livrables au commerce ou à l'usine. L'atelier de Silberau traite, non seulement ces matières, mais encore une partie des minerais extraits à la fosse Mercur, et tous les produits de l'extraction de la fosse Bergmannstrost.

Le minerai actuellement traité à Ems, contient, pour 100 kilogrammes de minerai brut, 4 kilogrammes de plomb, 2<sup>k</sup>,5 de zinc et 5<sup>gr</sup>,4 d'argent. Il fournit à la préparation mécanique une galène à 36 p. 100 de plomb et 30 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de galène. Ces résultats sont notablement inférieurs à ceux que l'on est habitué à entendre citer à propos d'Ems.

Voici la raison que m'en ont donnée les ingénieurs de cet atelier. La nature des filons actuellement exploités a conduit à pousser beaucoup moins loin l'enrichissement. On a reconnu, en effet, il y a quelques années à Ems, qu'en appelant :

- m* le nombre de grammes d'argent contenus dans 100 kilogr. de plomb du minerai du filon;
- n* le nombre de kilogrammes de plomb contenus dans 100 kilogr. du minerai du filon;
- m'* le nombre de grammes d'argent contenus dans 100 kilogr. de plomb de la roche encaissante;
- n'* le nombre de kilogrammes de plomb pour 100 kilogr. de la roche encaissante.

On avait jusqu'à une certaine distance du filon  $n > m$  tout en ayant  $n' < m'$ . Il s'est exercé, d'après les ingénieurs d'Ems, une sorte d'influence le long de la surface de contact entre le remplissage du filon et la partie sté-



rile. Ce qui tendrait à confirmer cette opinion, c'est que la différence des teneurs en argent  $m$  de deux remplissages séparés est telle que la teneur  $m'$  est plus faible pour un remplissage allongé et étiré que pour un remplissage de forme sphéroïdale; or, il est évident que le rapport de la surface au volume est plus grand pour le premier de ces remplissages que pour le second. Quoi qu'il en soit, le fait qui se traduit par l'inégalité  $n > m$  n'en subsiste pas moins, et il en résulte que, si l'on cherche à enrichir en plomb le minerai que l'on lave, on pourrait atteindre une limite à partir de laquelle la valeur de l'argent contenu dans le stérile que l'on rejette sera supérieure à celle du minerai plombé enrichi obtenu par la même opération. On a donc été conduit à ne pas enrichir au delà de 36 p. 100 en plomb, tandis qu'autrefois on poussait l'enrichissement jusqu'à 60 p. 100.

Ainsi la teneur en plomb que l'on cherche aujourd'hui à obtenir dans les produits finis est bien inférieure à ce qu'elle était autrefois. La teneur en argent du minerai (galène) obtenu à 36 p. 100 de plomb est de 30 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de galène. Quant à la blende, elle n'est pas argentifère, on l'enrichit jusqu'à 44,5 p. 100 de zinc.

*Formule de traitement.* — Le minerai venant de la mine est jeté sur une grille en fonte à trous hexagonaux de 60 millimètres de diamètre et divisé ainsi en gros et menu. Un premier triage a déjà eu lieu sur le carreau de la mine, en sorte que l'on n'a pas besoin de jeter toutes les matières sur la grille, une partie du gros arrivant déjà isolé et prêt à être traité.

A. *Traitement du gros.* — Un travail préliminaire est spécialement destiné à amener, par un cassage à la main, tous les morceaux à des dimensions analogues. On en profite (quoique tel ne soit pas le but principal de l'opé-

ration) pour faire une première classification grossière dans des brouettes distinctes qui contiennent chacune une des sortes suivantes : 1° blendeux ( $a_1$ ); 2° galèneux ( $a_2$ ); 3° cuivreux ( $a_3$ ); 4° stérile (à rejeter).

( $a_1$ ) ( $a_2$ ) ( $a_3$ ) vont au scheidage soigné.

( $a_1$ ) y donne : 1° blende marchande, 1<sup>re</sup> sorte; 2° blende marchande, 2<sup>e</sup> sorte; 3° galène marchande; 4° minerai quartzéux ( $b_1$ ); 5° minerai spathique ( $b_2$ ); 6° minerai blendeux ( $b_3$ ); 7° stérile (à rejeter).

( $b_1$ ) est un mélange où domine le quartz associé à de la galène et à de la blende; ( $b_2$ ) est un mélange analogue où le carbonate de chaux spathique remplace le quartz. Dans ces deux produits, il y a plus de blende que de galène; ( $b_3$ ) est un mélange de blende et de galène où la blende domine également.

( $a_2$ ) donne au scheidage soigné : 1° minerai spathique ( $c_1$ ); 2° minerai quartzéux ( $c_2$ ); 3° galène marchande; 4° fer carbonaté marchand; 5° stérile (à rejeter).

Le minerai ( $c_1$ ) est un mélange de carbonate de chaux spathique, de galène et de blende analogue à ( $b_2$ ), sauf que la blende est ici moins abondante que la galène. Le minerai ( $c_2$ ) est analogue à ( $c_1$ ), sauf que le carbonate de chaux est remplacé par du quartz.

Les produits ( $b_1$ ) ( $b_2$ ) ( $b_3$ ) sont envoyés à la laverie des blendes; les produits ( $c_1$ ) et ( $c_2$ ) à celle des galènes.

La sorte ( $a_3$ ) donne, au scheidage soigné, quatre sortes de minerais de cuivre qui vont à l'usine. La quatrième sorte de cuivre doit être absolument exempte de plomb (\*).

(\*) Ces minerais cuivreux sont parfois accompagnés de traces de pyrite de fer ou de cuivre ou de traces de nickel. On tâche d'isoler la pyrite de fer et la pyrite de cuivre afin d'en faire des sortes spéciales pour l'usine. Mais ce ne sont là que des cas particuliers très rares et étrangers à la marche normale des produits. Au point de vue de l'association possible des minerais de cuivre et de plomb, il suffit de signaler que de tels produits sont en-

Il y a pour le travail à la main quinze équipes, comprenant en tout un personnel de cent ouvriers. Une équipe spéciale travaille le gros (P) qui a été séparé sur la grille de 60.

B. Traitement du menu (\*). — Une noria N (voir Pl. V, fig. 2) élève le menu dans une trémie, d'où une autre noria (n) le verse dans deux trommels à axes parallèles T et à trous de 30 millimètres. Le refus de ces trommels tombe sur deux tables de klaubage K qui donnent chacune : 1° stérile (à rejeter); 2° blendeux ( $d_1$ ); 3° galéneux ( $d_2$ ); 4° blende marchande (en deux sortes distinctes); 5° galène (marchande); 6° intermédiaires ( $d_3$ ).

( $d_1$ ) et ( $d_2$ ) vont au scheidage soigné. ( $d_3$ ), qui est un mélange de galène et de quartz avec un peu de carbonate de chaux spathique, se rend à la laverie des galènes. Quant aux produits marchands, ils doivent (c'est une remarque qui s'applique à tous les produits finis de diamètre supérieur à 5 millimètres) être broyés aux cylindres avant d'être vendus ou livrés aux usines.

Les produits qui traversent les tôles de 30 millimètres des trommels précédents passent à trois trommels à axes parallèles  $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$ ,  $\Theta_3$ , et à trous respectivement de 18, 10, 5 millimètres.

On obtient ainsi les sortes : 1° de 18 à 30 millimètres ( $f_1$ ); 2° de 18 à 10 millimètres ( $f_2$ ); 3° de 10 à 5 millimètres ( $f_3$ ); 4° au-dessous de 5 millimètres ( $f_4$ ).

La sorte ( $f_4$ ) est élevée par une noria à un trommel ( $\Theta_4$ ) de 3 millimètres qui donne les sortes : 1° de 5 à 3 ( $f_5$ ); 2° au-dessous de 3 ( $f_6$ ).

voyés à la laverie des galènes ou à celle des blendes, suivant qu'ils ne contiennent pas ou qu'ils contiennent du zinc.

(\*) On désigne, à Ems, sous le nom de Grubenklein : 1° la partie (P) du gros qui a été séparée sur la grille de 60 millim.; 2° ce qui a traversé celle-ci. C'est cette dernière portion qui est ici qualifiée de menu.

La sorte ( $f_6$ ) va à un trommel ( $\Theta_5$ ) de 1<sup>mm</sup>,5 qui donne les sortes : 1° de 3 millimètres à 1,5 ( $f_7$ ); 2° au-dessous de 1,5 ( $f_8$ ).

Les sortes ( $f_1$ ) ( $f_2$ ) ( $f_3$ ) ( $f_4$ ) vont chacune à un crible continu à trois compartiments [( $S_1$ ) ( $S_2$ ) ( $S_3$ ) ( $S_4$ )], ( $f_7$ ) va à un crible continu à quatre tamis ( $S_5$ ).

La sorte ( $f_8$ ) se rend à un spitzkasten ( $\Sigma$ ) à trois pointes et à courant d'eau ascendant qui donne trois sortes : la première se rend à un crible filtrant ( $S_6$ ) à quatre tamis, et les deux dernières à un crible analogue ( $S_7$ ). Ce qui passe au delà de la troisième loge de ce spitzkasten se rend à un spitzkasten (S) à deux loges (sans courant d'eau ascendant) dont chacun donne ses produits à une table de Linkenbach ( $T_1$ ), ( $T_2$ ).

Revenons aux cribles ( $S_1$ )..... ( $S_7$ ).

Le crible ( $S_1$ ) donne : 1° galène marchande; 2° blende avec un peu de galène ( $g_1$ ); 3° intermédiaire ( $g_2$ ); 4° stérile.

Le produit ( $g_1$ ) va au klaubage et le produit ( $g_2$ ) à la laverie des galènes.

Le crible ( $S_1$ ) donne les mêmes produits.

Le crible ( $S_3$ ) donne : 1° galène marchande; 2° intermédiaire ( $g_3$ ); 3° intermédiaire ( $g_4$ ); 4° stérile.

( $g_3$ ) est un mélange de galène avec beaucoup de blende et va à la laverie des blendes. ( $g_4$ ) est un minerai de plomb pauvre qui va à la laverie des galènes.

Le crible ( $S_4$ ) travaille comme ( $S_3$ ).

Le crible ( $S_6$ ) donne : 1° galène marchande; 2° blendeux riche ( $g_5$ ); 3° blendeux pauvre ( $g_6$ ); 4° intermédiaire ( $g_7$ ); 5° stérile.

( $g_5$ ) et ( $g_6$ ) vont à la laverie des blendes, ( $g_7$ ) est un minerai de plomb pauvre qui va à la laverie des galènes.

Les cribles filtrants ( $S_6$ ) et ( $S_7$ ) donnent à travers leurs tamis les mêmes produits que ( $S_6$ ) donne sur ses tamis.

Les tables de Linkenbach donnent chacune : 1° galène marchande; 2° blendeux ou galéneux ( $g_8$ ); 3° stérile.



( $g_8$ ) est envoyé à la laverie des blends ou à celle des galènes suivant que la blende ou la galène y domine.

Cet atelier est distinct des deux suivants :

1° Laverie des blends (Pl. V, *fig.* 3 et 4). — Les produits qui arrivent à la laverie des blends passent d'abord aux cylindres broyeurs (I) d'où ils tombent au pied d'une noria (N) qui les élève à une série de cinq trommels T à axes parallèles étagés dans un même plan vertical. Ces trommels ont des trous de 6, 4, 3, 2, 1 millimètre et donnent les sortes : 1° au-dessus de 6 ( $h_1$ ); 2° de 6 à 4 ( $h_2$ ); 3° de 4 à 3 ( $h_3$ ); 4° de 3 à 2 ( $h_4$ ); 5° de 2 à 1 ( $h_5$ ); 6° au-dessous de 1 ( $h_6$ ).

( $h_1$ ) va aux cylindres broyeurs II qui broient plus fin que les cylindres I.

( $h_2$ ) va à un crible continu à trois tamis  $K_1$ .

( $h_3$ ) ( $h_4$ ) vont respectivement à des cribles analogues à quatre tamis  $K_2$ ,  $K_3$ .

( $h_5$ ) va à un crible filtrant à quatre tamis  $K_4$ .

Le crible ( $K_1$ ) donne : 1° galène marchande; 2° intermédiaire ( $\varphi_1$ ); 3° intermédiaire ( $\varphi_2$ ); 4° stérile.

( $\varphi_1$ ) est élevé par une noria ( $n$ ) jusqu'aux cylindres II et se trouve réuni à ( $h_1$ ). Il en est de même de ( $\varphi_2$ ).

Le crible ( $K_2$ ) donne : 1° galène marchande; 2° intermédiaire ( $\varphi_3$ ); 3° blende marchande; 4° intermédiaire ( $\varphi_4$ ); 5° stérile.

( $\varphi_3$ ) et ( $\varphi_4$ ) sont réunis à ( $\varphi_1$ ). Cependant ( $\varphi_4$ ) est quelquefois assez riche pour fournir un produit blendeux marchand de deuxième qualité.

Le crible ( $K_3$ ) et le crible ( $K_4$ ) donnent respectivement l'un *sur* et l'autre *à travers* les tamis successifs les mêmes produits que ( $K_2$ ). Les produits qui ont passé aux cylindres II tombent au pied de la noria N qui élève en même temps les produits broyés aux cylindres I. La sorte ( $h_6$ ) élevée par une roue à augets R est versée dans un conduit (A) sur le trajet duquel se trouve une série de

quatre caisses  $\sigma$   $\sigma'$   $\sigma''$   $\sigma'''$  à courant d'eau ascendant; on obtient ainsi différentes sortes que l'on traite sur des tables (T) à secousses longitudinales.

La caisse ( $\sigma$ ) est desservie par six tables T, ( $\sigma'$ ) par 4 (dont 1 de réserve), ( $\sigma''$ ) par 2, ( $\sigma'''$ ) par 3 dont 1 de réserve.

Sur ces tables, on exécute deux opérations distinctes :

- a) Lavage préliminaire qui donne : 1° intermédiaire ( $x$ ); 2° stérile (entraîné par les eaux);
- b) Finissage appliqué aux intermédiaires ( $x$ ) qui donne : 1° intermédiaire à joindre à ( $x$ ); 2° blende marchande; 3° galène marchande.

Les produits entraînés par les eaux au delà du déversoir de ( $\sigma'''$ ) sont conduits par le canal B dans une série  $\Sigma$  de quarante caisses pointues rangées en quatre lignes parallèles de dix caisses, dont les trois premières donnent leurs produits à un conduit unique ( $\alpha$ ), les cinq suivantes à un second conduit ( $\beta$ ) et les dernières (depuis la neuvième jusqu'à la quarantième) à un troisième conduit ( $\gamma$ ).

Les conduits ( $\alpha$ ) ( $\beta$ ) ( $\gamma$ ) aboutissent à trois pompes centrifuges distinctes ( $p$ ,  $p'$ ,  $p''$ ) qui élèvent chacune leurs produits à trois caisses pointues  $\alpha'$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma'$  qui alimentent chacune, l'une des trois tables T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> de Linkenbach superposées. La caisse ( $\alpha'$ ) alimente la table supérieure qui donne : 1° galène marchande; 2° blende marchande; 3° intermédiaires ( $\omega$ ); 4° stérile.

Les intermédiaires ( $\omega$ ) retournent à la tête de la série ( $\Sigma$ ) des quarante caisses pointues.

La caisse ( $\beta'$ ) alimente la table suivante et ( $\gamma'$ ) la table inférieure.

Ces deux tables travaillent comme la précédente.

2° Laverie des galènes (Pl. V, *fig.* 5 et 6). — On a abandonné l'emploi des bocards dont quelques spécimens hors de service subsistent encore dans cet atelier.

Les produits destinés à cet atelier qui ont été énumérés ci-dessus sont d'abord passés à des cylindres broyeurs ( $I_a$ ) et tombent de là au pied d'une noria N qui les élève à une série de trois trommels étagés T, l'un de 4 millimètres, le second de 2,5 et le dernier de 1 millimètre qui donnent les sortes : 1° au-dessus de 4 ( $y_1$ ); 2° de 4 à 2,5 ( $y_2$ ); 3° de 2 à 1 ( $y_3$ ); 4° de 1 à 0 ( $y_4$ ).

La sorte ( $y_1$ ) va aux cylindres ( $II_a$ ) (qui broient plus fin que ( $I_a$ )). La sorte ( $y_2$ ) va à deux cribles continus ( $\xi_1$ ) et ( $\xi_2$ ) à quatre tamis. La sorte ( $y_3$ ) va à un crible continu ( $\xi_3$ ) à quatre tamis. La sorte ( $y_4$ ) va à un spitzkasten à trois pointes  $\xi$  à courant ascendant qui donne : 1° trois sortes qui vont chacune à un crible filtrant ( $\xi_4$ ) ( $\xi_5$ ) ( $\xi_6$ ) à quatre tamis; 2° des produits entraînés par les eaux (P).

Les cribles ( $\xi$ ) donnent les uns *sur* les autres à travers leurs tamis les produits suivants : galène marchande, blendeux (pour la laverie des blendes), intermédiaires ( $\delta_1$ ), intermédiaires ( $\delta_2$ ), stérile.

Les produits (P) vont à une série de trois caisses pointues  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  sans courant d'eau ascendant, à chacune desquelles correspond une table de Linkenbach  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , à un seul étage et au delà desquelles les eaux entraînées vont aux bassins de dépôts.

Chacune des tables de Linkenbach donne : 1° galène marchande; 2° blendeux [va aux cylindres ( $II_a$ )]; 3° galéneux [va aux cylindres ( $I_a$ )]; 4° stérile.

Les produits des cylindres ( $II_a$ ) tombent au pied de la noria N qui dessert également les cylindres  $I_a$ .

*Description de l'atelier.* — Sans revenir sur la description de l'atelier de scheidage (voir p. 8 et Pl. I, *fig. 1 a* et *b*), qui occupe cent ouvriers, divisés en quinze équipes, je me bornerai à donner quelques détails relatifs aux autres ateliers.

I. L'atelier du menu (Pl. V, *fig. 2*) se compose de deux parties symétriques dans chacune desquelles s'exécute la série des opérations de la formule de traitement relative au menu. La grille de 60 millimètres sur laquelle les produits sont amenés par la voie V, est figurée en G. Les trommels  $\Theta_4$  et  $\Theta_5$  n'ont pu être placés au-dessous des trommels  $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$ ,  $\Theta_3$ , dont le premier se serait alors trouvé à un niveau trop élevé. On a donc dû recourir à l'emploi d'une noria qui élève, au niveau du trommel  $\Theta_4$ , les produits venant du trommel  $\Theta_3$ . Des trois trommels  $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$ ,  $\Theta_3$  pour lesquels on a adopté la disposition dite juxtaposée, le dernier seul a pu être représenté sur la Pl. XX; les deux autres étant recouverts par les trommels T. Les spitzkasten  $\Sigma$  sont de simples caisses pointues dans l'axe desquelles descend verticalement un tuyau ouvert à sa partie inférieure qui amène l'eau de lavage. Les tables de Linkenbach de cet atelier ont 8 mètres de diamètre, et les produits stériles qui sont séparés à leur surface sont entraînés dans les canaux *xx*. Les diverses conduites de communication entre les différents appareils sont indiquées sur la figure. Les stériles de la moitié de droite de l'atelier tombent dans un canal souterrain désigné par la lettre *a* et représenté par deux traits pointillés parallèles. Ce canal, dont le fond est incliné de la droite vers la gauche de la figure, amène les produits au pied d'une noria D qui les élève à la partie supérieure d'un canal *b* analogue à *a* et qui amène, à son tour, les produits au pied de la noria F qui les verse directement par une gouttière en tôle, dans le wagon placé à l'origine de la chaîne traînante HH. Tous les autres produits sortent de l'atelier par la voie *v*. La lettre W désigne la cheminée des chaudières, et la lettre V, le bureau du surveillant.

II. L'atelier des blendes, dont la Pl. V donne le plan (*fig. 3*) et le profil en travers (*fig. 4*), se compose



de trois parties; celle du milieu domine les deux autres et comprend les appareils de broyage. La principale particularité à signaler est l'existence, dans cet atelier, des caisses *b b' b'' b'''* qui sont des types du Sandsorterapparat d'Ems décrit plus haut (voir p. 42). Le diamètre des tables de Linkenbach de cet atelier sont 6 mètres pour la table supérieure, 6<sup>m</sup>,50 pour la table immédiatement suivante et 7 mètres pour la table inférieure. Les produits arrivent dans cet ateliers par la voie *a* dont le prolongement extérieur au bâtiment se raccorde à la voie *c* munie d'une chaîne traînante. La voie *b* sert à la sortie des produits. Le bureau du contremaître est en S.

III. L'atelier des galènes, dont la Pl. V donne le profil en travers (*fig. 5*) et le plan (*fig. 6*), présente également deux niveaux; le niveau supérieur reçoit les produits qui entrent dans l'atelier par la voie *x* d'où les matières sont chargées directement dans les trémies des cylindres I. Les produits intermédiaires destinés aux cylindres II sont élevés au niveau de ceux-ci par la noria N'. Les appareils à courant ascendant de cet atelier sont identiques à ceux de l'atelier du menu. La sortie des produits hors de l'atelier a lieu par la voie de rails W. Les tables de Linkenbach, qui ont 6, 7 et 8 mètres, sont reliés entre elles par des courroies qui transmettent aux deux tables extrêmes le mouvement qu'elles reçoivent de la table du milieu. Le bureau du surveillant de l'atelier est désigné par la lettre Z.

La force motrice est fournie par les appareils suivants :

1° A l'atelier de lavage du menu, une machine (Pl. V, *fig. 2*) à vapeur A servant de pompe élévatoire à deux cylindres desservant les cribles, une turbine installée dans la salle B pour le mouvement des norias, etc..., une pompe élévatoire C pour les caisses pointues et les tables. En tout 36 chevaux de force;

2° A l'atelier des blendes (Pl. V, *fig. 3* et 4) une machine

M servant de pompe élévatoire à deux cylindres horizontaux, deux pompes centrifuges P et une turbine V; en tout 45 chevaux;

3° A l'atelier des galènes (Pl. V, *fig. 5* et 6), même commande qu'à l'atelier des blendes, mais aux deux pompes centrifuges P est adjointe, dans l'atelier des galènes, la pompe de réserve Q. (Les mêmes lettres ont été employées pour les appareils de force motrice, sur les *fig. 3* et 6).

Les éléments de ces appareils n'ont pas été déterminés à Ems. On sait seulement que l'on consomme :

1° A l'atelier du menu 3.000 litres d'eau par minute;  
2° à l'atelier des blendes 2.500 litres d'eau par minute;  
3° à l'atelier des galènes 2.500 litres par minute.

Le personnel comprend :

1° Pour l'atelier du menu, 2 surveillants, 1 machiniste, 6 ouvriers aux grilles, 8 aux trommels et cribles, 1 pour les tables, 40 klaubeurs, 15 pour l'enlèvement et le recassage des produits klaubés, 4 pour l'enlèvement du stérile de klaubage, 3 manœuvres divers; au total, 80 ouvriers.

2° Pour l'atelier des blendes, 1 machiniste, 2 ouvriers aux cylindres, 4 aux cribles, 7 aux tables à secousses, 1 aux Spitzkastens, 1 aux tables de Lenkenbach, 2 rouleurs; au total, 18 ouvriers.

3° Pour l'atelier des galènes, 1 machiniste, 2 ouvriers aux cylindres, 3 aux cribles, 1 aux tables de Linkenbach, 2 rouleurs; au total, 9 ouvriers.

La quantité que peut traiter en dix heures de travail chacun de ces ateliers s'élève : 1° pour l'atelier de lavage du menu à 75 tonnes; 2° pour celui des blendes à 40 tonnes; 3° pour celui des galènes à 45 tonnes.

*Production.* — L'atelier de Silberau traite annuellement 53.000 tonnes de minerai se composant de minerai brut et de produits intermédiaires de l'atelier de Pfling-

stwiése. Il produit, dans le même temps, 6.140 tonnes de minerai de plomb, 3.300 tonnes de blende, 1.160 tonnes de minerai de fer spathique, 79 tonnes de minerai de cuivre, 7 tonnes de pyrite de fer. Il occupe en tout 207 ouvriers.

On admet que sur 100 kilogrammes de minerai brut, on aura : 66,66 de grubenklein, 30,00 de gros, 3,33 de stérile.

100 kilogrammes de gros donne au scheidage soigné : 11 kilogrammes de galène marchande, 4<sup>kg</sup>,5 de blende marchande, 61 kilogrammes de produits intermédiaires, et 23<sup>kg</sup>,5 de stérile.

100 kilogrammes de grubenklein donnent : 12 kilogrammes de galène marchande, 4 kilogrammes de blende marchande, 17 kilogrammes d'intermédiaires et 67 kilogrammes de stérile. Quant aux produits intermédiaires fournis par les opérations précédentes, on obtient, pour 100 kilogrammes de ces produits, 9 kilogrammes de galène marchande, 33 kilogrammes de blende marchande et 58 kilogrammes de stérile.

#### Atelier de Friedrichssegen (Prusse Rhénane).

*Nature du minerai.* — Le minerai se compose de galène argentifère, blende, cuivre piriteux argentifère et fer spathique avec gangue de quartz. Les portions riches sont disséminées irrégulièrement en lambeaux distincts séparés par des fissures dont une partie est remplie par le minerai. La composition est trop variable d'un point à l'autre pour pouvoir être indiquée par des moyennes. On peut dire simplement que la galène obtenue tient environ 65 à 70 p. 100 de plomb et 40 grammes d'argent, que la blende obtenue contient 38 à 40 p. 100 de zinc et que l'association « blende et fer spathique » est, dans un

grand nombre de cas, trop intime pour permettre de les séparer autrement que par le traitement magnétique.

*Formule de traitement.* — Le minerai abattu subit, d'abord, au fond un premier triage qui donne :

- (a) Des minerai dits quartzeux ;
- (b) Des minerais dits blendeux ;
- (c) Des minerais dits plombo-spathiques.

Les minerais quartzeux sont formés d'un mélange de quartz, galène et blende.

Les minerais blendeux se composent de blende et de fer spathique.

Les minerais plombo-spathiques sont constitués par l'association du fer spathique et de la galène, et accessoirement de la blende.

Chacune de ces catégories subit un classement de volume avant d'arriver au jour.

Chaque chantier comprend effectivement deux cheminées placées l'une à côté de l'autre et destinées à amener les produits à la voie de roulage. L'une de ces cheminées, porte, à sa partie supérieure, une grille à trous carrés de 50 millimètres de côté, dont le refus est jeté dans l'autre cheminée avec les gros morceaux dont la plus grande dimension ne doit pas dépasser 200 millimètres.

On obtient donc : 1° menu (de 0 centimètre à 50 millimètres ; 2° gros de 50 à 200 millimètres) (\*).

1° *Traitement du menu.* — Le menu est jeté sur des grilles à trous carrés de 35 millimètres qui donnent :

(\*) Indépendamment de ces catégories on envoie au jour des wagonnets de galène, de minerai de cuivre, de blende et de fer spathique purs qui sont conduits directement au triage soigné auquel passent les produits désignés plus loin sous la dénomination de (α) et de (β). C'est pour chacun de ces wagonnets que l'on donne les primes de 1<sup>f</sup>,25 pour la blende, la galène ou le minerai de cuivre et de 0<sup>f</sup>,65 pour le fer spathique (voir p. 9).



(a)<sub>1</sub>, un refus (R) qui va au premier triage à la main;  
 (b)<sub>1</sub>, un produit inférieur à 35 millimètres dont le traitement sera indiqué plus loin.

2° *Traitement du gros*. — Le gros est culbuté sur le sol et séparé, par un triage grossier, en deux sortes, dont l'une ( $\alpha$ ) comprend trois catégories (blende, galène, minéral de cuivre), qui subissent un scheidage soigné, et dont l'autre ( $\beta$ ) est envoyé au scheidage préliminaire et grossier.

Ce scheidage, comme le premier triage à la main du refus (R) des grilles de 35 millimètres, donne les produits suivants (indépendamment desquels on obtient, de même que dans toutes les opérations subséquentes, un mélange de fer spathique et de blende, dont je ferai abstraction momentanément afin de simplifier cet exposé) :

1° Produits finis ( $\alpha_1$ ) : [fer spathique (pour le magasin), quartz (pour le magasin), stérile à rejeter.]

2° Produits intermédiaires ( $\beta_1$ ) (à soumettre à un triage soigné) : blende, galène, minéral de cuivre.

3° Produits intermédiaires ( $\gamma_1$ ) (pour les concasseurs) : minerais blendeux, minerais quartzeux, minerais plombo-spathiques.

Les produits ( $\gamma_1$ ) provenant, les uns du scheidage préliminaire de la sorte ( $\beta$ ), les autres du 1<sup>er</sup> triage du refus (R), sont passés séparément au concasseur, et les morceaux obtenus sont reçus dans un trommel de 25 millimètres. Ces produits ( $\gamma_1$ ) contiennent d'ailleurs des produits quartzeux, des produits blendeux et des produits plombo-spathiques.

Désignons les premiers par ( $\alpha_2$ ), les seconds par ( $\beta_2$ ), et les troisièmes par ( $\gamma_2$ ).

Les minerais ( $\alpha_2$ ), appartenant à la catégorie des minerais quartzeux, donnent, après broyage et passage au trommel de 25 millimètres, deux sortes : l'une ( $\alpha'_2$ ) inférieure à 25 millimètres, l'autre ( $\alpha''_2$ ) supérieure à 25 millimètres, qui, soumise au scheidage, donne les produits

suivants : 1° quartz ; 2° stérile ; 3° galène ; 4° blende ; 5° minéral de cuivre ; 6° minerais quartzeux ( $\alpha_3$ ).

Le produit 1° est un produit fini ; le stérile est porté aux halles. Les produits 3°, 4°, et 5° sont réunis aux éléments correspondants de la sorte ( $\beta_1$ ). Les produits ( $\alpha_3$ ) et ( $\alpha'_2$ ) se rendent à l'atelier de préparation mécanique proprement dite.

Les produits ( $\beta_2$ ) donnent de même deux sortes : l'une ( $\beta'_2$ ) inférieure à 25 millimètres, l'autre ( $\beta''_2$ ) supérieure à 25 millimètres, qui, au scheidage, donnera : 1° blende ; 2° fer spathique ; 3° minéral blendeux ( $\beta_3$ ).

Les produits 1° et 2° sont des produits finis, les produits ( $\beta'_2$ ) et ( $\beta_3$ ) vont à la préparation mécanique proprement dite :

Les produits ( $\gamma_2$ ) donnent de même : une sorte ( $\gamma'_2$ ) inférieure à 25 millimètres, une sorte ( $\gamma''_2$ ) supérieure à 25 millimètres, qui, au scheidage, donne : 1° galène ; 2° blende ; 3° fer spathique ; 4° stérile ; 5° minéral plombo-spathique ( $\gamma_3$ ).

Le produit 1° est réuni à la galène des produits ( $\beta_1$ ). Les produits 2° et 3° sont des produits finis. Le stérile doit être rejeté. Enfin ( $\gamma_3$ ) et ( $\gamma'_2$ ) sont envoyés à la préparation mécanique proprement dite.

Le scheidage soigné auquel sont soumis les produits ( $\alpha$ ) et ( $\beta_1$ ), ainsi que les minerais qui leur sont réunis, s'applique séparément aux trois sortes (galène, blende, minéral de cuivre) qui composent ces produits.

(a) La sorte « galène » donne à ce triage :

1° De la galène marchande de trois qualités I, II, III qui vont immédiatement aux magasins. La galène I est formée de sulfure de plomb, tantôt lamellaire, tantôt grenu ; la galène II est composée d'un mélange de ces deux genres de texture, auquel s'ajoute un peu de quartz et de fer spathique ; dans la galène III ce caractère s'accroît ;

2° des produits analogues aux produits ( $\gamma_1$ ) avec lesquels on les traitera.

(b) La sorte « blende » donnera au même triage :

1° De la blende marchande de deux qualités I et II ; la première est pure, la deuxième contient un peu de quartz ;

2° Un mélange de blende et de galène : quand, au bout de plusieurs jours, on a recueilli une quantité suffisante de ce mélange, on le passe aux cylindres et aux cribles.

On obtient en outre, dans le scheidage de la sorte « galène » et de la sorte « blende », un menu de scheidage que l'on soumet à une analyse. Si la proportion de plomb n'y dépasse point 3 p. 100 et si celle de zinc y atteint 40 p. 100, on l'envoie au magasin comme produit fini ; sinon, on le réunit au mélange de blende et galène dont il vient d'être question.

(c) La sorte « minerai de cuivre » soumise à ce scheidage soigné fournira :

1° Quatre qualités de minerai de cuivre marchand ;

2° Trois qualités de galène marchande ;

3° Deux qualités de blende marchande ;

4° Un mélange de plomb et de cuivre (produit fini) ;

5° Un menu cuivreux de scheidage (produit fini) ;

6° Un menu plombo-cuivreux de scheidage (produit fini) ;

7° Des produits intermédiaires à joindre aux produits ( $\gamma_1$ ).

La perte presque complète du cuivre, au cours de la préparation mécanique, a conduit à faire envoyer aux magasins comme produits finis les minerais cuivreux désignés sous les numéros 4°, 5° et 6°.

Il en est de même d'une variété de minerais fournie par certains filons de la même mine et composée de limonite, quartz et goëthite avec 3 ou 4 p. 100 de cuivre.

Les développements qui précèdent montrent assez nettement la diversité des produits de la masse, pour que l'on comprenne l'impossibilité de donner l'analyse exacte du minerai.

Traitement des produits inférieurs à 35 millimètres. — Les produits inférieurs à 35 millimètres, séparés dès le début de la préparation mécanique, appartiennent aux trois catégories déjà mentionnées de minerais quartzeux, blendeux et plombo-spathiques.

(a) Les produits plombo-spathiques passent à une série de trommels à trous de 30, 20, 12, 8, 5, et 2 millimètres.

Le refus du trommel de 30 tombe sur le 1<sup>er</sup> tamis d'un crible à trois compartiments qui donne : 1° galène (pour le magasin) ; 2° intermédiaires ( $\varphi$ ) ; 3° intermédiaires ( $\varphi$ ) ; 4° stérile (à rejeter).

Les produits ( $\varphi$ ), triés à la main donnent : 1° produits finis : (blende, fer spathique, quartz) ; 2° stérile (à rejeter) ; 3° produits intermédiaires (à joindre aux produits ( $\alpha_3$ ) ( $\beta_3$ ) ( $\beta'_3$ ) ( $\gamma_3$ ) ( $\gamma'_3$ )).

Le trommel de 20 reçoit les produits qui ont traversé le trommel de 30, et donne un refus qui, traité sur un crible à 3 tamis, donne : 1° galène (pour le magasin) ; 2° intermédiaires ( $\varphi'$ ) ; 3° intermédiaires ( $\varphi'$ ) ; 4° stérile (à rejeter).

Les intermédiaires ( $\varphi'$ ) sont traités comme les intermédiaires ( $\varphi$ ).

Le trommel de 12 millimètres, dans lequel tombent les produits inférieurs à 20, donne un refus qui est traité comme celui du trommel précédent. Il en est de même du trommel de 8 millimètres, à cette différence près que les intermédiaires obtenus sur le 2° et 3° tamis du crible qui reçoit le refus du trommel de 8 millimètres, sont formés d'un mélange de blende, fer spathique, galène et stérile, qui est ensuite broyé aux cylindres et passé à un crible filtrant à couche filtrante de galène, afin de réduire la teneur en plomb avant d'envoyer ces produits à la préparation magnétique.

Le refus des trommels de 5 et 2 millimètres est traité sur des cribles filtrants à couche de galène qui fournis-



sent les mêmes produits que les précédents, et dont les matières entraînées par les eaux se rendent dans un spitzkasten à trois pointes. Les produits qui s'y déposent, sont traités sur des cribles filtrants, et les eaux entraînées se rendent sur des round-buddles. Le traitement ne présente à cet égard aucune particularité digne de mention.

(b) Le traitement des produits quartzeux est le même que celui des produits plombo-spathiques.

(c) Quant aux produits blendeux, les parties inférieures à 5 millimètres peuvent être envoyées immédiatement à la préparation magnétique; les portions de plus forte grosseur doivent être auparavant traitées comme les intermédiaires ( $\varphi$ ).

Traitement des produits ( $\alpha_3$ ) ( $\alpha'_3$ ) ( $\beta_3$ ) ( $\beta'_3$ ) ( $\gamma_3$ ) ( $\gamma'_3$ ). — Ces produits sont broyés entre des cylindres, puis passent par des trommels de 8, 6, 4, et 2 millimètres dont les refus sont traités sur des cribles qui donnent les mêmes produits que ceux dont il a été fait mention au sujet du traitement des produits inférieurs à 35 millimètres.

Traitement magnétique. — Le mélange « fer spathique et blende », qui se produit dans chacune des opérations où ces deux éléments se présentent est mis à part, puis soumis à un grillage qui décompose le fer spathique. L'action magnétique permet de séparer de la blende l'oxyde magnétique formé. Le minerai de fer va directement au magasin. Le minerai de zinc est élevé par une noria au niveau de 3 trommels de 3, 2 et 1 millimètre, qui les divisent en 3 sortes dont chacune est lavée sur un crible distinct pour la séparation des dernières portions de stérile.

*Description de l'atelier.* — L'atelier se compose d'une série de bâtiments de forme étroite et allongée, qui se suivent à des niveaux différents dans une vallée resserrée

dont le fond est la ligne de plus grande pente d'un coteau très escarpé.

Un plan détaillé de l'atelier de travail à la main est donné par la *fig. 1* de la Pl. V; le minerai venant de la mine est amené sur une voie de rails V; le gros est culbuté entre les rails mêmes et y subit le triage qui donne les catégories ( $\alpha$ ) et ( $\beta$ ); le menu est jeté sur les grilles G de 35 millimètres qui sont alignées au nombre de neuf parallèlement à la voie. Il y a trois grilles (dont une de réserve) pour chacune des trois sortes résultant du triage à la main.

Les catégories ( $\alpha$ ) et ( $\beta$ ) sont chargées à la pelle dans des conduits en tôle T servant à charger des wagonnets qui les emmènent soit à l'emplacement S du scheidage préliminaire, soit au magasin. Le triage auquel est soumis le refus (R) des grilles G, s'exécute sur la table A sur laquelle on le charge directement à la pelle au moyen de la surface inclinée B, qui, régnant tout le long de la table, joue le rôle de trémie. Le minerai qui s'étale sur la table A y est arrosé par des jets d'eau tiède. Les produits obtenus sur la table A sont chargés par les trémies C dans les wagonnets qui circulent sur la voie W. Le triage soigné des sortes ( $\beta_1$ ) s'effectue sur les bancs de scheidage 1, 2, 3; les bancs 1 étant réservés à la galène, les bancs 2 à la blende et le banc 3 au minerai de cuivre. Celui des sortes ( $\alpha_2$ ) ( $\beta_2$ ) ( $\gamma_2$ ) s'effectue respectivement en 4, 5, 6. Les trémies N servent à charger sur les wagonnets de la voie X les produits finis obtenus sur la table 5. Les trémies D sont destinées à l'envoi dans les berlines, placées au-dessous du plancher de la salle de scheidage, des produits obtenus sur la table 4 et destinés à la préparation mécanique proprement dite P. La trémie H a le même objet relativement à la table 1. Le concasseur qui reçoit les produits ( $\gamma_1$ ), est désigné par la lettre F, le trommel de 25 est en K. Leur moteur commun, qui est

en M, est une machine à vapeur de 4 chevaux. Le bâtiment *h* sert de dépôt à charbon. Le bâtiment *i* contient un trommel *t* à tôles successives de 2, 5, 10, 15, 20 millimètres, un crible à trois compartiments *c* et une table de triage  $\theta$ . Ce bâtiment est destiné au traitement des minerais renfermant, à côté de portions très riches, des fragments de stérile trop considérables pour que les morceaux puissent être envoyés aux magasins. La présence des parties très riches ne permet pas d'ailleurs de les exposer, en leur faisant suivre la série complète de la préparation mécanique, aux pertes qui en sont la conséquence. Un broyeur Y et une machine à vapeur Z de 4 chevaux complètent l'installation.

Le bâtiment des appareils de lavage proprement dit reçoit des produits culbutés du plancher de l'atelier précédent dans les wagonnets, qui, en raison de la forte différence de niveau, doivent subir un transvasement qui les amène à un niveau intermédiaire. On en profite pour soumettre à un contrôle le travail à la main exécuté dans le premier atelier. A cet effet, un vieil ouvrier placé sur le niveau intermédiaire, examine les morceaux culbutés, qui sont destinés aux appareils de la préparation mécanique. Un second contrôle est réalisé, à l'entrée du bâtiment qui contient ces derniers, au moyen de prises d'essai exécutées dans chaque wagonnet, et l'évaluation de la teneur permet de juger le degré d'avancement du triage à la main : les ouvriers qui sont chargés de ce travail, recevant du reste des primes ou subissant des retenues suivant le cas, sont intéressés à sa perfection.

Le bâtiment des appareils de lavage comprend cinq groupes d'appareils; deux d'entre eux correspondent au traitement des produits inférieurs à 35 millimètres, et les trois autres à celui des produits ( $\alpha_3$ ).

L'atelier du traitement magnétique qui seul mérite une mention détaillée est représenté par les *fig. 7* et *8* de la

Pl. V. Les minerais qui sont soumis à ce traitement sont les uns en morceaux de 40 à 130 millimètres, les autres en grains de 6 millimètres et au-dessous. Le grillage des minerais en gros morceaux est exécuté au four à cuve et celui des minerais fins au four à réverbère. Dans le four à cuve, on ne brûle en 12 heures que 50 kilogrammes de combustible pour 8.000 kilogrammes de minerai à raison de la proportion de sulfures qui s'y trouvent contenus; le four est desservi par deux ouvriers. Les minerais grillés sont passés au concasseur à mâchoires A, puis aux cylindres B qui les réduisent à 5 millimètres de diamètre. Une noria N les élève au niveau du réservoir R qui les distribue aux appareils magnétiques.

Les minerais fins de 6 millimètres et au-dessous sont grillés dans un four à réverbère à progression méthodique, dont la sole a 4<sup>m</sup>,10 de large et 11<sup>m</sup>,90 de long, ayant de chaque côté un foyer, cinq portes de travail et une porte pour extraire les produits grillés. Un four plus petit, qui n'a de portes et de foyer que d'un seul côté, a une sole de 7<sup>m</sup>,10 de long sur 1<sup>m</sup>,95 de large, avec un seul foyer, une porte pour extraire les matières grillées et deux portes de travail. La durée du grillage est de une heure et demie. Les deux fours peuvent passer, en 24 heures, 19 tonnes de minerai. On emploie, par poste, de 12 heures, deux ouvriers par four, et on consomme 130 kilogrammes de houille par tonne de matière grillée. Les produits grillés sont étendus sur une place de refroidissement, jetés sur des grilles qui retiennent les portions qu'un commencement de fusion a agglomérées ensemble, et élevés par des norias au réservoir R qui reçoit également les produits grillés au four à cuve. Ce réservoir renferme un trommel T à trous de 4 millimètres où tombent les produits; le refus du trommel retourne aux cylindres B. Les trieuses magnétiques déjà décrites (voir p. 76) sont divisées en quatre groupes qui



comprennent chacun quatre appareils. Les quatre appareils de chaque groupe sont disposés à deux niveaux différents. Les deux trieuses de l'étage supérieur reçoivent directement le minerai du réservoir R et donnent chacune un produit intermédiaire riche en zinc et un produit intermédiaire riche en fer. Les deux produits riches en zinc sont repassés à l'un des deux appareils du niveau inférieur du même groupe, et les deux produits riches en fer à l'autre de ces appareils. La première trieuse de cet étage inférieur donne un produit fini zingueux et un intermédiaire et la seconde un produit fini riche en fer et un intermédiaire. Ces intermédiaires retombent au pied de la noria et rentrent dans le traitement magnétique. Pour éviter l'influence délétère des poussières sur la santé des ouvriers, on a installé en E des exhausseurs qui les aspirent.

On essaie actuellement la substitution aux anciens fours de grillage, d'un four à quatre soles et à palettes, du type de la Vieille Montagne. On compte économiser ainsi 50 p. 100 de la main-d'œuvre, 10 p. 100 de chauffage et pousser l'enrichissement de la blende jusqu'à 42 p. 100 ou 44 p. 100 de zinc au lieu de 42 p. 100. L'emploi de ce four est toutefois trop récent pour que les ingénieurs de Friedrichsseggen consentent à donner de plus amples détails à ce sujet. La force motrice pour l'atelier du traitement magnétique est fournie par trois machines à vapeur développant ensemble une puissance de trente-deux chevaux et alimentées par trois chaudières.

*Production.* — Les produits finis obtenus au cours de la préparation sont :

Galène à 65 p. 100 de plomb et 40 grammes d'argent;

— 55 — — 30 — —

Blende à 32, 38 et 40 p. 100 de zinc;

Minerai de fer à 36 ou 38 p. 100 de fer et 10 p. 100 de manganèse.

L'ensemble des ateliers produit par an : 3.200 tonnes

de galène argentifère, 3.000 tonnes de blende, 7.400 tonnes de minerai de fer et 300 tonnes de minerai de cuivre de teneur variable (en cuivre et en argent).

Ils occupent 150 ouvriers.

Les renseignements particuliers à l'atelier de préparation magnétique sont les suivants :

Chacune des moitiés de cet atelier, qui comprend huit appareils, peut passer en douze heures 24 tonnes de minerai grillé qui fournit 7 tonnes de blende et 17 tonnes de fer. Le produit brut qui tient en moyenne 12 à 15 p. 100 de zinc, 21 p. 100 de fer et 2 p. 100 de plomb, fournit de la blende à 33 p. 100 de zinc avec 6 p. 100 de fer, 2 p. 100 de plomb et du minerai de fer à 38 p. 100 de fer et 5 p. 100 de zinc, 10 p. 100 de manganèse et 2 à 3 p. 100 de plomb.

La perte à la calcination est de 20 p. 100.

## TABLE DES MATIÈRES

### PREMIÈRE PARTIE

	Pages
I. OPÉRATIONS SUCCESSIVES DE LA PRÉPARATION MÉCANIQUE.	7
1° TRAVAIL A LA MAIN . . . . .	7
a) <i>Méthode de traitement.</i> . . . . .	7
b) <i>Appareils.</i> . . . . .	12
2° BROYAGE MÉCANIQUE. . . . .	14
a) <i>Méthode de traitement.</i> . . . . .	14
1° Concasseurs . . . . .	14
2° Sectorateur. . . . .	15
3° Meules . . . . .	15
4° Bocards. . . . .	15
5° Cylindres. . . . .	16
b) <i>Appareils.</i> . . . . .	17
1° Sectorateur Schranz . . . . .	17
2° Meule Schranz . . . . .	18
3° DÉBOURDAGE ET CLASSEMENT DE VOLUME. . . . .	22
a) <i>Méthode de traitement.</i> . . . . .	23

	Pages
b) <i>Appareils</i> . . . . .	24
1° Rätter à secousses . . . . .	24
2° Trommels . . . . .	24
3° Appareil Schmitt-Manderbach . . . . .	26
4° TRAITEMENT DES GRENAILLES . . . . .	37
a) <i>Méthode de traitement</i> . . . . .	37
b) <i>Appareils</i> . . . . .	39
5° TRAITEMENT DES SABLES . . . . .	40
a) <i>Méthode de traitement</i> . . . . .	40
A. Classement de volume . . . . .	40
B. Classement par équivalence . . . . .	41
b) <i>Appareils</i> . . . . .	44
1° Spitzkasten . . . . .	44
2° Sandsortirapparat d'Ems . . . . .	45
3° Sandsortirapparat Meinicke . . . . .	46
4° Roundbuddle . . . . .	49
6° TRAITEMENT DES SCHLAMMS . . . . .	49
a) <i>Méthode de traitement</i> . . . . .	49
A. Classement de volume . . . . .	50
B. Classement par équivalence . . . . .	50
b) <i>Appareils</i> . . . . .	52
1° Spitzlutenapparat Meinicke . . . . .	52
2° Table Stein . . . . .	57
3° Table de Linkenbach . . . . .	60
<i>Classement par le vent</i> . . . . .	68
7° TRAITEMENT MAGNÉTIQUE . . . . .	73
II. RÉSULTATS DE LA PRÉPARATION MÉCANIQUE . . . . .	78
1° ENRICHISSEMENT . . . . .	78
2° PERTES . . . . .	79
3° FRAIS . . . . .	91
III. CHOIX DE LA FORMULE DE TRAITEMENT . . . . .	92
IV. CHOIX ET DISPOSITION RELATIVE DES APPAREILS . . . . .	94
V. ORGANISATION GÉNÉRALE DES ATELIERS . . . . .	96

## DEUXIÈME PARTIE

DESCRIPTION DES ATELIERS . . . . .	97
§ 1. ATELIER D'HIMMELFAHRT (Saxe) . . . . .	98
ATELIER DE S. ANDREASBERG (Hartz) . . . . .	109
ATELIER DE MECHERNICH (Prusse Rhénane) . . . . .	113
ATELIER DE LAURENBURG (Prusse Rhénane) . . . . .	125
§ 2. ATELIER DE LAUTENTHAL (Hartz) . . . . .	135
ATELIER DE WEISS (Prusse Rhénane) . . . . .	133
ATELIER D'EMS (Prusse Rhénane) . . . . .	162
ATELIER DE FRIEDRICHSEGEN (Prusse Rhénane) . . . . .	174

## FORCES D'INERTIE

DUES

## AUX BIELLES MOTRICES DANS LES MACHINES A VAPEUR

Par M. A. NILLUS, ancien élève de l'École polytechnique,  
Ingénieur à la Société de Commentry-Fourchambault.

## INTRODUCTION.

Les machines à grande vitesse prenant, aujourd'hui, pour la propulsion des navires et l'éclairage électrique, une importance croissante, il devient absolument indispensable d'apporter la plus grande exactitude dans les calculs qui tiennent compte de l'inertie des pièces dites à mouvement alternatif.

L'on sait en effet que les efforts d'inertie auxquels elles donnent lieu, dans le cas de fortes masses en mouvement, ou pour des valeurs relativement élevées du nombre de révolutions, exercent, sur la fatigue des organes et sur la stabilité de la machine, une influence qui, dans certaines positions, dépasse assez notablement celle de l'effort moteur lui-même.

Il est donc de toute nécessité de donner aux pièces des formes qui leur permettent de résister à ces forces considérables; mais il y a aussi un intérêt majeur à ne pas les rendre plus résistantes qu'il n'est convenable, puisque cet excès de solidité, entraînant un excès de matière, aurait pour premier résultat d'augmenter inutile-



ment la masse de la pièce, et, par suite aussi les forces d'inertie auxquelles elle est soumise elle-même et soumet les organes voisins.

La connaissance aussi exacte que possible de ces forces, et, pour y arriver, celle des accélérations des pièces en mouvement, pour chacun de leurs points et pour chaque position de la manivelle, est le but que nous nous proposons dans cette étude.

*Mouvement du piston. Construction de Mohr.* — Il y a longtemps déjà que la question que nous envisageons ici a été résolue pour les pistons, leurs tiges et les têtes de tiges, c'est-à-dire pour les pièces dont le mouvement est rectiligne, et il existe, à notre connaissance, plusieurs méthodes graphiques ou analytiques qui donnent avec assez d'exactitude l'accélération de ces organes à chaque instant.

Nous nous contenterons de rappeler en quelques mots la construction graphique de Mohr, qui constitue, à notre avis, un procédé très pratique et conduit à des résultats aussi exacts qu'on peut les demander à une épure.

O étant le centre du cercle de la manivelle (*fig. 1*, Pl. VI); OX la direction de la tige de piston et OY la perpendiculaire; soit OA une position de la manivelle, et AB la position correspondante de la bielle. Prolongeons AB jusqu'en M, point de rencontre avec OY; menons par M une parallèle à OX; elle coupe OA prolongé en N et la parallèle à OY menée par N coupe AB en P. Si par P nous menons une perpendiculaire à AB, elle rencontre OX en Q. La longueur OQ que nous obtenons ainsi est précisément égale à l'accélération du point B, au coefficient près  $\omega^2 \frac{R}{r}$ . ( $\omega$  est la vitesse angulaire de l'arbre; R le rayon de la manivelle; r le même rayon à l'échelle de la figure).

Il est à remarquer que cette construction ne donne rien pour les deux points morts; mais il est facile de suppléer à cette indétermination, le calcul donnant directement pour le point mort côté des fonds :

$$p_f = (\lambda + 1)\omega^2 R,$$

et pour le point mort côté des tiges :

$$p_t = (\lambda - 1)\omega^2 R,$$

$\lambda$  étant le rapport  $\frac{R}{l}$  du rayon de la manivelle à la longueur de la bielle.

Nous avons donc en notre possession un moyen simple et expéditif de connaître à tout moment l'accélération du point B et par suite de toutes les pièces à mouvement rectiligne. Mais il est loin d'en être ainsi de la bielle, dont le mouvement est beaucoup plus compliqué, et la question s'agite souvent en pratique de savoir ce qu'il est convenable de faire pour tenir compte de son inertie. Est-il possible d'arriver à une expression commode de la loi exacte de son mouvement? Ne pourrait-on pas se contenter de supposer tout son poids concentré à l'extrémité articulée à la tête de tige de piston? Ou plutôt, ne devra-t-on pas chercher à déterminer quelle fraction de ce poids il sera convenable de supposer appliquée en ce même point, pour se rapprocher, autant que possible, des conditions de la réalité.

C'est ce que nous allons examiner dans les quelques pages qui vont suivre.

#### MOUVEMENT DE LA BIELLE.

1° *Méthode. Propositions préliminaires.* — Rappelons d'abord quelques propositions générales empruntées à la géométrie cinématique; elles nous permettront par la

suite d'en établir de nouvelles plus particulières, et convenant spécialement au cas qui nous occupe.

**Proposition I.** — Lorsqu'une figure plane se déplace dans son plan, tous les points de cette figure sont animés pendant un temps infiniment petit d'un mouvement unique de rotation autour d'un point dit *centre instantané de rotation*.

**Proposition II.** — Le lieu géométrique du centre instantané dans le plan mobile s'appelle *roulette*; son lieu géométrique dans le plan fixe est dit *base de la roulette*, et le mouvement peut être considéré comme obtenu par le roulement sans glissement de la roulette sur sa base.

**Proposition III.** — Pour une position quelconque d'un point du plan mobile sur la courbe qu'il décrit dans le plan fixe, la normale en ce point à la courbe passe par le centre instantané. Celui-ci est donc à chaque instant déterminé, si l'on connaît seulement les trajectoires de deux des points du plan; et il se trouve à l'intersection des normales à ces deux trajectoires (*fig. 2*, Pl. VI).

**Proposition IV.** — Dans chaque position du plan mobile, et pendant un temps infiniment petit, il existe un cercle passant par le centre instantané C, tangent en ce point à la tangente commune à la roulette et à sa base CX (*fig. 3*, Pl. VI) et tel que l'accélération normale de tous ses points soit nulle.

Il existe également un second cercle, passant par le centre instantané, orthogonal au premier, et tel que l'accélération tangentielle de tous ses points soit nulle.

Il existe par suite un point dit *centre des accélérations*, et c'est le point de rencontre K de ces deux cercles, jouissant de la propriété que son accélération résultante, pendant un temps infiniment petit, est nulle à un infiniment petit du second ordre près.

**Proposition V.** — Avec la même approximation, le centre des accélérations K jouit de cette propriété qu'à un

moment donné et pour un point quelconque M du plan, la composante de l'accélération dirigée suivant KM est égale à  $\omega_1^2 \times \overline{KM}$ , et la composante dirigée suivant la perpendiculaire est égale à  $\overline{KM} \times \frac{d\omega_1}{dt}$ ;  $\omega_1$  étant la vitesse angulaire autour du centre instantané de rotation (*fig. 4*, Pl. VI).

**Détermination des accélérations.** — Le mouvement de la bielle, c'est-à-dire d'une droite de longueur constante s'appuyant sur une circonférence et sur une droite passant par le centre de celle-ci, est de la nature de ceux que nous avons considérés dans les propositions précédentes. Sans nous arrêter à répéter ces dernières en les particularisant pour ce cas spécial, nous allons immédiatement, sous forme de quelques nouvelles propositions, en tirer des conclusions qui nous conduiront à la solution de notre problème.

**Proposition VI.** — Pour une position déterminée de la bielle, la direction de l'accélération d'un point quelconque de son axe fait un angle constant avec la composante qui passe par le centre des accélérations K.

Soit en effet  $\overline{\alpha\chi}$ , en grandeur et direction, l'accélération du point  $\alpha$  de l'axe de la bielle (*fig. 1*, Pl. VI). Soit  $\overline{\alpha\beta}$  et  $\overline{\alpha\gamma}$ , ses composantes dirigées suivant  $\alpha K$  et une perpendiculaire. En vertu de la proposition VI,

$$\overline{\alpha\beta} = \overline{K\alpha} \times \omega_1^2 \quad \overline{\alpha\gamma} = \overline{K\alpha} \times \frac{d\omega_1}{dt}$$

La tangente trigonométrique de l'angle  $\widehat{\chi\alpha\beta}$  qui est égale à

$$\frac{\overline{\alpha\gamma}}{\overline{\alpha\beta}} = \frac{1}{\omega_1^2} \frac{d\omega_1}{dt}$$

est donc bien constante, et, par suite aussi l'angle  $\widehat{\chi\alpha\beta}$ , puisqu'il reste toujours inférieur à un droit.



De cette proposition, l'on déduirait immédiatement comme corollaire, ce qui n'a d'ailleurs qu'un intérêt tout spéculatif, que le centre des accélérations se trouve sur le cercle des trois points O, A, B.

**Proposition VII.** — Si nous abaissons du point O, centre du cercle de la manivelle, une perpendiculaire OD sur KA (*fig. 5*, Pl. VI), K étant le centre des accélérations, et que par D nous menions DE parallèle à AB; la composante de l'accélération d'un point quelconque P de l'axe de la bielle, suivant PK, est représentée en grandeur par la fraction PQ de cette droite comprise entre les deux parallèles AB et DE, sous réserve de multiplier cette valeur de PQ par le coefficient  $\omega^2$ , carré de la vitesse angulaire de la manivelle.

Abaissons en effet OD perpendiculaire sur AK. Le mouvement du point A étant uniforme, son accélération est égale à  $\omega^2 \times \overline{OA}$ , et, par suite, la projection de celle-ci sur AK est égale à  $\omega^2 \times \overline{DA}$ .

Mais la proposition V nous apprend que la projection de l'accélération du point A sur AK a pour valeur  $\omega_1^2 \times \overline{AK}$ .

Nous avons, par suite,

$$\begin{aligned}\omega^2 \times \overline{DA} &= \omega_1^2 \times \overline{AK} \\ \omega_1^2 &= \omega^2 \frac{\overline{DA}}{\overline{AK}}\end{aligned}$$

Dans  $p = \omega_1^2 \times \overline{PK}$ , valeur de la projection de l'accélération de P sur PK (voir proposition V), remplaçons  $\omega_1^2$  par la valeur que nous venons de trouver, nous obtenons :

$$p = \omega^2 \times \frac{\overline{DA}}{\overline{AK}} \times \overline{PK}.$$

Et comme AB et DE sont parallèles,

$$\frac{\overline{DA}}{\overline{AK}} = \frac{\overline{PQ}}{\overline{PK}}$$

Soit

$$p = \omega^2 \times \overline{PQ}.$$

**Proposition VIII.** — Si l'on porte à partir du point B, et dans le sens convenable, une longueur  $\overline{BB'}$  égale, à l'échelle du dessin, au quotient de l'accélération de B par  $\omega^2$ , et que l'on divise la longueur OB' en deux segments  $\overline{OM'}$ ,  $\overline{M'B'}$  proportionnels à ceux que détermine sur AB un point M dont on cherche l'accélération, celle-ci est représentée en direction par la droite MM' et en grandeur, à l'échelle du dessin, par l'expression  $\frac{\overline{MM'}}{\omega^2}$  (*fig. 1*, Pl. VII).

Nous nous appuyerons, pour démontrer cette proposition, sur trois lemmes préliminaires, exacte reproduction de théorèmes de géométrie élémentaires bien connus et dans la démonstration desquels nous n'entrerons pas.

**Lemme (1).** — Étant donné un point O, une droite XY, la perpendiculaire OA menée de O sur XY, et un triangle rectangle OAM construit sur OA et XY comme côtés de

l'angle droit, avec un angle aigu  $\widehat{AOM} = \alpha$ ; si nous menons par O une sécante quelconque rencontrant XY en  $a$ , et que nous construisions sur  $Oa$  un triangle  $Oam$  semblable au triangle OAM donné, le lieu des points  $m$  est une droite ZT perpendiculaire en M à OM (*fig. 6*, Pl. VI).

**Lemme (2).** — Étant donné en point fixe O, une droite fixe XY et une sécante mobile qui passe par O et coupe XY en  $a$ , l'enveloppe des perpendiculaires élevées en  $a$  sur OA est une parabole ayant O pour foyer et OA pour axe (*fig. 7*, Pl. VI).

**Lemme (3).** — Si nous considérons trois tangentes à une parabole  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$ ; puis deux autres  $\Theta_1$  et  $\Theta_2$  (*fig. 8*, Pl. VI) coupant les trois premières aux points  $\theta_1$ ,  $\theta_1''$  et  $\theta_2$ ,  $\theta_2''$ , il existe entre les segments ainsi déterminés la proportion :

$$\frac{\theta_1 \theta_1'}{\theta_1''} = \frac{\theta_2 \theta_2'}{\theta_2''}$$

Ceci posé, revenons à l'énoncé de notre proposition, et considérons la droite DE construite comme précédemment (proposition VII, p. 192 et *fig. 5*, Pl. VI). K étant le centre des accélérations, nous avons vu que la projection de l'accélération de M sur MK était égale à  $\omega^2 \times \overline{MQ}$ . Nous savons, d'autre part, qu'en portant sur la perpendiculaire en Q à MK une longueur  $\overline{QM'} = \overline{MK} \times \frac{d\omega}{dt} \times \frac{1}{\omega^2}$ , et joignant MM', nous aurons constitué le triangle de composition des accélérations, et que, par suite,  $\overline{MM'}$  représentera, au coefficient  $\omega^2$  près, l'accélération du point M (*fig. 1*, Pl. VII).

Il suit de là que les rapports  $\frac{\overline{MK}}{\overline{QM'}}$ ,  $\frac{\overline{MQ}}{\overline{MK}}$ , et par suite  $\frac{\overline{MQ}}{\overline{QM'}}$  sont constants. Tous les triangles MQM' sont donc semblables, et, en vertu du lemme (1), le lieu des points M' est une droite. Celle-ci se confond d'ailleurs évidemment avec XY qui contient les extrémités O et B' des accélérations des points A et B. (Nous ferons remarquer en passant que B' sera forcément situé par rapport à B du côté opposé à celui qu'occupera le point de la construction de Mohr par rapport à O).

Le lemme (2) nous apprend maintenant que les droites quelconques QM' et naturellement aussi leurs positions particulières DE et XY sont tangentes à une même parabole de foyer K. Nous sommes donc en droit d'appliquer le lemme (3) au faisceau de droites formé par DE et XY d'une part et de l'autre par FB', QM' et DO, qui correspondent respectivement aux points B, M et A.

Nous obtenons ainsi :

$$\frac{\overline{B'M'}}{\overline{M'O}} = \frac{\overline{FQ}}{\overline{QD}},$$

et, comme le parallélisme de AB et DE nous donne :

$$\frac{\overline{FQ}}{\overline{QD}} = \frac{\overline{BM}}{\overline{MA}},$$

il vient en fin de compte :

$$\frac{\overline{B'M'}}{\overline{M'O}} = \frac{\overline{BM}}{\overline{MA}},$$

ce qui démontre notre proposition.

Remarque. — L'égalité que nous venons de démontrer peut se mettre sous une autre forme.

La construction de Mohr, effectuée sur la *fig. 2* (Pl. VII) nous a donné le point I, tel que OI représente l'accélération du point B. Joignons AI, et par M, menons MP parallèle à AI. Traçons B' tel que  $\overline{BB'} = \overline{OI}$ , et soit  $\overline{MM'}$  l'accélération du point M.

Nous savons que :

$$\frac{\overline{B'M'}}{\overline{M'O}} = \frac{\overline{BM}}{\overline{MA}}, \quad \text{soit} \quad \frac{\overline{B'M'}}{\overline{B'O}} = \frac{\overline{BM}}{\overline{BA}},$$

mais aussi, en vertu du parallélisme de AI et MP, que

$$\frac{\overline{BP}}{\overline{BI}} = \frac{\overline{BM}}{\overline{BA}}.$$

Il en résulte que

$$\frac{\overline{BP}}{\overline{BI}} = \frac{\overline{B'M'}}{\overline{B'O}},$$

or, puisque

$$\begin{aligned} \overline{BI} &= \overline{B'O} \\ \overline{BP} &= \overline{B'M'}, \end{aligned}$$

c'est-à-dire

$$\overline{PM'} = \overline{BB'} = \overline{OI}.$$



D'où la construction suivante :

Construction de l'accélération d'un point quelconque de la bielle. — La construction de Mohr ayant donné un point I situé sur XY, l'on joint AI, et mène par M une parallèle MP à cette droite. L'on porte ensuite sur XY à gauche ou à droite de P suivant que le point I est situé à droite ou à gauche de O, une longueur  $\overline{PM'} = \overline{OI}$ .

$\overline{MM'}$ , au coefficient près  $\omega^2$ , représente, en grandeur et direction, l'accélération du point M.

2<sup>e</sup> Méthode de détermination des accélérations. — La méthode que nous venons d'exposer est longue et peut, à juste titre, paraître assez compliquée. Nous avons néanmoins tenu à la présenter, parce qu'elle donne en passant quelques propriétés curieuses du centre des accélérations qu'il nous a paru intéressant de ne pas laisser dans l'oubli. Mais il existe, pour arriver au résultat que nous nous proposons d'atteindre, un procédé beaucoup plus expéditif et plus direct dont nous allons à présent nous occuper.

Revenons à la *fig.* 2 de la Pl. VII, et imaginons, ce qui est toujours possible, le mouvement de la bielle décomposé en une rotation et une translation : rotation autour du point B, translation parallèlement à l'axe de la tige de piston; l'accélération totale de chaque point devient, dans ces conditions, la résultante des accélérations partielles dues à chacun de ces deux mouvements.

Considérons, dès lors, les points B et A. Le premier ne participe pas à la rotation, et, par suite, a précisément pour composante de translation son accélération totale que nous savons construire en OI suivant la construction de Mohr. Cette composante de translation est évidemment la même pour tous les points de la bielle et en particulier pour le point A, dont l'accélération totale est l'accélération centrifuge OA; le triangle AOI représente

donc le triangle des accélérations, et la composante de rotation du point A est  $\overline{AI}$ .

Mais, dans un mouvement de rotation, les composantes tangentielles et centrifuges d'accélération sont toutes deux proportionnelles à la distance du point d'application au centre; il s'ensuit que, pour les points M de l'axe de la bielle, les accélérations résultantes dues à la rotation sont parallèles entre elles et leurs valeurs proportionnelles aux longueurs MB, et il en résulte également que, pour construire l'accélération d'un point particulier M, nous devons mener par ce point jusqu'à l'axe de la tige de piston une droite MP parallèle à AI. Portant alors  $\overline{PM'}$  égal à l'accélération commune de translation et joignant MM', nous constituons le triangle de composition relatif au point M, et, comme l'accélération totale de ce point se trouve ainsi représentée par  $\overline{MM'}$ , nous retombons sur la construction de l'accélération donnée p. 196, à la fin de l'exposé de la méthode précédente, et comme conclusion, il nous suffit d'y renvoyer.

*Décomposition des accélérations.* — Les effets des forces d'inertie qui se développent dans la bielle sont de plusieurs natures : elles modifient, d'une part, l'effort moteur en le régularisant; d'autre part, elles agissent sur les organes mobiles, et, par leur intermédiaire, sur les pièces fixes, introduisant des variations dans les conditions de stabilité de celles-ci, de résistance de celles-là, et mettant en jeu des forces de frottement qui viennent s'ajouter à celles que produit l'effort moteur.

Nous ne pouvions étudier rationnellement ces divers effets qu'en envisageant séparément les composantes de la force d'inertie correspondant à chacune des actions ci-dessus énoncées; comme il nous fallait, pour arriver à cette décomposition, passer par celle des accélérations, c'est d'abord ce problème que nous avons dû nous poser.

Nous avons vu comment on obtenait l'accélération d'un point M de l'axe de la bielle, et deux méthodes différentes nous ont conduit à la même construction. Prolongeons la direction de l'accélération jusqu'en N, point de rencontre avec OA prolongé, et transportons l'accélération en ce point, suivant N $\gamma$ . Elle donne, suivant les directions NA et NB, les deux composantes N $\alpha$  et N $\beta$ . N $\alpha$  transportée elle-même en A devient A $\zeta$ ; tandis que N $\beta$ , transportée en B, se décompose en deux autres B $\xi$  et B $\eta$  dirigées respectivement suivant l'axe de la tige de piston et une perpendiculaire à cet axe.

En définitive, l'accélération MM' a donné lieu aux trois composantes A $\zeta$ , B $\xi$  et B $\eta$ . A $\zeta$  produit un frottement de l'arbre moteur dans ses paliers, et des coussinets de tête de bielle sur le bouton de manivelle; B $\eta$  donne lieu à un frottement du patin sur les glissières; B $\xi$  enfin intervient comme cause régulatrice sur l'effort moteur, considéré comme parallèle à l'axe de la tige de piston.

Ces constructions sont compliquées et peu pratiques. Nous allons, pour les simplifier, nous baser sur les propositions suivantes :

**Proposition IX.** — Les points I et B' étant déterminés comme précédemment, et B'C étant parallèle à AI, la direction de l'accélération du point C passe par A', intersection de OA prolongé avec la circonférence (fig. 2, Pl. VII).

Joignons en effet CA', qui coupe XY en C', et menons A'D parallèle à CB' et par suite à AI. Nous avons les relations :

$$\frac{\overline{B'D}}{\overline{B'C}} = \frac{\overline{CB'} + \overline{A'D}}{\overline{CB'}} = 1 + \frac{\overline{A'D}}{\overline{CB'}} = 1 + \frac{\overline{AI}}{\overline{CB'}}$$

les deux triangles OA'D et OAI étant égaux. Or,

$$1 + \frac{\overline{AI}}{\overline{CB'}} = 1 + \frac{\overline{BI'}}{\overline{BB'}} = \frac{\overline{BO}}{\overline{BB'}}$$

Il en résulte que

$$\frac{\overline{B'D}}{\overline{B'C}} = \frac{\overline{BO}}{\overline{BB'}}$$

et comme  $\overline{B'D} = \overline{BO}$ , nous obtenons enfin

$$\overline{B'C} = \overline{BB'}$$

ce qui, d'après la règle énoncée plus haut, démontre bien que la droite CC' représente l'accélération du point C.

**Proposition X.** — Si l'on prolonge l'accélération MM' d'un point M de l'axe de la bielle jusqu'à sa rencontre en N avec OA prolongé, et que l'on mène, par M, les droites MR et ML respectivement parallèles à OA et NB, la longueur du segment RL que ces droites déterminent sur XY est constante pour une position donnée de la bielle, et forme une quatrième proportionnelle avec les longueurs BB', BO et B'O définies comme précédemment.

Considérons en effet (fig. 2, Pl. VII) les deux triangles semblables MLR et NBO. Ils donnent :

$$\frac{\overline{RL}}{\overline{BO}} = \frac{\overline{MR}}{\overline{NO}}$$

Or,

$$\frac{\overline{MR}}{\overline{QA}} = \frac{\overline{BM}}{\overline{BA}} = \frac{\overline{B'M'}}{\overline{B'O}}$$

Soit,

$$\overline{MR} = \overline{QA} \times \frac{\overline{B'M'}}{\overline{B'O}}$$

D'autre part, en vertu de la proposition IX, nous pouvons aux droites XY, CA', MN, puis OA et XY, appliquer le lemme (3) de la page 193, et écrire :

$$\frac{\overline{B'M'}}{\overline{B'C}} = \frac{\overline{ON}}{\overline{OA'}} = \frac{\overline{ON}}{\overline{OA}}$$

ce qui nous donne :

$$\overline{ON} = \overline{OA} \times \frac{\overline{B'M'}}{\overline{B'C}}$$



Il en résulte que

$$\frac{\overline{MR}}{\overline{ON}} = \frac{\overline{B'C'}}{\overline{B'O}} = \frac{\overline{BB'}}{\overline{B'O}}$$

et que nous avons bien :

$$\frac{\overline{RL}}{\overline{BO}} = \frac{\overline{BB'}}{\overline{B'O}}$$

Remarque. — Si nous menons B'C' parallèle à AI, puis CB'' parallèle à OA, il est visible que l'on a (*fig. 3, Pl. VII*),

$$\frac{\overline{BO}}{\overline{BB''}} = \frac{\overline{BA}}{\overline{BC}} = \frac{\overline{BI}}{\overline{BB'}} = \frac{\overline{B'O}}{\overline{BB'}}$$

$\overline{BB''}$  représente donc la longueur à laquelle les segments RL, correspondant aux différents points M, sont constamment égaux. Il nous a semblé utile, pour la commodité de l'expression dans la suite de cette étude, de donner à cette longueur un nom qui permit de la désigner facilement, et nous l'avons appelée *accélération réduite* du point B. Ce terme, qui pourra peut-être paraître impropre, prétend seulement exprimer que  $\overline{BB''}$  est égal au produit de l'accélération du point B par un rapport déterminé, d'ailleurs plus petit ou plus grand que l'unité; il aura du moins l'avantage d'abrégier le langage et de le rendre plus clair.

Quoi qu'il en soit, nous sommes maintenant en mesure de construire, par un point M quelconque de l'axe de la bielle, une droite parallèle à la direction NB correspondant à ce point. Il nous suffit pour cela, ayant tracé la parallèle MR à OA, de porter sur XY une longueur RL égale à l'accélération réduite du point B, et de joindre ML (*fig. 3, Pl. VII*).

Menons dès lors par M' une parallèle à OA jusqu'à sa rencontre en S avec ML; puis par S une verticale et par M une horizontale qui coupe la précédente en T. En nous reportant à la construction donnée plus haut des com-

posantes de l'accélération MM' (voir page 198 et *fig. 2, Pl. VII*), nous voyons que les triangles M'SM et Nαγ d'une part; STM et Bξθ de l'autre, sont égaux. Il s'ensuit que les longueurs M'S, ST et TM, respectivement égales à Aζ, Bη, Bξ, représentent les composantes de l'accélération, et que nous pouvons construire celles-ci de la manière suivante :

1<sup>o</sup> Construction des trois composantes de l'accélération d'un point quelconque de l'axe de la bielle. — Le point I étant déterminé par la construction de Mohr, on trace MP et MR respectivement parallèles à AI et OA. On porte PM' égal à l'accélération et RL égal à l'accélération réduite du point B. On joint ML et mène par M' une parallèle à OA jusqu'à sa rencontre en S avec ML. Une verticale menée par S et une horizontale menée par M se rencontrent en T. — M'S représente la valeur de la composante dirigée suivant la manivelle; ST celle de la composante perpendiculaire aux glissières; MT celle de la composante parallèle à l'effort moteur (*fig. 3, Pl. VII*).

Cette construction présente le double inconvénient d'être forcément à une échelle relativement réduite et de donner lieu à une réelle confusion, par suite de la superposition des tracés correspondant aux différents points. Nous avons pu la rendre plus pratique en transportant les tracés relatifs à chaque point, de telle sorte que toutes les directions MP et tous les points M coïncident.

Supposons ce transport effectué, les points M étant tous en Ω (*fig. 4, Pl. VII*), et voyons ce qui en résulte.

Soit ΩX<sub>1</sub> la direction commune des droites MP; les droites MR viendront toutes également suivant une même direction ΩY<sub>1</sub>. Construisons le triangle ΩO<sub>1</sub>I<sub>1</sub> correspondant au point A, et le triangle réduit à une droite ΩB<sub>1</sub>B<sub>1</sub>' correspondant au point B; considérons enfin le triangle ΩP<sub>1</sub>R<sub>1</sub> relatif à un point quelconque M. Pour achever le tracé, nous porterons, comme il est prescrit, P<sub>1</sub>M<sub>1</sub>' et R<sub>1</sub>L<sub>1</sub>

respectivement égaux à l'accélération et à l'accélération réduite du point B ; les droites  $\Omega L_1$  et  $\Omega M_1$  reproduiront les droites ML et MM'.

Or il est visible que  $\overline{P_1 M_1}$  étant égal à  $\overline{O_1 I_1}$  et par suite à  $\overline{O_1 I_1}$  et  $\overline{\Omega B_1'}$ , tous les points  $M_1$  se trouvent sur une parallèle  $O_1 B_1'$  à  $I_1 \Omega$ . De même,  $\overline{R_1 L_1}$  étant égal à  $\overline{B B''}$  et par suite à  $\overline{\Omega B_1'}$ , tous les points  $L_1$  se trouvent sur une parallèle  $J_1 B_1'$  à  $O_1 \Omega$ .

D'autre part, la relation évidente (voir *fig. 3* et *fig. 4*, Pl. VII)

$$\frac{\overline{\Omega P_1}}{\overline{\Omega I_1}} = \frac{\overline{MP}}{\overline{AI}} = \frac{\overline{BM}}{\overline{BA}}$$

nous détermine la position de la droite  $P_1 L_1$ , c'est-à-dire de la parallèle à  $O_1 I_1$ , qui correspond au point donné M. De telle sorte que nous sommes conduit à la construction suivante.

2° Construction des trois composantes de l'accélération d'un point quelconque de l'axe de la bielle. — Sur une droite horizontale on porte bout à bout, de la droite vers la gauche, par exemple, deux longueurs  $I_1 O_1$  et  $O_1 J_1$  égales à l'accélération et à l'accélération réduite du point B. Par  $I_1$  et  $O_1$ , on mène des parallèles  $I_1 X_1$  et  $O_1 Z_1$  à  $AI$  ; par  $O_1$  et  $J_1$ , des parallèles  $O_1 Y_1$  et  $J_1 V_1$  à  $OA$ . Les deux droites  $I_1 X_1$  et  $O_1 Y_1$  se rencontrent en un point  $\Omega$  dont on trace l'horizontale.

On partage la longueur  $\Omega O_1$  en deux segments  $\overline{\Omega R_1}$  et  $\overline{R_1 O_1}$  proportionnels aux segments  $\overline{BM}$  et  $\overline{MA}$  que détermine M sur la bielle ; et l'horizontale menée par le point  $R_1$  ainsi déterminé coupe  $J_1 V_1$  en  $L_1$  ;  $O_1 Z_1$  en  $M_1$ . Si l'on joint alors  $\Omega L_1$  et que l'on mène par  $M_1$  une parallèle à  $O_1 Y_1$ , celle-ci rencontre  $\Omega L_1$  en un point  $S_1$ , duquel on abaisse une perpendiculaire  $S_1 T_1$  sur l'horizontale du point  $\Omega$ .

$M_1 S_1$  représente la valeur de la composante dirigée suivant la manivelle ;  $S_1 T_1$  celle de la composante perpendiculaire aux glissières ;  $\Omega T_1$  celle de la composante parallèle à l'effort moteur.

*Calcul de la valeur des composantes de l'accélération.*

— Il nous semble inutile d'insister sur les avantages que présente cette construction par rapport à la précédente. Et cependant nous sommes obligés de faire observer qu'elle n'est pas parfaite encore, et présente un grave défaut, inhérent cette fois à la nature même du problème proposé. Pour des positions voisines de  $0^\circ$  ou  $180^\circ$ , la plupart des droites qui entrent dans les tracés se coupent sous des angles très aigus, et il devient très difficile de conserver assez d'exactitude dans les constructions.

Il y a donc avantage à remplacer ce tracé graphique par des formules commodes, et voici comment l'on peut y arriver.

Reprenons notre dernière construction ; puis menons par  $B_1'$  une parallèle  $B_1' O_1'$  à  $O_1 \Omega$ , et considérons les droites  $O_1' B_1'$  et  $O_1' I_1$  comme axes de coordonnées obliques (*fig. 4*, Pl. VII).

Désignons par  $R, p, q$  les valeurs : du rayon de la manivelle ; de l'accélération du point B ; et de son accélération réduite ; et par  $n$  un paramètre variable égal à  $O_1 R_1$ .

Les équations des diverses droites ou coordonnées des divers points de la figure seront :

$$\begin{array}{ll} [O_1 B_1'] & \frac{x}{p} + \frac{y}{q} = 1 & (1) \\ [\Omega] & x = p \quad y = R \\ [L_1 P_1] & y = n \\ [J_1 B_1''] & x = p - q \\ [L_1] & x = p - q \quad y = n \\ [\Omega L_1] & \frac{x + q - p}{q} = \frac{y - n}{R - n} & (2) \end{array}$$



$$\begin{aligned}
 [M_1] \quad & x = p \frac{R-n}{R} \quad y = n \\
 [M_1 S_1] \quad & x = p \frac{R-n}{R} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Éliminons  $n$  entre les équations (2) et (3).

Nous obtenons pour la valeur de l'ordonnée d'un point  $S_1$  quelconque

$$y = \frac{R}{pq} (x^2 - px + pq) = \overline{U_1 S_1}$$

ce qui, en retranchant  $\overline{U_1 M_1}$  tiré de l'équation (1), donne pour  $\overline{M_1 S_1}$  la valeur :

$$y' = \frac{R}{pq} [x^2 + (q-p)x] = \overline{M_1 S_1}. \quad (4)$$

Nous aurons de même :

$$y'' = \frac{R}{pq} (px - x^2) \sin \alpha = \overline{S_1 T_1} \quad (5)$$

$$y''' = p - x + \frac{R}{pq} (px - x^2) \cos \alpha = \overline{\Omega T_1} \quad (6)$$

$\alpha$  désignant l'angle de la manivelle avec l'axe de la tige de piston.

Nous poserons  $\xi = \frac{x}{p}$  (L'on reconnaîtra facilement que cette expression représente la fraction de longueur de la bielle que le point M détermine sur elle à partir du point B). Puis, convenant de désigner les quotients  $\frac{p}{R}$  et  $\frac{q}{R}$  par les expressions : *coefficient d'accélération*, et *coefficient d'accélération réduite*, nous les représenterons par les lettres  $a$  et  $b$ .

Les formules (4), (5) et (6) deviennent :

$$\eta' = \frac{b-a}{b} \xi + \frac{a}{b} \xi^2 \quad (4')$$

$$\eta'' = \frac{a}{b} (\xi - \xi^2) \sin \alpha \quad (5')$$

$$\eta''' = a + \frac{a \cos \alpha - b}{b} \xi - \frac{a \cos \alpha}{b} \xi^2. \quad (6')$$

Nous pouvons obtenir ainsi, en fonction des coefficients d'accélération et d'accélération réduite correspondant à un angle  $\alpha$  de la manivelle avec la tige de piston, les coefficients  $\eta'$ ,  $\eta''$ ,  $\eta'''$  par lesquels on devra multiplier  $\omega^2 R$  pour obtenir les trois composantes de l'accélération d'un point M limitant sur l'axe de la bielle une fraction  $\xi$  de sa longueur à partir du point B.

Par suite, ces formules constituent le résultat définitif que nous nous proposons d'atteindre au sujet des accélérations, et il ne nous reste plus désormais qu'à passer de celles-ci aux forces d'inertie.

#### DÉTERMINATION DES FORCES D'INERTIE. RÈGLES PRATIQUES.

Soit :

- $F, F', F''$ , les trois composantes d'inertie correspondant aux trois composantes d'accélération ;
- $l$ , la longueur de la bielle ;
- $M$ , sa masse ;
- $\mathfrak{M}$  et  $\mathfrak{J}$ , le moment de sa masse et son moment d'inertie par rapport à un plan perpendiculaire en B à son axe.

Nous supposerons, comme approximation très suffisante, la bielle partagée en un certain nombre d'éléments dont la matière soit concentrée le long de l'axe.

Dès lors, pour transformer les formules (4'), (5') et (6') en celles qui donneront les forces d'inertie, il nous suffira de multiplier les coefficients  $\eta$  par les masses élémentaires et d'intégrer. C'est ce que nous allons faire successivement pour chacune des composantes d'inertie correspondant aux divers effets relatés plus haut, en ayant

soin de rappeler que, d'après les données précédentes :

$$\int m\xi = \frac{\mathfrak{N}}{l} \quad \int m\xi^2 = \frac{J}{l^2}$$

1° Action de l'inertie de la bielle sur l'effort moteur.  
— La formule (6') nous donnera :

$$F'' = \left[ Ma + \frac{a(\cos \alpha - b)}{b} \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{a \cos \alpha}{b} \frac{J}{l^2} \right] \omega^2 R.$$

Nous l'écrivons :

$$F'' = \left( M + \frac{\cos \alpha - b}{b} \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{\cos \alpha}{b} \frac{J}{l^2} \right) a \omega^2 R.$$

puis, considérant la quantité entre crochets comme une masse fictive, et posant :

$$m'' = M + \frac{\cos \alpha - b}{b} \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{\cos \alpha}{b} \frac{J}{l^2}, \quad (7)$$

nous aurons :

$$F'' = m'' a \omega^2 R, \quad (VI)$$

$a \omega^2 R$  est égal à l'accélération du point B, c'est-à-dire aussi à celle des piston, tige et tête de tige. De telle sorte que nous pouvons énoncer la règle suivante :

Règle I. — Pour tenir un compte rigoureusement exact de l'action de l'inertie de la bielle sur l'effort moteur, il suffit d'ajouter à chaque instant à la masse des pièces à mouvement rectiligne une masse fictive  $m''$ , variable avec l'angle  $\alpha$ , et donnée par la formule (7).

Afin de faciliter l'application de cette règle, nous reproduisons, à la fin de cette étude (pages 219 et 220), deux tableaux qui donnent, pour des valeurs de  $10^\circ$  en  $10^\circ$  de  $\alpha$ , les coefficients de  $\frac{\mathfrak{N}}{l}$  et de  $\frac{J}{l^2}$  de la formule (7); et cela, dans les deux cas les plus usuels où le rapport  $\lambda$  de la longueur de la manivelle à celle de la bielle est égal à  $\frac{1}{4}$  et  $\frac{1}{5}$ .

Nous avons même pour deux bielles particulières représentées sur les *fig.* 1, 2, 3 et 4 de la Pl. VIII, et correspondant à chacune des valeurs  $\frac{1}{4}$  et  $\frac{1}{5}$  pour  $\lambda$ , calculé les valeurs de la masse fictive  $m''$ , ainsi que celles du rapport  $\frac{m''}{M}$ ; et nous avons consigné ces dernières aux tableaux dont nous parlions plus haut.

Des valeurs de  $m''$ , nous avons, par la formule (VI), déduit celles de  $F''$  et les avons portées en ordonnées dans les *fig.* 5 et 6 (Pl. VIII), où les abscisses sont proportionnelles aux angles  $\alpha$ ; c'est la courbe marquée en traits pleins.

Considérant, d'autre part, les valeurs  $m''_0$  et  $m''_{180}$  correspondant aux angles de  $0^\circ$  et  $180^\circ$ , nous avons formé  $\mu'' = \frac{m''_0 + m''_{180}}{2}$ , et nous avons construit en traits mixtes la courbe des forces d'inertie fictives.

$$f''' = \mu'' a \omega^2 R.$$

Un examen attentif de ces tableaux et de ces courbes nous montre :

1° Que les valeurs de  $\frac{m''}{M}$  varient peu, sauf dans le voisinage de  $80^\circ$ , où ce rapport devient infini (angles de  $76^\circ 43' 16''$  pour  $\gamma = \frac{1}{4}$ ; et de  $79^\circ 6'$  pour  $\lambda = \frac{1}{5}$ );

2° Que, précisément dans ce voisinage de  $80^\circ$ , les valeurs de  $f'''$  deviennent suffisamment faibles pour être considérées comme négligeables;

3° Que les valeurs de  $f'''$  et  $F''$  sont sans cesse très voisines l'une de l'autre.

Aussi pouvons-nous, sans nous écarter presque de la vérité, remplacer  $F''$  par  $f'''$ , c'est-à-dire la masse fictive variable  $m''$  par la masse fictive constante  $\mu''$ .



Or, nous savons (voir p. 189) que

$$\text{Pour } \begin{array}{lll} \alpha = 0^\circ & a_0 = 1 + \lambda & \cos \alpha = 1, \\ \alpha = 180^\circ & a_{180} = \lambda - 1 & \cos \alpha = 1. \end{array}$$

Nous en déduisons, pour les coefficients d'accélération réduite :

$$b_0 = \frac{1 + \lambda}{\lambda - 1} \quad b_{180} = \frac{\lambda - 1}{1 + \lambda}.$$

D'où

$$m_0''' = M - \frac{2\lambda}{1 + \lambda} \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{1 - \lambda}{1 + \lambda} \frac{J}{l^2}$$

$$m_{180}''' = M + \frac{2\lambda}{1 - \lambda} \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{1 + \lambda}{1 - \lambda} \frac{J}{l^2},$$

et

$$\mu''' = \frac{m_0''' + m_{180}'''}{2} = M - \frac{2\lambda^2}{1 - \lambda^2} \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{1 + \lambda^2}{1 - \lambda^2} \frac{J}{l^2}, \quad (8)$$

ce qui nous conduit à l'énoncé suivant :

Règle II. — Pour tenir compte, avec une approximation très voisine de la réalité, de l'action de l'inertie de la bielle sur l'effort moteur, il suffit d'ajouter une fois pour toutes à la masse des pièces à mouvement rectiligne une masse constante  $\mu'''$ , donnée par la formule (8), et égale d'ailleurs à une fraction de celle de la bielle représentée par le rapport

$$K''' = 1 + \frac{1}{M} \left( \frac{2\lambda^2}{1 - \lambda^2} \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{1 + \lambda^2}{1 - \lambda^2} \frac{J}{l^2} \right). \quad (9)$$

Nous ferons remarquer que les types de bielles que nous avons choisis constituent sensiblement deux cas limites entre lesquels sont compris presque tous les autres; c'est même ce qui nous a permis tout à l'heure, de l'analogie des valeurs particulières de  $f'''$  et  $F'''$  auxquelles elles donnent lieu, de conclure à une analogie générale.

Et, en effet, la première de ces bielles, qui pèse 1.120 kilogrammes, appartient à une puissante machine marine

à triple expansion de 4.000 chevaux; sa longueur est égale à quatre fois celle de la manivelle; son corps est creux sur toute sa longueur, et cette circonstance, jointe à la précédente, contribue à diminuer l'importance de la portion médiane par rapport aux deux extrémités. L'une de ces dernières, celle qui s'articule avec la manivelle, représente à elle seule plus de la moitié du poids total; l'autre, à la jonction avec la crosse, est du type à fourche, et son poids s'élève au quart de celui de la bielle.

Le second type correspond à une machine fixe compound de 150 chevaux; le poids est de 150 kilogrammes et la longueur est égale à cinq fois celle de la manivelle. Le corps est plein et les deux extrémités qui sont à chape, et clavette, ne représentent qu'une fraction assez restreinte du poids total, à savoir : la tête  $\frac{1}{4}$  et le pied  $\frac{1}{9}$ .

Aussi nous est-il permis d'affirmer que, dans la plupart des cas, la fraction  $K'''$  de la masse de la bielle qui formera la masse  $\mu'''$  aura une valeur comprise entre celles que donneront les deux cas précédents.

Nous déduirons, dès lors, soit de la formule (9), soit des tableaux des pages 219 et 220, ces valeurs limites de  $K'''$ , c'est-à-dire pour la première  $K''' = 0,4152$ ; pour la seconde  $K''' = 0,4746$ , et, élargissant l'intervalle, pour rendre notre règle aussi générale qu'il convient, nous conclurons :

Règle III. — Pour tenir compte, avec une approximation suffisante dans la pratique, de l'action de l'inertie de la bielle sur l'effort moteur, il suffit d'ajouter une fois pour toutes à la masse des pièces à mouvement rectiligne une masse constante égale à une fraction de celle de la bielle qui varie entre 0,4 et 0,5. Pour déterminer ce rapport, on se laissera d'ailleurs guider par cette considération qu'il convient de se rapprocher d'autant plus de la première ou de la seconde de ces valeurs limites,

que les circonstances concourent à augmenter ou diminuer le poids de la tête, à diminuer ou augmenter le poids du pied, par rapport à celui de la bielle entière.

2° *Action de l'inertie de la bielle sur la manivelle.* — Considérons cette même composante d'inertie  $F'''$  dont nous venons de nous occuper et qui est dirigée suivant l'axe de la tige de piston. Elle donne deux composantes : l'une  $F'_2$  normale aux glissières ; l'autre  $\Phi$  dirigée suivant l'axe de la bielle ; et cette dernière se décomposera de même en deux autres :  $\Phi'$ , qui produit un effort tangentiel ;  $F'_2$ , dirigée suivant la manivelle (*fig. 5*, Pl. VII).

D'autre part, nous avons vu plus haut (p. 205) qu'il existait une force d'inertie  $F'_1$  dirigée suivant la manivelle et due à l'une des trois composantes d'accélération envisagées.

La force totale qui intervient pour produire une traction sur la manivelle, et une pression de l'arbre sur ses coussinets, est par suite la résultante  $F' = F'_1 + F'_2$  ; mais il est inutile de nous occuper de la seconde, puisque nous savons maintenant déterminer  $F'''$  et qu'un simple tracé analogue à celui de la *fig. 5* (Pl. VII) nous donnera  $F'_2$ .

Voyons donc quelle sera l'expression de  $F'_1$ . Nous la déduirons de la formule (4') (p. 204).

$$F'_1 = \left( \frac{b-a}{b} \frac{\pi}{l} + \frac{a}{b} \frac{j}{l^2} \right) \omega^2 R.$$

Raisonnant comme ci-dessus pour la force  $F'''$ , nous considérerons la quantité entre crochets comme une masse fictive  $m'_1$ , soit

$$m'_1 = \frac{b-a}{b} \frac{\pi}{l} + \frac{a}{b} \frac{j}{l^2}, \quad (10)$$

et nous écrirons :

$$F'_1 = m'_1 \omega^2 R. \quad (IV)$$

Mais  $\omega^2 R$  est l'accélération centrifuge du point A, et nous sommes amené à donner la règle suivante :

Règle IV. — Pour tenir un compte rigoureusement exact de l'action de l'inertie de la bielle sur la manivelle :

1° Il faut, ayant ajouté à la masse des pièces à mouvement rectiligne une masse fictive variable  $m'''$ , donnée par la formule (7) de la page 206, déterminer par un tracé connu, la composante d'inertie que donne cette masse suivant la manivelle ;

2° Il faut ensuite ajouter à cette première force celle que produirait une masse fictive également variable  $m'_1$ , donnée par la formule (10) et concentrée d'ailleurs au point d'articulation de la bielle avec la manivelle.

Procédant toujours comme pour la force  $F'''$ , nous avons, dans les tableaux des pages 219 et 220, consigné : 1° les valeurs des coefficients de  $\frac{\pi}{l}$  et de  $\frac{j}{l^2}$  dans les deux cas où  $\lambda = \frac{1}{4}$  et  $\lambda = \frac{1}{5}$  ; 2° celles du rapport  $\frac{m'_1}{M}$  pour les deux types de bielles choisis ; et nous avons constaté ainsi que ce rapport, qui n'augmente que très lentement de 0° à 180°, pouvait être considéré comme sensiblement constant.

Nous avons donc formé :

$$m'_{1,0} = \lambda \frac{\pi}{l} + (1-\lambda) \frac{j}{l^2}$$

$$m'_{1,180} = -\lambda \frac{\pi}{l} + (1+\lambda) \frac{j}{l^2}.$$

puis,

$$\mu'_1 = \frac{m'_{1,0} + m'_{1,180}}{2} = \frac{j}{l^2}, \quad (11)$$

et nous nous sommes trouvé en mesure d'affirmer que la valeur de  $\mu'_1$ , ainsi obtenue, était suffisamment voisine des différentes valeurs de  $m'_1$ , pour pouvoir leur être substituée.



D'où la règle :

Règle V. — Pour tenir compte, avec une approximation très voisine de la réalité, de l'action de l'inertie de la bielle sur la manivelle :

1° Il faut, ayant ajouté à la masse des pièces à mouvement rectiligne une masse fictive constante, égale à une fraction  $K'''$  de celle de la bielle donnée par la formule (9) de la page 208, déterminer, par un tracé connu, la composante d'inertie que donne cette masse suivant la manivelle ;

2° Il faut ensuite ajouter à cette première force celle que produirait une masse fictive également constante, concentrée au point d'articulation de la bielle et de la manivelle, donnée d'ailleurs par la formule (11) ci-dessus, c'est-à-dire égale à une fraction de la masse de la bielle représentée par le rapport

$$K'_1 = \frac{1}{M} \frac{J}{l^2}. \quad (12)$$

Faisons la somme des deux coefficients  $K'''$  et  $K'_1$ . Cela donne

$$K''' + K'_1 = 1 + \frac{1}{M} \frac{2\lambda^2}{1-\lambda^2} \left( \frac{9\pi}{l} - \frac{J}{l^2} \right).$$

Or, nous avons pour la première bielle :

$$\frac{1}{M} \frac{9\pi}{l^2} = 0,6296 \quad \frac{1}{M} \frac{J}{l^2} = 0,5902$$

$$\frac{2\lambda^2}{1-\lambda^2} = \frac{2}{15},$$

Soit :

$$\frac{1}{M} \frac{2\lambda^2}{1-\lambda^2} \left( \frac{9\pi}{l} - \frac{J}{l^2} \right) = 0,00525.$$

Pour la seconde :

$$\frac{1}{M} \frac{9\pi}{l} = 0,6291 \quad \frac{1}{M} \frac{J}{l^2} = 0,5337$$

$$\frac{2\lambda^2}{1-\lambda^2} = \frac{1}{12},$$

Soit :

$$\frac{1}{M} \frac{2\lambda^2}{1-\lambda^2} \left( \frac{9\pi}{l} - \frac{J}{l^2} \right) = 0,00799.$$

Pour nos deux cas limites, et par suite, d'après un raisonnement déjà employé, pour la plupart des cas qui se présenteront, l'expression

$$\frac{1}{M} \frac{2\lambda^2}{1-\lambda^2} \left( \frac{9\pi}{l} - \frac{J}{l^2} \right)$$

est donc négligeable devant l'unité, et nous pouvons admettre la relation approximative :

$$K''' + K'_1 = 1$$

et énoncer la règle :

Règle VI. — Pour tenir compte, avec une approximation suffisante dans la pratique, de l'action de l'inertie de la bielle sur la manivelle :

1° Il faut, ayant ajouté à la masse des pièces à mouvement rectiligne une masse fictive constante, égale à une fraction de la masse de la bielle variant entre 0,4 et 0,5 (voir règle III, page 209), déterminer, par un tracé connu, la composante d'inertie que donne cette masse suivant la manivelle ;

2° Il faut ensuite ajouter à cette première force celle que produirait une masse fictive constante, concentrée au point d'articulation de la bielle et de la manivelle, et égale à la fraction de la masse de la bielle que l'on a négligé pour former la masse fictive précédente.

3° *Action de l'inertie de la bielle sur les glissières.* — Par analogie avec ce qui se passe pour l'action de la bielle sur la manivelle, les efforts qui interviennent, dans le cas présent, sont dus à la résultante  $F''$  de deux forces : l'une  $F''_1$  déjà envisagée (page 210 et *fig.* 5, Pl. VII), l'autre

tre  $F'_1$  provenant d'une des trois composantes d'accélération déterminées plus haut.

Il ne sera pas question de  $F''_2$ , qu'un tracé très simple permet de déduire de  $F'''$ .

Quant à  $F''_1$ , nous le déduirons de la formule (5')

$$F''_1 = \frac{a}{b} \sin \alpha \left( \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{\mathfrak{J}}{l^2} \right) \omega^2 R.$$

et nous écrirons

$$m''_1 = \frac{a}{b} \left( \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{\mathfrak{J}}{l^2} \right) \quad (13)$$

et

$$F''_1 = m''_1 \omega^2 R \sin \alpha. \quad (V)$$

Règle VII. — Pour tenir un compte rigoureusement exact de l'action de l'inertie de la bielle sur les glissières :

1° Il faut, ayant ajouté à la masse des pièces à mouvement rectiligne une masse fictive variable  $m'''$  donnée par la formule (7) de la page 206 déterminer, par un tracé connu, la composante d'inertie que donne cette masse normalement aux glissières ;

2° Il faut ensuite ajouter à cette première force celle que produirait une masse fictive variable  $m'_2$  donnée par la formule (13) ci-dessus, et animée à chaque instant d'une accélération égale à la composante de l'accélération centrifuge du point A perpendiculaire à l'axe de la tige de piston.

Nos tableaux, pour ce cas comme pour les précédents, portent les valeurs des coefficients qui entrent dans les formules, à savoir  $\frac{a}{b}$  et  $\frac{a}{b} \sin \alpha$ .

Or il est aisé de faire au sujet de ces valeurs, les observations suivantes :

1° La force  $F'_2$  est presque toujours très petite par rapport aux pressions que donnent sur les glissières : l'effort moteur d'abord, et ensuite l'inertie des pièces à mouve-

ment rectiligne et de la fraction de bielle agissant avec elles. C'est uniquement dans le voisinage de l'angle pour lequel l'accélération du point B devient nulle ( $76^\circ 43' 16''$

pour  $\lambda = \frac{1}{4}$  et  $79^\circ 6'$  pour  $\lambda = \frac{1}{5}$ ) que  $F''_1$  atteint une importance relative.

2° Le coefficient  $\frac{a}{b}$ , variable seulement dans des limites restreintes, ne s'éloigne quelque peu de 1, valeur qu'il prend dans les environs des angles ci-dessus indiqués, que lorsque  $\alpha$  est voisin lui-même de  $0^\circ$  et  $180^\circ$ , c'est-à-dire quand  $F'_1$  devient négligeable.

3° Il y a lieu, vu ces considérations, de remplacer, sans sortir d'ailleurs des approximations permises, la masse variable  $m''_1$  par une masse constante  $\mu''_1$ , donnée par la formule

$$\mu''_1 = \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{\mathfrak{J}}{l^2}, \quad (14)$$

et par suite égale à une fraction de la masse de la bielle donnée par le rapport

$$K''_1 = \frac{1}{M} \left( \frac{\mathfrak{N}}{l} - \frac{\mathfrak{J}}{l^2} \right) \quad (15)$$

D'où l'énoncé.

Règle VIII. — Pour tenir compte, avec une approximation très voisine de la réalité, de l'action de l'inertie de la bielle sur les glissières :

1° Il faut, ayant ajouté à la masse des pièces à mouvement rectiligne une masse fictive constante déterminée par la règle II (page 208), déterminer, par un tracé connu, la composante d'inertie que donne cette masse normalement aux glissières ;

2° Il faut ensuite ajouter à cette première force celle que produirait une masse fictive constante  $\mu''_1$  dont le



rapport à la masse de la bielle soit donné par la formule (15), et que l'on considérerait d'ailleurs comme animée à chaque instant d'une accélération égale à la composante de l'accélération centrifuge du point A normale aux glissières.

Le rapport  $K_1'' = \frac{1}{M} \left( \frac{\pi}{l} - \frac{j}{l'} \right)$  varie dans des limites suffisamment étendues, étant donnée la petitesse de ses valeurs (0,0394 à 0,0954 pour les deux bielles considérées) pour qu'il soit difficile d'estimer à vue comment on le choisira, d'après un type de bielle donné.

Évaluer  $F_1''$  en partant d'une valeur à peu près arbitraire par  $K_1''$  serait s'exposer à commettre une erreur aussi forte, peut-être plus même que celle qui consisterait à lui donner une valeur nulle; et comme précisément les considérations précédentes suffisent à nous montrer qu'il n'y a qu'un inconvénient secondaire à négliger cette force  $F_1''$ , nous énoncerons.

Règle IX. — Pour tenir compte avec une approximation suffisante en pratique de l'action de l'inertie de la bielle sur les glissières :

Il suffit, ayant ajouté à la masse des pièces à mouvement rectiligne une masse fictive constante, égale à une fraction de la masse de la bielle variant entre 0,4 et 0,5 (voir règle III, page 209), de déterminer, par un tracé connu, la composante d'inertie que donne cette masse normalement aux glissières.

*Remarque.* — Nous tenons, en terminant, cette étude, à faire observer que, contrairement à ce que l'on pourrait se figurer, le calcul des valeurs de  $\frac{\pi}{l}$  et de  $\frac{j}{l'}$  n'est ni long ni difficile.

Un simple partage du corps de la bielle en dix ou quinze parties judicieusement choisies permet, en ne commettant que des erreurs négligeables, de remplacer  $\pi$  par

$\Sigma mx$  et  $J$  par  $\Sigma mx^2$ ; expressions dans lesquelles  $m$  désigne la masse de l'élément;  $x$  la distance de son centre de gravité, approximatif naturellement, au point B.

C'est ainsi d'ailleurs que nous avons procédé pour les bielles considérées, et nous avons pu nous assurer que les erreurs commises ne sauraient guère atteindre  $\frac{1}{100}$ .

## CONCLUSION.

La question que nous venons de traiter n'est certes pas de celles qui prennent une place considérable en mécanique, et cependant nous avons pensé que notre étude méritait d'être publiée.

Les forces d'inertie en effet, nous le disions dès notre introduction, jouent un rôle considérable aujourd'hui dans un grand nombre de cas, et l'on s'est habitué en ces derniers temps, pour les machines marines en particulier, à suivre d'aussi près que possible la réalité, sachant par expérience à quels mécomptes pouvaient conduire en cette matière des calculs abandonnés au hasard.

C'est cette considération qui nous a amené à examiner de très près une question que nous avons jugée intéressante en soi, puisqu'en dépendent, outre le calcul des efforts exercés sur les paliers, glissières, etc., celui des contrepoids dans les arbres coudés, et celui de la régularisation de l'effort moteur tant pour les pièces à mouvement circulaire que pour celles à mouvement rectiligne alternatif.

Jusqu'ici, dans la détermination de ces divers éléments, faute de savoir comment procéder avec la bielle, les uns faisaient intervenir comme agissant effectivement la totalité de sa masse, les autres n'en prenaient que telle ou telle fraction, choisie plus ou moins arbitrairement. Nous

avons vu, dans un excellent aide-mémoire, parfaitement rédigé à tous égards, qu'il était convenable d'adjoindre les  $\frac{2}{3}$  de la masse de la bielle à celle des pièces à mouve-

ment rectiligne, et de concentrer le  $\frac{1}{3}$  restant au point d'articulation avec la manivelle. Nous savons maintenant que ces chiffres sont entièrement inexacts, et ce sont cependant les seuls, et dans ce seul livre, que nous ayons trouvés à ce sujet.

Si donc nous regrettons de n'avoir pas su peut-être rendre notre sujet aussi attrayant qu'il devrait l'être, nous ne pouvons cependant nous empêcher de croire qu'il y avait un réel intérêt à donner, sur une question jusqu'ici négligée, des règles précises, basées sur des raisonnements sérieux et non plus sur des idées fantaisistes.

Aussi sommes-nous fermement convaincu que nous avons atteint le but proposé, et espérons-nous que les résultats si simples auxquels ont abouti ces quelques pages sauront rendre souvent service aux ingénieurs soucieux de pousser l'exactitude aussi loin que le calcul le permet.

Tableau des valeurs de divers coefficients se rapportant au cas où  $\frac{r}{l} = \lambda = \frac{1}{4}$

ANGLE de la manivelle avec l'axe de la tige de piston $\alpha$	LIGNES trigonométriques		COEFFICIENT d'accélération $a$	COEFFICIENT d'accélération réduite $\frac{a}{b}$	COEFFICIENT $\frac{a(\cos \alpha - b)}{b}$	COEFFICIENT $\frac{a \cos \alpha}{b}$	COEFFICIENT $\frac{\cos \alpha - b}{b}$	COEFFICIENT $\frac{\cos \alpha}{b}$	COEFFICIENT $\frac{a}{b}$	COEFFICIENT $\frac{b-a}{b}$	COEFFICIENT $\frac{a \sin \alpha}{b}$	RAPPORT $\frac{m''}{M}$	RAPPORT $\frac{m'}{M}$
	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$											
0°	0,00000	1,00000	1,2500	1,6667	-0,5000	0,7500	-0,4000	0,6000	0,7500	0,2500	0,0000	0,3944	0,6000
10°	0,17365	0,98481	1,2904	1,6184	-0,4775	0,7429	-0,3913	0,6087	0,7510	0,2460	0,1302	0,3944	0,5999
20°	0,34202	0,93969	1,3396	1,4724	-0,4400	0,7236	-0,3617	0,6383	0,7700	0,2300	0,2634	0,3955	0,5993
30°	0,50000	0,86603	1,3948	1,2524	-0,3146	0,6302	-0,3163	0,6837	0,7943	0,2057	0,3977	0,3973	0,5983
40°	0,64273	0,76604	1,4679	0,9818	-0,1782	0,5384	-0,2353	0,7647	0,8295	0,1705	0,5333	0,4012	0,5969
50°	0,76604	0,64273	1,5600	0,6948	-0,0451	0,5581	-0,0749	0,9231	0,8682	0,1318	0,6631	0,4068	0,5951
60°	0,86603	0,50000	1,7000	0,4100	0,0820	0,4572	0,2165	1,2195	0,9151	0,0849	0,7995	0,4184	0,5948
70°	0,93969	0,34202	1,9000	0,1520	0,1835	0,3303	1,2501	2,2501	0,9687	0,0343	0,9075	0,4391	0,5945
76° 43' 16"	0,97326	0,22974	2,0000	0,0000	0,2297	0,2297	$\pm \infty$	$\pm \infty$	1,0000	0,0000	0,9733	$\pm \infty$	0,5902
80°	0,98481	0,17365	2,0683	0,0672	0,2471	0,1788	26,8407	25,8407	1,0000	0,0000	1,0000	0,2674	0,5876
90°	1,00000	0,00000	2,2500	0,2500	0,2582	0,0000	1,0000	1,0000	1,0665	0,0665	1,0665	0,3074	0,5876
100°	0,98481	0,17365	2,4135	0,3737	0,2224	0,1931	1,5353	0,4617	1,1118	0,1118	1,0349	0,3887	0,5876
110°	0,93969	0,34202	2,5372	0,4668	0,1436	0,3936	2,2673	0,7327	1,1508	0,1508	1,0814	0,3992	0,5880
120°	0,86603	0,50000	2,6248	0,5290	0,0831	0,5917	0,6530	0,9470	1,1833	0,1833	1,1533	0,4077	0,5890
130°	0,76604	0,64273	2,6824	0,5648	-0,0942	0,7766	0,4384	1,4381	1,2082	0,2082	1,2135	0,4152	0,5890
140°	0,64273	0,76604	2,7184	0,5920	-0,2142	0,9396	0,2040	1,2940	1,2135	0,2135	1,2135	0,4214	0,5818
150°	0,50000	0,86603	2,7372	0,5356	-0,3347	1,0749	0,4540	1,4540	1,2135	0,2135	1,2135	0,4277	0,5808
160°	0,34202	0,93969	2,7460	0,5896	-0,4231	1,1690	0,5672	1,5672	1,2135	0,2135	1,2135	0,4318	0,5808
170°	0,17365	0,98481	2,7492	0,5999	-0,4736	1,2288	0,6416	1,6416	1,2135	0,2135	1,2135	0,4349	0,5804
180°	0,00000	1,00000	2,7500	0,6000	-0,5000	1,2500	0,6667	1,6667	1,2500	0,2500	0,0000	0,4361	0,5803



Tableau des valeurs de divers coefficients se rapportant au cas où  $R = \lambda = \frac{1}{5}$

ANGLE de la manivelle avec l'axe de la tige de piston $\alpha$	LIGNES trigonométriques		COEFFICIENT d'accélération $a$	COEFFICIENT d'accélération réduite $\frac{a}{b}$	COEFFICIENT $\frac{a(\cos \alpha - b)}{b}$		COEFFICIENT $\frac{a \cos \alpha}{b}$		COEFFICIENT $\frac{\cos \alpha - b}{b}$		COEFFICIENT $\frac{a}{b}$		COEFFICIENT $\frac{b-a}{b}$		COEFFICIENT $\frac{a \sin \alpha}{b}$		RAPPORT $\frac{m'''}{M}$	RAPPORT $\frac{m''}{M}$
	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$			COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT		
0°	0,00000	1,00000	1,2000	1,5000	-0,4000	0,8000	-0,3333	0,6667	0,8000	0,0000	0,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4353	0,5328		
10°	0,17365	0,98481	1,1732	1,3892	-0,3874	0,7918	-0,3251	0,6749	0,8010	0,1960	0,1960	0,0018	0,1960	0,1960	0,4353	0,5324		
20°	0,34202	0,93979	1,0940	1,2692	-0,3278	0,7052	-0,2996	0,7001	0,8154	0,1658	0,1658	0,0036	0,1658	0,1658	0,4576	0,5513		
30°	0,50000	0,86603	0,9680	1,1604	-0,2436	0,7224	-0,2537	0,7463	0,8342	0,1405	0,1405	0,0054	0,1405	0,1405	0,4121	0,5495		
40°	0,64279	0,76604	0,8028	0,9340	-0,1444	0,6584	-0,1798	0,8202	0,8595	0,1166	0,1166	0,0072	0,1166	0,1166	0,4191	0,5471		
50°	0,76603	0,64279	0,6104	0,6910	-0,0425	0,5678	-0,0698	0,9302	0,8834	0,0926	0,0926	0,0090	0,0926	0,0926	0,4506	0,5148		
60°	0,86603	0,50000	0,4001	0,4420	0,0630	0,4634	0,4573	1,1573	0,9268	0,0732	0,0732	0,0108	0,0732	0,0732	0,4813	0,5407		
70°	0,93979	0,34202	0,1868	0,1930	0,1442	0,3310	0,7719	1,7719	0,9678	0,0322	0,0322	0,0136	0,0322	0,0322	0,5407	0,5368		
79° 6'	0,98481	0,17365	0,0000	0,0000	0,1891	0,1891	±∞	±∞	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	±∞	0,5337		
80°	1,00000	0,00000	-0,2011	-0,1960	-0,0281	0,1765	-1,0281	-1,0281	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0691	0,5320		
90°	0,98481	0,17365	0,3652	0,4960	0,2041	0,0000	1,0000	0,0000	1,0443	0,0413	0,0413	0,0413	0,0413	0,0413	0,3709	0,5308		
100°	0,86603	0,34202	0,4972	0,4919	0,1782	-0,1870	0,4870	0,5291	1,0769	-0,0769	-0,0769	-0,0769	-0,0769	-0,0769	0,4198	0,5264		
110°	0,76604	0,50000	0,5906	0,5280	0,1124	-0,3818	0,2466	0,9700	1,1251	-0,1251	-0,1251	-0,1251	-0,1251	-0,1251	0,4137	0,5218		
120°	0,64279	0,64279	0,6752	0,3824	0,0575	0,5678	0,0970	0,9970	1,1336	-0,1336	-0,1336	-0,1336	-0,1336	-0,1336	0,4659	0,5208		
130°	0,50000	0,76603	0,7492	0,6212	-0,0575	0,4892	0,0970	1,0970	1,1336	-0,1336	-0,1336	-0,1336	-0,1336	-0,1336	0,5218	0,5185		
140°	0,34202	0,86603	0,7540	0,6144	-0,1700	0,3628	0,2431	1,2831	1,1738	-0,1738	-0,1738	-0,1738	-0,1738	-0,1738	0,5855	0,5171		
150°	0,17365	0,93979	0,7540	0,5480	-0,3263	0,2568	0,3431	1,4331	1,0856	-0,3431	-0,3431	-0,3431	-0,3431	-0,3431	0,6491	0,5160		
160°	0,00000	1,00000	0,7540	0,4840	-0,5000	0,1519	0,4281	1,4281	0,9339	-0,4281	-0,4281	-0,4281	-0,4281	-0,4281	0,5074	0,5152		
170°	0,17365	0,98481	0,7540	0,4341	-0,6361	0,0000	0,4632	1,4632	0,8000	-0,4632	-0,4632	-0,4632	-0,4632	-0,4632	0,5152	0,5148		
180°	0,34202	0,93979	0,8000	0,3861	-0,8000	0,0000	0,5000	1,5000	0,5000	-0,5000	-0,5000	-0,5000	-0,5000	-0,5000	0,5148	0,5148		

MÉMOIRE

SUR LE

SERVICE DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION

DES

CHEMINS DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE

ET DU RÉSEAU AUTRICHIEN

DE LA SOCIÉTÉ AUTRICHIENNE - HONGROISE PRIVILÉGIÉE  
DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT

Par M. MAURICE BELLOM, Ingénieur au Corps des mines.

Les conditions, dans lesquelles s'effectue le service du matériel et de la traction des chemins de fer du Sud de l'Autriche et du réseau autrichien de la Société autrichienne-hongroise privilégiée des chemins de fer de l'État, sont assez différentes, pour que l'étude du matériel de l'un de ces deux réseaux puisse être considérée comme le complément de l'étude du matériel de l'autre. La traction sur un réseau, qui, comme celui des chemins de fer du Sud de l'Autriche, présente des lignes aussi accidentées que le Brenner et le Semmering, exige l'emploi d'un matériel particulier, tandis que l'on n'y rencontre pas certains types de locomotives, notamment les machines compound, dont la société A.-H. des chemins de fer de l'État offre, au contraire, d'intéressants exemples.

Le présent mémoire dans lequel on se propose d'étudier le service du matériel et de la traction sur ces deux réseaux sera divisé en trois parties : la première sera consacrée au service proprement dit de la traction ; la seconde à la description du matériel de traction ; la troisième comprendra le détail des dépenses de ce service.

## PREMIÈRE PARTIE.

## SERVICE DE LA TRACTION.

## A. — ORGANISATION GÉNÉRALE DU SERVICE DE LA TRACTION

*Étendue et composition du réseau.*

1° Des chemins de fer du Sud de l'Autriche. — Le réseau de la compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche comprend des lignes principales divisées en quatre groupes et des lignes secondaires. Le tableau suivant en indique la répartition :

CHEMINS DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE	LONGUEURS construites	LONGUEUR exploitée
<i>Lignes principales.</i>		
	kilom.	kilom.
Groupe n° 1. Ligne de Vienne à Trieste, avec embranchements. . . . .	808,966	
Groupe n° 2. Lignes de la Hongrie . . . . .	701,482	
Groupe n° 3. Lignes de la Carinthie. . . . .	374,397	
Groupe n° 4. Lignes du Tyrol . . . . .	305,716	
Total . . . . .	2.190,561	
<i>Lignes secondaires.</i>		
Appartenant à la Compagnie. . . . .	42,083	
Appartenant à des tiers et exploitées par la Comp. . . . .	159,717	
Total général . . . . .	2.392,361	2.398,803

2° De la Société autrichienne-hongroise privilégiée des chemins de fer de l'État. — Par suite de sa division en réseau autrichien et réseau hongrois, cette société constitue en réalité deux compagnies absolument distinctes, tant par leur administration que par leur comptabilité. Le réseau autrichien, qui sera étudié dans ce mémoire à l'exclusion du réseau hongrois, comprend, indépendamment des lignes dites anciennes formant cinq sections séparées des chemins de fer secondaires, un réseau dit complémentaire et enfin la ligne de Brunn-Rossitz. L'ensemble en est résumé dans le tableau suivant :

RÉSEAU AUTRICHIEN DE LA SOCIÉTÉ des chemins de fer de l'État	LONGUEURS construites	LONGUEUR exploitée
<i>Ancien réseau.</i>		
	kilom.	
Section n° 1. Brunn-Bodenbach . . . . .	471,375	
— n° 2. B. Trübau-Olmütz . . . . .	41,170	
— n° 3. Vienne-Brüch-frontière . . . . .	2,304	
— n° 4. Marchegy-frontière hongroise . . . . .	107,502	
— n° 5. Chotzen-Braunau . . . . .	622,351	
Total . . . . .	266,393	
Lignes secondaires. . . . .	214,426	
Réseau complémentaire. . . . .	29,070	
Brunn-Rossitz. . . . .	1.132,240	1.125,960
Total général . . . . .		

Les deux tableaux qui précèdent contiennent quelques termes « Lignes secondaires », « Réseau complémentaire », « Brunn-Rossitz » dont il importe de préciser le sens.

**Lignes secondaires.** — On distingue, en Autriche, les lignes dites secondaires et les trains dits secondaires.

I. Les lignes dites secondaires sont des chemins de fer d'intérêt local. L'ordonnance du ministère I. R. du commerce, en date du 29 mai 1880, déclare, dans son article 1<sup>er</sup>, que « le ministère du commerce décide, quand une loi ne l'a pas fait, si une ligne projetée sera un che-



min de fer d'intérêt local. » Ces lignes, ainsi définies lors de leur concession, jouissent de certaines facilités énumérées dans une ordonnance du ministère I. R. du commerce du 1<sup>er</sup> août 1883 dont le mémoire de MM. Brame et Weiss a donné l'analyse.

II. Les trains dits secondaires sont définis par l'ordonnance du 1<sup>er</sup> avril 1885 « des trains uniquement destinés au transport des voyageurs qui circulent sur les lignes à exploitation normale dans le but de satisfaire les besoins locaux indépendamment des trains ordinaires de voyageurs à grande vitesse. » Les dispositions spéciales relatives au service de ces trains sont contenues dans l'ordonnance du 1<sup>er</sup> avril 1885, entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> juillet de la même année; elle n'a fait qu'étendre les simplifications autorisées par les ordonnances antérieures dont les mémoires déjà publiés en France ont rendu compte. Il suffira donc d'indiquer ici les modifications qui y ont été apportées par l'ordonnance de 1885, et qui n'ont été encore signalées, croyons-nous, dans aucune publication française :

1<sup>o</sup> La première modification est relative au nombre de véhicules munis de freins. Les anciennes ordonnances imposaient sur ce point aux trains secondaires les prescriptions relatives aux trains de marchandises. L'ordonnance de 1885 prévoit la possibilité d'une modification de ces prescriptions sous l'autorisation de l'inspection générale, et, dans le cas seulement où la locomotive serait munie de freins « spéciaux ». L'ordonnance de 1885 ajoute que, si un appareil de ce genre cesse de fonctionner pendant le trajet, le train ne pourra continuer sa marche qu'à la vitesse de 15 kilomètres à l'heure jusqu'à ce que les freins à main soient servis conformément aux règles des trains de marchandises ordinaires;

2<sup>o</sup> La deuxième modification, qui est relative au personnel des trains, donne à l'inspection générale le droit

d'accorder l'autorisation de faire monter la locomotive par le mécanicien seul, sans limiter à trois (comme le faisaient les ordonnances précédentes) le nombre de voitures des trains pour lesquels cette autorisation pourra être accordée;

3<sup>o</sup> La vitesse des trains fixée invariablement à un maximum de 30 kilomètres à l'heure jusqu'en 1885 est actuellement déterminée par l'inspection générale dans chaque cas particulier, pour chaque section de ligne, eu égard aux conditions du tracé, de la voie et du matériel roulant;

4<sup>o</sup> L'ordonnance de 1855 prévoit la possibilité d'un train poussé par une machine placée en queue, sans qu'il y ait de machine en tête : dans ce cas, la vitesse ne doit pas dépasser 15 kilomètres à l'heure sur la voie courante. Avant 1885, la machine devait toujours être placée en tête du train.

L'application de ces prescriptions générales a motivé, pour chaque compagnie, la rédaction d'un règlement particulier.

A. Le règlement spécial aux chemins de fer du Sud de l'Autriche contient les particularités suivantes :

1<sup>o</sup> Dans le cas où le nombre des essieux est supérieur à dix sur une voie dont l'inclinaison ne dépasse pas 10 millimètres par mètre ou excède huit sur une voie à inclinaison plus forte, on doit, d'après l'ordonnance, intercaler un wagon de choc entre la locomotive et la première voiture. Le règlement des chemins de fer du Sud de l'Autriche porte que ce wagon de choc sera constitué, ou bien par le compartiment à bagages placé sur la machine, ou bien par le quart de la première voiture à voyageurs qui devra rester inoccupé;

2<sup>o</sup> En général, les trains secondaires ne doivent contenir que des voyageurs. On a toutefois autorisé cette compagnie à y faire entrer des wagons de marchandises,

à condition qu'aucune manœuvre de gare ne soit nécessaire dans les stations intermédiaires et que l'horaire ne soit pas modifié ;

3° Le nombre d'essieux maximum autorisé est de vingt. Au-dessus de ce nombre, le train perd son caractère de train secondaire ;

4° On ne supprime pas le chauffeur, mais on n'emploie qu'un seul conducteur de train, lorsque le poids remorqué n'exige pas plusieurs serre-freins et qu'il existe une communication entre le premier et le dernier wagon du train ;

5° La vitesse ne doit pas dépasser 35 kilomètres à l'heure.

Le réseau des chemins de fer du Sud de l'Autriche comprend une longueur de 785<sup>kg</sup>,7 ainsi exploités en trains secondaires.

B. Le règlement spécial au réseau de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État contient les dispositions suivantes :

1° Le nombre d'essieux maximum est de vingt, chiffre également adopté aux chemins de fer du Sud de l'Autriche ;

2° La vitesse ne doit pas dépasser 30 kilomètres ;

3° Les questions du personnel sont réglées comme ci-dessus.

L'introduction des wagons à marchandises n'est pas spécialement prévue. La société ne possédant pas de matériel spécial, analogue à la locomotive avec compartiment à bagages des chemins de fer du Sud de l'Autriche, aucune disposition particulière n'est édictée en ce qui concerne l'interposition de voitures de choc.

La longueur du réseau autrichien de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État exploitée en trains secondaires est de 573 kilomètres.

**Réseau complémentaire.** — On désigne, sous le nom de réseau complémentaire, une série de lignes reliant Vienne, Stadlau, Strelitz, Marchegg. Les lignes doivent être distinguées de l'ancien réseau au point de vue du compte d'exploitation, parce qu'elles jouissent d'une garantie de l'État.

**Brünn-Rossitz.** — La remarque faite au sujet du réseau complémentaire s'applique également au chemin de fer Brünn-Rossitz.

**Service central et dépendances.** — Le service de la traction est assuré : 1° par un service central ; 2° par des services locaux.

(a) **Chemins de fer du Sud de l'Autriche.** — Le service central est réparti entre six bureaux : 1° personnel ; 2° traction, proprement dite ; 3° ateliers de réparation et de construction ; 4° statistique ; 5° comptabilité ; 6° service des combustibles et de l'alimentation des machines. Les services locaux comprennent la traction proprement dite et les ateliers de réparation. La direction de la traction est confiée à quatre inspecteurs qui sont chargés chacun de l'une des quatre sections (Vienne, Marburg, Laibach et Innsbrück) entre lesquelles se divise le réseau et dont relèvent quatorze remises de machines. La direction des ateliers, qui, au nombre de quatre, sont situés à Vienne, Graz, Marburg et Innsbrück, est donnée à quatre ingénieurs en chef. Un directeur résidant à Vienne est placé à la tête de l'ensemble du service.

(b) **Réseau autrichien de la société A.-H. des chemins de fer de l'État.** — Le service central est réparti entre trois bureaux : 1° administration et comptabilité ; 2° questions techniques ; 3° ateliers. Les services locaux comprennent,



comme dans les chemins de fer du Sud de l'Autriche, la traction proprement dite et les ateliers de réparation ; la traction proprement dite est dirigée par trois inspecteurs dont l'autorité s'étend respectivement sur l'une des trois sections (Vienne, Brünn, Prague) qui, par leur réunion, constituent le réseau. Seize remises de locomotives sont réparties entre les trois sections ; les ateliers, qui sont situés, l'un à Simmering (près Vienne) l'autre à Bubna (près Prague), ont chacun à leur tête un inspecteur principal. L'ensemble du service est dirigé par un inspecteur général résidant à Vienne, qui, au lieu d'être placé comme le directeur du même service aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, sous les ordres d'un directeur général de la compagnie, siège au comité de direction du réseau autrichien avec les autres chefs de service.

## B. — SERVICE DES LOCOMOTIVES.

1° *Intensité et nature de la circulation.* — L'intensité et la nature de la circulation sur les deux réseaux autrichiens qui font l'objet de ce mémoire, sont définies par les trois tableaux suivants qui donnent le nombre et les parcours kilométriques des trains, des voyageurs et des marchandises pour l'année 1888 :

COMPOSITION ET PARCOURS DES TRAINS en 1888	CHEMINS de fer du sud de l'Autriche	SOCIÉTÉ A.-H. des chemins de fer de l'État
<i>Nombre de trains.</i>		
Nombre de trains de grande vitesse . . . . .	5.973	5.648
— ordinaires de voyageurs . . . . .	73.883	32.253
— mixtes . . . . .	10.573	25.327
— de marchandises . . . . .	50.390	43.784
Total . . . . .	140.819	117.012
<i>Nombre de wagons par train.</i>		
Nombre de wagons des trains de grande vitesse . . . . .	4,91	7,26
— ordinaires de voyageurs . . . . .	6,49	11,12
— mixtes . . . . .	15,40	17,71
— de marchandises . . . . .	21,97	42,25
<i>Parcours kilométriques des trains.</i>		
Parcours kilométr. des trains de grande vitesse . . . . .	1.699.909	978.044,7
— ordinaires de voyageurs . . . . .	4.808.050	2.602.369,9
— mixtes . . . . .	790.242	631.789,9
— de marchandises . . . . .	6.468.342	2.959.572,3
Total . . . . .	13.766.543	7.171.767,8

PARCOURS KILOMÉTRIQUE DES VOYAGEURS en 1888	CHEMINS de fer du sud de l'Autriche	SOCIÉTÉ A.-H. des chemins de fer de l'État
<i>Nombre de voyageurs transportés.</i>		
1 <sup>re</sup> classe . . . . .	193.198	61.411
2 <sup>e</sup> classe . . . . .	1.918.183	662.267
3 <sup>e</sup> classe . . . . .	8.748.344	3.627.073
Militaires . . . . .	270.685	148.028
Total . . . . .	11.130.410	4.498.779
<i>Nombre de voyageurs transportés à 1 kilomèt.</i>		
1 <sup>re</sup> classe . . . . .	11.680.558	4.995.707
2 <sup>e</sup> classe . . . . .	73.954.036	39.564.579
3 <sup>e</sup> classe . . . . .	292.706.285	134.698.425
Militaires . . . . .	34.693.516	9.286.148
Total . . . . .	413.034.395	188.544.859
<i>Parcours moyen d'un voyageur.</i>		
1 <sup>re</sup> classe . . . . .	60 <sup>e</sup> ,46	81 <sup>e</sup> ,35
2 <sup>e</sup> classe . . . . .	38,55	59,71
3 <sup>e</sup> classe . . . . .	33,48	37,14
Militaires . . . . .	128,17	62,73
Total . . . . .	37,11	41,91

PARCOURS KILOMÉTRIQUES DES MARCHANDISES en 1888	CHEMINS de fer du sud de l'Autriche	SOCIÉTÉ A.-H. des chemins de fer de l'État
<i>Nombre de tonnes transportées.</i>		
Grande vitesse. . . . .	59.513	61.932
Petite vitesse. . . . .	5.984.788	6.648.953
<i>Nombre de tonnes transportées à 1 kilomètre.</i>		
Grande vitesse. . . . .	9.117.479	6.899.060
Petite vitesse. . . . .	1.188.567.088	557.063.451
<i>Parcours moyen d'une tonne.</i>		
Grande vitesse. . . . .	153 <sup>k</sup> .20	111 <sup>k</sup> .40
Petite vitesse. . . . .	198 ,60	83 ,78

2° *Effectif des locomotives.* — Le tableau suivant contient les données relatives à l'effectif des locomotives au 31 décembre 1888 :

EFFECTIF DES LOCOMOTIVES AU 31 DÉCEMBRE 1888	CHEMINS de fer du sud de l'Autriche	SOCIÉTÉ A.-H. des chemins de fer de l'État
<i>Nombre de locomotives.</i>		
Trains de grande vitesse. . . . .	204	52
Trains de voyageurs ordinaires. . . . .	355	66
Trains de marchandises. . . . .	121	285
Total. . . . .	680	403

3° *Utilisation des locomotives.* — Les éléments qui permettent d'apprécier l'utilisation des locomotives sont réunis dans les deux tableaux ci-dessous relatifs, l'un aux parcours kilométriques, l'autre au travail utile de ces machines :

PARCOURS KILOMÉTRIQUES DES LOCOMOTIVES en 1888	CHEMINS de fer du sud de l'Autriche	SOCIÉTÉ A.-H. des chemins de fer de l'État
<i>Parcours utiles.</i>		
Remorque des trains en simple traction . . . . .	13.766.543 <sup>k</sup> .0	7.171.767 <sup>k</sup> .8
Remorque des trains en double traction . . . . .	1.269.737 ,0	181.369 ,7
Total. . . . .	15.036.280 ,0	7.353.137 ,5
<i>Parcours de service.</i>		
Parcours à vide . . . . .	747.148 ,0	652.438 ,5
Manœuvres. . . . .	1.273.965 ,0	262.187 ,4
Stationnement en feu. . . . .	246.144 ,0	184.072 ,3
Total. . . . .	2.267.257 ,0	1.093.698 ,2
<i>Parcours kilométriques totaux des locomotives.</i> . . . . .	17.303.537 ,0	8.451.835 ,7
Rapport des parcours des locomotives au parcours des trains. . . . .	1,25	1,17

*Observation.* — Les heures de manœuvres et de stationnement en feu ont été comptées à raison de 5 kilomètres à l'heure.

TRAVAIL DES LOCOMOTIVES en 1888	CHEMINS de fer du sud de l'Autriche	SOCIÉTÉ A.-H. des chemins de fer de l'État
<i>Travail utile (en tonnes kilométriques).</i>		
Transport à grande vitesse. . . . .	161.059.583	22.761.711
Transport à petite vitesse. . . . .	1.188.567.088	557.063.451
Total des tonnes kilométriques nettes. . . . .	1.349.626.671	579.825.162
Poids mort . . . . .	1.970.953.929	1.213.067.638
Total des tonnes kilométriques brutes . . . . .	3.320.580.600	1.792.892.800
Rapport du travail utile au travail développé . . . . .	43,92	32,34
<i>Charge moyenne par kilomètre de train (en tonnes).</i>		
Charge nette (moyenne de tous les trains) . . . . .	97,45	80,85
Charge brute ( id. id. ) . . . . .	221,9	249,99
Rapport de la charge nette à la charge brute. . . . .	43,92	32,34

*Résistance et charge des trains.* — Le calcul de la charge des trains que chaque type de locomotive peut remorquer se fait de la manière suivante :

1° Chemins de fer du Sud de l'Autriche. — On admet,



d'après les expériences exécutées sur la ligne du Semmering qui fait partie de ce réseau, que :

(a) Une locomotive oppose à la traction une résistance de 12 kilogrammes par tonne ;

(b) La résistance exprimée également en kilogrammes par tonne qu'oppose à la traction un train remorqué, doit être pratiquement évaluée d'après le tableau suivant :

VITESSE (kilomètres par heure)	RÉSISTANCE EN KILOGRAMMES PAR TONNE DE TRAINS								
	en alignement droit	dans les courbes dont le rayon, exprimé en mètres, est de							
		660	570	450	380	285	265	230	190
15	2,33	»	3,26	»	3,93	4,39	»	4,81	5,18
15 à 22	»	3,58	»	3,79	3,97	»	4,65	»	5,50
22 à 30	2,73	3,59	»	»	»	»	4,65	»	5,50
30 à 40	2,76	»	3,62	»	»	»	»	»	»

Le tender est compté comme wagon ordinaire.

En appelant R le nombre de kilogrammes qui représente la résistance d'un train de P tonnes remorqué par une locomotive du poids de Q tonnes sur une rampe de  $i$  millimètres d'inclinaison par mètre, et en désignant par T le poids du tender en tonnes, par  $\rho$  le nombre du tableau précédent qui correspond aux courbes les plus raides de la section de ligne considérée,

$$R = (12 + i) P + (Q + T) (i + \rho).$$

Ce calcul a été fait pour chacune des sections entre lesquelles on a divisé chacune des lignes du réseau et en comparant aux valeurs ainsi obtenues dans chaque cas, l'effort F de traction de chaque type de locomotives calculé par la formule  $F = 0,65 \frac{pd^2l}{D}$  (dans laquelle  $p$  représente le timbre en kilogrammes,  $d$  le diamètre des cylindres à vapeur,  $l$  la course des pistons, D le diamètre des roues motrices, toutes les longueurs étant

exprimées en centimètres et F étant un nombre de kilogrammes), on a pu dresser un tableau donnant, pour chaque section de ligne, la charge que peut remorquer chaque série de machines. Un exemple de ce genre de tableau devant être donné à propos de la traction sur les lignes du Brenner et du Semmering, il est inutile d'entrer ici dans plus de détails sur cette question.

2° Société A.-H. des chemins de fer de l'État. — M. Svoboda, ingénieur au service central de la société, a établi les formules employées.

(a) La résistance de la locomotive n'intervient que par son poids adhérent, et est évaluée à 10 kilogrammes par tonne, non de poids total, mais seulement de poids adhérent.

(b) La résistance K des trains en palier et en alignement droit est évaluée par tonne de train au moyen de la formule :

$$K = 1,5 + 0,015 v + 0,00125 v^2.$$

dans laquelle  $v$  désigne la vitesse en kilomètres par heure et K la résistance en kilogrammes.

(c) On néglige l'influence des courbes dont le rayon ne descend pas au-dessous de 285 mètres.

(d) On tient compte des rampes comme ci-dessus, c'est-à-dire que, sur une rampe de  $i$  millimètres par mètre, la résistance en kilogrammes par tonne sera à la vitesse de  $v$  kilomètres à l'heure :

$$K = 1,5 + 0,015 v + 0,00125 v^2 + i.$$

En appelant :

- W la résistance totale du train, en kilogrammes,
- A le poids adhérent de la locomotive, en tonnes,
- M le poids total de la locomotive, en tonnes,
- $M_1$  le poids du tender, en tonnes,
- B le poids du train, en tonnes,

M. Svoboda pose :

$$W = K(B + M + M_1) + 10 A,$$

et en désignant par Z l'effort de traction correspondant exprimé en tonnes :

$$Z = \frac{K(B + M + M_1) + 10 A}{1000},$$

d'où :

$$(1) \quad B = \frac{1000 Z - 10 A}{K} - (M + M_1).$$

Pour chaque type de locomotive, il calcule d'ailleurs Z par la formule :

$$(2) \quad Z = \frac{3 H (v + 40)}{v \cdot 100},$$

ou par la formule :

$$(3) \quad Z = \frac{A}{7},$$

ou par la formule :

$$(4) \quad Z = \frac{0,65 p d^2 l}{1000 D},$$

en adoptant pour la valeur à substituer à Z dans la formule (1) la plus petite des trois valeurs données par les formules (2) (3) (4).

Dans la formule (2) H représente la valeur de la surface de chauffe calculée par la formule  $H = H_1 + \frac{H_2}{3}$ ,  $H_1$  étant la surface de chauffe du foyer et  $H_2$  celle des tubes.

Les charges B obtenues par la formule (1) sont dites charges normales et sont considérées comme correspondant à des températures qui varient de  $+ 5^\circ$  à  $- 5^\circ$  Réaumur et à des conditions atmosphériques relativement favorables.

Les ingénieurs de la société A.-H. des chemins de fer de l'État appellent charges maxima les charges qui correspondent à des conditions très favorables de la tempé-

ature, de l'atmosphère et de la machine ; et, au lieu de se contenter d'augmenter de 10 à 20 p. 100 les charges normales, ils appliquent, pour obtenir la valeur des charges maxima correspondantes, les formules suivantes :

$$K_1 = 1,5 + 0,00125 v^2 + i,$$

$$Z = \frac{A}{6},$$

substituées aux formules :

$$K = 1,5 + 0,015 v + 0,00125 v^2 + i,$$

$$Z = \frac{A}{7}.$$

Outre les charges normales et les charges maxima, les mêmes ingénieurs distinguent les charges dites réduites relatives à des circonstances très défavorables, telles que température de  $- 5^\circ$  et au-dessous, vent, neige, etc. Pour obtenir la charge réduite, on diminue la charge normale de 10 p. 100 quand la température est comprise entre  $- 10^\circ$  et  $- 5^\circ$ , et de 20 p. 100 si la température est encore plus basse.

Pour appliquer ces formules au réseau autrichien de la société, on a introduit les deux notions fort importantes de groupes de charge et de sections de charge. Les groupes de charge résultent de la subdivision des trains en cinq catégories d'après leur vitesse. Ces catégories, désignées par les lettres A B C D E, sont caractérisées chacune par une vitesse moyenne indiquée dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION des groupes de charge	VITESSE MOYENNE en kilomètres, par heure		VITESSE maxima en kilomètres par heure	NATURE DU TRAIN
	arrêts non compris	arrêts compris		
A	61	58	80	Express.
B	39	31	80	Voyageurs, ordinaire.
C	29	23	40	Mixte.
D	19	13	30	Marchandises, accéléré.
E	19	9	25	Marchandises, ordinaire.



Les sections de charge sont des catégories de lignes caractérisées par leur profil et leur tracé comme l'indique le tableau ci-après :

DÉSIGNATION du numéro de la section de charge	PENTE MAXIMA de la section	CONDITION DU TRACÉ de la section
I	$\frac{1}{300}$	Tracé quelconque.
II	$\frac{1}{200}$	Tracé quelconque.
III	$\frac{1}{150}$	Alignement droit.
IV	$\frac{1}{100}$	Alignement droit.
V	$\frac{1}{150}$	En courbe.
VI	$\frac{1}{100}$	En courbe.
VII	$\frac{1}{70}$	Tracé quelconque.
VIII	$\frac{1}{50}$	Tracé quelconque.

On a pu établir ainsi un tableau général des charges divisé en cinq grandes colonnes et huit bandes horizontales. En tête de chacune de ces colonnes verticales se trouve la désignation de l'un des groupes ABCDE et chacune des bandes horizontales porte le numéro I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII de l'une des sections de charge. Chaque colonne principale, correspondant à un groupe de charge, se divise en plusieurs colonnes secondaires réservées aux diverses catégories de machines d'après l'effort de traction qu'elles sont capables de développer. Chaque bande horizontale contient trois lignes dont la première porte la rubrique « charge maxima », la seconde, « charge normale » et la troisième « charge réduite ». Il est donc possible, au moyen de ce tableau, de : 1° déterminer immédiatement la charge en tonnes que pourra remorquer, sur les différentes catégories de voies ferrées,

locomotive déterminée attelée à un train dont la nature est définie par le groupe de charge auquel il appartient ; 2° trouver le type de locomotive qu'il faut atteler à un train d'un groupe déterminé et d'une charge donnée pour le remorquer sur une ligne dont le profil et le tracé sont connus.

La solution de ces deux problèmes n'est donc fournie par le tableau général des charges que si l'on connaît le groupe et la section de charge. Ces deux éléments sont donnés, dans chaque cas particulier, par un autre tableau dit « tableau de répartition des sections de charge et des vitesses correspondant aux durées minima des trajets ». Ce tableau, qui renferme la liste de toutes les stations du réseau, porte, en face du nom de chaque station, le numéro (I à VIII) de la section de charge à laquelle appartient la portion de la ligne comprise entre la station considérée et la précédente ; il contient en outre autant de colonnes verticales que de groupes ABCDE, et dans chacune de celles-ci se trouve la vitesse kilométrique correspondant à la durée minima des trajets entre deux stations consécutives de la ligne. Pour faciliter les recherches et éviter l'obligation de transformer en vitesses kilométriques les vitesses exprimées en minutes dans les horaires, on a eu soin d'inscrire en tête de chacun de ces horaires et pour chaque ligne du réseau, le groupe auquel correspond le genre de train auquel se rapporte l'horaire considéré.

Double traction. — La double traction peut s'exécuter en plaçant, soit en tête, soit en queue, la machine de renfort. Dans ce dernier cas, la vitesse ne doit pas, d'après les règlements officiels autrichiens, dépasser 25 kilomètres à l'heure. C'est ainsi qu'aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, on n'autorise pas la double traction avec machine en queue pour les trains de voya-

geurs ; et même pour les trains de marchandises, on ne l'admet que pour ceux de ces trains qui circulent sur des rampes dont l'inclinaison dépasse 10 millimètres par mètre. D'ailleurs, dans un cas comme dans l'autre, l'article 169 de l'ordonnance du ministre du commerce du 16 octobre 1876 sur l'exploitation des chemins de fer interdit d'atteler au train la machine de queue. Toutefois la société A.-H. des chemins de fer de l'État a obtenu, à titre d'essai, l'autorisation d'atteler cette machine au dernier wagon, combinaison à l'aide de laquelle les ingénieurs de cette société espèrent diminuer les accidents résultant du défaut de contact qui peut se produire entre les tampons d'avant de la locomotive de renfort et les tampons d'arrière du dernier véhicule du train. Ce défaut de contact donne en effet lieu à des tamponnements parfois très dangereux entre la machine de queue et le wagon qui la précède. Cette expérience est toutefois trop récente pour avoir pu déjà donner des résultats définitifs.

*Service des combustibles.* — 1° Chemins de fer du Sud de l'Autriche. — L'énumération des charbons employés par les chemins de fer du Sud de l'Autriche est donnée par le tableau suivant qui fait connaître leur puissance de vaporisation et leur teneur en cendres, ainsi que leur puissance calorifique comparée à celle du coke de Witkowitz comptée pour 100 :

	PUISSANCE de vaporisation	TENEUR en cendres p. 100	PUISSANCE calorifique comparée à celle du coke de Witkowitz comptés 100.
Charbon d'Ostrau . . . . .	7,2	12,4	95
Lignits de Leoben . . . . .	5,3	8,0 à 19,6	70
Lignits de Triail et Sagor . . . . .	4		57
Lignites de Köflach . . . . .	3,2 à 3,7	10,5	47

La direction du matériel et de la traction dresse,

chaque année, des tableaux qui servent à calculer le point où la livraison du charbon lui sera le plus avantageux : les éléments qui interviennent dans ce calcul sont les suivants :

(a) La compagnie paie 12',60 à 13',65 1.000 unités livrées sur wagon à la station fixée par le contrat. (b) On évalue à 0',65 les frais de transport d'une tonne kilométrique de combustible. Toutefois la direction, se préoccupant de mettre en concurrence ses différents fournisseurs afin d'obtenir de meilleures conditions, se montre peu disposée à communiquer au public un spécimen de ces tableaux. Au reste la question du combustible présente bien moins d'intérêt sur ce réseau que sur celui de la société A.-H. des chemins de fer de l'État, au point de vue des principes à en déduire pour l'établissement des prévisions de dépense et le choix le plus avantageux des stations où doivent s'effectuer les livraisons en raison des lieux d'extraction des combustibles et des besoins du service. Les combustibles employés sur le réseau de la société A.-H. des chemins de fer de l'État, présentent, en effet, une fixité de provenance que l'on est loin de rencontrer sur le réseau du Sud de l'Autriche. Cette fixité tient à ce que la société achète à ses propres domaines une partie des charbons destinés à ses locomotives ; on peut également voir dans cette dernière circonstance une des raisons de la facilité avec laquelle la société consent à communiquer le détail des prix de ses combustibles, comme on le verra par les chiffres qui seront donnés ci-après.

On a consommé aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, en 1883, les quantités de combustible ci-après indiquées :



NATURE DU COMBUSTIBLE	QUANTITÉS
Coke de gaz . . . . .	2.816.990
Charbon d'Ostrau . . . . .	54.703.850
Lignites de Léoben . . . . .	15.978.900
Lignites en gros morceaux de Trifail . . . . .	227.749.060
Lignites en petits morceaux de Trifail . . . . .	19.535.300
Lignites de Köflach . . . . .	94.840.544
Total en tonnes . . . . .	415.634.644
Bois tendre, en mètres cubes . . . . .	3.407 <sup>me</sup> 020
Valeur en francs . . . . .	3.287.182 <sup>l</sup> 50

2° Société A.-H. des chemins de fer de l'État. — La nature et le lieu d'origine des combustibles employés aux chemins de fer de l'État diffèrent complètement de ceux des combustibles que l'on consomme aux chemins de fer du Sud de l'Autriche. La société A.-H. ne fait plus aucun usage des lignites qu'elle employait autrefois.

Les divers combustibles dont elle fait usage ont les caractères suivants :

(a) Kladno. — Le charbon de Kladno est un charbon maigre, à courte flamme, qui donne difficilement du coke. Sa teneur en cendres est de 16 p. 100 et sa puissance calorifique le rapproche du charbon d'Aubin; toutefois il ne devient pas aussi rapidement terreux par une exposition prolongée au contact de l'air : il est un peu sulfureux.

(b) Libuschin. — Le charbon de Libuschin, dont on emploie une qualité dite « charbon de Libuschin n° 1 pour chaudière » est analogue au charbon de Kladno, mais ne contient que 14 p. 100 de cendres.

(c) Rossitz mêlé. — Le charbon de Rossitz est très collant et très sulfureux. Il contient 20 à 25 p. 100 de cendres et donne du coke; mais celui-ci est de qualité inférieure. Il ressemble aux mauvais charbons de la Loire. Employé seul il ne donnerait que des résultats défectueux; il faut le mélanger au charbon de Kladno.

(d) Waldenburg. — Le charbon de Waldenburg présente trois variétés, le tout-venant de Gottesberg, le

tout-venant de Weissstein et le tout-venant de Neurod. C'est un combustible intermédiaire entre les charbons gras et les charbons maigres. La teneur en cendres de ces trois sortes de charbon est respectivement de 7,74 p. 100, 7,31 p. 100 et 6,80 p. 100.

(e) Karwin. — Le charbon de Karwin est un charbon demi-gras qui contient 18 à 19 p. 100 de cendres.

(f) Dombrau. — Le charbon de Dombrau est analogue à celui de Karwin.

Les autres éléments relatifs à la nature de ces divers combustibles sont contenus dans le tableau A (V. p. 244) qui résume tous les éléments relatifs à cette question pour l'année 1889; ce tableau sert lui-même à en établir d'autres qui fixent la répartition des approvisionnements des diverses sortes de charbons entre les dépôts. Le tableau B en donne un exemple qui s'applique à la seconde des trois sections entre lesquelles est divisé, comme il a été dit au début de ce mémoire, le service de la traction du réseau autrichien de la société.

Le tableau A s'établit au moyen des données ci-après :

1° Les conditions du traité conclu entre le fournisseur et la société. Ce traité détermine le nombre de tonnes à livrer, le lieu de livraison, le prix  $p$  (en florins) de la tonne de charbon, le taux  $t$  de l'escompte  $E$  si la société paie comptant, l'excès de poids  $p. 100, q$ , d'après lequel doit être calculé le prix net, étant admis que le charbon subit une perte de  $q$  p. 100 pendant le trajet du lieu de la livraison au point où le combustible devra entrer sur le réseau. Ces éléments donnent les chiffres des colonnes 4, 6, 7, 8, 9 du tableau A.

2° Le prix du transport en régie sur le réseau de la société (0<sup>fr</sup>,04 par tonne kilométrique pour les marchandises de petite vitesse) ou le prix de transport compté sur les rails étrangers.

3° Les frais de déchargement, aux lieux de dépôt, du charbon arrivant de son point d'extraction aux stations

d'entrée sur le réseau. Ces chiffres varient avec le prix de la main-d'œuvre dans chaque station.

4° Les frais de chargement  $F$ , sur le tender, du charbon déposé sur les quais. Ces frais exprimés en florins sont donnés sur une ligne horizontale au dessous des colonnes 21, 22..., 35 du tableau A.

5° Le nombre  $V$  de mètres cubes d'eau vaporisés par tonne de combustible. Ces chiffres se trouvent dans la colonne 19 du même tableau.

Ces données permettent de calculer :

1° Le prix net  $P$  au lieu de la livraison qui est par tonne de :

$$P = \frac{(p - E)}{1 + \frac{q}{100}}$$

Ce sont les différentes valeurs de cette expression qui figurent dans la colonne n° 10 du tableau A.

2° Le prix net à la station d'entrée, que l'on obtient en ajoutant au prix net le prix du transport en régie, lorsque le transport a lieu sur les rails de la société, ou le prix du transport sur les lignes étrangères que le charbon peut avoir à suivre pour arriver à la station d'entrée sur le réseau de la société. Les chiffres ainsi obtenus donnent les résultats inscrits dans la colonne 11 du tableau A.

3° Le prix dit « prix du schéma »  $\Sigma$  calculé dans chaque cas par les ingénieurs de la société qui y font entrer en ligne de compte le prix net (colonne 11), les frais de déchargement du charbon au lieu de dépôt et la valeur du capital qui correspond au poids de combustible considéré. Les frais de déchargement en particulier varient avec la main-d'œuvre et par suite avec chaque station d'entrée sur le réseau. On les établit chaque année et la colonne 12 du tableau A donne leurs valeurs fixées en 1888, lors de la répartition du charbon pour l'année 1889.

4° Les dépenses  $D$  correspondant à la vaporisation de 10 mètres cubes d'eau, cette vaporisation étant obtenue dans une station déterminée  $S_1$ , au moyen de charbon provenant de l'une des stations  $S_2$  d'entrée des combustibles sur le réseau. Si en effet on appelle  $R$  les frais de transport en régie d'une tonne entre les stations  $S_1$  et  $S_2$ ,  $\Sigma$  le prix du schéma relatif au charbon considéré et la station d'entrée  $S_2$ ,  $F$  les frais de chargement sur le tender à la station  $S_1$ , le prix  $Q$  en florins de la tonne de ce charbon chargé sur tender à la station  $S_2$  sera donné par la formule :  $Q = R + \Sigma + F$ . Connaissant d'ailleurs la puissance de vaporisation, c'est-à-dire le nombre  $V$  de mètres cubes d'eau vaporisés par tonne du charbon employé, on aura, pour la dépense  $D$ , la valeur :

$$D = \frac{10 V}{Q}$$

C'est par cette formule qu'on a calculé les chiffres des colonnes 21 et suivantes du tableau A.

Ces résultats, qui ont été calculés en 1888 pour la répartition des approvisionnements de l'année 1889, entre les divers dépôts, ont permis de construire un graphique (Pl. X, fig. 4), dont les abscisses figurent les distances des stations, tandis que la longueur des ordonnées correspondant à chaque station représente la dépense  $D$  en florins. On peut, dès lors, à la simple inspection de ce graphique, reconnaître la station pour laquelle les frais relatifs à l'emploi d'un combustible déterminé ont la moindre valeur.

Mais la locomotive ne pouvant recevoir, au départ, la totalité de l'approvisionnement nécessaire à sa consommation pendant la durée de son trajet, on a été conduit à fixer, indépendamment des stations où elle doit prendre la plus grande partie de son combustible, d'autres points où un nouvel approvisionnement sera possible, le cas échéant. C'est dans ce but qu'a été dressé le tableau B dont les chiffres s'appliquent à l'année 1889.



TABLEAU A.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NATURE du combustible	FOURNIS- SEUR	DÉSIGNATION de la mine et du puits	POIDS en tonnes prévu dans le contrat	STATION d'entrée sur le réseau	PRIX DES CONTRATS PASSÉS PAR LA SOCIÉTÉ A.-H. (en florins par tonnes)				PRIX NET À LA STATION D'ENTRÉE SUR LE RÉSEAU (en florins)	PRIX BRUT À LA STATION D'ENTRÉE SUR LE RÉSEAU (en florins)	
					Lieux	Prix (florins)	Escompte p. 100	Excès de poids p. 100			Prix net (florins)
"	"	"	"	"	"	P	t	q	P	E	B
Kladno menu.	Domaines de la Société.	"	"	Kralup.	Fosse.	2,25	"	2	2,206	3,186	3,53
Kladno poussier.	Domaines de la Société.	"	"	Kralup.	Fosse.	0,65	"	2	0,637	1,618	1,75
Libuschin.	Société de Miröschau à Rokycan.	Puits Jean.	5.000	Kralup.	Fosse.	2,50	"	2	2,451	3,431	3,78
Rossitz.	Société de Rossitz.	1/2 au puits Oslavan, 1/4 au puits Rossitz, 1/4 au puits Zberehau.	15.000	Segen Gottes.	Fosse.	4,00	5	2,5	3,707	3,707	3,55
Waldenburg Gottesberg.	Houillères et usine à coke de Gottesberg.	Fosse Charles Georges Victor. Puits Mayrau.	8.000	Halbstadt.	Halbstadt.	4,40	2	3	4,186	4,186	4,31
Waldenburg Weissstein.	Agence A. Sturck, à Vienne.	Fosse Weissstein. Puits Jules.	8.000	Halbstadt.	Halbstadt.	4,24	2	3	4,034	4,034	4,45
Waldenburg Neurod.	Berb. à Vienne.	Puits Ferdinand.	10.000	Mittelstein.	Mittelstein.	3,40	"	3	3,301	3,301	3,45
Karvin menu (Larisch).	Direction de Karwin.	Posse Larisch, à Karwin.	8.000	Sillein.	Karwin.	3,06	"	3	2,974	4,009	4,10
Karvin menu (Albert).	Direction de Teschen.	Puits Gabriel, à Karwin.	8.000	Sillein.	Karwin.	3,06	2	2,5	2,926	3,961	4,05
Dombrau menu.	Gutmann, à Vienne.	Puits Bettina ou Puits d'Orlaw.	8.000	Sillein.	Dombrau.	3,013	"	3	2,925	4,014	4,50
1 Kladno menu, 1 Kladno poussier.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
2 Kladno poussier, 1 Rossitz.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
1 Kladno poussier, 1 Waldenburg.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
1 Kladno poussier, 1 Neurod.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

TABLEAU A (suite).

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
GROSSEUR des morceaux	PROPORTION de cendres	Pressure de vaporisation Équivalent	Prix de la tonne de charbon chargée sur tender à l'une des stations ci-dessous = Q (florins) Dépenses correspondant à la vaporisation de 10 m. cubes d'eau = D (florins)																				
			Marchegg	Vienne	Stadlau	Grussbach	Brunn	Vessely	Tepla	Trubau	Olmutz	Chotzen	Talbsbadt	Pardubitz	Prague	Dubna	Bodenbach						
10 à 15 millimètr.	16	4,96	100	Q = 5,41 D = 10,91	5,19 10,67	5,28 10,64	4,94 9,96	4,64 9,35	5,04 10,08	4,26 8,59	4,67 9,44	4,22 8,51	4,39 9,25	4,09 8,25	3,63 7,32	3,62 7,30	3,97 8,00						
10 à 10 millimètr.	"	3,82	130	Q = 3,82 D = "	3,70 "	3,69 "	3,35 "	3,05 "	3,45 "	2,67 "	3,08 "	2,63 "	3,00 "	2,50 "	2,04 "	2,03 "	2,32 "						
10 à 25 millimètr.	14	5,38	92,2	Q = " D = "	" "	" "	4,88 9,07	5,28 9,82	" "	4,50 8,37	4,91 9,43	4,46 8,29	" "	4,33 8,05	3,87 7,19	3,86 7,18	4,21 7,55						
15 à 24	16	"	"	Q = 4,77 D = "	4,63 "	4,65 "	4,30 "	4,41 "	4,50 "	4,45 "	4,86 "	4,61 "	4,98 "	4,75 "	5,12 "	5,13 "	5,68 "						
30	30	7,74	64,4	Q = 6,08 D = 7,86	5,96 7,70	5,96 7,70	5,64 7,25	5,32 6,87	5,71 7,38	" "	4,94 6,38	5,34 6,90	4,89 6,32	4,53 5,85	5,03 6,50	5,44 6,99	5,42 7,00						
45	35	7,31	67,9	Q = 5,92 D = 8,10	5,80 7,93	5,80 7,93	5,45 7,46	5,46 7,06	5,55 7,59	" "	4,78 6,54	5,18 7,09	4,73 6,47	4,37 5,98	4,87 6,66	5,25 7,18	5,26 7,20						
50	50	6,80	72,9	Q = " D = "	5,16 7,59	5,16 7,59	4,81 7,07	4,52 6,65	4,91 7,22	" "	4,14 6,09	4,51 6,68	4,09 6,02	3,73 5,49	4,23 6,22	4,61 6,78	4,62 6,80	5,17 7,60					
45 à 25 à 35 à 45 à 50	18	7,49	66,2	Q = 5,21 D = 6,60	5,37 6,80	5,37 6,80	5,57 7,06	5,27 6,68	4,96 6,28	4,61 5,84	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	
20 à 30	0	7,49	66,2	Q = 5,16 D = 6,89	5,32 7,10	5,32 7,10	5,51 7,36	5,23 6,98	4,91 6,55	4,56 6,09	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	
50	50	8,10	61,2	Q = 5,21 D = 6,43	5,37 6,63	5,37 6,63	5,57 6,88	5,27 6,51	4,96 6,13	4,61 5,69	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	
"	"	4,48	110,7	Q = " D = "	" "	" "	" "	" "	" "	" "	3,17 7,74	3,88 8,66	" "	" "	3,30 7,37	2,84 6,34	2,83 6,32	3,18 7,10					
"	"	6,11	81,2	Q = 4,44 D = 6,78	4,02 6,58	4,01 6,56	3,67 6,01	3,40 5,57	3,80 6,22	" "	3,26 5,34	3,67 6,04	3,29 5,39	3,66 5,99	3,25 5,32	3,07 5,03	3,07 5,03	3,47 5,68					
"	"	"	"	Q = " D = "	" "	" "	" "	4,15 "	4,54 "	" "	3,77 "	4,17 "	3,72 "	3,73 "	3,73 "	3,69 "	3,69 "	" "					
"	"	"	"	Q = " D = "	" "	" "	" "	3,79 "	4,18 "	" "	3,41 "	3,81 "	3,36 "	3,37 "	3,37 "	3,38 "	3,33 "	" "					





CATÉGORIE de locomotive (*)	NATURE DES MATIÈRES DE GRAISSAGE		CONSOUMATIONS ET DÉPENSES DE GRAISSAGE				
	Pour pistons et tiroirs	Pour mécanismes, essieux de locomotives et de tenders	Nature des matières de graissage	Valeur en florins du kilogramme	Quantités consommées (kilogr.)	Valeur en florins	Valeur en francs
<i>1° Chemins de fer du Sud de l'Autriche.</i>							
Toutes les catégories.	Huile de navette.	Huile minérale.	Huile de navette.	0,29	151.470	44.120,00	
	"	"	Huile minérale.	0,09	242.312	22.894,00	
Total des dépenses . . . . .						67.014,00	140.727,00
<i>2° Réseau autrichien de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État.</i>							
I, Ia, Ib, II.	Huile de navette.	1/3 huile de navette + 2/3 huile minérale 1 <sup>re</sup> qualité.	Huile de navette.	0,33			
IVc.	"	Huile minérale 1 <sup>re</sup> qualité.	Huile minérale 1 <sup>re</sup> qualité.	0,13			
Autres catégories.	1/2 huile de navette + 1/2 graisse.	Huile minérale 3 <sup>e</sup> qualité.	Huile minérale 3 <sup>e</sup> qualité.	0,10			
		"	Graisse.	0,31			
Total des dépenses . . . . .						47.220,17	99.162,37

(\*) Les locomotives I, Ia, Ib sont des locomotives à quatre roues accouplées pour trains de grande vitesse. La locomotive II est une locomotive compound (système Webb) à roues indépendantes. La locomotive IVc est une locomotive à quatre roues accouplées pour trains mixtes.

*Service de l'eau.* — Le service de l'eau est assuré au moyen d'appareils dont le nombre et la nature sont indiqués par le tableau suivant :

MODES D'ALIMENTATION	NOMBRE	
	Chemins de fer du Sud de l'Autriche	Réseau autrichien de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État
Pompes à vapeur . . . . .	73	58
Pompes à main . . . . .	1	8
Pulsomètres . . . . .	13	23
Afflux naturel . . . . .	42	3
Ejecteurs . . . . .	3	"

En outre, chacun de ces réseaux est en communication avec des canalisations ou des réservoirs étrangers. C'est

ainsi que les chemins de fer du Sud de l'Autriche reçoivent, à Vienne, une partie de l'eau de la canalisation de la ville; à Gratz et à Agram, il existe une communication analogue entre la station et les réservoirs de ces localités; mais les locomotives n'y ont recours que dans des cas exceptionnels. De même la Société A.-H. emprunte à la station de Znaim les réservoirs de la société des chemins de fer du Nord-Ouest, et à la station de Brünn, la canalisation de la ville. Dans cette dernière gare, une pompe à vapeur est installée pour fonctionner en cas d'avarie aux réservoirs urbains.

L'eau fournie par les réservoirs des environs de Vienne est loin d'être bonne pour l'alimentation des chaudières. Aussi a-t-il fallu installer à Mödling et à Vienne, pour les chemins de fer du Sud de l'Autriche, et à Semmering et Vienne, pour la société A.-H., un appareil de purification de l'eau Bérenger et Stingl.

Les consommations et dépenses de ce service ont été les suivantes en 1888 :

		CHEMINS de fer du Sud de l'Autriche	SOCIÉTÉ A.-H. des chemins de fer de l'État
Nombre de mètres cubes consommés dans l'année 1888.	Locomotives . . . . .	2.800.000	1.470.743
	Ateliers . . . . .	157.000	57.873
	Service de l'exploitation . . . . .	230.000	130.230
	Entretien de la voie . . . . .	24.000	1.978
	Divers . . . . .	20.000	600
	Eau fournie à des étrangers.	"	124.295
Consommations nécessaires pour obtenir par 100 mètres cubes d'eau d'alimentation	Charbon . . . . .	170 <sup>k</sup>	130 <sup>k</sup>
	Matières de graissage . . . . .	0 <sup>k</sup> ,20	0 <sup>k</sup> ,10

OBSERVATION. — La valeur élevée de la consommation de charbon aux chemins de fer du Sud de l'Autriche provient de la mauvaise qualité de ce dernier, qui ne vaporise que 2<sup>m</sup>,5 à 3 mètres cubes d'eau par tonne.

En ce qui concerne le service des locomotives qui, seul fait l'objet de cette étude, les frais du service de

l'eau se sont élevés, en 1888, à 102 991',25, pour les chemins de fer du Sud de l'Autriche, et à 46.326',59 pour le réseau autrichien de la société A.-H.

C. — ROULEMENT DES MÉCANICIENS  
ET DES LOCOMOTIVES.

*Durée du travail.* — Aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, on règle le service des mécaniciens et par suite celui des machines (puisque, comme on le verra plus loin, il n'y a que très rarement une double équipe), de façon à satisfaire aux conditions suivantes :

RÉPARTITION DE 100 UNITÉS DE TEMPS	TRAINS rapides	TRAINS ordinaires de voyageurs	TRAINS de marchandises
Durée du service.	25	35	42
Durée du repos { dans le dépôt d'attache. dans un dépôt étranger.	50	40	35
	25	25	23
	100	100	100

La durée maxima d'un travail ininterrompu est fixée à seize heures.

A la société A.-H., sans se poser des règles aussi précises, on cherche à donner aux mécaniciens des trains ordinaires ou rapides de voyageurs un temps de repos double du temps de travail. On n'impose ni aux uns, ni aux autres un travail continu de plus de dix-huit heures.

*Constitution des équipes.* — On emploie en général la simple équipe sur ces deux réseaux. Toutefois les machines de gare, qui, par exemple dans les stations de la société A.-H. restent en feu pendant six jours, sont conduites par une série de mécaniciens successifs qui, dans l'hypothèse précédente et en admettant pour chacun d'eux la durée maxima de travail (18 heures), sont au nombre

de huit. Au bout des six jours, une nouvelle machine remplace l'ancienne et, si le personnel, par suite de circonstances fortuites, n'a pas exactement terminé son travail, il monte la locomotive qui est mise alors en service.

Sur le réseau autrichien de la société A.-H., l'augmentation du trafic, en septembre 1888, a conduit, pour les trains de marchandises, à l'essai d'un roulement d'équipes et de machines banales; mais on n'a pas tardé à abandonner ce système lorsque le trafic est revenu à sa valeur normale. Tout en lui reconnaissant l'avantage de permettre une meilleure utilisation du matériel et du personnel, les ingénieurs de la société A.-H., sans baser leur opinion sur des expériences précises, le considèrent comme peu avantageux, au double point de vue de la consommation de combustible et de l'entretien des machines; car, d'une part le mécanicien est moins directement intéressé au résultat des primes et, d'autre part, il est à craindre qu'il ne néglige le bon entretien d'une machine qui doit bientôt sortir de ses mains.

Quant aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, la constitution des équipes n'y a pas été modifiée depuis l'époque à laquelle M. Bandérali, ingénieur au chemin de fer du Nord français, a traité la question au congrès de Milan en 1887. Il serait donc sans intérêt d'y revenir ici.

*Lignes secondaires.* — Sur ces deux réseaux, le caractère particulier du matériel employé sur les lignes secondaires a conduit à former des équipes de mécaniciens spécialement affectés au service de ces lignes. Les conditions de leur exploitation, et notamment la moindre vitesse des trains qui les desservent, n'exigent pas, du reste, un personnel aussi expérimenté que l'exploitation des lignes principales.

*Trains secondaires.* — L'emploi d'un matériel spécial



a conduit, aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, à affecter des mécaniciens spéciaux aux trains secondaires. Il n'en est pas de même sur le réseau autrichien de la société A.-H., où les trains secondaires ne possèdent pas de matériel spécial. Quelques-uns de ces trains étant appelés, en cours de route, à passer de l'état de trains secondaires à celui de trains ordinaires ou réciproquement, le roulement des mécaniciens ne subit, du fait de ce changement, aucune modification.

*Parcours des mécaniciens et des machines.* — Il résulte des statistiques des deux réseaux que le parcours kilométrique moyen d'un mécanicien comparé à celui d'une machine, peut s'exprimer par les nombres suivants :

	CHEMINS DE FER du Sud de l'Autriche		SOCIÉTÉ A.-H. des chemins de fer de l'État	
	Mécaniciens	Locomotive	Mécaniciens	Locomotive
Mois le plus faible. . . . .	3.491	3.093	2.673	2.582
— le plus fort. . . . .	3.693	4.026	3.015	2.937
Moyenne par mois. . . . .	3.592	3.559	2.844	2.759

## DEUXIÈME PARTIE.

### MATÉRIEL DE TRACTION.

La deuxième partie du présent mémoire comprendra deux subdivisions, l'une relative au matériel de traction sur les lignes principales, l'autre relative au matériel de traction sur les lignes secondaires.

### A. — TRACTION SUR LES LIGNES PRINCIPALES.

Ordre à suivre dans l'étude comparative des locomotives en service sur les lignes principales de ces deux réseaux.

Les principaux types de locomotives en service sur les lignes principales des deux réseaux qui font l'objet de ce mémoire, peuvent, en vue d'une étude comparative, se grouper de la manière suivante :

1° *Chemins de fer du Sud de l'Autriche.* — Les rampes de 25 millimètres par mètre que présentent la ligne de Vienne à Trieste (Semmering) et celle du Tyrol (Brenner) ont conduit à l'adoption d'un matériel spécial pour le service des trains qui circulent sur cette partie du réseau.

Ce matériel comprend :

1° Une machine à voyageurs (série 32°);

2° Une machine à marchandises (série 35<sup>a</sup>).

Aux lignes d'un profil moins accidentée sont affectées :

1° Pour les trains de voyageurs, une machine à grande vitesse (série 16<sup>b</sup>) qui ne circule pas sur le Brenner et le Semmering ;

2° Pour les trains mixtes, la même locomotive (série 16<sup>b</sup>);

3° Pour les trains de marchandises la locomotive (série 32°) qui fait le service des trains de voyageurs sur les lignes à rampes de 25 millimètres.

2° *Société des chemins de fer de l'État.* — Les rampes sur le réseau autrichien de la société des chemins de fer de l'État, n'atteignant nulle part des valeurs comparables à celles du Brenner et du Semmering, on a pu adopter des types de machines susceptibles de circuler sur toutes les parties du réseau. Ces types sont :

1° Pour les trains de voyageurs, une machine ordinaire à grande vitesse (catégorie I, I a, I b);

2° Pour les trains mixtes, une locomotive (catégorie IV *f*) et une locomotive (catégorie IV *s*) à laquelle on applique actuellement le système compound, enfin la locomotive (catégorie I) déjà mentionnée);

3° Pour les trains de marchandises, une locomotive (catégorie V) que l'on transforme actuellement en machine compound.

#### I. — LOCOMOTIVES POUR FAIBLES RAMPES.

##### 1° Locomotives pour trains de voyageurs.

*Locomotive à grande vitesse des chemins de fer du sud de l'Autriche, série 16<sup>b</sup> (type 1885-88) à quatre roues accouplées et à bague à l'avant.*

*Programme d'après lequel ce type a été établi.* — Le type des locomotives à grande vitesse à quatre roues accouplées et à bogie des chemins de fer du Sud de l'Autriche a été créé dans le but de desservir tout le réseau de cette compagnie, à l'exception des lignes du Brenner, du Semmering et du Franzensfeste à Lienz, auxquelles sont affectées des locomotives à six roues accouplées dont il sera question plus loin (V. p. 327). Ce service devait être réalisé dans les conditions suivantes; la locomotive à quatre roues accouplées devait :

1° Assurer la remorque, sur des lignes à rampes de 7 à 8 millimètres, de trains de 150 tonnes marchant à une vitesse effective de 60 kilomètres à l'heure;

2° Assurer la remorque, sur des lignes à rampes de 7 à 8 millimètres, de trains de 200 tonnes marchant à une vitesse effective de 40 à 45 kilomètres à l'heure;

3° Assurer la remorque sur des lignes à rampes de 15 millimètres, de trains de 120 tonnes marchant à la vitesse effective de 35 kilomètres à l'heure;

4° Être susceptible de passer dans des courbes de 189 mètres de rayon.

L'emploi d'un bogie était indiqué dans ces conditions, et la compagnie y avait déjà songé, car dès 1873, elle avait fait construire dans les ateliers de M. Sigl, à Wiener-Neustadt, une machine de ce genre, dont les dimensions et la puissance ne correspondaient toutefois qu'à des conditions moins difficiles à remplir que celles qui se posaient en 1885 et que la machine actuelle construite dans les ateliers de Florisdorf et désignée sous la dénomination de série 16<sup>b</sup>, a parfaitement réalisées.

*Dimensions principales.* — (Pl. IX, fig. 1 et 1 a).

Le tableau I, (V. p. 372<sup>bis</sup>), col. 1, donne les dimensions de cette locomotive série 16<sup>b</sup>.

*Description comparative de ces locomotives.* — Le tableau I contient la comparaison de cette locomotive avec la locomotive de la même compagnie (type 1873) et avec la locomotive n° 2101 de la compagnie du Nord français.

*Puissance de traction.* — Les chiffres du tableau qui précède montrent les progrès réalisés depuis 1873 aux chemins de fer du Sud de l'Autriche. L'augmentation de la puissance de traction est due à l'élévation du timbre. Toutefois cette puissance de traction est encore inférieure à celle de la locomotive du chemin de fer du Nord; dans cette dernière le plus grand diamètre donné aux cylindres compense, en effet et au delà, la diminution de puissance de traction provenant du grand diamètre des roues motrices et de la course plus faible des pistons. Les charges que la machine autrichienne actuelle est capable de remorquer varient de 120 à 200 tonnes. Quant à la locomotive française, des expériences faites entre Creil et Paris avec le wagon dynamomètre ont révélé, sur le crochet d'attelage du tender, un effort de 2.300 à 2.500 kilogrammes, le poids du train étant de



190 tonnes, et celui de la machine et du tender étant de 70 tonnes; la vitesse était de 72 kilomètres à l'heure sur une rampe de 5 millimètres ayant 20 kilomètres de longueur.

**Disposition du mécanisme.** — Dans la machine autrichienne, on a conservé pour les cylindres et la distribution, la position extérieure au châssis déjà adoptée en 1873. Dans la machine française, on a cherché à concilier les avantages de la position intérieure et de la position extérieure; à cet effet, on a placé les cylindres à l'intérieur, et afin de pouvoir leur donner un diamètre considérable et rapprocher leurs axes l'un de l'autre, on a installé les boîtes à vapeur à l'extérieur en faisant commander, par un arbre de renvoi, les tiroirs dont cette disposition facilite la visite et les réparations.

**Poids.** — La légèreté est une qualité essentielle d'une machine de grande vitesse, à condition bien entendu que le poids adhérent reste suffisant. Le caractère accidenté du réseau autrichien explique la nécessité d'une adhérence et par suite d'un poids plus considérable que sur le Nord français dont les lignes n'offrent généralement que de faibles rampes.

**Foyer.** — Le foyer de la machine se trouve, par ces divers types, entre les deux essieux accouplés. Dans la locomotive des chemins de fer du Sud de l'Autriche, on n'a que 8<sup>mq</sup>,93 de surface de chauffe de foyer, au lieu de 13<sup>mq</sup>,8. Cette valeur plus élevée obtenue dans la machine de la compagnie du Nord est due à l'emploi d'un bouilleur Ten Brinck de 2<sup>mq</sup>,8 de surface. Les foyers sont en cuivre rouge dans ces deux cas.

**Chaudière.** — La chaudière de la machine autrichienne est en fer et formée de trois viroles de forme télesco-

pique dont le diamètre croît de l'avant à l'arrière; au Nord français, où le diamètre plus considérable des roues motrices et les cordes de l'essieu limitent le diamètre de la virole d'arrière, on a dû adopter la forme télescopique en sens inverse, c'est-à-dire employer trois viroles dont le diamètre croît de l'arrière à l'avant; on gagne ainsi 430 litres de capacité sur la disposition télescopique ordinaire. Dans un cas comme dans l'autre, les viroles sont assemblées à double rivure. Quant à la question de la longueur des tubes, elle sera traitée plus loin en détail à propos de la comparaison des machines autrichiennes avec celles du P.-L.-M. qui ont été l'objet d'expériences récentes. Je me bornerai à signaler ici qu'aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, les tubes autrefois en laiton, sont actuellement en acier; ils sont raboutis en cuivre rouge sur 37 millimètres de long, à leur extrémité voisine du foyer. A l'autre extrémité, ils sont recouverts d'un cône en fer qui ne présente pas les mêmes difficultés que l'acier lorsqu'il s'agit de rabattre ses bords contre la plaque tubulaire de la boîte à fumée.

**Cheminée.** — La cheminée des machines autrichiennes à grande vitesse ne présente pas la disposition spéciale que l'on décrira plus loin à propos des machines du Brenner et du Semmering (V. p. 336). Elle ne consiste qu'en un cylindre en tôle.

**Alimentation.** — Deux injecteurs Friedmann, l'un de 9, l'autre de 7 millimètres assurent l'alimentation.

**Graissage des cylindres.** — Le graissage des cylindres est réalisé au moyen du lubrificateur Nathan. Cet appareil (Pl. IX, *fig. 2, 2 a, 2 b, 2 c*) consiste en un récipient à huile I surmonté d'une capacité E dans laquelle vient se condenser la vapeur provenant de la partie supérieure de la boîte à feu extérieure. L'eau résultant de cette conden-

sation descend, après avoir franchi la soupape D, dans un tuyau latéral qui aboutit à la base du récipient à huile I. En raison de la différence de densité de l'eau et de l'huile, celle-ci surnage au-dessus de l'eau de condensation, et, remplissant la partie supérieure du récipient I, passe par le tuyau central P et le conduit J, qui l'amènent aux soupapes CC. Après avoir franchi celles-ci, elle s'élève dans les tubes en verre KK, jusqu'aux ajutages XX d'où partent les tuyaux HH qui conduisent l'huile aux cylindres à graisser; à l'intérieur de la capacité E, et en communication avec les deux ajutages XX, se trouvent deux tuyaux complètement séparés L qui amènent aux tuyaux de graissage un courant continu de vapeur qui vient graisser le tiroir et le cylindre. De chaque côté du graisseur est installé un graisseur auxiliaire O; dans le cas de rupture d'un des tubes de verre K (ce qui oblige à fermer le lubrificateur) on a recours à cet appareil O, qui ne présente d'ailleurs aucune particularité. Le lubrificateur est placé sous la main du mécanicien qui peut s'assurer, à l'inspection des tubes de verre, de l'exactitude du fonctionnement, et régler la distribution de l'huile au moyen des pièces CC. Le récipient I contient l'huile nécessaire à six heures de marche. On le remplit par l'orifice que ferme normalement la vis A. On peut le vider au moyen du robinet W.

**Mécanisme.** — La coulisse est une coulisse de Stephenson ordinaire. Les bielles ont une section en double T.

**Roues et essieux.** — Sans parler des conditions de résistance du métal qui seront détaillées plus loin (V. p. 265), je me bornerai à décrire le mode de fixation du bandage sur la jante de la roue. Il appartient au système Bort qui ne diffère du système dit allemand (employé notamment au Nord français) que par la division en plusieurs parties du cercle en fer destiné à fixer le bandage. Ce cercle est

divisé en trois segments pour les roues du bogie et en cinq segments pour les roues accouplées. Pour empêcher tout déplacement des segments dans leur logement, on opère de la manière suivante : on abat au burin sur une longueur de 40 centimètres le biseau que porte la jante de la roue et sur laquelle s'applique exactement l'angle rentrant *abc* (Pl. IX, fig. 3 à 3 c) que présente la section du cercle de liaison. On aplatit d'ailleurs par forgeage, sur une longueur de 40 centimètres, l'une des extrémités du segment à poser de façon à lui donner la section *mnpq*; le plan *mq* s'applique dans la cavité laissée par l'enlèvement du biseau de la roue. On réalise ainsi une solidarité absolue du cercle et de la roue.

**Passage dans les courbes.** — Le programme imposé a conduit, aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, à l'emploi du bogie. Toutefois dans la locomotive de 1873, la dimension des plaques tournantes du réseau ne permit pas de porter au delà de 1<sup>m</sup>,320 l'écartement des essieux du bogie. La valeur de cet écartement, dans la locomotive actuelle (1<sup>m</sup>,500) est encore inférieure à celle qu'on lui a donnée dans la machine du Nord français (2<sup>m</sup>,100). — La différence de l'empattement résulte de la différence des rayons des courbes qui existent sur ces deux réseaux.

**Suspension et châssis.** — Les éléments relatifs aux ressorts sont donnés dans le tableau des dimensions de cette locomotive. Il en est de même du châssis et des longerons. Il suffit de signaler que le châssis est extérieur dans la machine autrichienne et que chaque longeron y est composé de deux tôles de 12 millimètres réunies par des pièces métalliques pleines.

**Tender.** — Les questions relatives au tender et à son attelage avec la locomotive seront, pour éviter les redites, renvoyées à l'étude du tender (identique à celui



de la locomotive qui nous occupe) qui est affecté aux locomotives pour les lignes à fortes rampes de la même compagnie. Je dirai simplement ici que le charbon, au lieu d'être logé dans l'espace compris à l'intérieur des branches du fer-à-cheval dont la caisse à eau affecte la forme, est placé au-dessus de la capacité qui contient l'eau d'alimentation. La locomotive et le tender n'ont d'ailleurs qu'un tampon chacun; celui de la locomotive, qui est un tampon sec, présente un angle très obtus qui reçoit la tête arrondie du tampon à ressort du tender.

**Attelage.** — L'attelage est du type dit « anglais », il consiste en deux tiges rondes parallèles dont les extrémités sont réunies, au moyen de boulons à deux pièces percées d'un œil. Le tender, d'une part, et la locomotive de l'autre, portent chacun un piton vertical sur lequel on enfle l'œil de l'une des extrémités de la pièce d'attelage. Pour éviter la déformation des tiges, lors des ralentissements ou des arrêts, on a réuni la partie moyenne de celles-ci au moyen d'une tôle A dont les parties planes sont rivées l'une à l'autre.

*Métaux employés dans la construction de la locomotive à grande vitesse des chemins de fer du Sud de l'Autriche et conditions de réception.*

**Chaudières.** — Les chaudières sont partie en fer soudé(\*) et partie en cuivre : le corps cylindrique, la boîte à feu extérieure, le dôme et la plaque tubulaire de la boîte à fumée sont en fer soudé, tandis que la boîte à feu intérieure est en cuivre.

I. Les tôles doivent présenter, lors des essais de traction, les éléments suivants :

(\*) Les tôles proviennent des usines de Pichling (Société alpine).

ESSAIS DE TRACTION	CUIVRE	FER SOUDÉ	
		en long	en travers
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré (R).	22	36	32
Contraction p. 100 rapportée à la section primitive (S).	33	25	15
Allongement p. 100 (rapporté à la longueur primitive).	»	16	13
Valeur minima de (R+S) . . . . .	60	»	»

Les essais de traction se font sur une éprouvette ayant au moins 600 millimètres de longueur sur 42 millimètres de largeur. On détache (Pl. IX, fig. 4) à la cisaille, suivant *ab*, et par rupture, suivant *ac*, l'éprouvette sur laquelle on marque en *d* un numéro et une flèche inscrits également en *d*<sub>1</sub> sur la partie de la tôle d'acier ou de cuivre voisine de l'extrémité *d* de l'éprouvette. Cette flèche indique le sens du laminage. Dans les tôles de cuivre, il faut en effet que la grande dimension de l'éprouvette soit, pour la plaque tubulaire, perpendiculaire au sens du laminage, et que, pour la plaque d'arrière et les parois latérales, elle soit parallèle à cette direction. Dans les tôles de fer, on prend, pour la moitié des tôles commandées, la grande dimension de l'éprouvette parallèle à la direction du laminage, et pour l'autre moitié, on la prend dans le sens perpendiculaire. Ces essais de traction ont lieu à froid. Il n'en est pas de même des épreuves par pliage qui se font les unes à froid, les autres à chaud. Dans les premières on doit pouvoir atteindre sans criquer ni gerçures, savoir :

1° Pour les tôles de chaudière (fer) un angle de 80 à 110°, suivant que la longueur de l'éprouvette est parallèle ou perpendiculaire au sens du laminage ;


2° Pour les tôles de foyer (cuivre) un angle de 55°.

Dans les secondes on doit pouvoir plier à bloc les tôles de chaudière ou de foyer.

II. Les entretoises sont, les unes en cuivre, les autres

en fer. Elles sont percées, à chacune de leurs extrémités, d'un trou qui doit pénétrer jusqu'à une distance de 20 millimètres du côté de l'intérieur des tôles. Les conditions de résistance qui leur sont imposées sont les suivantes :

ESSAIS DE TRACTION	CUIVRE	FER
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré . . .	24	36
Striction p. 100 . . . . .	40	"
Allongement p. 100 . . . . .	"	23

Quant aux épreuves par pliage, les entretoises de cuivre doivent satisfaire aux mêmes conditions que les tôles de cuivre ; celles de fer doivent : 1° à froid, se plier sans criquer ni gerçure en donnant un  dont l'écartement des branches est égal au diamètre de l'entretoise ; 2° à chaud se plier à bloc. De plus une éprouvette de longueur double de son diamètre doit pouvoir être refoulée sans déchirure sur 1/3 de sa longueur.

III. Les rivets et les boulons d'attache du corps de chaudière doivent satisfaire aux mêmes conditions que les entretoises de fer.

IV. Les pièces de forge de la chaudière (cornières, collets) doivent donner à la traction les résultats suivants :

Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré . . .	33-36
Allongement p. 100 . . . . .	25

V. La boîte à fumée est en fer soudé ou en fer fondu suivant les conventions faites entre la compagnie et le fournisseur. On doit avoir pour ses diverses parties les éléments suivants :

	FER SOUDÉ		FER fondu
	en long	en travers	
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré.	33	30	37-42
Striction p. 100 . . . . .	25	15	45
Allongement p. 100 . . . . .	12	9	29

Les épreuves de pliage doivent donner sans criquer ni gerçure :

1° A froid, un angle de 110 à 130° ;

2° A chaud, un angle de 50°.

Tubes. — Les tubes sont en acier doux de Düsseldorf et terminés, du côté de la boîte à fumée, par un bout de fer au bois. Leurs dimensions peuvent varier dans les limites suivantes :

	DIAMÈTRE extérieur	ÉPAISSEUR	LONGUEUR
	millim.	millim.	mètres
Tubes d'acier doux . . . . .	50	2 1/2	2,1 à 5,175
	44	2 1/4	2 à 3,15
Bout de tubes en fer . . . . .	50 et 52	2 3/4	3
	45	2 1/2	3

Les poids par mètre courant sont pour les divers types de tubes :

DIAMÈTRE extérieur	ÉPAISSEUR	POIDS NORMAL	POIDS MINIMUM
millimètres	millimètres	kilogrammes	kilogrammes
52	2 3/4	3,34	3,05
50	2 3/4	3,21	2,92
50	2 1/2	2,93	2,65
45	2 1/2	2,62	2,37
44	2 1/4	2,32	2,07

Ils sont éprouvés à une pression extérieure de 20 atmosphères. Ils doivent de plus :



1° A froid, pouvoir être munis d'une collerette à leurs extrémités et refoulés d'une longueur égale à  $\frac{1}{5}$  de leur diamètre extérieur, ou être complètement aplatis ;

2° A chaud, être élargis de  $\frac{1}{10}$  de leur diamètre.

Grille. — Les barreaux de grille sont en fer soudé.

Tuyaux de vapeur. — Les tuyaux d'arrivée de vapeur sont en cuivre avec brides en fer forgé. Les tuyaux d'échappement sont tantôt en fonte, tantôt en cuivre avec brides en fer forgé.

Châssis. — Les tôles des longerons sont en fer soudé ; quelques locomotives ont des longerons en fer fondu. Les pièces qui relient les deux tôles de chaque longeron, celles qui s'assemblent aux boîtes à graisse et les tirants du châssis, sont en fer soudé. La qualité de ces métaux est définie par le tableau suivant :

ESSAIS DE TRACTION	FER SOUDÉ		FER fondu
	en long	en travers	
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré	33-36	30	37-42
Striction p. 100 . . . . .	25	12	50
Allongement p. 100 . . . . .	14	8	20

Dans la locomotive de la série 16 *b*, ils sont en fer soudé de Witkowitz.

Essieux. — Les essieux sont en acier Bessemer de Neuberg. La compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche admet toutefois que le fabricant lui livre des essieux en acier au creuset, en acier Martin. Indépendamment de l'absence de soufflures, les conditions de résistance doivent être les suivantes :

NATURE DU MÉTAL	RÉSISTANCE à la traction	STRICTION p. 100	ALLONGEMENT p. 100 d'un barreau initial de 200 millim. de long
<i>1° Essieux de locomotives.</i>			
Acier au creuset . . . . .	58-63	Minimum 45	Minimum 16
— Martin ou Bessemer.	50-53	— 38	— 17
<i>2° Essieux de tenders.</i>			
Acier Martin ou Bessemer.	45-48	Minimum 45	Minimum 20

Les lingots qui servent à la fabrication des essieux doivent être de dimensions suffisantes pour fournir chacun deux essieux ; chaque pièce doit d'ailleurs être portée, par forgeage, à une longueur supérieure de 200 millimètres à la longueur définitive à laquelle on la ramène en détachant à la scie la longueur en excès.

Aucune tolérance n'est accordée, au point de vue des dimensions, pour les essieux livrés finis et on n'accorde que 2 millimètres de tolérance par excès pour le diamètre de ceux qui sont livrés bruts.

Les règles relatives aux épreuves des essieux par choc ont été déterminées en 1888 par le directeur du matériel et de la traction, conformément aux prescriptions générales données en 1886 par l'Union des chemins de fer allemands, tant pour les essieux que pour les bandages.

Ces prescriptions sont les suivantes (les trois dernières ne s'appliquent pas aux bandages) :

- 1° Le mouton doit peser 500 à 1.000 kilogrammes ;
- 2° La machine des essais par choc doit avoir une hauteur suffisante pour que le travail produit par la chute du poids atteigne 5.000 kilogrammètres ;
- 3° La surface inférieure du mouton doit être plane et frapper sur une enclume formée d'une pièce d'un poids

maximum de 20 kilogrammes qui vient épouser la forme de l'essieu ou du bandage qu'elle recouvre ;

4° Le poids de la chabotte doit être au moins égal à 8 fois le poids du mouton. Elle doit se composer d'un bloc de fonte contre lequel on cale les pièces à éprouver ;

5° Les fondations doivent être en maçonnerie d'une hauteur minimum de 1 mètre et dont les autres dimensions dépendent de la nature du sol ;

6° Les supports pour les essieux doivent avoir une forme demi-cylindrique de 50 millimètres de rayon. L'enclume qui repose sur l'essieu doit l'embrasser suivant un arc dont la corde est de 300 millimètres. (Cette dernière dimension est celle qui convient à l'appareil pour bandages ; dans les épreuves de ces derniers, il faut leur assurer, pendant le choc, une position convenable) ;

7° La distance des points d'appui doit être de 1<sup>m</sup>,500.

8° L'enclume doit porter à sa partie inférieure et suivant son plan de symétrie parallèle à l'axe de l'essieu, une rainure d'environ 13 millimètres de large, afin d'éviter l'aplatissement de la pièce à éprouver, aux points correspondant au choc ;

9° La mesure des flexions s'effectue au moyen d'une sorte de compas à verge à curseur à mouvement vertical et à division en millimètres.

En conséquence, on a adopté à la compagnie du Sud de l'Autriche les règles suivantes :

La flexion tolérée, dans ces conditions, pour les essieux est, dans le cas de locomotives, de 120 millimètres et, dans le cas de tenders, de 200 millimètres, la mesure ayant lieu à la partie supérieure de l'essieu. Le nombre minimum de coups est fixé d'après la nature du métal. Pour un tiers des essieux à essayer, on peut pousser l'épreuve jusqu'à la rupture.

Les essieux qui ont subi avec succès cette épreuve de flexion sont soumis à un nouveau choc dans les condi-

tions indiquées par la figure 5, Pl. IX. L'essieu reposant par son milieu et par ses deux extrémités sur des supports éloignés deux à deux de 790 millimètres, est soumis à un choc de 1.000 kilogrammètres au moyen d'un poids de 400 kilogrammes. Lorsque la flexion indiquée sur la figure et évaluée au bout de l'essieu a atteint 80 millimètres, on attaque au ciseau et on brise la fusée. On exécute la même opération au milieu de l'essieu. Les essais de flexion à 120, 200 et 80 millimètres ne doivent donner lieu à aucune crique ; les surfaces des sections mises à nu lors de la dernière série d'épreuves, soit dans la fusée, soit dans le corps de l'essieu, doivent avoir un grain parfaitement uniforme.

Les essais de traction se font, soit sur les parties non déformées d'un essieu soumis à la flexion par choc, soit, au gré de l'agent de réception de la compagnie, sur des éprouvettes extraites des prolongements d'essieux non essayés, dont on a augmenté la longueur de 400 à 500 millimètres. La figure 6 (Pl. IX) donne les dimensions de l'éprouvette qui est prise à l'intérieur de l'essieu parallèlement à sa longueur.

Si un essieu ne subit pas avec succès l'épreuve de choc ou de traction, on y soumet deux autres essieux du même lot. Si l'un de ces derniers ne satisfait pas aux conditions exigées, le lot est rebuté tout entier.

**Roues.** — Les centres de roues sont en fer soudé de Florisdorf.

**Bandages.** — Les bandages de locomotives sont en acier au creuset de Krupp.

Les bandages de tender sont en acier Bessemer et Witkowitz. Le profil pour la locomotive de la série 16 *b* est donné par la Pl. X, *fig.* 1 et 1 *a*. La tolérance, au point de vue des dimensions, n'est que de 1 millimètre par défaut ou par excès. Les surfaces doivent en être



assez polies pour que l'enlèvement d'un copeau de 1 millimètre d'épaisseur exécuté à l'intérieur et à l'extérieur suffise à donner le diamètre intérieur nécessaire à la pose du bandage et à fournir le profil exact.

Les essais de choc appliqués aux bandages se font, comme pour les essieux, sous un effort de 3.000 kilogrammètres produit par un mouton de 600 kilogrammes tombant d'une hauteur de 5 mètres. Le bandage doit subir trois coups sans se briser. On pousse le nombre de coups jusqu'à rupture complète. Les sections mises à nu doivent présenter une parfaite homogénéité de texture.

Pour les essais de traction, on doit redresser une partie du bandage à une température aussi faible que possible et y prendre une éprouvette dont les dimensions sont données par la Pl. IX, *fig. 7, 7 a*. Elle doit satisfaire aux conditions suivantes, dans l'essai à froid :

ESSAIS DE TRACTION	ACIER	
	au creuset	Bessemer et Martin
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré . . .	60	45
Striction p. 100. . . . .	25	35

Si le bandage choisi dans le lot (qui comprend moins de 100 bandages) ne satisfait pas aux épreuves, on en prend un second dans le même lot qui est rejeté totalement si le nouvel essai n'est pas plus heureux.

**Coussinets.** — Les coussinets sont en bronze avec garniture de métal blanc.

Le bronze a la composition suivante :

Cuivre . . . . .	83
Étain . . . . .	17

Le métal blanc est composé de :

Cuivre . . . . .	9,4
Antimoine . . . . .	12,5
Étain . . . . .	78,1

Ce métal blanc s'obtient en versant 6 parties de cuivre (en poids) et 8 d'antimoine dans 25 d'étain, et, après avoir remué, en coulant l'alliage fondu en baguettes que l'on casse, fait fondre et verse dans 25 parties d'étain.

**Boîtes à graisse.** — Les boîtes à graisse sont en fer soudé (\*).

**Ressorts de suspension.** — Les ressorts de suspension sont à lames étagées, en acier fondu au creuset d'Eibiswald (Société Alpine). Les conditions imposées sont les suivantes :

Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré . . .	75
Striction p. 100. . . . .	20
Allongement p. 100 . . . . .	10

Les essais à la traction sont faits sur des éprouvettes ayant au moins 600 millimètres de long et pouvant n'avoir que 20 millimètres de large. La Pl. IX (*fig. 8*) en donne les dimensions ordinairement adoptées.

A l'usine même, on fait subir aux ressorts une épreuve consistant à les charger d'un poids immobile ou animé d'un mouvement d'oscillation. La charge, dans le premier cas, présente les  $\frac{4}{3}$  de la valeur qu'elle atteint dans

le second, et qui est égale à la charge qui, en service repose sur le véhicule. La valeur de la flèche élastique moyenne par tonne de charge ne doit différer que de 1 millimètre, par excès ou par défaut, de celle qui est fixée par le marché conclu avec le fournisseur. La flèche permanente ne doit pas être supérieure à 2 millimètres

(\*) L'étude spéciale des appareils de graissage qui a été faite ci-dessus me dispense de revenir ici sur cette question.

lors de la première épreuve, et lors d'une nouvelle épreuve il ne doit pas se produire de nouvelle flèche permanente.

**Tiges de suspension des ressorts.** — Ces tiges sont en fer soudé devant satisfaire aux conditions suivantes :

Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré. . . . .	33-36
Striction p. 100. . . . .	35
Allongement p. 100. . . . .	20

**Manivelles.** — Les manivelles d'accouplement sont en fer soudé et leurs boutons ont été trempés en paquet.

Les manivelles motrices sont en acier au creuset de Krupp, les conditions sont les suivantes :

ESSAIS DE TRACTION	FER FONDU	ACIER
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré.	37	56
Striction p. 100. . . . .	35	40
Allongement p. 100. . . . .	17	16

**Bielles.** — Les bielles motrices ou d'accouplement sont en acier Martin de Donawitz (Société Alpine). Les étriers qui les terminent et les coins qui servent à les fixer sont en fer soudé qui doit présenter les mêmes conditions de résistance que pour les manivelles. Pour l'acier Martin on doit avoir :

Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré. . . . .	48
Striction p. 100. . . . .	49
Allongement p. 100. . . . .	16

Les coussinets sont en bronze avec garniture en métal blanc dont la composition a été indiquée ci-dessus.

**Crosses des tiges de piston.** — Les crosses sont en acier. Leurs glissières sont en bronze avec métal blanc. Les boulons sont en fer soudé trempés en paquets.

**Tiges de piston.** — Les tiges de piston sont en acier qui doit remplir les mêmes conditions que celui des manivelles motrices. Il en est de même des glissières qui guident les tiges.

**Pistons.** — Les pistons sont en fer forgé avec anneaux de fonte.

**Tiroirs.** — Les tiroirs sont en bronze de la composition mentionnée ci-dessus. Pour éprouver leur étanchéité, on remplit d'eau leur coquille et on les abandonne à eux-mêmes pendant quelques jours. Le moindre défaut d'étanchéité doit les faire rejeter.

**Cylindres à vapeur.** — Les cylindres sont en fonte capable de supporter une traction de 19 kilogrammes par millimètre carré. Les couvercles de cylindres doivent être passés à la meule. Le grand couvercle supérieur de la boîte à vapeur est en fer soudé. Les vis et boulons qui servent à fixer les cylindres et les couvercles sont en fer aciéreur qui doit satisfaire aux conditions suivantes :

Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré. . . . .	36
Striction p. 100. . . . .	35
Allongement p. 100. . . . .	29

Les boîtes à étoupes sont en fonte avec garniture de bronze. Elles sont en deux pièces.

**Distribution.** — Les bagues d'excentriques sont en fer soudé avec garniture de bronze fixée à la bague par des rivets de cuivre. Les pièces de la coulisse de la distribution et du changement de marche sont en fer soudé trempé en paquet. Les boulons sont également formés de ce métal et s'engagent dans des logements, dont la partie avec laquelle ils sont en contact est en métal trempé.

**Appareils de traction et de choc.** — Les pièces d'attelage



sont en fer soudé de même qualité que celui des tiges de suspension des ressorts (voir ci-dessus, page 270). Les ressorts de choc sont des ressorts spiraux en acier au creuset d'Eibiswald. On emploie, aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, trois types de ressorts-spiraux représentés par les *fig. 9, 9 a, 9 b* de la Pl. IX, et pour lesquels on impose, comme force *F* exprimée en tonnes, pour une compression réduisant le ressort à la hauteur de son feuillet développé, les valeurs suivantes :

	TYPE I	TYPE II	TYPE III
Hauteur (en millimètres) . . . . .	280	265	225
Diamètre maximum (en millimètres) . . . . .	165	130	105
Force <i>F</i> (en tonnes) . . . . .	3,5	2,8	2,6

La compression permanente, après une première épreuve, ne doit pas dépasser 2 millimètres. Il ne doit pas s'en produire de nouvelle lors d'une seconde épreuve.

**Conditions de garantie.** — Les conditions de garantie sont résumées dans le tableau suivant, dans lequel la durée est exprimée en années à partir du jour de la livraison :

	LOCOMOTIVE	TENDER	OBSERVATIONS
Garantie générale . . . . .	0,5	0,5	(*) Les disques de caoutchouc font partie des appareils de traction et de choc placés à l'avant de la locomotive.
Garantie spéciale . . . . .	Essieux . . . . .	5	
	Bandages . . . . .	4	
	Tubes de chaudière . . . . .	2	
	Ressorts de suspension . . . . .	2	
	Disques en caoutchouc (*) . . . . .	2	
Ressorts spiraux . . . . .	»	2	

*Locomotive à grande vitesse de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État. Catégorie I, Ia, Ib (types 1882-1886-1888), à quatre roues accouplées.*

*Programme d'après lequel ce type a été établi.* — Le

type de locomotives (catégorie I), ainsi que ses dérivés (catégorie I *a*, I *b*), devait pouvoir :

1° Assurer la remorque, sur des lignes à rampes de 7 à 8 millimètres, de trains de 110 tonnes marchant à une vitesse effective de 60 à 70 kilomètres à l'heure ;

2° Assurer la remorque, sur des lignes à rampes de 7 à 8 millimètres, de trains de 200 tonnes marchant à une vitesse effective de 40 à 45 kilomètres à l'heure ;

3° Assurer la remorque, sur des lignes à rampes de 15 millimètres, de trains de 150 tonnes marchant à une vitesse effective de 30 à 35 kilomètres à l'heure ;

4° Assurer la remorque, sur des lignes à rampes de 3 à 4 millimètres, de trains de 150 tonnes marchant à une vitesse effective de 75 kilomètres à l'heure ;

5° Circuler dans des courbes de 285 mètres de rayon.

La première machine de ce type est sortie, en 1882, des ateliers de construction de la Société des chemins de fer de l'État, à Vienne ; ce sont aussi ces ateliers qui ont fourni les deux dérivés de ce type, I *a* et I *b*, l'un en 1886, l'autre en 1888.

*Dimensions principales.* — Les dimensions principales de ces locomotives, catégorie I et I *a*, ont été réunies dans le tableau I (colonne 4 et 5) ; celles de la locomotive catégorie I *b* ne s'y trouvent pas, parce que les différences qui existent entre la locomotive I et la locomotive I *b* sont trop peu nombreuses pour nécessiter une comparaison détaillée de toutes leurs parties. Ces diverses locomotives ont toutes quatre essieux, deux accouplés au milieu, et un essieu porteur à l'avant et un essieu porteur à l'arrière. Elles ont de nombreux caractères de ressemblance à ce point de vue avec la locomotive désignée à la compagnie d'Orléans sous le n° 101. Cette dernière locomotive (voir colonne 6 du tableau I) a été calculée pour pouvoir remorquer, à la vitesse effective

de 75 kilomètres à l'heure, des trains d'une charge minima de 224 tonnes sur des rampes qui atteignent 5 et même 8 millimètres par mètre. C'est elle qui fait le service des trains rapides entre Bordeaux et Paris.

La locomotive (catégorie I *b*), qu'à dessein je n'ai pas fait figurer dans cette comparaison, a les mêmes dimensions que la locomotive catégorie I, sauf pour les éléments qui ont été réunis dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES ÉLÉMENTS		LOCOMOTIVE de la Société autrichienne- hongroise des chemins de fer de l'Etat à grande vitesse  Catégorie I <i>b</i> , type 1888
Grille . . . . .	{ Longueur . . . . .	2 <sup>m</sup> ,93
	{ Largeur . . . . .	1,036
	{ Surface . . . . .	3 <sup>m</sup> 2,015
Foyer . . . . .	{ Hauteur in- { avant . . . . .	1 <sup>m</sup> ,2
	{ térieure . { arrière . . . . .	0,095
	{ Longueur in- { en haut . . . . .	2,91
	{ térieure . { en bas . . . . .	2,93
	{ Largeur in- { en haut . . . . .	1,08
	{ térieure . { en bas . . . . .	1,036
Boîte à feu exté- rieure . . . . .	{ Largeur . . . { extérieure . . . . .	3,132
	{ — maxima . . . . .	1,368
	{ — minima . . . . .	1,245
Tubes . . . . .	{ Hauteur . . . . .	2,263
	{ Nombre . . . . .	158
Corps cylindrique.	{ Longueur . . . . .	4 <sup>m</sup>
	{ Longueur . . . . .	8,07
	{ Hauteur de { 1° Au-dessus des rails . . . . .	2,235
	{ l'axe de la { 2° Au-dessus du cadre inférieur chaudière. { du foyer . . . . .	1,037
Dômes . . . . .	Nombre . . . . .	2
Boîte à fumée . . . . .	Longueur . . . . .	1 <sup>m</sup>
	Longueurs . . . . .	9,03
Longerons . . . . .	{ Longueur totale . . . . .	1,198
	{ Hauteur de la partie supérieure des longerons au-dessus des rails . . . . .	1,198
Roues motrices et accouplées . . . . .	Diamètre . . . . .	1,82
	Diamètre . . . . .	1,12
Roues porteuses.	Effet de traction $0,65 \frac{p d^2 l}{D}$ . . . . .	3.828 <sup>kg</sup>

*Description comparative de ces locomotives.*

**Puissance de traction.** — Le tableau qui précède montre la supériorité de la machine de la compagnie d'Orléans sur les deux précédentes au point de vue de la puissance de traction; c'est une conséquence directe de l'élévation du timbre.

Ces différences correspondent à celles des programmes imposés à chacune de ces machines et traduits par les données numériques de la page 273.

**Disposition du mécanisme.** — Aux chemins de fer de l'État, on a pu conserver aux cylindres et à la distribution la position extérieure si favorable aux visites et réparations du matériel. Les vitesses plus grandes imposées à la machine de la compagnie d'Orléans ont conduit, pour augmenter la stabilité, à placer les cylindres à l'intérieur, tout en laissant à l'extérieur les boîtes à tiroir et le mécanisme de distribution.

**Poids.** — Le poids des deux machines autrichiennes, que l'on a cherché à augmenter dans la catégorie I *a*, est notablement inférieur à celui de la locomotive du Paris-Orléans. Celle-ci ne saurait d'ailleurs circuler sur les rails autrichiens, qui ne doivent pas supporter une charge supérieure à 14 tonnes, charge maxima du règlement technique de l'union des chemins de fer allemands. Dans ces limites on a su, comme le montre la répartition des poids donnée dans le tableau précédent, tirer parti du poids de la machine pour éviter un soulèvement de l'avant et lui assurer une stabilité suffisante, grâce au concours des deux essieux porteurs. Il faut observer toutefois que la locomotive catégorie I, dont l'essieu d'arrière est moins chargé que l'essieu correspondant de la locomotive catégorie I *a*, permettait d'éviter plus com-



plètement les mouvements de lacet. Quant au poids adhérent, qui est le même dans les deux locomotives autrichiennes, il est de 15 p. 100 inférieur à la valeur qu'il atteint dans la machine de la compagnie d'Orléans.

**Foyer (\*).** — Le foyer de la locomotive catégorie I est un foyer ordinaire qui, dans la catégorie I *a*, a été remplacé par un foyer Polonceau, et dans la catégorie I *b* par un foyer Belpaire dont la surface de grille est de 3<sup>m</sup>q,0 au lieu de 2<sup>m</sup>q,30. La grille, dans les machines autrichiennes, est d'ailleurs moins inclinée que dans la machine française, et elle est prolongée à l'avant par une partie mobile; les barreaux de celle-ci ont 20 millimètres d'épaisseur et laissent entre eux un intervalle de 16 millimètres; ceux de la grille fixe sont des fers plats de 16 millimètres d'épaisseur, séparés par un intervalle de 10 millimètres quand on ne brûle que du charbon de Steyerdorf, et de 16 millimètres quand on brûle du charbon de Kladno ou du charbon de Kladno mélangé de charbon de Rossitz. Dans la locomotive française, dont le foyer est du type Ten Brinck et Bonnet, avec grille Raymondière et ciel Polonceau, on a pu, grâce à l'emploi du bouilleur Ten Brinck, obtenir une plus grande surface de chauffe (14<sup>m</sup>q,19 au lieu de 10) que dans les machines autrichiennes, dont les foyers ont à peu près les mêmes dimensions.

Dans trois de ces machines (catégorie I, catégorie I *a* et locomotive du Paris-Orléans), le foyer se trouve en arrière des essieux accouplés et au-dessus de l'essieu porteur d'arrière. Toutefois, dans la locomotive catégorie I *b*, la plus grande longueur donnée au foyer a con-

(\*) On trouvera plus loin les détails relatifs au choix et à la réception des métaux employés dans la construction des diverses pièces (entretoises, tôles, etc.).

duit à placer également sous le foyer le troisième essieu (essieu accouplé).

**Chaudière.** — Dans ces diverses machines, la chaudière est formée de trois viroles en acier, les rivures y sont doubles, sauf pour l'assemblage des plaques tubulaires qui ne sont fixées aux viroles que par une rivure simple, afin de ne pas fatiguer la tôle du corps cylindrique. Dans ces locomotives, sauf dans la machine catégorie I *b*, la virole d'arrière se raccorde par une tôle emboutie au ciel de la boîte à feu extérieure dont la hauteur au-dessus de l'axe du corps cylindrique est supérieure au rayon de celui-ci. Ce supplément de hauteur a pour but d'offrir à la vapeur un espace plus considérable. Dans la locomotive catégorie I *a*, *b*, où le foyer a une hauteur moindre (1<sup>m</sup>,200 au lieu de 1<sup>m</sup>,710 et de 1<sup>m</sup>,820), cette surélévation était inutile, et au lieu de se servir d'une tôle emboutie, on a réalisé la liaison de la boîte à feu extérieure et du corps de chaudière au moyen d'une courte virole cylindrique.

La longueur donnée aux tubes est de 4 mètres dans cette dernière machine, tandis que dans les trois autres elle est de 5 mètres. Cette valeur de 5 mètres a été adoptée à la compagnie d'Orléans à la suite d'expériences faites sur la température des gaz à leur arrivée dans la boîte à fumée, et dont les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

LONGUEUR DES TUBES	TEMPÉRATURE DES GAZ DANS LA BOÎTE A FUMÉE	
	Tirage modéré	Tirage forcé
mètres	dégrés	dégrés
5	310	370
3,2	380	430

Ces températures sont très voisines de celles qui ont

été obtenues dans la série d'expériences exécutées récemment au Paris-Lyon-Méditerranée, et que j'ai mentionnées ci-dessus.

Comme, d'une part, ces expériences ont été faites : 1° avec des foyers Ten Brinck de même dimension que ceux qui sont en usage à la compagnie d'Orléans ; 2° avec des foyers ordinaires ; et comme, d'autre part, elles ont conduit, pour l'élément qui nous occupe ici (température des gaz dans la boîte à fumée), à des résultats indépendants de la nature du foyer, on peut rapprocher des chiffres précédents les résultats numériques auxquels elles ont abouti, et qui sont résumés dans le tableau suivant :

LONGUEUR des tubes	TEMPÉRATURE DES GAZ DANS LA BOÎTE A FUMÉE			
	TIRAGE MODÉRÉ		TIRAGE FORCÉ	
	Foyer ordinaire	Foyer Ten Brinck	Foyer ordinaire	Foyer Ten Brinck
mètres	degrés	degrés	degrés	degrés
5	294	280	317	304
3,5	390	364	426	404
3	434	402	480	450

Mais si les résultats concordent, on n'en peut pas dire autant des conclusions qu'on en a déduites. Ainsi, pendant que les ingénieurs de Paris-Orléans se fondent sur ces expériences pour donner aux tubes une longueur de 5 mètres, ceux du Paris-Lyon-Méditerranée déclarent préférables les longueurs variant de 4 mètres à 4<sup>m</sup>,50, qui, d'après la même série d'expériences, assurent le maximum de puissance vaporisatrice, tout en donnant un bon rendement économique, ce rendement étant le poids d'eau vaporisée par kilogramme de charbon brûlé (voir M. Henry : *Étude expérimentale de la vaporisation dans les chaudières de locomotives*, juillet 1889). La divergence qui s'est produite en cette circonstance semble donc tenir

au point de vue particulier auquel chacune des deux compagnies s'est placée, l'une tendant surtout à développer la puissance de production de la vapeur, tandis que l'autre s'est principalement attachée, en abaissant la température des gaz dans la boîte à fumée, à améliorer le coefficient économique de la chaudière considérée appareil d'échange de chaleur, ce coefficient étant « le rapport entre la chaleur fournie par la chaudière à la vapeur produite et la chaleur réellement dégagée par la combustion telle qu'elle a été réalisée. » (Henry, *loc. cit.*)

Quoi qu'il en soit, les tubes de ces trois locomotives autrichiennes sont en fer ou en acier fondu, au lieu d'être en laiton comme dans celle de la compagnie d'Orléans. Ils sont, dans les deux cas, rabotés en cuivre rouge sur 100 millimètres de long à leur extrémité voisine du foyer. L'acier employé aux chemins de fer de l'État n'oblige pas, comme aux chemins de fer du Sud de l'Autriche (voir plus haut, page 257), à munir d'un bout en fer l'extrémité du tube qui est voisine de la boîte à fumée.

**Dôme.** — La machine catégorie Ia est, à l'exclusion de la machine catégorie I, pourvue, comme la locomotive du Paris-Orléans, de deux dômes, qui augmentent la capacité de la chaudière et contribuent à débarrasser la vapeur de son humidité. Le tuyau de prise de vapeur, dans les deux locomotives autrichiennes (et non dans la locomotive d'Orléans), sort directement de la base du dôme d'avant pour se rendre, à l'extérieur de la chaudière, à la boîte à vapeur du tiroir de distribution.

**Cheminée.** — La cheminée de la locomotive catégorie Ia a été munie, comme celle de la locomotive du Paris-Orléans, d'un écran à charnière de 153 millimètres de haut, qui empêche le vent de nuire à la continuité du



tirage. Cette cheminée n'est pas pourvue, comme celle de la machine française, d'une charnière permettant de la rabattre pour la nettoyer. Dans les deux machines, une grille à mailles de 10 millimètres est placée à la base de la cheminée.

**Alimentation.** — L'alimentation est assurée par deux injecteurs Polonceau placés, l'un à droite, l'autre à gauche du plan de symétrie de la machine. Ce sont des injecteurs de 9 millimètres de diamètre minimum au cône divergent.

**Cylindres.** — Les cylindres, dans ces locomotives autrichiennes, sont inclinés sur l'horizon sous des angles dont les tangentes sont données dans le tableau de leurs dimensions. Cette disposition a été, au contraire, évitée dans la machine du Paris-Orléans, où le mécanisme a d'ailleurs, comme je l'ai dit, une disposition différente de celle qui a été adoptée pour les locomotives de la Société des chemins de fer de l'État. Les pistons sont des pistons suédois ordinaires qui ne sont pas pourvus des perfectionnements imaginés à la compagnie d'Orléans (\*).

Le graissage des cylindres est réalisé, dans toutes ces machines, au moyen d'un appareil ordinaire à injection placé sous la main du mécanicien.

**Mécanisme.** — Elles sont toutes munies d'une coulisse de Gooch. Les bielles ont une section en double T.

**Roues et essieux.** — Les roues sont des roues Arbel dans toutes ces locomotives; les bandages sont fixés dans les trois machines autrichiennes au moyen de la disposition dite « allemande, » consistant en un cercle

(\*) Dans ces pistons du P.-O. qui sont en fer forgé, l'étanchéité est assurée par un système de ressorts en acier disposés à l'intérieur de segments en fonte et munis à leur extrémités d'un système d'assemblages à languettes qu'un étoquiau maintient constamment dans des positions diamétralement opposées.

unique et employé, comme je l'ai déjà mentionné, au Nord français. Dans la locomotive du Paris-Orléans, la fixation du bandage est réalisée au moyen de deux couronnes qui, rivées ensemble, agrafent la jante et le bandage.

**Passage dans les courbes.** — Dans les deux machines de la Société des chemins de fer de l'État, le premier et le quatrième essieu ont un jeu latéral dont la valeur totale est de 20 millimètres avec boîtes à plans inclinés de 12 p. 100 à l'avant et 20 p. 100 à l'arrière, analogues à celles de la machine d'Orléans. Pour donner une idée de la souplesse d'une telle machine, je citerai les chiffres suivants calculés à la compagnie d'Orléans pour la locomotive n° 101.

Cette machine peut s'inscrire dans des courbes de 125 mètres et même de 98 mètres de rayon, si on tient compte du jeu total de 20 millimètres dont les boîtes sont susceptibles et que l'on suppose un surécartement de la voie de 1 centimètre.

Il convient d'observer d'autre part que l'empattement de la machine du Paris-Orléans est de 6 mètres, tandis que celui des locomotives catégorie I et Ib est de 5<sup>m</sup>,700 et celui de la locomotive catégorie Ia de 6<sup>m</sup>,400. Ces trois dernières locomotives s'inscriront donc sans difficulté dans les courbes du réseau autrichien, dont le rayon minimum est de 285 mètres, et par conséquent bien supérieur aux chiffres de 125 et 98 mètres mentionnés ci-dessus.

**Suspension.** — Le type de suspension adopté par toutes ces machines comprend : 1° un balancier destiné à répartir sur les boîtes des roues motrices et accouplées la charge qu'il reçoit, par l'intermédiaire de deux bielles, d'un ressort fixé au châssis par sa partie centrale; 2° des ressorts distincts pour chacun des essieux extrêmes.

**Châssis.** — Le châssis, qui est intérieur, est simple, sauf à sa partie postérieure; la position des essieux d'arrière sous le foyer et le désir d'en éloigner les boîtes à graisse ont conduit à employer des longerons doubles sur cette partie de leur longueur.

**Contre-vapeur.** — Les trois machines autrichiennes sont pourvues de l'appareil Le Chatelier.

**Frein.** — Le frein Smith Hardy est employé sur ces machines autrichiennes au lieu du frein Wenger, qui est en usage à la compagnie d'Orléans.

**Sablière.** — La sablière à vapeur Holt et Gresham (voir page 342) dont on fait usage, à titre d'essai, à la société A.-H. des chemins de fer de l'État, n'a pas donné de résultats satisfaisants, le sable humecté par la condensation partielle de la vapeur venait obstruer le tube qui devait le verser devant les roues motrices. On l'a remplacée par une sablière à hélice unique basée sur le même principe que la sablière à deux hélices du Paris-Orléans.

**Tender.** — Le tender de la société A.-H. des chemins de fer de l'État, dont les dimensions sont données (tableau II, col. 1), ainsi que celles du tender de la locomotive à grande vitesse du Paris-Orléans (tableau II, col. 3), diffère de ce dernier par son nombre d'essieux, qui est de deux au lieu de trois. La caisse à eau est en fer-à-cheval dans ces deux tenders; mais, au lieu de plonger entre les roues comme dans le tender de la compagnie d'Orléans, celle du tender de la société A.-H. des chemins de fer de l'État est tout entière placée au-dessus d'elles.

**Attelage.** — Les attelages, qui étaient autrefois rigides à la société A.-H. des chemins de fer de l'État, sont au-

jourd'hui pourvus, comme au Paris-Orléans, de ressorts Belleville. La locomotive porte à l'arrière deux tampons secs constitués par une face verticale inclinée sur le plan de symétrie de la machine et contre lesquels s'appuient les tampons à ressorts de l'avant du tender.

*Métaux employés dans la construction de la locomotive à grande vitesse de la société A.-H. des chemins de fer de l'État et conditions de réception.*

**Chaudière.** — Les chaudières sont en acier Martin très doux (qualité *c*) provenant des usines de Reschitz. Il en est de même de toutes les pièces accessoires de la chaudière (dômes, plaques tubulaires de la boîte à feu extérieure et de la boîte à fumée, etc.). Mais la boîte à feu intérieure et quelquefois les entretoises sont en cuivre. Enfin les rivets et quelques pièces accessoires sont en acier Martin ordinaire (qualité *d*) ou en fer forgé.

I. Les tôles doivent satisfaire aux conditions suivantes :

ESSAIS DE TRACTION	CUIVRE	FER FORGÉ dans le sens du laminage	ACIER MARTIN	
			doux ( <i>d</i> )	très doux ( <i>c</i> )
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carre.	22	35	40	35
Striction p. 100 . . . . .	40	30	55	60

II. Les entretoises sont tantôt en cuivre, tantôt en acier Martin basique; ce dernier métal n'est employé à cet usage que depuis peu de temps, et on n'a pu encore obtenir à son sujet des résultats concluants. Ces entretoises sont percées de part en part. Les conditions de résistance qui leur sont imposées sont les suivantes :



ESSAIS DE TRACTION	ACIER MARTIN doux, qualité <i>g</i>	CUIVRE
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré.	40	25
Striction p. 100. . . . .	55	50

III. Les rivets et boulons d'attache du corps de chaudière sont en fer forgé et doivent satisfaire aux conditions ci-après :

ESSAIS DE TRACTION	FER FORGÉ
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré. . . . .	35
Striction p. 100. . . . .	50

IV. Les pièces de forge qui entrent dans la composition des diverses parties de la chaudière (cornières, collets, etc.) doivent donner aux essais de traction les résultats suivants :

ESSAIS DE TRACTION	FER FORGÉ	
	1 <sup>re</sup> qualité	2 <sup>e</sup> qualité
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré. .	35	30
Striction p. 100. . . . .	40	25

V. La boîte à fumée est en acier Martin, la plaque tubulaire étant en acier très doux (*c*) et les autres parties en acier doux de qualité (*d*).

Tubes. — Les tubes en fer, dont on fait usage à la société des chemins de fer de l'État depuis 1873, se sont bien comportés. Toutefois, ils sont remplacés aujourd'hui par des tubes en acier Martin de qualité (*d*) qui a supplanté d'ailleurs les tubes de laiton auxquels on reproche ici leurs fréquentes ruptures. Les tubes sont éprouvés à une pression intérieure de 20 atmosphères, quand ils sont

neufs. S'il s'agit de tubes ayant déjà servi, on les essaie en outre à une pression extérieure de 20 atmosphères. Les tubes ont tous les dimensions suivantes :

Diamètre intérieur. . . . .	48 <sup>mm</sup>
— extérieur. . . . .	52

Les bouts de tube en cuivre ont 4 millimètres d'épaisseur. Leur métal doit remplir les mêmes conditions que celui des entretoises en cuivre.

Grille. — Les barreaux de grille fixe sont en fer forgé de deuxième qualité (voir ci-dessus ses conditions de résistance). Ceux des grilles mobiles sont en fonte. Comme toutes les pièces de fonte employées par la Société des chemins de fer de l'État, ils doivent opposer à la traction une résistance minima de 12 kilogrammes par millimètre carré.

Châssis. — Les longerons des châssis sont en tôle d'acier Martin de qualité (*d*).

Essieux. — Les essieux sont tantôt en acier au creuset, tantôt en acier Martin d'une qualité spéciale (*a*); les mêmes matériaux sont employés pour les locomotives ou les tenders.

ESSAIS DE TRACTION	ACIER MARTIN [qualité ( <i>a</i> )]	ACIER au creuset
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré.	50	60
Striction p. 100. . . . .	40	35

Les prescriptions générales indiquées ci-dessus à propos des matériaux employés pour la construction des chemins de fer du Sud de l'Autriche trouvent également ici leur application.

Roues. — Les roues, qui sont d'ordinaire des roues Arbel en fer forgé, sont construites depuis peu de temps aux ateliers de constructions de la société A.-H. des chemins

de fer de l'État à Vienne, par un procédé nouveau que la perfection des aciers de Reschitza a seul rendu possible. On envoie de cette dernière usine aux ateliers de Vienne, des secteurs pleins, d'acier brut, que l'on perce à la presse hydraulique au moyen de matrices, après les avoir portés au rouge. Après un nouveau réchauffage, on réunit, par leur partie voisine du centre, les secteurs ébauchés, en les soumettant ensemble à l'action d'un marteau-pilon, de façon à constituer le moyeu de la roue. Quant à la jante, on l'obtient en soudant ensemble les portions périphériques des secteurs que l'on passe, après réchauffage, au marteau-pilon. Cette fabrication rapide et économique n'ayant été encore appliquée qu'aux bandages de sept locomotives, il est impossible de se prononcer à son sujet d'une façon définitive.

**Bandages.** — Les bandages de locomotives ou de tenders sont ou bien en acier au creuset de qualité spéciale, ou bien en acier Martin de qualité (b) définie comme suit :

ESSAIS DE TRACTION	ACIER MARTIN [qualité (b)]	ACIER au creuset
Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré.	55	70
Striction p. 100 . . . . .	35	25

Les bandages une fois posés sur les roues sont visités au point de vue des défauts que leur métal peut renfermer. A cet effet, on les frappe de 12 coups au moyen d'un marteau de 5 kilogrammes dont la masse parcourt, avant le choc, une longueur de 1 mètre à 1<sup>m</sup>,20. Le bandage est placé sur deux galets dont la rotation détermine celle de la roue qui vient ainsi présenter au choc successivement les diverses parties de son bandage. Les criques de celui-ci sont mises immédiatement en évidence au point frappé.

**Coussinets.** — Les coussinets de tout genre sont en bronze

avec garniture en métal blanc. Le bronze a la composition suivante :

Cuivre . . . . .	84
Étain . . . . .	16

Le métal blanc est composé de :

Plomb . . . . .	60
Antimoine . . . . .	20
Étain . . . . .	20

**Boîtes à graisse.** — Les boîtes à plans inclinés qui facilitent le passage de la machine dans les courbes sont formées : 1° d'un plan fixé à la boîte par sa partie centrale ; 2° d'un plan maintenu entre les joues du coussinet. Ces plans qui, dans les machines de la compagnie d'Orléans, sont tous les deux en acier cimenté, sont construits, dans les machines autrichiennes de la Société, le premier en acier Martin, le second en bronze phosphoreux.

Primitivement on les avait construits tous les deux en acier Martin ; mais, comme il se produisait parfois des grippements, on adopta pour le premier le bronze phosphoreux et pour le second l'acier. Les ruptures, qui eurent lieu dans le premier plan incliné, que sa forme même rendait plus faible, ont conduit à adopter définitivement pour le premier plan l'acier Martin, et pour le second le bronze phosphoreux.

Les boîtes à graisse sont analogues aux boîtes Eugène Dutheil du P.-O.

**Ressorts de suspension.** — Les ressorts de suspension sont à lames étagées en acier au creuset. On essaie les éprouvettes après trempe. Elles doivent résister à une charge de 80 kilogrammes par millimètre carré. La flèche permanente ne doit pas être, après un premier essai, supérieure à 5 p. 100 de la valeur que la flèche a atteinte pendant l'épreuve. Un nouvel essai ne doit pas donner lieu à une nouvelle flèche permanente.

**Tiges de suspension des ressorts.** — Les tiges de suspension



des ressorts sont en acier Martin de même qualité que celui qui est employé pour les entretoises (voir plus haut).

**Manivelles, bielles, crosses et tiges de piston.** — Les manivelles, bielles, crosses et tiges de piston sont en acier au creuset, remplissant les mêmes conditions que celui qui est employé dans la construction des essieux.

**Pistons.** — Les pistons sont des pistons suédois en fer forgé avec anneaux de fonte.

**Tiroirs.** — Les tiroirs sont en bronze phosphoreux composé de :

Cuivre . . . . .	80,0
Étain . . . . .	13,6
Plomb . . . . .	6,4

La table est percée d'alvéoles tronconiques ayant 20 millimètres de diamètre à celle de ses bases qui est située dans le plan de la table et 24 millimètres à la base située à l'intérieur du tiroir. La profondeur de l'alvéole est de 15 millimètres. Ces alvéoles sont remplies d'un métal antifriction dont la composition est la suivante :

Étain . . . . .	82
Cuivre . . . . .	6
Antimoine . . . . .	12

**Cylindres à vapeur.** — Les cylindres sont en fonte susceptible de supporter une traction de 12 kilogrammes par millimètre carré; les couvercles de la boîte à vapeur sont en acier Martin de la qualité (d). Les boulons, qui fixent les cylindres et les couvercles sont en acier Martin qualité (f) qui doit satisfaire aux conditions suivantes :

Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré . . . . .	45
Striction p. 100 . . . . .	50

La garniture des boîtes à étoupes est la même que celle des coussinets.

**Distribution.** — Les bagues d'excentrique sont en fer

forgé de même qualité que celui qui sert à la fabrication des rivets (voir ci-dessus). Elles portent une garniture en bronze. Les pièces du mécanisme de distribution et la coulisse sont en acier profilé Martin de qualité (f).

**Appareils de traction et de choc.** — Les ressorts de l'attelage sont des ressorts Belleville en acier Martin très dur qualité (e) défini par les nombres suivants :

Résistance à la traction en kilogr. par millim. carré . . . . .	60
Striction p. 100 . . . . .	35

Ils doivent subir les mêmes essais de flexion que les ressorts de suspension (voir plus haut).

Quant aux ressorts spiraux qui sont construits avec le même métal, leurs dimensions sont les suivantes :

Hauteur (en millimètres) . . . . .	260
Diamètre maximum . . . . .	149
— minimum . . . . .	51

*Locomotive à grande vitesse de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État. Catégorie II (type 1884). Compound système Webb.*

Cette locomotive que j'ai omise à dessein dans l'énumération donnée plus haut (voir p. 253), parce qu'elle n'est plus employée à la Société A.-H. des chemins de fer de l'État, mérite toutefois une mention à titre historique. Les essais auxquels elle a été soumise, donnent la preuve de la persévérance avec laquelle les ingénieurs de cette société ont poursuivi dans ces dernières années l'application du principe compound aux locomotives, et, si les résultats qu'on en attendait n'ont pas été obtenus, il faut bien moins en accuser le principe que le type de machine qui ne remplissait pas les conditions exigées par les réseaux de l'Union des chemins de fer allemands.

En effet, dans la machine livrée par les ateliers Sharp Stewart et C<sup>e</sup> en 1884, la charge atteignait 15 tonnes sur l'essieu d'arrière. Elle était donc inacceptable pour les voies autrichiennes sur lesquelles, comme j'ai déjà eu

l'occasion de le signaler, la charge par essieu ne doit pas dépasser 14 tonnes. On a dû, en conséquence, transformer cette locomotive avant de la mettre en service, afin de réduire cette charge à 14 tonnes. Cette diminution de charge a eu pour effet de réduire l'adhérence dans des proportions telles que la machine, lorsque des circonstances extérieures (pluie, brouillard, etc.) venaient à diminuer l'adhérence, ne pouvait, lors du démarrage, satisfaire aux conditions imposées aux machines de grande vitesse de la société que j'ai mentionnées au sujet du programme d'établissement des locomotives catégories I, Ia et Ib.

Tel est l'ensemble des circonstances qui ont conduit à abandonner cette machine. L'intérêt que présentent à l'heure actuelle les machines compound et les essais que la Société A.-H. des chemins de fer de l'État, abandonnant de système Webb, vient d'entreprendre sur le système Mallet (voir p. 300) me paraissent justifier les développements dans lesquels je vais entrer au sujet de cette machine.

La locomotive (catégorie II) (Pl. XII, fig. 1, 1a) a, comme toutes les machines compound Webb, deux cylindres extérieurs à haute pression et un cylindre intérieur de diamètre plus grand où s'effectue la détente. Elle est à quatre roues motrices avec essieu porteur à l'avant. Les deux essieux moteurs ne sont pas accouplés; l'essieu d'arrière, placé à la partie postérieure du foyer, reçoit son mouvement des cylindres intérieurs, tandis que l'autre essieu moteur, qui passe en avant de la boîte à feu, est mis en mouvement par le cylindre de détente. La distribution est un type Joy; les commandes des mécanismes de distribution sont séparées pour les cylindres de haute et basse pression. Les éléments de la machine, telle qu'elle fut mise en service sur les rails de la société A.-H. des chemins de fer de l'État, ont été réunis dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES PIÈCES		LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État		
<b>Chaudière.</b>				
Grille . . . . .	{ Longueur . . . . .	1 <sup>m</sup> ,476		
	{ Largeur . . . . .	1,06		
	{ Surface . . . . .	1 <sup>m</sup> 2,56		
Foyer . . . . .	{ Hauteur intérieure . . . . .	2 <sup>m</sup> ,018		
	{ en avant . . . . .	2,038		
	{ en arrière . . . . .	1,443		
	{ Longueur intérieure . . . . .	1,476		
	{ en haut . . . . .	1,054		
	{ en bas . . . . .	1,06		
	{ Largeur intérieure . . . . .	0,0127		
	{ en haut . . . . .	0,0159		
Épaisseur des tôles . . . . .	{ Côté . . . . .	id.		
	{ Arrière . . . . .	id.		
	{ Plaque tubulaire, partie	{ perforée . . . . .	0,0254	
	{ non perforée . . . . .	id.		
Tubes . . . . .	{ Nombre . . . . .	172		
	{ Diamètre extérieur . . . . .	0 <sup>m</sup> ,052		
	{ Longueur entre les plaques tubulaires . . . . .	3,073		
Surface de chauffe . . . . .	{ Foyer . . . . .	12 <sup>m</sup> 2,27		
	{ Tubes . . . . .	86,4		
	{ Total . . . . .	98,67		
	{ Rapport de la surface des tubes à celle du foyer . . . . .	7		
Corps cylindrique . . . . .	{ Diamètre moyen . . . . .	1 <sup>m</sup> ,2		
	{ Longueur totale . . . . .	2,997		
	{ Hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus des rails . . . . .	2,267		
	{ Épaisseur des tôles . . . . .	0,0143		
Timbre . . . . .	Pression effective . . . . .	9 <sup>m</sup>		
Dôme . . . . .	Nombre . . . . .	1		
Soupapes . . . . .	{ Nombre . . . . .	2		
	{ Diamètre . . . . .	0 <sup>m</sup> ,079		
Cheminée . . . . .	{ Hauteur au-dessus des rails . . . . .	4,352		
	{ Diamètre intérieur . . . . .	0,394		
<b>Châssis et roues.</b>				
Longerons . . . . .	{ Écartement intérieur . . . . .	1 <sup>m</sup> ,272		
	{ Épaisseur des tôles . . . . .	0,022		
	{ Longueur totale . . . . .	7,56		
	{ Hauteur de la partie supérieure des longerons au-dessus des rails . . . . .	1,25		
Essieu moteur	{ d'avant . . . . .	{ Distance . . . . .	{ d'axe en axe des essieux moteurs . . . . .	2,545
		{ d'entre axe des fusées . . . . .	0,978	
		{ Diamètre . . . . .	{ de l'essieu au milieu . . . . .	0,497
		{ de la fusée . . . . .	0,178	
	{ d'arrière . . . . .	{ Longueur de la fusée . . . . .	0,343	
		{ Distance d'entre axe des fusées . . . . .	1,168	
		{ Diamètre . . . . .	{ de l'essieu au milieu . . . . .	0,165
		{ de la fusée . . . . .	0,178	
{ Longueur de la fusée . . . . .	0,229			



DÉSIGNATION DES PIÈCES		LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat	
		Catégorie II, type 1884 (Pl. XII, fig. 1 et 1a)	
Essieu porteur . . . . .	Distance . . . . .	2 <sup>m</sup> ,844	
	Diamètre . . . . .	d'axe { de l'essieu porteur à l'essieu mo- en axe } teur d'avant . . . . .	5,359
		{ des essieux extrêmes . . . . .	1,43
		{ d'entre axe des fusées . . . . .	0,14
Longueur de la fusée . . . . .	0,452		
Roues motrices . . . . .	Diamètre . . . . .	0,254	
	{ à la jante . . . . .	1,867	
Roues porteuses . . . . .	{ au contact . . . . .	2,019	
	Diamètre . . . . .	0,952	
Ressorts . . . . .	Nombre de feuilles . . . . .	{ à la jante . . . . .	1,405
		{ au contact . . . . .	16
		1 <sup>er</sup> essieu (porteur, avant) . . . . .	21
	Corde de fabrication . . . . .	2 <sup>e</sup> — (porteur, milieu) . . . . .	14
		3 <sup>e</sup> — (moteur, milieu) . . . . .	0 <sup>m</sup> ,813
		1 <sup>er</sup> essieu (porteur, arrière) . . . . .	0,711
	Section des feuilles . . . . .	2 <sup>e</sup> — (porteur, milieu) . . . . .	1,168
		3 <sup>e</sup> — (moteur, milieu) . . . . .	144 × 9 <sup>mm</sup> ,5
		1 <sup>er</sup> essieu (porteur, avant) . . . . .	102 × 9 <sup>mm</sup> ,5
		2 <sup>e</sup> — (porteur, milieu) . . . . .	178 × 12 <sup>mm</sup> ,7
<b>Mécanisme.</b>			
Diamètre . . . . .	{ des cylindres à haute pression . . . . .	0 <sup>m</sup> ,33	
Course des pistons . . . . .	{ du cylindre de détente . . . . .	0,66	
	Distance d'axe en axe des cylindres à haute pression . . . . .	0,61	
Longueur des bielles motrices . . . . .	{ des cylindres à haute pression . . . . .	1,93	
	{ du cylindre de détente . . . . .	2,545	
<b>Distribution.</b>			
Longueur des lumières d'admission ou d'échappement . . . . .	Cylindre . . . . .	{ à haute pression . . . . .	0 <sup>m</sup> ,299
		{ de détente . . . . .	0,387
Recouvrement . . . . .	extérieur . . . . .	Cylindres à haute pression . . . . .	0,017
		Cylindre de détente . . . . .	0,0245
	intérieur . . . . .	Cylindres à haute pression . . . . .	0,0006
		Cylindre de détente . . . . .	0,0007
Diamètre des tuyaux . . . . .	d'arrivée de vapeur . . . . .	Cylindres à haute pression . . . . .	0,076
		Cylindre de détente . . . . .	0,102
	d'échappement . . . . .	Cylindres à haute pression . . . . .	id.
		Cylindre de détente . . . . .	0,146
<b>Poids.</b>			
Locomotive . . . . .	{ vide . . . . .		36 <sup>k</sup> ,1
		{ en charge . . . . .	39
Répartition par essieu du poids, en charge . . . . .	{ 1 <sup>er</sup> essieu (porteur) . . . . .		11
		{ 2 <sup>e</sup> — (porteur) . . . . .	14
		{ 3 <sup>e</sup> — (moteur) . . . . .	14

Puissance de traction. — La puissance de traction de cette machine : 1° en pleine marche ; 2° lors du démarrage, peut s'évaluer comme suit :

I. En pleine marche. — Si l'on admet que l'échappement ait lieu à 3<sup>k</sup>,5 (résultat dont le mécanicien doit toujours chercher à se rapprocher en agissant sur un volant spécial d'après les indications fournies par le manomètre du réservoir intermédiaire), la pression  $h$  exercée sur le piston de chaque petit cylindre par la vapeur dont la pression effective dans la chaudière est de 9 kilogrammes sera donnée par la formule  $h = kh'$  dans laquelle :

1°  $h'$  représente la pression absolue de la vapeur arrivant sur le piston ;

2°  $k$  est un coefficient donné par l'expression

$$k = e + (e + m) \log \text{nat.} \frac{1 + m}{e + m},$$

dans laquelle  $e$  représente le rapport de la fraction de course parcourue pendant l'admission à la course totale, et  $m$  le rapport du volume de l'espace nuisible au volume du cylindre.

On peut prendre  $m = 0,05$ . De plus la pression absolue dans la chaudière est  $9 + 1 = 10$  kilogrammes par centimètre carré. Si on admet une chute de pression de 0<sup>k</sup>,5, on aura  $h' = 9<sup>k</sup>,5$ . Donc comme l'échappement a lieu par hypothèse à 3<sup>k</sup>,5, le degré de détente est de 1/3 environ. Par suite la formule donne pour  $k$ , en effectuant, la valeur  $k = 0,7196$ , c'est-à-dire  $h = kh' = 6,84$ .

L'effort de traction correspondant à cette pression dans les petits cylindres sera donc :

$$\frac{6,84 \times 33^2 \times 61}{201,9} = 2.289<sup>k</sup>,9.$$

Pour le grand cylindre on a :

$$e = 0,75,$$

$$h = 3,5,$$

d'où :

$$k = 0,9675,$$

et

$$h = kh' = 3,29,$$

ce qui donne pour l'effort de traction correspondant :

$$\frac{1}{2} \times \frac{3,29 \times 66^2 \times 61}{201,9} = 2.169^{kg},9.$$

Les trois cylindres développent donc un effet de :

$$2.289,9 + 2.169,9 = 4.459^{kg},8.$$

Cet effort qui est supérieur à celui que peuvent développer les machines à grande vitesse (catégorie I, Ia, Ib) de la société A.-H., montre que la locomotive Webb serait capable de rendre les mêmes services que ces machines, à condition que le réseau pût supporter sur l'essieu d'arrière une charge suffisante pour le démarrage. En effet, lorsque la machine est sur le point de se mettre en mouvement sous l'action de la vapeur, ce sont les cylindres à haute pression dans lesquels l'admission se fait d'abord, c'est-à-dire que ce sont les deux roues motrices d'arrière qui tendent les premières à se déplacer. La charge afférente à l'essieu d'arrière joue par suite un rôle prépondérant pour le démarrage. Il est conséquemment intéressant de calculer la valeur que doit avoir cette charge pour que la locomotive puisse effectuer le démarrage d'un train que sa puissance de traction (4459<sup>kg</sup>,8) lui permet de remorquer en pleine charge.

II. Au moment du démarrage. — L'admission dans les cylindres à haute pression étant supposée égale à 0,70 et en faisant d'ailleurs les mêmes hypothèses que plus haut, on aura :

$$h' = 9,5,$$

$$m = 0,05,$$

$$e = 0,70,$$

d'où :

$$k = 0,95,$$

c'est-à-dire :

$$h = kh' = 9^{kg},02.$$

L'effort de traction correspondant sera :

$$\frac{9,02 \times 33^2 \times 61}{201,9} = 2.945.$$

En admettant que, lors du démarrage, la résistance par tonne de locomotive soit de 10 kilogrammes, et par tonne remorquée de 6 kilogrammes, on voit que le poids  $x$  que la machine pourra mettre en mouvement est donné par la formule suivante dans laquelle 39 représente le poids de la locomotive en charge et 22 celui du tender en charge.

$$6 \times x + 6 \times 22 + 10 \times 39 = 2.945 \text{ kilogr.} \quad \text{d'où} \quad x = 40\frac{1}{2} \text{ tonnes.}$$

 $x$  comprenant le poids du tender.

Or en appelant :

- Z l'effet de traction dont la locomotive est capable,
- A le poids adhérent de la locomotive,
- $v$  la vitesse en kilomètres par heure,
- $m$  l'inclinaison d'une rampe en millimètres par mètre,
- M le poids de la locomotive en charge,
- $M_1$  le poids du tender en charge,

la formule employée à la société A.-H. des chemins de fer de l'État donne pour le poids B du train que peut remorquer la machine sur une rampe d'inclinaison  $m$  à la vitesse  $v$  :

$$B = \frac{1.000Z - 10A}{k} - (M + M_1),$$

 $k$  étant défini par l'expression :

$$k = 1,5 + 0,015v + 0,00125v^2 + m.$$

Or le poids adhérent A dont il s'agit ici est le poids de la machine en marche, c'est-à-dire la somme des charges



sur les deux essieux moteurs, en sorte que l'on a :

$$A = 28 \text{ tonnes.}$$

D'ailleurs :

$$Z = 4,4598,$$

$$B = 404,$$

$$M = 39,$$

$$M_1 = 22.$$

On a donc en effectuant :

$$k = \frac{1.000Z - 10A}{B + M + M_1} = 8,9.$$

En consultant le tableau facile à dresser des valeurs de  $k$  pour les valeurs diverses de  $v$  et de  $m$  on reconnaît que cette valeur  $k = 8,9$  est inférieure à celles que ce coefficient atteint dans les conditions du programme imposé par la société à ses machines de grande vitesse.

La charge  $B$  remorquable par le train en pleine marche est donc inférieure à 404 tonnes, c'est-à-dire que la locomotive que nous considérons pourra assurer le démarrage de tous les trains qu'elle est susceptible de remorquer en pleine marche, à condition toutefois que l'adhérence au démarrage soit suffisante. Or, admettons pour le train une charge de 200 tonnes (chiffre du programme imposé par la société), il suffira, pour rendre le démarrage possible avec une adhérence au  $1/6$ , d'une charge de 10 à 11 tonnes sur l'essieu d'arrière qui est, en fait, chargé de 14 tonnes.

En effet, en évaluant comme ci-dessus la résistance au démarrage on trouve :

Pour la machine . . . . .	39 × 10
Pour le tender . . . . .	22 × 6
Pour le train . . . . .	100 × 6
	1.722

d'où :

$$6 \times 1.722 = 10,332.$$

Mais le démarrage deviendra impossible quand l'adhérence tombera à  $\frac{1}{x}$   $x$  étant défini par la formule :

$$x = \frac{14}{1.722} = 8,1,$$

valeur qui est atteinte par le brouillard ou la neige. Ces calculs expliquent :

1° Comment on a pu mettre cette locomotive en service pendant quelque temps sur le réseau de la société.

2° Comment les inconvénients de son défaut d'adhérence, dont les conséquences étaient surtout nuisibles en hiver, ont finalement conduit à l'abandonner.

## 2° Locomotives pour les trains mixtes.

*Locomotive des chemins de fer du sud de l'Autriche. Série 16<sup>b</sup> (type 1885-1888), à quatre roues accouplées et à bogie à l'avant.*

Je ne cite ici que pour mémoire cette locomotive qui a été étudiée ci-dessus (voir page 254) à propos d'un autre genre de service auquel elle est également affectée.

*Locomotive de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État. Catégories 'I, Ia, Ib (types 1882-1886-1888), à quatre roues accouplées.*

L'observation faite pour la locomotive précédente s'applique également à celle-ci (voir page 273).

*Locomotive de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État. Catégorie IVf' (type 1887), à six roues accouplées.*

*Programme d'après lequel ce type a été établi. — Le type de locomotive catégorie IV f' construit en 1887 devait pouvoir :*

1° Assurer la remorque, sur des lignes à rampes de

7 à 8 millimètres, de trains de 270 tonnes marchant à une vitesse effective de 30 à 35 kilomètres à l'heure;

2° Assurer la remorque, sur des lignes à rampes de 7 à 8 millimètres, de trains de 360 tonnes marchant à une vitesse effective de 25 kilomètres à l'heure;

3° Assurer la remorque, sur des lignes à rampes de 15 millimètres, de trains de 200 tonnes marchant à une vitesse effective de 20 à 25 kilomètres à l'heure;

4° Assurer la remorque, sur des lignes à rampes de 3 à 4 millimètres, de trains de 380 tonnes marchant à une vitesse effective de 30 kilomètres à l'heure;

5° Circuler dans des courbes de 285 mètres de rayon. Cette machine à trois essieux accouplés, construite par les ateliers de construction de la société des chemins de fer de l'État, à Vienne, a parfaitement rempli ce programme.

*Dimensions principales.* — Les dimensions principales de cette machine sont indiquées dans le tableau I, col. 7.

*Description de cette locomotive.* — Les détails dans lesquels je suis entré (voir pages 276 et suiv.) à propos des diverses parties de la locomotive à grande vitesse de la société A.-H. des chemins de fer de l'État me permettront de ne donner ici qu'une description sommaire de la machine catégorie IV f' de la même société.

*Disposition du mécanisme.* — Les cylindres sont extérieurs, la distribution est intérieure.

*Foyer.* — Le foyer est du type Belpaire. Le troisième essieu accouplé est placé sous la boîte à feu.

*Chaudière.* — La construction de la chaudière est analogue à celle de la locomotive catégorie I b. Mais la machine catégorie IV f' n'a qu'un seul dôme tandis que l'autre locomotive en a deux.

*Mécanisme.* — Cette locomotive est pourvue d'une coulisse de Stephenson à barres droites.

*Roues et essieux.* — L'essieu du milieu, qui est l'essieu moteur, porte l'excentrique de commande des tiroirs. Pour faciliter le passage dans les courbes on a donné à l'essieu d'avant un jeu latéral total de 14 millimètres. Une sablière placée de chaque côté de la chaudière envoie un jet de sable, en avant des roues du premier essieu.

*Châssis.* — Le châssis est simple et intérieur.

*Contre-vapeur.* — Cette machine est munie d'un appareil Le Chatelier.

*Tender.* — (Tab. II, col. 4). La caisse à eau du tender, au lieu d'être en fer-à-cheval comme dans celui de la locomotive à grande vitesse de la même société, occupe toute la plate-forme du véhicule et reçoit le charbon sur son couvercle. Cette disposition a semblé préférable aux ingénieurs de la société qui lui attribuent l'avantage de permettre une augmentation notable de la capacité du tender sans obliger à exagérer la hauteur de la caisse à eau dont les tôles, dans certains tenders des machines de la catégorie I, se sont voilées au bout de deux ans de service. Il faut remarquer que, dans le tender de la locomotive catégorie IV f', la caisse à eau plonge, à sa partie inférieure, entre les roues, au-dessus desquelles ses parties latérales sont supportées par un double châssis extérieur.

*Attelage.* — L'attelage à tige centrale et à ressort a remplacé un système analogue à l'attelage Polonceau, qui était encore employé il y a quelques années.



*Locomotive de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État. Catégorie IV s (type 1889). Compound à six roues accouplées.*

*Programme d'après lequel ce type a été établi.* — La locomotive catégorie IV s compound établie d'après le même programme que la locomotive catégorie IV f' dérive d'un type construit en 1873 sous le nom de catégorie IV s. Cette ancienne machine était plus faible que la locomotive catégorie IV f'; elle ne développait, en effet, qu'un effort de traction  $\left(0,65 \frac{p d^2 l}{D}\right)$  de 5<sup>t</sup>,184, inférieur de plus de 10 p. 100 à celui dont la machine catégorie IV f' est capable (5<sup>t</sup>,876).

Les résultats défectueux donnés, en 1884, par la locomotive compound Webb, dont il a été question plus haut (voir page 289), ont déterminé la société A.-H. des chemins de fer de l'État à transformer en machines compound du type Mallet deux vieilles locomotives, l'une appartenant à la catégorie IV s (type 1873), l'autre à la catégorie V (type 1878). Ces machines qui, il y a quelques mois encore, se trouvaient dans les ateliers de la société, à Simmering, n'ont été mises en service que vers la fin de l'année 1889 et aucune expérience directe n'a pu encore être exécutée sur leur mode de travail. Quoiqu'il en soit il est intéressant :

1° De définir les types anciens qui ont été l'objet de cette transformation ;

2° De décrire le dispositif qui leur a été appliqué ;

3° De calculer l'effort de traction que les machines transformées sont capables de développer.

Il ne sera question ici que de la locomotive catégorie IV s, la locomotive catégorie V sera étudiée à la place que la classification adoptée (voir page 253) lui a assignée parmi les machines des trains de marchandises.

I. *Dimensions principales de la locomotive catégorie IV s (type 1873).* — Cette locomotive à six roues accouplées toutes placées à l'avant du foyer, avait les dimensions principales réunies dans le tableau I (col. 8) :

Les cylindres sont extérieurs et la distribution intérieure. Le foyer est du type Becker. La machine est munie d'un appareil Le Chatelier.

II. *Application du système Mallet à la locomotive catégorie IV s.* — La transformation que l'on a fait subir à cette locomotive a consisté : 1° à substituer à l'un des cylindres un cylindre de diamètre plus considérable ; 2° à établir sur un côté de la boîte à fumée une soupape de démarrage ; 3° à adapter à la machine un régulateur auxiliaire avec détendeur ; et 4° une commande de distribution spéciale au grand cylindre.

1° *Cylindre de détente.* — On conserva comme petit cylindre un des cylindres de l'ancienne machine (0<sup>m</sup>,421 de diamètre) et on prit 0<sup>m</sup>,600 pour le diamètre du grand cylindre. On conserva d'ailleurs pour la course du piston la valeur de 0<sup>m</sup>,632. La Pl. IX donne un dessin schématique de l'ensemble du dispositif. J'y ai représenté en hachures dans la *fig. 10 a* le mode d'action simultané de la vapeur dans les deux cylindres et dans la *fig. 10 b*, j'ai distingué, au moyen de deux sortes de hachures différentes, le fonctionnement séparé de chaque cylindre quand la locomotive ne marche pas en compound.

Le rapport des volumes des deux cylindres est de 2,05.

Il importe tout d'abord de vérifier si les dimensions données à ces cylindres conviennent aux conditions d'établissement d'une machine de ce genre.

(a) *Diamètre du petit cylindre.* — Il faut tout d'abord que le petit cylindre soit assez grand pour débiter la quantité totale de vapeur que produit la chaudière.

Or, pour satisfaire à la première condition, il suffit de

régler convenablement la valeur de la fraction de la course  $e_1$ , pendant laquelle on admet la vapeur dans le petit cylindre; il convient toutefois de constater que pour les vitesses comprises entre 20 et 35 kilomètres, la valeur de  $e_1$ , que l'on est conduit à adopter pour remplir ce desideratum, n'est pas trop élevée. Le premier élément à calculer est la quantité de vapeur produite par heure. J'emploierai pour cela la formule  $324\sqrt{cg}$  dans laquelle  $c$  représente la surface de chauffe et  $g$  la surface de grille. Dans le cas actuel on a :

$$c = 120, \\ g = 1,68.$$

La valeur de l'expression  $324\sqrt{cg}$  est donc ici 4.568 kilogrammes, soit 4.600 kilogrammes en nombres ronds.

Supposons que la vitesse soit de 20 kilomètres à l'heure. Les roues ayant  $1^m,264$  de diamètre, c'est-à-dire la machine parcourant à chaque tour de roue une longueur égale à  $\pi \times 1,264 = 3^m,96$  le nombre de tours de roues (ou de coups de piston) par heure sera :

$$\frac{20.000}{3,96} = 5555,5.$$

Le volume  $V$  que le piston du petit cylindre engendre par heure est égal à  $2 \times 5555,5 = 11111$  fois le volume de ce cylindre. Ce dernier volume est :

$$\frac{\pi \times 0,421^2 \times 0,632}{4} = 0^m,0875.$$

Le volume  $V$  est donc  $11111 \times 0,0875 = 972^m,2$ .

D'ailleurs le poids de 1 mètre cube de vapeur à la pression absolue de 10 kilogrammes étant  $5^k,27$  les 4.600 kilogrammes de vapeur que la chaudière fournit par heure occupent un volume égal à :

$$\frac{4.600}{5,27} = 872^m,8.$$

Le rapport  $e_1$ , à la course totale du piston, de la longueur parcourue par le piston pendant l'admission dans le petit cylindre est donc :

$$\frac{872,8}{972,2} = 0,89.$$

On obtient par le même procédé les valeurs suivantes de  $e_1$  correspondantes aux vitesses voisines de celles que la locomotive, catégorie IV s, pour trains mixtes, est appelée à prendre :

$e_1$	$v$
0,89	20
0,80	22,25
0,59	30
0,50	35
0,45	40

Comme, d'ailleurs, les dispositifs des machines ne permettent pas une admission supérieure à 0,80, on voit que pour les faibles vitesses les petits cylindres peuvent être considérés comme ayant un diamètre un peu faible mais qu'ils conviennent parfaitement aux vitesses plus grandes (1).

(b) Rapport des volumes des cylindres. — Une condition intéressante à remplir est l'égalité du travail développé dans le grand et le petit cylindre. Cherchons dans quelles limites et pour quelles vitesses la machine en question remplit cette condition. Soient :

(\*) La formule  $324\sqrt{cg}$ , qui a servi de base à ce calcul, ne donne qu'une valeur moyenne de la quantité de vapeur produite par heure. En activant le feu, cette production peut devenir plus considérable. En particulier, dès qu'elle atteint une valeur égale à  $5,27 \times 972,2 = 5.123,594$  le rapport  $e_1$  devient égal à l'unité, chiffre inadmissible dans les conditions du problème. C'est là une preuve de la moindre élasticité de la locomotive compound comparée à la locomotive ordinaire.



$h$  la pression absolue à laquelle la vapeur entre dans le petit cylindre;

$h'$  la pression absolue (supposée constante pendant que les roues font un tour) de la vapeur dans le réservoir intermédiaire entre les deux cylindres;

$h''$  la pression absolue de la vapeur après détente dans le petit cylindre au moment de l'ouverture à l'échappement;

$p$  la contrepression pendant l'échappement du grand cylindre;

$V_1$  le volume du petit cylindre;

$V_2$  le volume du grand cylindre;

$\frac{V_2}{V_1} = R$  le rapport de leurs volumes;

$e_1$  le rapport, à la course totale du piston, de la longueur parcourue par le piston pendant l'admission dans le petit cylindre;

$e_2$  le rapport, à la course totale du piston, de la longueur parcourue par le piston pendant l'admission dans le grand cylindre.

On a d'ailleurs approximativement d'après la loi de Mariotte :

$$\left. \begin{aligned} h'' &= h e_1, \\ R h' e_2 &= h''. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Le travail  $T_2$  développé dans le grand cylindre est :

$$T_2 = V_2 h' e_2 \left( 1 - \frac{p}{h' e_2} - 2,3026 \log e_2 \right).$$

Le travail  $T_1$  développé dans le petit cylindre est :

$$T_1 = V_1 h e_1 \left( 1 - \frac{h'}{h e_1} - 2,3026 \log e_1 \right).$$

Pour que ces deux travaux soient aussi près que possible de l'égalité, il suffit que leur différence  $\Delta = T_1 - T_2$  soit aussi petite que possible. Or, on a :

$$\begin{aligned} \Delta &= T_1 - T_2 \\ &= V_1 h e_1 \left( 1 - \frac{h'}{h e_1} - 2,3026 \log e_1 \right) - V_2 h' e_2 \left( 1 - \frac{p}{h' e_2} - 2,3026 \log e_2 \right), \\ \text{où :} \\ \Delta &= V_1 \left[ (h e_1 - R h' e_2) - h e_1 \times 2,3026 \log \frac{e_1}{e_2} - \frac{h''}{R e_2} + R p \right]. \end{aligned}$$

Remarquant d'ailleurs que d'après (1) on a :

$$\left. \begin{aligned} h e_1 - R h' e_2 &= 0, \\ h'' &= h e_1, \end{aligned} \right\}$$

on a :

$$\Delta = V_1 \left[ h e_1 \left( 2,3026 \log \frac{e_2}{e_1} - \frac{1}{R e_2} \right) + R p \right].$$

Pour que  $\Delta = 0$  il suffit que la parenthèse [ ] soit nulle, c'est-à-dire que :

$$e_1 \left( 2,3026 \log \frac{e_2}{e_1} - \frac{1}{R e_2} \right) + \frac{p R}{h} = 0. \quad (2)$$

D'ailleurs on peut prendre  $p = 1^k, 3$ .

De plus, en admettant une chute de pression de  $0^k, 5$  entre la chaudière et le petit cylindre, on a :

$$h = 9,5.$$

Enfin :

$$R = 2,05.$$

On en déduit :

$$\frac{p R}{h} = 0,2665,$$

et l'équation (2) devient :

$$e_1 \left( 2,3026 \log \frac{e_2}{e_1} - \frac{1}{2,05 e_2} \right) + 0,2665 = 0,$$

ou en posant :

$$\left. \begin{aligned} e_1 \left( 2,3026 \log \frac{e_2}{e_1} - \frac{1}{2,05 e_2} \right) &= -S, \\ S - 0,2665 &= 0. \end{aligned} \right\}$$

On peut dresser un tableau des valeurs de  $S$  quand on fait varier les deux quantités  $e_1$  et  $e_2$ . Ces quantités toutefois ne peuvent dépasser certaines limites. En effet :

1°  $e_1$  et  $e_2$  doivent être toujours inférieurs à l'unité et positifs ;

2°  $e_2$  doit être supérieur ou égal à l'inverse de  $R$  ; car il faut évidemment que  $h' \leq h''$ . Donc (1) il faut  $e_2 \geq \frac{1}{R}$  c'est-à-dire dans le cas actuel  $e_2 \geq 0,48$  ;

3°  $e_2$  doit être  $< 0,8$ , en raison des dispositions du mécanisme.

4°  $e_1$  ne doit avoir que les valeurs correspondantes aux vitesses que peut prendre la machine eu égard à son type (machines pour trains mixtes), soit 20 à 45 kilomètres à l'heure environ.

En dressant le tableau des valeurs de  $S$  j'ai trouvé, pour les valeurs limites de  $e_2$ , les valeurs suivantes de  $e_1$ , comme correspondant le mieux à l'équation  $S = 0.2665$  :

$e_1$	$e_2$	$S$
0,37	0,48	0,2600
0,38	0,48	0,2752
0,64	0,80	0,2196
0,65	0,80	0,2670

On voit donc que les valeurs limites de  $e_1$  sont :

1° Un nombre compris entre 0,37 et 0,38 ;

2° Un nombre compris entre 0,64 et 0,65.

Ces nombres correspondent le premier à une vitesse de 46 kilomètres, le deuxième à une vitesse de 27 kilomètres à l'heure. C'est entre ces limites que l'on peut obtenir l'égalité aussi parfaite que possible du travail développé dans chaque cylindre. Ce sont bien les vitesses qui correspondent aux trains mixtes pour lesquels la machine a été construite.

Reste à évaluer la chute de pression entre les petits cylindres et le réservoir intermédiaire et à déterminer les valeurs de la vitesse pour lesquelles elle est minima.

Or cette chute de pression a pour expression  $h'' - h'$ . Pour qu'elle fût nulle il faudrait  $h'' = h'$  ou, comme d'après (1), on a :

$$R h' e_2 = h'',$$

il faudrait :

$$R e_2 = 1,$$

ou :

$$e_2 = \frac{1}{R} = 0,48,$$

c'est-à-dire, d'après le tableau qui précède,  $e_1 = 0,38$  valeur à laquelle correspond une vitesse de 46 kilomètres à l'heure.

On voit donc, en résumé, que le rapport  $R = 2,05$  convient parfaitement aux trains mixtes de vitesse comprise entre 27 et 46 kilomètres à l'heure et en particulier pour les valeurs de la vitesse voisines de ce dernier chiffre.

2° Soupape de démarrage. — La boîte à soupape de démarrage qui est placée sur la gauche de la boîte à feu (à droite de laquelle se trouve le grand cylindre) porte trois tubulures (Pl. IX, *fig. 10 a* et *10 b*) : la première A qui reçoit le tuyau d'échappement du petit cylindre, la seconde B destinée à un tuyau de communication avec le réservoir intermédiaire, la troisième C qui débouche dans un des orifices du tuyau d'échappement. L'échappement du petit cylindre peut donc avoir lieu ou dans la cheminée ou dans le grand cylindre suivant la position des soupapes M et N installées dans la boîte à soupapes. La soupape N est équilibrée par un piston qui se meut dans la partie alésée de la boîte. On voit que, si la soupape M repose sur son siège, la soupape N assure la communication directe avec l'échappement et réciproquement. La boîte porte une soupape S chargée à 5 kilogrammes pour limiter la pression dans le réservoir intermédiaire ; elle a pour principal objet d'empêcher les effets nuisibles de la contre-pression en vertu de laquelle la vapeur viendrait fermer la soupape M. Le tuyau issu de B, qui forme réservoir intermédiaire, passe autour et au-dessus de la partie antérieure de la boîte à feu et débouche dans une tubulure placée en avant de l'échappement du grand cylindre.



3° Régulateur auxiliaire et détenteur. — Une des branches du tuyau de vapeur qui vient du régulateur se rend sur la gauche vers le petit cylindre ; l'autre branche, qui est très courte, se rend à la tubulure D qui débouche dans la caisse d'un petit régulateur à tiroir commandé par une tige placée à portée du mécanicien. Si ce petit régulateur est ouvert, la vapeur issue de D peut, en le traversant, atteindre le détenteur. Celui-ci se compose d'un piston différentiel percé d'ouvertures qui assurent le passage et la détente de la vapeur. A sa sortie en E, c'est-à-dire à son entrée dans le réservoir, la vapeur sera donc à une pression bien inférieure à celle qu'elle avait dans la chaudière. Si l'on désigne, en effet, par D le diamètre du grand piston du détenteur, par  $d$  celui du petit piston du même appareil, par  $p$  la pression absolue dans la chaudière, et par  $x$  la pression absolue à la sortie du détenteur, on a :

$$x = \frac{(D^2 - d^2)p \times 1,033}{D^2},$$

et si l'on prend :

$$\begin{aligned} D &= 0,120, \\ d &= 0,084, \end{aligned}$$

on aura pour les pressions effectives  $p'$  et  $x'$  correspondantes à  $p$  et  $x$  les valeurs suivantes :

$p' = 10$	$x' = 5,1$
9	4,6
8	4,1
7	3,6
6	3,1

Comme les cylindres de la machine sont à peu près dans le rapport de 1 à 2, il s'ensuit que la vapeur arrivera dans le grand cylindre à une pression inférieure à peu près de moitié à la valeur qu'elle atteint dans la chaudière.

Le tiroir du régulateur auxiliaire porte un deuxième

tiroir de petites dimensions qui glisse sur une des faces du couvercle de la caisse. L'objet de ce petit tiroir est de mettre en communication par le trou Y, tantôt avec la vapeur de la chaudière, tantôt avec l'air atmosphérique, l'ouverture X pratiquée dans le couvercle. Quand ce régulateur auxiliaire est fermé, l'ouverture X communique avec la chaudière ; quand il est ouvert, elle communique avec l'air atmosphérique. Dans ce dernier cas, par exemple, la vapeur, traversant le régulateur ouvert, arrive au détenteur et pénètre par la tubulure E dans le réservoir intermédiaire et dans la boîte à soupapes de démarrage ; elle agit alors sur la soupape M avec une pression supérieure à celle de la vapeur sortant du petit cylindre ; la soupape M se ferme donc, et l'échappement du petit cylindre se trouve en même temps mis en communication, par N, avec la cheminée. Un tuyau de cuivre de 15 millimètres de diamètre, qui traverse en X le couvercle du régulateur, est percé d'ouvertures Z qui, en mettant la face postérieure du piston en communication avec Y et l'air extérieur, facilitent le déplacement des soupapes M et N. Inversement, si l'on ferme le régulateur auxiliaire de la machine en pleine marche, l'aspiration du grand cylindre détermine un abaissement de pression dans le réservoir intermédiaire ; la vapeur entre par le tuyau XZ et presse le piston P ; la pression que la vapeur d'échappement du petit cylindre exerce sur la différence de section des soupapes M et N, détermine l'ouverture de la soupape M et la fermeture de la soupape N ; la locomotive fonctionne alors comme machine compound. Le mécanicien peut donc, en agissant sur la commande du régulateur auxiliaire, réaliser à volonté la marche en compound ou la marche ordinaire.

4° Distribution du grand cylindre. — Pour que le fonctionnement soit satisfaisant il faut, comme je l'ai dit, que

L'admission dans le grand cylindre ne soit jamais inférieure au rapport des volumes des cylindres, c'est-à-dire, dans le cas actuel, ne soit jamais inférieure à 50 p. 100. L'admission peut, au contraire, descendre au-dessous de cette valeur dans le petit cylindre.

On a donc appliqué à la machine une disposition permettant de donner au grand cylindre une admission ne tombant pas au-dessous de 0<sup>m</sup>,50, tandis que celle du petit cylindre peut descendre à 0<sup>m</sup>,30. On a dès lors laissé sans la modifier la distribution du petit cylindre, c'est-à-dire que le levier de manœuvre de la coulisse reste calé sur l'arbre de distribution (voir Pl. XIII, *fig. 6 et 6 a*). Le levier de manœuvre de droite (le grand cylindre est placé sur le côté droit de la machine) est fou sur ce même arbre. Sur ce dernier est calé un levier à fourche qui se termine par un coulisseau mobile à l'intérieur de la coulisse d'un levier B. Ce levier est calé sur un arbre intermédiaire dont les coussinets sont boulonnés d'un côté au longeron, et de l'autre à une plaque de tôle rivée sur les supports de chaudière. L'arbre sur lequel le levier B est calé porte latéralement un levier C, qui transmet au levier D, par deux courtes bielles, le mouvement qui résulte du déplacement du coulisseau dans la coulisse B.

L'arbre auxiliaire porte un contrepoids destiné à remplacer celui qui, dans la machine primitive, se trouvait sur l'arbre de distribution, et qu'on a dû supprimer lors de la transformation.

Comme d'ailleurs pour les deux cylindres il fallait obtenir une admission plus considérable que celle dont on disposait dans la machine ancienne, on a modifié la distribution de façon à assurer une admission pouvant atteindre 0<sup>m</sup>,80. Dans ce but, et afin d'obtenir en même temps de plus larges lumières et de plus faibles compressions, on a augmenté la course de l'excentrique du

cylindre de basse pression et diminué l'angle d'avance à l'admission et les recouvrements des tiroirs des deux cylindres. Il convient enfin de signaler, sur la boîte de la soupape de démarrage, l'existence d'une petite tubulure placée derrière la soupape M et destinée à recevoir un manomètre indiquant au mécanicien la pression dans le réservoir.

III. *Puissance de la machine transformée.* — M. de Borries a proposé, pour le calcul de l'effort de traction des machines compound à deux cylindres dont les volumes sont dans le rapport de 1 à 2, la formule :

$$\frac{0,55 p d^2 l}{2D}$$

dans laquelle

- d'* est le diamètre du grand cylindre,
- D* le diamètre des roues motrices,
- p* le timbre,
- l* la course du piston,

Appliquée au cas actuel, cette formule donne :

$$4^{\text{t}},455.$$

### 3° Locomotives pour trains de marchandises.

*Locomotive des chemins de fer du sud de l'Autriche. Série 32° (type 1889), à six roues accouplées.*

Cette locomotive, qui fait le service des trains de marchandises sur des lignes à faibles rampes, remorque les trains de voyageurs sur les voies accidentées du Brenner et du Semmering. Il semble donc préférable de n'en discuter les dimensions et la puissance qu'après avoir donné les éléments caractéristiques des profils sur lesquels elle doit circuler, et par suite d'en renvoyer l'étude à la partie de ce mémoire qui est relative aux lignes à fortes rampes (voir plus loin, page 327).



*Locomotive de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État.  
Catégorie V (type 1889), Compound à huit roues accouplées.*

*Programme d'après lequel ce type a été établi.* — La locomotive catégorie V compound (type 1889) dérive d'une machine de la même catégorie construite en 1875, à laquelle on vient d'appliquer le système compound en même temps qu'à la locomotive catégorie IV s pour trains mixtes. Cette locomotive catégorie V (type 1875) a été construite pour être capable de remorquer, sur des rampes de 10 millimètres, des trains de 400 tonnes marchant à une vitesse effective de 15 kilomètres à l'heure, et sur des rampes de 15 millimètres des trains de 300 tonnes marchant à la même vitesse.

Sous le bénéfice des remarques que j'ai faites ci-dessus (voir page 300) à propos de la transformation en machine compound de la locomotive catégorie IV s, je donnerai d'abord une description sommaire de la machine catégorie V non compound; puis sans m'attacher à la description du dispositif de transformation en locomotive compound, qui est le même que pour la machine catégorie IV s, je discuterai simplement les dimensions des cylindres; enfin je calculerai la puissance de la machine transformée.

*I. Description de la machine catégorie V (type 1875).* — La machine catégorie V (type 1875) (Pl. XII, fig. 4 et 4 a) est une locomotive à huit roues accouplées; les essieux, dont le troisième est moteur, sont tous placés en avant du foyer.

Les principales dimensions de cette locomotive sont contenues dans le tableau I (col. 9).

Les cylindres sont extérieurs, la distribution est intérieure avec coulisse de Gooch à barres droites.

L'essieu d'avant et l'essieu d'arrière ont chacun un jeu

latéral total de 20 millimètres, en vue de faciliter le passage dans les courbes.

Les autres détails de construction sont les mêmes que ceux qui ont été donnés ci-dessus à propos des locomotives catégorie I, I a, I b, de la société A.-H. des chemins de fer de l'État (voir ci-dessus, page 272 et suivantes).

*II. Application du système Mallet à la catégorie V.* — La locomotive transformée en compound est une machine à deux cylindres, comme la locomotive catégorie IV s transformée.

Les dimensions que l'on a données aux cylindres sont 0<sup>m</sup>,470 (diamètre ancien conservé) pour le petit cylindre, et 0<sup>m</sup>,665 pour le grand. On a conservé la même course aux pistons (0<sup>m</sup>,632).

Le rapport des volumes est donc de 2 mètres.

1° *Diamètre du petit cylindre.* — Il convient de s'assurer tout d'abord qu'avec des admissions qui ne dépassent par la limite normalement adoptée 0<sup>m</sup>,80, les petits cylindres peuvent débiter le volume de vapeur fourni par la chaudière.

En adoptant pour le poids de vapeur que la chaudière fournit par heure la formule  $324 \sqrt{cg}$ , dans laquelle  $c$  représente la surface de chauffe et  $g$  la surface de grille, qui, dans le cas actuel, ont les valeurs suivantes :

$$\begin{aligned} c &= 168,5, \\ g &= 1,85, \end{aligned}$$

l'expression  $324 \sqrt{cg}$  prend la valeur 5.728<sup>kg</sup>,60, soit en nombres ronds 5.800 kilogrammes.

Supposons que la vitesse soit de 20 kilomètres à l'heure; les roues ayant 1<sup>m</sup>,185 de diamètre, la machine parcourra, à chaque tour de roue, un chemin égal à

$$\pi \times 1,185 = 3<sup>m</sup>,72.$$

Le nombre de tours de roue par heure sera donc, à cette vitesse :

$$\frac{20.000}{3,72} = 5.376,3.$$

Le volume V, que le piston du petit cylindre engendre par heure à cette vitesse, est donc égal à  $2 \times 5376,3 = 10752,6$  fois le volume de ce cylindre. Or ce dernier est :

$$\frac{\pi \times 0,470^2 \times 0,632}{4} = 0^{\text{m}^3},1047.$$

Le volume V est donc :

$$0^{\text{m}^3},1047 \times 10.752,6 = 1.125^{\text{m}^3},8.$$

D'ailleurs, le poids d'un mètre cube de vapeur à la pression absolue de 10 kilogrammes étant  $5^{\text{kg}},27$ , les 5.728 kilogrammes de vapeur que la chaudière fournit par heure occupent un volume égal à

$$\frac{5.728}{5,27} = 1.086^{\text{m}^3},9.$$

En appelant  $e_1$  le rapport, à la course totale du piston, de la longueur parcourue par le piston pendant l'admission dans le petit cylindre, on voit que la valeur de  $e_1$ , pour laquelle le petit cylindre débitera exactement le volume de vapeur que lui fournit la chaudière est :

$$e_1 = \frac{1.086,9}{1.125,8} = 0,96.$$

En calculant par le même procédé les valeurs de  $e_1$ , correspondant à diverses vitesses, on obtient les résultats suivants :

$e_1$	$v$
0,96	20
0,80	24
0,76	25
0,64	30
0,48	40
0,42	45
0,38	50

Les dispositifs des machines ne permettant pas une admission supérieure à  $0^{\text{m}},80$ , on voit que, pour les vitesses inférieures à 24 kilomètres à l'heure, le diamètre du petit cylindre peut sembler un peu trop faible. Si d'ailleurs ce diamètre a été adopté, c'est afin d'utiliser un des cylindres de l'ancienne machine.

2° Rapport des volumes des cylindres. — J'ai établi, à propos de la locomotive catégorie IV s (voir ci-dessus page 305), la condition que doivent remplir les admissions dans les deux cylindres pour réaliser l'égalité de travail dans chacun d'eux. En conservant aux notations les significations que je leur ai données à cette occasion, j'ai établi que l'on devait avoir :

$$S - \frac{pR}{h} = 0,$$

en posant :

$$S = -e_1 \times \left( 2,3026 \log \frac{e_2}{e_1} - \frac{1}{R e_2} \right),$$

Or, comme ici  $R = 2,00$  au lieu de  $2,05$ , le rapport  $\left( \frac{pR}{h} \right)$  dont la valeur dans le cas précédent était  $0,2665$ , sera dans le cas actuel :

$$\frac{0,2665 \times 2,00}{2,05} = 0,2600.$$

En calculant, comme je l'ai fait dans l'étude de la locomotive catégorie IV s, les valeurs de S pour une série de valeurs de  $e_1$  et  $e_2$ , et en n'admettant que les valeurs de  $e_2$  comprises entre  $e_2 = \frac{1}{R} = 0,50$  et  $e_2 = 0,80$ , on trouve que les valeurs limites de  $e_1$  et  $e_2$  qui satisfont à l'équation :

$$S - \frac{pR}{h} = 0 \quad \text{ou} \quad S - 0,2600 = 0;$$

sont les suivantes :



$e_1$	$e_2$	S
0,37	0,50	0,239
0,64	0,80	0,239

Les valeurs de  $e_1$ , pour lesquelles l'égalité de travail dans les deux cylindres est réalisée de la manière la plus parfaite, sont comprises entre 0,37 et 0,64, c'est-à-dire correspondent à des vitesses comprises entre 50 et 30 kilomètres à l'heure. Nous sommes donc conduits à reconnaître que ce rapport de 2 ne convient que pour les trains de marchandises dont la marche n'est pas inférieure à 30 kilomètres. Ce rapport, dont la diminution aurait pour effet d'abaisser cette limite de 30 kilomètres, peut donc sembler un peu faible pour des trains dont la vitesse, en raison même de leur poids, descend très souvent au-dessous de cette limite.

Quant à la chute de pression qui, entre le petit cylindre et le réservoir intermédiaire, comme on l'a vu, est ( $h'' - h'$ ), on voit que :

1° Son égalité n'est assurée que pour  $e_2 = \frac{1}{R} = 0,50$ ,

c'est-à-dire  $e_1 = 0$  ;

2° Pour la valeur de 31 kilomètres à l'heure, qui est la vitesse la plus ordinaire des trains de marchandises de ce réseau, cette chute de pression a une valeur qui n'est pas négligeable. En effet, en outre des relations établies ci-dessus,

$$R h' e_2 = h'',$$

on a :

$$h'' - h' = h'' \left( 1 - \frac{1}{R e_2} \right),$$

et comme pour la vitesse de 31 kilomètres à l'heure, on a d'après les tableaux précédents :

$$\begin{aligned} e_1 &= 0,62, \\ e_2 &= 0,77, \end{aligned}$$

le coefficient  $1 - \frac{1}{R e_2}$  sera égal à 0,35, c'est-à-dire que la chute de pression sera les 0,35 de la pression absolue  $h''$  de la vapeur après détente dans le petit cylindre au moment de l'ouverture à l'échappement.

III. *Puissance de la machine transformée.* — La formule de M. de Borries  $0,55 \frac{p d'^2 l}{2D}$  qui, comme il a été dit (page 311), convient au calcul de l'effort de traction d'une machine compound à deux cylindres dont les volumes sont entre eux dans le rapport de 1 à 2, et dans laquelle :

- $p$  désigne la pression effective dans la chaudière,
- $l$  la course du piston,
- $d'$  le diamètre du grand cylindre,
- $D$  le diamètre des roues motrices,

donne dans le cas actuel un effort de traction de :

$$5^s,837.$$

## II. LOCOMOTIVES POUR FORTES RAMPES.

Les lignes du Brenner et du Semmering, qui sont exploitées par la compagnie des chemins de fer du Sud de l'Autriche, donnent d'intéressants exemples de traction sur de fortes rampes. La première de ces lignes part d'Innsbrück et aboutit à Bozen. La seconde a pour extrémités Gloggnitz et Mürzzuschlag.

Les tableaux suivants donnent les détails de leurs éléments principaux :

DÉSIGNATION DES STATIONS	DISTANCE de deux stations consé- cutives	DÉCLIVITÉS en millimètres par mètre		RAYON minimum des courbes entre deux stations consé- cutives (en mètres)
		dans la station	entre deux stations consé- cutives	
<i>Ligne du Brenner.</i>				
	kilom.	millim.	millim.	mètres
Innsbrück. . . . .	EC	0		
Unterberg-Stefansberg. . . . .	»	6,048	25	284,50
Patsch. . . . .	E	2,981	25	287,10
Matréi. . . . .	E	9,010	2,5	284,50
Steinach. . . . .	E	4,603	2,5	17,5
Saint-Iodock. . . . .	»	4,403	2,5	284,50
Gries. . . . .	E	4,488	2,5	284,50
Brenner. . . . .	E	5,410	25	284,50
Brennerbad. . . . .	»	3,749	0	22,5
Schelleberg. . . . .	E	4,127	16	22,5
Pfiersch. . . . .	»	4,587	2,5	284,50
Gossensass. . . . .	E	3,923	22,5	284,50
Sterzeng. . . . .	E	5,800	0	22,5
Freienfeld. . . . .	»	4,921	2,5	12
Mauls. . . . .	»	2,851	0	22,5
Grosstein. . . . .	E	3,923	10	20
Mittevald. . . . .	»	3,519	11	16
Franzensfeste. . . . .	EC	3,599	0	22
Franzensfeste (halte militaire). . . . .	»	1,823	3	3
Vahrn. . . . .	»	4,476	3	22,5
Brixen. . . . .	E	3,882	22,5	22,5
Albeins. . . . .	»	3,670	0	15
Wilnos. . . . .	»	4,081	0	10
Klausen. . . . .	»	2,378	7,5	15
Waidbruck. . . . .	E	5,813	0	15
		4,418	2,5	13
				316,10

DÉSIGNATION DES STATIONS	DISTANCE de deux stations consé- cutives	DÉCLIVITÉS en millimètres par mètre		RAYON minimum des courbes entre deux stations consé- cutives (en mètres)
		dans la station	entre deux stations consé- cutives	
	kilom.	millim.	millim.	mètres
Kasteiruth. . . . .	»	3,758	1,5	15
Atzvang. . . . .	»	3,288	2,5	15
Steg. . . . .	»	3,144	6	12
Blumau. . . . .	E	4,893	2,5	13
Kardaun. . . . .	»	2,693	0	13
Bozen. . . . .	EC		0	
<i>Ligne du Semmering.</i>				
Gloggnitz. . . . .	BC	2,854	0	8,5
Schloghmühl. . . . .	»	4,195	8	11
Payerbach. . . . .	E	6,261	2,2	25
Eichberg. . . . .	E	4,062	0	25
Klamm. . . . .	E	5,290	0	25
Breitenstein. . . . .	E	4,254	2,5	25
Wolfsberg-Kogel. . . . .	»	1,287	10	10
Semmering. . . . .	»	4,295	0	21
Steinhaus. . . . .	»	2,806	2,5	22
Spital. . . . .	E	6,241	2	24
Mürzzuschlag. . . . .	EC		2,5	

La lettre E désigne les stations d'alimentation en eau, et la lettre C les stations de dépôt de charbon. Les flèches qui accompagnent les chiffres relatifs aux déclivités sont relatives à la série des parcours pour lesquels l'inclinaison de la voie est de même sens, les stations dont l'altitude est la plus considérable se trouvant du côté de la pointe de la flèche.

*Sections de traction.* — On a pu, d'après le tableau



détaillé des éléments de la voie, diviser chacune de ces lignes en plusieurs sections définies, comme suit :

DÉSIGNATION DE LA SECTION DE LIGNE	LON- GUEUR en kilo- mètres		DÉCLI- VITÉ maxima en milli- mètres par mètre	RAYON mini- mum	PROPORTION	
					des ali- gnements droits dans chaque section	des coubes dans chaque section
1° Ligne du Brenner.	kilom.		millim.	mètres	p. 100	p. 100
Innsbrück-Brenner. . . . .	36,943	Rampe	25	284,5	44,8	55,2
Brenner-Franzensfeste. . . . .	40,999	Pente	22,502	284,5		
Franzensfeste-Brixen. . . . .	40,181	id.	22,5	281,5	53,9	46,1
Brixen-Bozen . . . . .	38,136	id.	15,000	284,5		
2° Ligne du Semmering.						
Gloggnitz-Semmering . . . . .	28,473	Rampe	25	189,6	43,3	56,7
Semmering-Murzzuschlag. . . . .	13,342	Pente	23,81	189,6	71,3	28,7

*Programmes d'après lesquels ont été établis les types de locomotives qui desservent ces lignes.* — Les conditions suivantes étaient imposées aux types de locomotives destinées à exploiter ces lignes :

1° Elles devaient pouvoir circuler dans des courbes dont le rayon descend à 189<sup>m</sup>,60;

2° Elles devaient pouvoir assurer, sur des rampes de 25 millimètres, la remorque de trains dont la vitesse et la charge étaient définies comme suit :

[(Rampes de 25 millimètres) (courbes de 189<sup>m</sup>,60)].

	TRAINS rapides	TRAINS postes	TRAINS de marchandises
Vitesse (kilomètre par heure).	40	34	15
Charge (tonnes). . . . .	130	150	200

On voulait, de plus, que le même type de locomotives (locomotives à voyageurs) pût remorquer les trains rapides et les trains postes; un type spécial devait être affecté au service des marchandises. Les deux types en question datent, l'un de 1889, l'autre de 1883.

*Effort de traction que les machines doivent pouvoir développer.* — On peut se proposer de calculer l'effort de traction dont ces locomotives doivent être capables pour satisfaire à ce programme.

A cet effet, en vertu des chiffres admis pour la résistance des trains aux chemins de fer du Sud de l'Autriche (voir ci-dessus, page 232), on voit que la résistance de la locomotive étant de 12 kilogrammes par tonne, et celle du tender et des wagons de 5<sup>kg</sup>,50 au maximum dans les conditions où l'on se trouve ici, on aura, pour la résistance de chaque catégorie de trains, les valeurs suivantes, dans lesquelles on a désigné par :

$R_1, R_2, R_3$ , la résistance en kilogrammes par tonne des trois genres de trains,

$P$  le poids de la locomotive à voyageurs,

$Q$  le poids du tender de la locomotive à voyageurs,

$P'$  le poids de la locomotive à marchandises,

$Q'$  le poids du tender de la locomotive à marchandises,

$i$  l'inclinaison de la rampe de la voie en millimètres par mètre.

1° Trains rapides . . . . .  $R_1 = P(12+i) + (Q+130)(5,50+i)$ ;

2° — postes. . . . .  $R_2 = P(12+i) + (Q+150)(5,50+i)$ ;

3° — de marchandises.  $R_3 = P'(12+i) + (Q'+200)(5,50+i)$ .

Or si l'on adopte, comme on l'a fait pour les machines dont il est ici question, les valeurs suivantes :

$$P = 42 \text{ tonnes,}$$

$$Q = 30 \text{ —}$$

$$P' = 52 \text{ —}$$

$$Q' = 30 \text{ —}$$

et comme d'ailleurs

$$i = 25$$

on aura, en effectuant les calculs ci-dessus :

$$R_1 = 6,434,$$

$$R_2 = 7,044,$$

$$R_3 = 8,939.$$

Les deux types de locomotives qui satisfont à ces conditions, et dont je vais donner la description, sont l'un une locomotive à voyageurs à six roues accouplées,

construite en 1884 et modifiée en 1889 par les ateliers de la société austro-hongroise des chemins de fer de l'État à Vienne, et désignée aux chemins de fer du sud de l'Autriche sous le nom de série 32 c; elle remorque les trains postes et les trains rapides; l'autre, une locomotive à marchandises à huit roues accouplées, construite en 1883 par les ateliers de Neustadt et désignée sous le nom de série 35 d.

*Charge des trains.* — Les tableaux ci-dessous, que j'ai déduits des horaires des trains qui circulent sur ces lignes, montrent que les conditions imposées ci-dessus sont parfaitement remplies par ces machines. De plus, en se proposant de ne pas dépasser pour  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  les valeurs qui ont été calculées ci-dessus, on peut déduire des formules que je viens de donner pour le calcul de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  la charge des trains remorqués à diverses vitesses sur les rampes d'inclinaison variée que présentent ces lignes.

Les tableaux suivants donnent les chiffres adoptés aux chemins de fer du Sud de l'Autriche :

TABLEAU I

DÉSIGNATION DE LA SECTION DE LIGNE ET SENS de la marche	RAPIDES et express		TRAINS POSTES		TRAINS de marchandises (accélérés)		TRAINS de marchandises		NOMBRE maximum d'essieux	
	avec une seule loco- motive	avec deux loco- motives (1)	avec une seule loco- motive	avec deux loco- motives (1)	avec une seule loco- motive	avec deux loco- motives	avec une seule loco- motive	avec deux loco- motives	avec une seule loco- motive	avec deux loco- motives
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Innsbrück-Brenner. . .	80	150	130	150	175	350 (a)	230	400 (a)	80	80
Brenner-Franzensfeste. .	150	»	150	»	200	400 (b)	250	500 (b)	80	80
Franzensfeste-Brixen. .	150	» (2)	150	» (2)	250	500 (b)	250	500 (b)	100	100
Brixen-Bozen. . . . .	150	»	150	»	500	»	600	»	100	100

(1) Les deux locomotives sont attelées en tête.

(2) Au delà de 150 tonnes les trains doivent être divisés.

(a) Les deux locomotives sont l'une en queue l'autre en tête.

(b) Les deux locomotives sont en tête.

*Observation.* — On peut augmenter la charge indiquée par ce tableau lorsque le mécanicien démontre que cet accroissement est compatible avec la vitesse de marche fixée. Il est alors responsable des retards.

Dans les conditions atmosphériques défavorables, il faut demander une diminution de charge de 25 p. 100.

La charge maxima ne peut jamais être dépassée pour les trains de marchandises. Le poids freiné est de 50 p. 100 pour les trains de voyageurs et de 25 p. 100 pour les trains de marchandises.

TABLEAU II

DÉSIGNATION DE LA SECTION DE LIGNE ET SENS de la marche	RAPIDES et express		TRAINS POSTES		TRAINS MIXTES et de marchandises (accélérés)		TRAINS de marchandises		NOMBRE maximum d'essieux
	avec une seule loco- motive	avec deux loco- motives	avec une seule loco- motive	avec deux loco- motives	avec une seule loco- motive	avec deux loco- motives	avec une seule loco- motive	avec deux loco- motives	
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	
Gloggnitz-Semmering. . .	110 (a)	150	130	150	200	375 (a)	200	400 (a)	70
Semmering-Mürzzuschlag.	150	(b)	150	(b)	200	375 (b)	225	450	70

(a) Dans des conditions atmosphériques favorables, avec du charbon d'Ostrau, on peut aller jusqu'à 130 tonnes.

(b) Au delà de 150 tonnes les trains doivent être divisés.

(a) Les deux locomotives sont l'une en queue l'autre en tête.

(b) Les deux locomotives sont en tête.

*Observation.* — Les conditions de freinage sur cette ligne sont les mêmes que sur celle du Brenner.

*Vitesse des trains.* 1° Vitesse de pleine marche. — Les vitesses de pleine marche des diverses catégories de trains sont définies pour chacune des sections de fraction par les tableaux A et B, dans lesquels  $V_1$  désigne la vitesse moyenne de pleine marche sur la section considérée, et  $V_2$  la vitesse maxima de pleine marche autorisée



sur la même section. Ces vitesses sont toutes exprimées en kilomètres par heure :

TABLEAU A

DÉSIGNATION DE LA SECTION DE LIGNE	RAPIDES		EXPRESS		TRAINS POSTES		TRAINS de marchandises (accélérés)		TRAINS de marchandises	
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>
	Innsbrück-Brenner . . .	25,7	28,3	25,7	28,6	16,9	18,0	11,07	12,3	11,2
Brenner-Franzensfeste . .	34,1	34,1	31,9	35,1	25,6	26,1	15,0	16,6	14,8	16,2
Franzensfeste-Brixen . . .	33,3	33,3	28,5	30,0	23,0	25,0	12,0	12,7	9,6	10,3
Brixen Bozen . . . . .	35,2	35,7	31,1	33,6	31,1	32,2	18,7	20,0	13,6	13,8

TABLEAU B

DÉSIGNATION DE LA LIGNE	RAPIDES		EXPRESS		TRAINS POSTES		TRAINS de marchandises (accélérés)		TRAINS de marchandises	
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>
	Gloggnitz-Semmering . . .	27,5	28,0	24,7	27,5	19,8	21,0	12,7	13,7	11,6
Semmering-Mürzzuschlag .	34,7	34,7	32,0	34,7	22,2	24,2	14,5	16,3	11,6	13,7

On a réglé, d'après ces considérations, les horaires indiqués par les tableaux C et D où j'ai désigné :

1° Par N la durée normale, exprimée en minutes du trajet entre deux stations consécutives (non compris les temps d'arrêt);

2° Par M la durée minima de ce même trajet;

3° Par A la durée en minutes de l'arrêt dans chaque station.

TABLEAU C

	RAPIDES			EXPRESS			TRAINS POSTES			TRAINS de marchandises (accélérés)			TRAINS de marchandises		
	N	M	A	N	M	A	N	M	A	N	M	A	N	M	A
	Innsbrück . . . . .			15			15			20					
Enderberg-Stefansberg . . .	22	20		22	19		33	31		51	46		50	46	
Patsch . . . . .	21	18		21	18		33	31	1	51	46	10	50	46	11
Matrei . . . . .	9	9	4	9	9	4	12	11	5	18	16	20	18	16	20
Steinach . . . . .			1			1			1			5			5
Saint-Iodock . . . . .	22	20		22	19		33	31		50	45		49	45	
Gries . . . . .	12	11		12	11		20	19	1	30	27	10	30	27	10
Brenner . . . . .	9	9	4	10	9	5	11	11	4			23			20
Brennerbad . . . . .	6	6	1	6	5		8	8	1	34	30		33	30	
Schelleberg . . . . .									1			2			1
Pftersch . . . . .	14	14		15	14		21	20		36	33		39	35	
Gossensass . . . . .	11	11	1	11	10	1	14	14	1	25	23	5	27	24	5
Sterzing . . . . .	9	9	1	10	9	2	11	11	1	17	15	5	16	15	45
Freienfeld . . . . .	11	11		12	11		15	15		25	23		24	23	
Mauls . . . . .	12	12		13	12		15	15		26	24		27	24	
Grasstein . . . . .									1						3
Mittewald . . . . .	12	12		13	12		15	15		26	24		27	24	
Franzensfeste . . . . .	4	4	3	4	4	15	5	5	28	7	6	37	7	7	142
Franzensfeste (halte militaire)									1						
Vahrn . . . . .	14	14		17	16		21	19		43	41		53	51	
Brixen . . . . .			1			3			3			35			23
Albeins . . . . .	18	17		21	18		19	18		32	29		33	33	
Wilnos . . . . .									6			4			10
Klausen . . . . .	10	10		11	11		11	11		19	17	24	29	26	13
Waidbruck . . . . .			1			1			2						
Kastelruth . . . . .	14	14		16	14		16	15		28	26		46	42	
Atzwang . . . . .									1						
Steg . . . . .	11	11		12	12		13	12		19	19		30	28	
Blumau . . . . .															5
Kardaun . . . . .	12	12		14	13		15	15		24	23		30	36	
Bozen . . . . .			10			21			10			55			94

TABLEAU D

	RAPIDES			EXPRESS			TRAINS POSTES			TRAINS de marchandises (accélérés)			TRAINS de marchandises		
	N	M	A	N	M	A	N	M	A	N	M	A	N	M	A
Gloggnitz . . . . .			3			3			3			28			
Schloghmühl (halte) . . . . .	13	11		1	11		15	15		22	20		23	21	
Pagerbach . . . . .			1			1			3			2			
Eichberg . . . . .	17	15		15	15		21	19		33	31		36	32	
Klamm . . . . .	11	10		11	10		15	14		25	23		26	23	
Breitenstein . . . . .	14	13	2	12	12	3	17	16		27	25	10	31	27	
Wolfshergkogel (halte) . . . . .	14	13		13	13		18	17	1	27	25		30	26	
Semmering . . . . .			2			1			2			27			
Steinhans (halte) . . . . .	9	8		8	8		11	10		17	15		19	17	
Spital . . . . .	5	5		5	5		8	7		12	11		14	13	
Mürzzuschlag . . . . .	11	10		10	10		17	16	1	26	23	10	30	28	
			8			5			5						

Il importe de calculer la vitesse au-dessous de laquelle il convient de ne pas descendre afin de conserver à la machine une adhérence suffisante.

Or, les ingénieurs des chemins de fer du Sud de l'Autriche admettent que, pour des trains rapides, la production de vapeur par heure est de 40 kilogrammes par centimètre carré de surface de chauffe, et, pour les trains à marche lente, de 25 kilogrammes. Avec une détente de 0,40 qui, d'après les mêmes ingénieurs, correspond à une consommation de 14 kilogrammes de vapeur par cheval et par heure, on voit que, pour une surface de chauffe de  $N$  mètres carrés produisant  $q$  kilogrammes de vapeur par heure, la machine aura développé un nombre de chevaux égal à  $\frac{N \times q}{14} = n$ ,

soit  $n \times 75 = n'$  kilométrètres par seconde.

D'autre part, avec un effort de traction égal à  $F$ , cor-

respondant à une adhérence de  $\frac{F}{P}$ ,  $P$  étant le poids adhérent, on voit que la vitesse par seconde exprimée en mètres sera :

$$v = \frac{n'}{F},$$

et la vitesse en kilomètres par heure sera

$$v' = v \times 3.600.$$

Pour la machine à voyageurs, on a :

$$N = 1.364, \quad q = 40, \quad P = 42.000.$$

Si donc  $\frac{F}{P} = \frac{1}{6}$ , c'est-à-dire :  $F = 7.000$ , on a :

$$v' = 14^{\text{ks}}, 976.$$

Pour la machine à marchandises, on a :

$$N = 170, \quad q = 25, \quad P = 52.000;$$

si donc  $\frac{F}{P} = \frac{1}{6}$ , c'est-à-dire  $F = 8.600$ , on a :

$$v' = 9,504.$$

Les tableaux A et B montrent que l'on n'est pas descendu au-dessous de ces limites.

### 1° Locomotives pour trains de voyageurs.

*Locomotive des chemins de fer du sud de l'Autriche. Série 32° (type 1889) à six roues accouplées.*

*Programme d'après lequel ce type a été établi.* — Le type des locomotives à voyageurs pour fortes rampes des chemins de fer du Sud de l'Autriche (type 1884) devait faire le service de trains rapides et de trains-postes dans des conditions que j'ai définies plus haut (voir p. 322). Il était destiné à remplacer une machine d'un type analogue, mais plus faible, construite en 1878 et désignée sous le nom de série 32°. Cette dernière



locomotive, dont le timbre au lieu d'être de 11, comme dans le type de 1889, n'était que de 10 kilogrammes, n'avait été calculée que pour la remorque, sur les rampes de 25 millimètres de trains de 120 tonnes marchant à une vitesse effective de 20 kilomètres à l'heure, tandis que la machine du type de 1884 est capable de remorquer sur les mêmes profils des trains de 150 tonnes à une vitesse effective de 34 kilomètres. L'effort de traction calculé par la formule  $0,65 \frac{pd^2l}{D}$ , qui était de 7',222 pour la machine de 1878, est de 7.944 dans celle de 1884. Le type de 1884 a d'ailleurs subi en 1889 de légères modifications qui seront mentionnées ci-dessous.

*Dimensions principales.* — Les dimensions principales des types de 1884 et de 1889 ont été réunies dans le tableau I (col. 10 et 11) (\*). Ces locomotives ont trois essieux accouplés, l'essieu moteur étant au milieu. Le même tableau I contient (col. 12) les éléments essentiels d'une locomotive de la compagnie d'Orléans qui est appelée à faire un service analogue à celui des deux machines autrichiennes. Cette locomotive du P.-O., désignée sous le n° 1825, dessert les lignes de Clermont à Tulle, de Clermont à Limoges et de Montluçon à Lagnac, sur lesquelles les rampes atteignent 25 millimètres par mètre, le rayon des courbes descendant jusqu'à 250 mètres. Les trains, dont la charge est de 125 tonnes, sont remorqués à une vitesse effective de 35 kilomètres à l'heure. La locomotive n° 1825 a un essieu porteur à l'avant et trois essieux accouplés, dont le dernier est placé à l'arrière du foyer et dont le second est l'essieu moteur. Comme on imposait à la machine française l'obligation de remorquer les mêmes trains à une allure plus rapide

(\*) Voir *infra*, p. 372<sup>bis</sup>.

dans les parties faciles du parcours, on a été conduit à donner à ses roues un diamètre de 1<sup>m</sup>,500.

*Description comparative de ces machines.* — Les détails que j'ai donné plus haut (voir p. 254 et suiv.), à propos de la locomotive à grande vitesse des chemins de fer du Sud de l'Autriche, me dispensent de reproduire ici la description des organes déjà étudiés dans la précédente machine.

*Puissance de traction.* — Le tableau ci-dessus fait ressortir entre la puissance de traction de la machine de l'Orléans et celle de la locomotive autrichienne actuelle une différence qui est à l'avantage de cette dernière, tandis que l'écart entre les poids adhérents est peu sensible. Ce double résultat tient :

1° Au plus grand diamètre des roues de la machine de l'Orléans (1<sup>m</sup>,500 au lieu de 1<sup>m</sup>,276);

2° Au poids plus considérable de la première de ces deux machines.

L'augmentation, donnée par la compagnie d'Orléans au diamètre des roues motrices de ses machines, était nécessitée par l'obligation qui leur était imposée de marcher à une plus grande vitesse avec les mêmes trains sur les portions moins accidentées de la ligne; et, d'autre part, l'augmentation de poids total résultant de l'allongement donné à ces machines permettait de faire supporter à leurs trois essieux accouplés (qui seuls interviennent au point de vue de l'adhérence, à l'exclusion de l'essieu porteur) une charge à peu près égale à celle que portent les trois essieux accouplés de la locomotive du Brenner et du Semmering. Cet excès de poids est d'ailleurs compensé dans la machine de la compagnie d'Orléans par la légèreté relative du tender, qui, en raison du plus grand rapprochement des stations d'alimentation, n'avait pas à porter des approvisionnements aussi

considérables que les tenders des lignes autrichiennes. Il en résulte que la somme des poids de la locomotive et du tender qui est de 71<sup>t</sup>,650 pour la locomotive du Brenner et du Semmering, ne dépasse pas 72<sup>t</sup>,260 pour la locomotive de la compagnie d'Orléans. Si l'on compare maintenant les deux locomotives autrichiennes de 1884 et de 1889, on constate dans le dernier type une très faible diminution de la puissance de traction. Elle est effectivement égale aux 99/100 de la valeur qu'elle atteignait dans le modèle de 1884, et la raison en est dans la substitution de roues motrices d'un diamètre de 1<sup>m</sup>,276 à celles d'un diamètre de 1<sup>m</sup>,265. Quant au rapport du poids adhérent à l'effort de traction  $\left(0,65 \frac{pd^2l}{D}\right)$ , il est plus considérable pour la machine de la compagnie d'Orléans que pour les deux autres machines. Il convient toutefois de remarquer que, si, à l'effort calculé par la formule  $0,65 \frac{pd^2l}{D}$ , on substitue l'effort de traction maximum (7<sup>t</sup>,044) imposé par les conditions du programme (voir p. 102), on obtient pour le rapport en question le chiffre de 5,9 au lieu de 5,2.

**Disposition du mécanisme.** — Dans la machine de la compagnie d'Orléans, les cylindres et la distribution sont extérieurs. Dans la machine de la compagnie autrichienne, au contraire, la distribution est intérieure; les cylindres seulement sont extérieurs. Il faut en chercher la raison, moins dans un parti pris de renoncer à la disposition extérieure (qui a longtemps caractérisé et caractérise encore les chemins de fer du Sud de l'Autriche) que dans la nécessité de limiter la largeur de cette locomotive. Cette machine doit, en effet, non seulement remorquer des trains de voyageurs sur les lignes à fortes rampes, mais encore traîner des trains de marchandises sur des lignes à profil moins accidenté. Elle doit donc pouvoir

passer dans le gabarit de l'Union des chemins de fer allemands.

**Foyer.** — Le foyer du P.-O. est le foyer Ten-Brinck dont les avantages sont connus. Aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, on a conservé le foyer ordinaire, en se contentant d'en porter la longueur de 1<sup>m</sup>,788 à 1<sup>m</sup>,889, afin d'obtenir, en même temps, qu'une surface de grille plus considérable, une combustion plus complète des gaz. De plus, la nécessité d'un très faible empattement imposée, aux locomotives de cette dernière compagnie, obligeait à placer le foyer en porte-à-faux, si l'on ne voulait ni sacrifier la surface de chauffe, ni placer un essieu sous le foyer. Ces raisons n'existaient pas pour la machine de la compagnie d'Orléans, dans laquelle, d'une part, le rayon des courbes, au lieu de descendre jusqu'à la valeur de 189 mètres, n'est pas inférieur à 250 mètres; et, où, d'autre part, l'emploi du bouilleur Ten-Brinck (que l'on considère aux chemins de fer du Sud de l'Autriche comme compliqué et sujet à de fréquentes réparations) permettait de diminuer la longueur du foyer sans que la surface de chauffe eût à en souffrir. On a donc pu avoir un essieu accouplé en arrière du foyer dans cette locomotive.

La grille de la machine autrichienne se compose de barreaux ordinaires qui ne rappellent en rien les barreaux Raymondière de la machine de l'Orléans. Les entretoises, dont les six rangées inférieures sont en cuivre et les sept rangées supérieures en fer, ne sont perforées qu'à leurs extrémités et sur une longueur de 40 millimètres, tandis que les entretoises de l'Orléans qui sont toutes en cuivre sont percées de part en part.

**Chaudière.** — Dans ces deux locomotives, la chaudière formée de trois viroles est timbrée à 11 kilogrammes de pression effective. Mais, tandis que, dans la machine de l'Orléans, les deux viroles postérieures sont en acier de 13 millimètres d'épaisseur et la virole d'avant en fer de



16 millimètres, la locomotive autrichienne a toutes ses viroles en fer de 1<sup>mm</sup>,5 d'épaisseur. La double rivure est appliquée aux deux machines. L'augmentation du diamètre du corps cylindrique, vers laquelle on tend à la compagnie autrichienne, et, qui a été réalisée dans une plus large mesure à la compagnie d'Orléans, est une preuve de l'importance que l'on attache à accroître l'espace offert à la vapeur qui est, dès lors, moins chargée d'humidité.

Tubes. — La longueur des tubes de la machine de la compagnie d'Orléans et de la locomotive autrichienne du type de 1884 est comprise entre les limites qu'ont déterminées les travaux récents des ingénieurs du P.-L.-M. dont je me suis borné à faire plus haut une mention sommaire (voir p. 277). Les expériences exécutées dans cette dernière compagnie ont conduit aux résultats suivants :

En faisant varier de 7 à 3 mètres la longueur des tubes dans une chaudière ordinaire soumise à la série des essais, on a reconnu que :

1° La quantité d'eau vaporisée par kilogramme de charbon décroît quand on diminue la longueur des tubes, à égalité de tirage; cette diminution, peu sensible entre 7, 6 et même 5 mètres, devient plus considérable entre 5 mètres et 4<sup>m</sup>,50 et surtout entre 4<sup>m</sup>,50 et 4 mètres. Pour les longueurs inférieures à 4 mètres, on a, au contraire, constaté une augmentation progressive assez rapide;

2° La quantité totale, vaporisée dans la chaudière pendant un temps déterminé, croît d'une manière continue lorsque la longueur des tubes est diminuée à partir de 7 mètres. Entre 4 mètres et 4<sup>m</sup>,50, il y a un maximum, à partir duquel cette quantité atteint, pour les tubes de 3 mètres, une valeur légèrement inférieure à celle qui correspond aux tubes de 5 mètres.

Avec des machines dont on cherche à augmenter l'adhérence, il convient de prendre un nombre voisin de 4<sup>m</sup>,50, sans toutefois dépasser notablement ce chiffre;

car, bien que la quantité totale vaporisée reprenne une série des valeurs qu'elle avait au-dessous du maximum compris entre 4 mètres et 4<sup>m</sup>,50, il existe une limite à partir de laquelle on perd plus en puissance que l'on ne gagne en rendement. Si, au contraire, on veut alléger la locomotive, on devra se rapprocher de 4 mètres en évitant de descendre sensiblement au-dessous de cette longueur.

Les expériences de la compagnie P.-L.-M. ayant porté non seulement sur des foyers ordinaires, mais encore sur des foyers Ten-Brinck avec les dimensions mêmes qu'ils ont à la compagnie d'Orléans, il est possible d'appliquer sans erreur à la machine de la compagnie d'Orléans dont il est ici question les résultats obtenus à la compagnie P.-L.-M. Ceux-ci ont été résumés dans des courbes qui permettent de trouver pour chaque genre de foyer et pour chaque longueur de tubes et avec une chaudière de 185 tubes, la quantité de charbon brûlée par heure, la quantité d'eau vaporisée dans le même temps et la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de charbon brûlé. Si les trois locomotives que nous comparons avaient chacune 185 tubes, on aurait le tableau suivant que j'ai déduit directement des courbes représentatives des expériences du P.-L.-M.

Longueur des tubes, m.	LOCOMOTIVES à six roues accouplées du Brenner et du Semmering						LOCOMOTIVE à six roues accouplées de la compagnie d'Orléans		
	1884, foyer ordinaire			1889, foyer ordinaire			1889, foyer Ten-Brinck		
	4,275			3,900			4,439		
Tirage . . . . . mm.	25	45	75	25	45	75	25	45	75
Charbon brûlé par heure . . . . . kg.	436	600	800	450	625	820	420	569	731
Eau va- porisée } par . . . } } kilogr. de } charbon. kg.	4.040	5.334	6.759	4.015	5.300	6.699	4.200	5.513	6.880
	9,25	8,87	8,4	8,99	8,55	8,11	9,875	9,75	9,375

Les chiffres que j'ai réunis dans ce tableau ne sont relatifs qu'à un nombre de tubes égal à 185. On peut donc admettre qu'ils s'appliquent exactement à la machine autrichienne de 1884 qui a 190 tubes; mais, pour les deux autres locomotives qui ont l'une 208, l'autre 246 tubes, ils doivent être transformés sur les bases données également par les expériences du P.-L.-M. Ces expériences ont montré que :

1° La quantité d'eau vaporisée par kilogramme de charbon est indépendante pratiquement du nombre des tubes;

2° Les deux autres quantités varient dans le même sens que ce nombre, mais un peu moins rapidement qu'elles ne le feraient d'après la loi de proportionnalité.

On peut donc admettre les résultats suivants que je me suis borné à calculer pour les tirages de 45 et 75, celui de 25 n'étant presque jamais suffisant dans le service de ces machines. Les deux premières colonnes de ce tableau sont la transcription de la deuxième et de la troisième colonne du tableau précédent, d'après ce qui vient d'être exposé.

	LOCOMOTIVE à six roues accouplées du Brenner et du Semmering				LOCOMOTIVE à six roues accouplées de la compagnie d'Orléans	
	1884, foyer ordinaire		1889, foyer ordinaire		1889, foyer Ten-Brinck	
Longueur des tubes. . . . . m.	4,275		3,9		4,439	
Nombre des tubes. . . . .	190		208		246	
Tirage. . . . . mm.	45	75	45	75	45	75
Charbon brûlé par heure. . . kg.	600	800	684	894	748	742
Eau vapo- risée par	5.334		5.777		7.114	
heure. . . . . kg.	6.759	7.301	7.114	8.875		
kilogr. de char- bon. . . . . kg.	8,87	8,4	8,55	8,11	9,75	9,375

Ces chiffres mettent en évidence les faits suivants :

1° La locomotive de la compagnie d'Orléans a la plus

grande puissance de vaporisation et le rendement économique le plus élevé;

2° La locomotive autrichienne de 1889 dont la puissance de vaporisation est supérieure à celle du type de 1884, a, au contraire, un rendement économique moindre.

Les résultats directs obtenus aux chemins de fer du Sud de l'Autriche dans le service de traction de ces deux locomotives sont d'ailleurs conformes à ceux que j'ai pu déduire des expériences de la compagnie P.-L.-M.

En 1878, lors de la construction du type de locomotive qui a précédé celui de 1884, on dressa effectivement un tableau où l'on prenait pour base un poids de 6<sup>kg</sup>,6 de vapeur produit par kilogramme de coke de Witkowitz dont la puissance calorifique est 88 p. 100 ou 89 p. 100 de celle de la houille, ce qui donne par kilogramme de houille 7<sup>kg</sup>,44 de vapeur. Au contraire, à la même compagnie, on admet aujourd'hui que l'on obtient 7<sup>kg</sup>,2 de vapeur par tonne de houille brûlée. Or, la houille dont il est ici question (steinkohle) est de la houille à 10 p. 100 de cendres d'un pouvoir calorifique de 6.630 calories par kilogramme de houille brute, tandis que le combustible employé dans les expériences de la compagnie P.-L.-M. est formé de briquettes de Mariemont à 4 p. 100 de cendres et d'un pouvoir calorifique de 7.880 calories par kilogramme de charbon brut. Si donc on admet 1,19 comme rapport approximatif des poids de vapeur d'eau fournis par ces deux genres de combustible, on voit qu'au chiffre 7,44 obtenu par les anciennes machines du Sud de l'Autriche, on devra substituer le chiffre 8,86 et au chiffre 7,2 le chiffre 8,57. En comparant ces deux chiffres aux valeurs correspondantes au tirage de 45 millimètres (qui est celui de la marche normale) données pour le poids d'eau vaporisé par kilogramme de charbon dans le dernier tableau, on trouve une concordance satisfaisante



entre les chiffres 8,87 et 8,55 de ce tableau et les chiffres 8,86 et 8,57 que nous venons de calculer.

**Dômes.** — Les dômes de la machine de la compagnie d'Orléans sont au nombre de deux; ils sont réunis par un tuyau extérieur à la chaudière; cette disposition, qui a pour but d'augmenter le volume de la chaudière et de donner de la vapeur plus sèche, n'existe pas aux chemins de fer du Sud de l'Autriche.

**Cheminée.** — Dans le type de 1884, la cheminée présentait un évasement surmonté d'une très courte partie cylindrique et contenant une rose (Pl. XIII, *fig.* 3 et 3*a*) qui présente sur les appareils de ce genre l'avantage, tout en étant très efficace, de ne pas arrêter le tirage d'une manière exagérée. Ce résultat est dû à la forme évasée de l'enveloppe qui entoure la cheminée cylindrique intérieure. En effet, quand on place une rose au-dessus de l'orifice d'une cheminée cylindrique, on ne peut, sans réduire le tirage dans une mesure excessive, rapprocher cette rose des bords de l'ouverture de sortie des gaz, et, d'autre part, si on l'éloigne trop, on lui ôte toute son utilité. Au contraire, avec une enveloppe évasée, il est possible d'éloigner assez la rose de l'orifice de la cheminée pour que le tirage ne soit pas affaibli, et les parties qui terminent l'enveloppe évasée en recouvrant l'espace compris entre cette enveloppe et la cheminée, concourent au même but que la rose, qui joue par suite un rôle efficace sans nuire à la sortie des gaz. Le type de 1889 n'est pas muni de cet appareil auquel on n'a pas absolument renoncé, mais qu'on critique comme un peu encombrant. La locomotive de ce dernier type a une simple cheminée cylindrique en fonte. Elle est fixe au lieu d'être à charnière comme celle de la machine de la compagnie d'Orléans.

**Boîte à fumée.** — Les machines du type 1889 des che-

mins de fer du Sud de l'Autriche sont munies d'une boîte à feu du système « américain » formée d'une capacité en tôle placée au-dessous de la cheminée (Pl. XIII, *fig.* 4). Cette capacité contient une tôle pleine *ab* légèrement inclinée et deux tamis, l'un *bc* horizontal et l'autre *cd* incliné. La tôle *ab* a pour but de forcer les filets gazeux à pénétrer jusqu'à l'axe de la cheminée. Faute de cette disposition, les filets se replieraient avant d'atteindre cet axe, et, dès lors, les filets inférieurs formeraient, à partir de la génératrice de la cheminée la plus voisine du foyer, une sorte de surface verticale qui s'opposerait à l'ascension dans la cheminée des filets horizontaux supérieurs. Une poignée  $\omega$  permet d'imprimer un déplacement horizontal au tamis *bc* lorsque l'on a ouvert l'orifice de nettoyage antérieur.

**Soupape de rentrée d'air.** — La soupape de rentrée d'air, appliquée par M. l'inspecteur général des ponts et chaussées Ricour aux locomotives des chemins de fer de l'État français, existe dans ce type de locomotives autrichiennes.

**Alimentation.** — Deux injecteurs Friedmann, identiques à ceux de la machine à grande vitesse, série 16<sup>b</sup> décrite ci-dessus assurent l'alimentation; à la machine de la compagnie d'Orléans deux injecteurs du système Ernest Polonceau sont employés au même usage.

**Cylindres.** — Il n'y a à signaler dans la machine autrichienne aucune de ces dispositions particulières qui, sous le nom de tiroir-pendule Eugène Dutheil, sont employées à la compagnie d'Orléans. Le graissage des cylindres s'effectue dans ces diverses machines au moyen d'un appareil placé sous la main du mécanicien et composé d'un godet supérieur qui laisse tomber une très faible quantité d'huile dans un tube vertical inférieur, lors-

qu'on tourne un robinet placé au-dessous de ce réservoir. Un jet de vapeur, débouchant dans le tuyau vertical au-dessous du robinet, entraîne vers les organes à graisse, l'huile versée par le godet supérieur. Le « lubrificateur Nathan » n'a pas été appliqué à ces locomotives.

**Mécanisme.** — Renvoyant à ce que j'ai dit plus haut, à propos de la locomotive à grande vitesse 16<sup>b</sup> pour les pistons des locomotives des chemins de fer du Sud de l'Autriche, qui ne présentent pas les dispositions ingénieuses de la machine du P.-O., je me contenterai d'ajouter que la coulisse est une simple coulisse de Stephenson à barres droites et non une coulisse « à avances égales » comme à la machine de la compagnie d'Orléans.

**Graissage des pièces oscillantes.** — On emploie, aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, pour le graissage des pièces oscillantes, un appareil qui mérite d'être signalé. Ce dispositif, représenté par les *fig. 5, 5 a* (Pl. XI), consiste en un réservoir à huile A que l'on remplit par le trou *a* normalement bouché. Le réservoir A est limité à sa partie supérieure par une plaque de tôle perforée *mn* au-dessus de laquelle se trouve l'espace *mnpq* que l'on remplit de laine. Les mouvements de la bielle déterminent le passage de l'huile du réservoir A dans l'espace *mnpq* dont la laine s'imbibe de la matière lubrifiante; le canal *l* conduit cette dernière au tourillon à graisser. Cette disposition est très économique, puisque le passage de l'huile dans la capacité *mnpq*, et, par suite, le graissage n'ont lieu que pendant la durée du mouvement des pièces à lubrifier.

**Suspension.** — La suspension, dans la locomotive autrichienne, a été simplifiée autant que possible. On n'em-

ploie de balanciers qu'à l'arrière; les ressorts voisins du foyer reposent sur les boîtes à graisse par l'intermédiaire d'un balancier transversal. La locomotive française présente, au contraire, un système complet de balanciers; un balancier transversal reliant les ressorts d'avant répartit également la charge entre les deux roues. De plus, des ressorts uniques transmettent, par l'intermédiaire de balanciers, la charge que doivent supporter les roues motrices et les roues accouplées d'avant, entre les essieux desquels la charge se trouve ainsi également répartie. Le châssis est intérieur dans ces trois locomotives.

**Passage dans les courbes.** — Cette tendance à la simplification a fait rejeter aux chemins de fer du Sud de l'Autriche les dispositions particulières (telles que les plans inclinés à 12°, système Louis Dutheil, appliqués à la locomotive du Paris-Orléans) destinées à faciliter le passage dans les courbes.

L'empattement qui, dans la locomotive autrichienne, est inférieur à celui de la locomotive de la compagnie d'Orléans, justifie cette simplification. Les résultats de la statistique ont d'ailleurs permis de reconnaître que l'usure des bandages n'avait rien d'exagéré dans ces conditions. On a effectivement constaté qu'en moyenne, pour ces locomotives, l'usure d'un millimètre de bandage correspond à un parcours de 9.400 kilomètres sur le Brenner et de 8.300 kilomètres sur le Semmering.

**Graissage des boudins de roues d'avant.** — Une des causes de la longue durée des bandages est le graissage des boudins de roues d'avant qui s'opère aux chemins de fer du Sud de l'Autriche au moyen d'un dispositif analogue à celui de la machine de la compagnie d'Orléans (voir Pl. XI, *fig. 3 à 3e*). Un tube en tôle contient à son intérieur une gaine en bois enveloppant une brosse formée de



coton. Ce tube passe à l'intérieur d'une armature dans laquelle il peut se déplacer, grâce à un jeu total de 2 millimètres (1 millimètre de chaque côté). La brosse en coton, ainsi que son enveloppe, n'appuie sur le boudin que par son poids; elle s'use donc moins rapidement que dans la machine d'Orléans, où elle est maintenue au contact du boudin par un ressort, dont la tension est difficile à régler. La distribution de l'huile ne se fait pas non plus de la même manière dans les deux appareils; tandis qu'à Orléans un godet graisseur envoie, par un tube à robinet, l'huile destinée à la brosse, on se contente, aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, de verser un peu d'huile dans la capacité vide M de la partie supérieure de l'enveloppe en tôle. Quand on met pour la première fois l'appareil en service, il faut avoir soin de plonger dans l'huile, jusqu'à parfaite imbibition, la brosse et son enveloppe en bois. La distance qui sépare du boudin de la roue l'extrémité de l'enveloppe en tôle ne doit pas tomber au-dessous de 10 millimètres. Il suffit, quand l'usure de la brosse a produit cet effet, de tirer hors de l'enveloppe en tôle une certaine quantité de l'enveloppe en bois avec la brosse qu'elle contient. L'armature qui porte la brosse doit permettre de déterminer à volonté le point de contact entre celle-ci et le bandage. Cette détermination est assez importante pour que les essais de ce genre de graissage n'aient pu réussir aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, tant que l'appareil n'a pas satisfait à cette condition. On y est arrivé de la manière suivante dans l'appareil construit sous la direction de M. Gölsdorf, inspecteur général du matériel et de la traction de cette compagnie. A l'étrier des ressorts R est boulonnée en F et G la pièce fixe AD portant en A un tourillon qui s'engage dans l'œil d'un levier AC. Ce levier se termine par l'armature dans laquelle passe librement la gaine de tôle qui enveloppe la brosse. Les

diverses positions du levier AC, et par suite de la brosse sont déterminées au moyen d'un boulon K. Le même but a été atteint dans la machine d'Orléans grâce aux rainures dont la patte du support est munie, et qui lui permettent de se déplacer par rapport aux boulons destinés à réunir la patte au châssis. Le tableau suivant fait ressortir l'importance des résultats obtenus par le graissage des boudins des roues d'avant appliqué tant à la locomotive autrichienne du type de 1884 qu'à la locomotive du Paris-Orléans circulant sur les lignes accidentées qui ont été définies plus haut :

	PARCOURS avant usure complète des bandages exigeant un retournage		AUGMENTATION de durée de bandages
	sans graissage des boudins	avec graissage des boudins	
	kilom.	kilom.	p. 100
Locomotive ( du Semmering (1884). à six roues }	12.500	36.000	188
accouplées ( du P.-O., n° 1825. . .	25.000	35.000	40

Attelage. — La simplification, qui est une caractéristique des dispositions adoptées dans le matériel des chemins de fer du Sud de l'Autriche, a fait préférer le système d'attelage « anglais » (voir plus haut, page 260) aux appareils plus perfectionnés dont l'attelage convergent Duthel appliqué à la machine n° 1825 du Paris-Orléans est un type remarquable. Il n'y a d'ailleurs qu'un tampon entre la machine et le tender comme à la locomotive de grande vitesse série 16<sup>b</sup>, tandis que la locomotive française en possède deux.

Roues. — On a adopté dans la locomotive actuelle du Brenner et du Semmering, pour la fixation des bandages, le système Bort déjà décrit (voir page 258), au lieu des agrafes de la compagnie d'Orléans. Quant à l'épaisseur

des bandages, on tend à lui donner une valeur élevée pour éviter une usure trop rapide. On est allé jusqu'à 75 millimètres pour la machine française, tandis que le type de la machine autrichienne n'a que 65 millimètres d'épaisseur.

**Contre-vapeur.** — La machine de 1884 était munie à la fois du frein à vide Smith-Hardy et de l'appareil Le Chatelier. La machine de 1889 n'a qu'un frein à vide. La locomotive d'Orléans a, au contraire, un frein Wenger.

**Sablière.** — Au lieu de la sablière à deux hélices de la locomotive du Paris-Orléans, on essaie aux chemins de fer du Sud de l'Autriche la sablière Holt et Gresham, qui a été décrite sommairement l'année dernière (1888) dans le *Génie civil*, et dont je crois utile de donner les dessins détaillés (Pl. XIII, fig. 5 à 5s).

**Tender.** — Le tender (tabl. II, col. 5, 6, 7) (\*) des chemins de fer du Sud de l'Autriche est à six roues, tandis que celui de la compagnie d'Orléans n'a que quatre roues. De plus, au lieu d'être en fer-à-cheval comme ce dernier, la caisse à eau, placée sous le charbon, occupe toute la projection horizontale du tender. L'augmentation de poids que l'on constate en passant du tender français au tender autrichien, constitue une autre différence qui a été déjà signalée et expliquée.

## 2° Locomotives pour trains de marchandises.

*Locomotive des chemins de fer du sud de l'Autriche. Série 35<sup>d</sup> (type 1883), à huit roues accouplées.*

*Programme d'après lequel ce type a été établi.* — Le type de locomotive à marchandises pour fortes rampes

(\*) Voir *infra*, p. 373.

des chemins de fer du Sud de l'Autriche (type 1883) a été établi d'après les conditions du programme indiqué ci-dessus (voir page 322). Il dérivait d'une locomotive construite en 1873 et désignée sous le nom de série 35; cette dernière machine, timbrée à 9 kilogrammes au lieu de l'être à 10<sup>kgm</sup>,5, comme la locomotive actuelle, ne pouvait développer qu'un effort de traction de  $0,65 \times \frac{pd^2l}{D}$  égal à 8<sup>t</sup>,066, tandis que la valeur de la même expression atteint 9<sup>t</sup>,414 dans le type de 1883. On a donc pu, depuis 1883, en conservant la même vitesse de 15 kilomètres à l'heure, remorquer des trains de 230 tonnes sur des rampes pour lesquelles la charge des trains avait été précédemment fixée à 200 tonnes.

*Dimensions principales.* — Le tableau I (col. 13) (\*) donne les dimensions de cette locomotive série 35 *d*:

Sans entrer dans le détail des diverses parties du type de 1873, depuis l'apparition duquel la construction des locomotives aux chemins de fer du Sud de l'Autriche a fait de notables progrès, je me bornerai à en résumer les dimensions essentielles en leur comparant celles du type de 1883 et en même temps celles d'une série de locomotives de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, destinée à remorquer des trains de marchandises sur des lignes dont le profil rappelle celui du Brenner et du Semmering. Les locomotives de cette série, qui sont désignées sous les numéros 4135 à 4159, ont, comme les locomotives autrichiennes des séries 35 et 35 *d*, huit roues accouplées, l'essieu moteur étant le troisième à partir de l'avant de la machine :

(\*) Voir *infra*, p. 372<sup>bis</sup>.



DÉSIGNATION DES PIÈCES	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche		LOCOMOTIVE des chemins de fer du P.-L.-M.
	Série 35, type 1873	Série 35 d, type 1883	n° 4135-41
<b>Chaudière.</b>			
Grille . . . . .	Longueur . . . . .	2 <sup>m</sup> ,12	2 <sup>m</sup> ,129
	Largeur . . . . .	1,02	1,01
Foyer . . . . .	Surface . . . . .	2 <sup>m²</sup> ,15	2 <sup>m²</sup> ,15
	Hauteur int-rieure . . . . .	1 <sup>m</sup> ,705	1 <sup>m</sup> ,665
Tubes . . . . .	Longueur in-rieure . . . . .	1,505	1,51
	Longueur in-rieure . . . . .	2,061	2,061
	Largeur int-rieure . . . . .	2,12	2,129
	Largeur int-rieure . . . . .	1,066	1,066
Surface de chauffe . . . . .	Nombre . . . . .	1,02	1,01
	Diamètre extérieur . . . . .	205	213
Corps cylindrique . . . . .	Longueur entre les plaques tubulaires . . . . .	0 <sup>m</sup> ,052	0 <sup>m</sup> ,052
	Foyer . . . . .	4,76	4,76
Timbre . . . . .	Pression effective . . . . .	10 <sup>m²</sup> ,7	10 <sup>m²</sup> ,8
	Pression effective . . . . .	159,3	159,2
Dôme . . . . .	Nombre . . . . .	170	170
	Diamètre intérieur . . . . .	14,8	14,7
Boîte à fumée . . . . .	Hauteur au-dessus de la chaudière . . . . .	1 <sup>m</sup> ,43	1 <sup>m</sup> ,48
	Diamètre intérieur . . . . .	4,66	4,66
Cheminée . . . . .	Longueur intérieure . . . . .	0,015	0,016
	Hauteur au-dessus des rails . . . . .	9 <sup>cm</sup> ,5	10 <sup>cm</sup> ,5
Châssis et roues . . . . .	Diamètre int-rieur, à la partie inf-rieure et au sommet . . . . .	1	1
	Hauteur au-dessus des rails . . . . .	0 <sup>m</sup> ,85	0 <sup>m</sup> ,85
Longerons . . . . .	Hauteur au-dessus des rails . . . . .	1,1	1,1
	Longueur totale . . . . .	1,48	1,48
Essieux moteurs et accouplés . . . . .	Distance d'axe en axe . . . . .	1,1	1,1
	Distance d'axe en axe . . . . .	1,2	1,2
Roues motrices et accouplées . . . . .	Distance d'axe en axe . . . . .	1,2	1,2
	Distance d'axe en axe . . . . .	1,2	1,2
Mécanisme . . . . .	Des essieux extrêmes . . . . .	3,75	3,75
	Des essieux extrêmes . . . . .	3,75	3,75
Poids . . . . .	à la jante . . . . .	0,986	0,986
	au contact . . . . .	1,106	1,106
Diamètre des cylindres . . . . .	à la jante . . . . .	0 <sup>m</sup> ,5	0 <sup>m</sup> ,5
	au contact . . . . .	0 <sup>m</sup> ,5	0 <sup>m</sup> ,5
Course des pistons . . . . .	à la jante . . . . .	0,61	0,61
	au contact . . . . .	0,61	0,61
Distance d'axe en axe . . . . .	à la jante . . . . .	2,08	2,08
	au contact . . . . .	2,08	2,08
Tiges des tiroirs . . . . .	à la jante . . . . .	2,2	2,2
	au contact . . . . .	2,2	2,2
Longueur des bielles motrices . . . . .	à la jante . . . . .	2,4	2,4
	au contact . . . . .	2,4	2,4
Locomotive . . . . .	à la jante . . . . .	44,4	45,125
	au contact . . . . .	44,4	45,125
Hauteur d'eau (froide) au-dessus du ciel du foyer . . . . .	à la jante . . . . .	0 <sup>m</sup> ,15	0 <sup>m</sup> ,15
	au contact . . . . .	0 <sup>m</sup> ,15	0 <sup>m</sup> ,15
Poids de charbon . . . . .	à la jante . . . . .	300 <sup>kg</sup>	300 <sup>kg</sup>
	au contact . . . . .	300 <sup>kg</sup>	300 <sup>kg</sup>
Poids de sable . . . . .	à la jante . . . . .	300	300
	au contact . . . . .	300	300
Répartition par essieux du poids . . . . .	à la jante . . . . .	50,75	51,9
	au contact . . . . .	50,75	51,9
en charge . . . . .	à la jante . . . . .	12,76	12,76
	au contact . . . . .	12,76	12,76
Effort de traction 0,65 $\frac{p d^2 l}{D}$ . . . . .	à la jante . . . . .	12,4	12,82
	au contact . . . . .	12,4	12,82
Poids utile pour l'adhérence . . . . .	à la jante . . . . .	13	12,5
	au contact . . . . .	13	12,5
Rapport du poids adhérent à l'effort de traction . . . . .	à la jante . . . . .	43	43
	au contact . . . . .	43	43

Description comparative de ces machines. — Adoptant le même ordre que pour les locomotives déjà décrites, je passerai systématiquement sous silence les détails déjà donnés à propos, soit de la locomotive série 16 b, soit de la locomotive série 32 c des chemins de fer du Sud de l'Autriche.

Puissance de traction. — Les chiffres précédents montrent que, malgré l'augmentation du timbre de la machine autrichienne du type 1873, on n'a pas atteint, dans la locomotive de 1883, une puissance égale à celle de la machine de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, dans laquelle les dimensions plus considérables données aux cylindres et l'élévation du timbre compensent et au-delà le diamètre plus grand des roues motrices.

Poids. — Si l'on compare les poids adhérents, l'avantage reste également à la locomotive de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. Toutefois, les charges sur les deux essieux d'arrière de cette dernière machine sont trop élevées pour les voies autrichiennes, qui n'admettent qu'une charge maxima de 14 tonnes.

Détermination de la charge sur chaque essieu. — La locomotive à huit roues accouplées du Brenner et du Semmering a été soumise à une série d'expériences relative à la répartition de la charge sur ses essieux. Ces expériences ont permis d'établir les variations que l'inclinaison de la voie fait subir à cette répartition. A cet effet, on a placé la machine sur une bascule, et en intercalant successivement sous les différentes roues des plaques de 15 millimètres d'épaisseur, on a obtenu les résultats suivants :

Locomotive, série 35 d, en charge.

Hauteur d'eau (froide) au-dessus du ciel du foyer . . . . .	150 millim.
Poids du charbon . . . . .	300 kilogr.

Poids du sable . . . . .	200 kilogr.
— de l'essieu monté moteur (avec ses bandages) . .	2.300 —
— d'un essieu monté accouplé (avec ses bandages) .	1.650 —
— d'une boîte à graisse . . . . .	100 —

CONDITIONS DE L'EXPÉRIENCE	DÉSIGNATION de la moitié con- sidérée de la locomotive	1 <sup>er</sup>	2 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>	4 <sup>e</sup>	CHARGE sur chaque moitié de la machine	CHARGE totale	
		ESSIEU (accou- plé) (avant)	ESSIEU (accou- plé) (avant)	ESSIEU (moteur)	ESSIEU (accou- plé) (arrière)			
Voie horizontale	au sortir de l'atelier,	Gauche.	tonnes 5,8	tonnes 5,5	tonnes 9,85	tonnes 4,65	tonnes 25,8	tonnes 51,9
		Droite.	6,3	6,25	7,6	5,95		
	après réglage sur la bascule.	Gauche.	6,15	6,35	6,95	6,35	25,8	51,9
		Droite.	6,1	6,6	7,2	6,2	26,1	
Intercalation d'une plaque de 15 <sup>mm</sup> sous les deux roues d'un même essieu.	1 <sup>er</sup> essieu . . .	Gauche.	6,85	4,5	6,3	8,15	25,8	51,9
		Droite.	8,5	4,4	6,25	6,95	26,1	
	2 <sup>e</sup> essieu . . .	Gauche.	3,5	10,6	6,3	5,4	25,8	51,9
		Droite.	3,95	10,55	6	5,6	26,1	
	3 <sup>e</sup> essieu . . .	Gauche.	5,45	4,2	12,3	3,85	25,8	51,9
		Droite.	6,25	4,55	12,5	3,8	26,1	
	4 <sup>e</sup> essieu . . .	Gauche.	6,65	5,95	5,2	8	25,8	51,9
		Droite.	7,9	5,5	5,5	7,2	26,1	
Intercalation d'une plaque de 15 <sup>mm</sup> sur l'une des roues de droite.	1 <sup>er</sup> roue . . .	Gauche.	3,8	5,1	9,9	7	25,8	51,9
		Droite.	9,65	4,5	6,75	5,2	26,1	
	2 <sup>e</sup> roue . . .	Gauche.	4,2	6,7	9,55	5,35	25,8	51,9
		Droite.	4,2	11,2	6,3	4,4	26,1	
	3 <sup>e</sup> roue . . .	Gauche.	5,9	5,7	9,55	4,65	25,8	51,9
		Droite.	5,6	4,7	11,9	3,9	26,1	
	4 <sup>e</sup> roue . . .	Gauche.	6,6	7,1	7,75	4,35	25,8	51,9
		Droite.	6,25	5,35	5,4	9,1	26,1	

Ces résultats montrent : 1° l'influence des inégalités de la voie sur la répartition de la charge ; 2° l'avantage des dispositions telles que les balanciers destinés à ramener vers l'égalité les charges par essieu.

Toutefois, comme on le verra plus loin, l'application de balanciers a été limitée aux essieux d'arrière, l'utilité de ces dispositifs est en effet notablement diminuée dans

cette machine par suite du faible diamètre des roues qui, ne permettant de donner aux balanciers qu'une longueur peu considérable, en réduirait d'autant l'efficacité.

**Position du centre de gravité.** — Quand on voulut déterminer la position du centre de gravité de cette machine, on avait à opter entre deux méthodes : la première consistait à placer la locomotive sur une bascule, et, après détermination des charges sur les essieux et déduction du poids des roues, à calculer par les équations connues les coordonnées du point cherché ; la seconde consistait à soulever la machine par ses deux extrémités et à la faire reposer sur une pièce de fer ronde que l'on déplace jusqu'à obtenir l'équilibre de la locomotive. C'est cette dernière méthode que l'on a adoptée, la première ayant l'inconvénient d'exiger l'emploi de formules où les réactions des ressorts sont supposées verticales, ce qui n'est pas exact. On obtient les résultats suivants :

1° Machine sans eau, complètement outillée, mais sans roues, ni boîte à graisse, ni bielles (motrice ou d'accouplement), ni organes de distribution, en palier ; si  $e$  désigne la distance du centre de gravité à l'essieu moteur (troisième essieu à partir de l'avant) ce point étant supposé placé en avant de cet essieu, on a :

$$e = 0^m,640.$$

2° Machine avec 0<sup>m</sup>,150 d'eau au-dessus du ciel du foyer, en palier ;

$$e = 0^m,562.$$

3° Machine avec 0<sup>m</sup>,150 d'eau au-dessus du ciel du foyer, sur une rampe de 25 millimètres ;

$$e = 0^m,533.$$

4° Machine avec 0<sup>m</sup>,150 d'eau au-dessus du ciel du foyer, sur une pente de 25 millimètres.

$$e = 0^m,595.$$



Ces résultats permettaient d'ailleurs de calculer la charge sur les essieux en s'imposant que la charge afférente à deux essieux, par exemple le premier et le deuxième, eût la même valeur. Les données de problème sont les suivants :

Poids suspendu . . . . .	44,5
— de l'essieu monté moteur . . . . .	2.300 <sup>kg</sup>
— d'un essieu monté accouplé . . . . .	1.650
— d'une boîte à graisse . . . . .	100
Distance d'axe en axe des essieux. $\left\{ \begin{array}{l} 1^{\text{er}} \text{ au } 2^{\text{e}} \\ 2^{\text{e}} \text{ au } 3^{\text{e}} \\ 3^{\text{e}} \text{ au } 4^{\text{e}} \end{array} \right.$	1 <sup>m</sup> ,35
	1 ,2
	1 ,2

Les calculs effectués au moyen des formules connues donnent les résultats suivants pour chacun des trois derniers cas qui seuls se présentent dans la pratique :

		2 <sup>e</sup> CAS $e = 0,562$	3 <sup>e</sup> CAS $e = 0,533$	4 <sup>e</sup> CAS $e = 0,595$
Charge en tonnes . . . . .	du 1 <sup>er</sup> essieu . . . . .	12,48	12,3	12,83
	du 2 <sup>e</sup> — . . . . .	12,48	12,3	12,83
	du 3 <sup>e</sup> — . . . . .	13,85	14,1	13,5
	du 4 <sup>e</sup> — . . . . .	13,18	13,29	12,83

On voit donc que la charge par essieu ne dépasse que dans un seul cas les 14 tonnes imposées comme un maximum pour les voies autrichiennes. Il convient d'observer d'ailleurs que les chiffres inscrits dans le tableau précédent sont, non pas des résultats d'expériences, mais des résultats de calculs dans lesquels on a pris pour point de départ des données approximatives défavorables.

**Disposition du mécanisme.** — Dans toutes ces locomotives, on a donné aux cylindres et à la distribution la position extérieure ; et même à l'époque où l'on adoptait la disposition intérieure pour la distribution dans les machines de la série 32 *c* des chemins de fer du Sud de

l'Autriche, on ne songea point à appliquer cette solution aux locomotives de la série 35. En effet, ces dernières machines étant exclusivement réservées au service du Brenner et du Semmering, l'obligation de satisfaire aux conditions de passage dans le gabarit de l'union des chemins de fer allemands, ne venait pas, comme pour la locomotive de la série 32<sup>e</sup>, imposer à la largeur une limite supérieure.

**Foyer.** — Le foyer, qui est un foyer ordinaire dans ces machines, a été placé en porte-à-faux pour la double raison qui a déterminé l'adoption de la même disposition pour les locomotives à voyageurs, savoir :

1<sup>o</sup> Nécessité d'avoir une grande surface de chauffe, ce qui exige une grande longueur ;

2<sup>o</sup> Obligation, eu égard à la raideur des courbes, de ne pas donner à l'emplacement une valeur trop élevée. Dans la machine de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, on a du moins atténué les inconvénients de ce porte-à-faux en augmentant la largeur du foyer plutôt que sa longueur.

**Chaudière.** — L'élévation du timbre a conduit, dans ces machines autrichiennes, à porter de 15 millimètres à 16 millimètres l'épaisseur des tôles de la chaudière, qui sont en fer comme à la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, où, avec un timbre de 11 kilogrammes, on a adopté une épaisseur de 17 millimètres.

Quant au diamètre de la chaudière, on constate une augmentation de 1<sup>m</sup>,430 à 1<sup>m</sup>,480, et enfin à 1<sup>m</sup>,500, lorsque l'on passe de l'ancienne machine du Brenner et du Semmering à la machine actuelle, et à la locomotive de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. J'ai déjà signalé les avantages de cette augmentation.

**Tubes.** — La longueur des tubes de la locomotive autri-

chienne est comprise à l'intérieur des limites (4 à 4<sup>m</sup>,50) fixées par les expériences de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée (voir page 334). Il n'en est pas de même de celle des tubes de la machine de cette dernière compagnie (n° 4135-4159). Il convient cependant de remarquer que l'on a adopté la longueur de 4<sup>m</sup>,150 dans le type n° 4301-4302 que la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée vient de substituer au type n° 4135-4159, mais dont je ne donne pas les dimensions détaillées parce qu'il appartient à la catégorie des machines compound dont les chemins de fer du Sud de l'Autriche n'offrent aucun exemple. Toutefois, pour comparer la puissance de vaporisation de la machine autrichienne série 35 *d* à celle des deux locomotives françaises (qui ont 245 tubes); il faut tenir compte, non seulement de la longueur, mais du nombre des tubes qui, dans la machine du Brenner et du Semmering, ne dépasse pas 213, chiffre inférieur de plus de 13 p. 100 au chiffre correspondant (245) des deux locomotives du Paris-Lyon-Méditerranée.

Sans reproduire ici les considérations qui ont été développées plus haut à propos de la locomotive à voyageurs pour fortes rampes, je me contenterai de donner les deux tableaux ci-dessous que j'ai établis d'après les mêmes principes et sous la même forme que les deux tableaux de la page 333 et de la page 334.

Le premier tableau est relatif à un nombre de tubes supposé égal à 185 et à des foyers ordinaires, tandis qu'en réalité le type de machines de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée de la série 4301-4302 est muni d'un foyer Ten-Brinck.

	LOCOMOTIVE à huit roues accouplées du Brenner et du Semmering			LOCOMOTIVE à huit roues accouplées de la compagnie P.-L.-M.					
	Série 35 <i>d</i> , foyer ordinaire			n°s 4135-4159, foyer ordinaire			n°s 4301-4302, foyer ordinaire		
	4,76			5,36			4,35		
Longueur des tubes. m.									
Tirage. . . . . mm.	25	45	75	25	45	75	25	45	75
Charbon brûlé par heure. . . . . kg.	420	572	760	380	540	716	433	600	790
Eau vapo- risée par. . . . .	3.950	5.240	6.500	3.800	5.080	6.440	4.039	5.335	6.760
(heure. . . kg. kilogr. de charbon brûlé . . . kg.)	9,5	9,17	8,74	9,76	9,4	8,95	9,3	8,95	8,5

Le second tableau donne les valeurs des mêmes éléments, lorsque l'on a tenu compte du nombre des tubes d'après les principes émis ci-dessus (voir page 334).

	LOCOMOTIVE à huit roues accouplées du Brenner et du Semmering		LOCOMOTIVE à huit roues accouplées de la compagnie P.-L.-M.			
	Série 35 <i>d</i> , foyer ordinaire		n°s 4135-4159, foyer ordinaire		n°s 4301-4302, foyer ordinaire	
	4,76		5,36		4,35	
Longueur des tubes. . . . . m.	213		245		245	
Nombre des tubes . . . . .						
Tirage . . . . . mm.	45	75	45	75	45	75
Charbon brûlé par heure. kg.	657	771	557	945	792	1.042
Eau vapo- risée par (heure. . . . . kg. kilogr. de char- bon brûlé . . . kg.)	6.026	7.475	6.705	8.501	7.042	8.923
	9,17	8,74	9,4	8,95	8,95	8,5

Ce tableau montre l'infériorité, au point de vue de la puissance de vaporisation de la machine autrichienne, qui, à nombre égal de tubes, serait, d'après le premier tableau, supérieure à la machine à tubes de 5<sup>m</sup>,360.

J'ajouterai que les tubes sont en fer, tant à la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée qu'aux chemins de fer du Sud de l'Autriche.



**Dômes.** — Les dômes, dont le nombre est réduit à l'unité dans les diverses machines, ne possèdent pas, dans la locomotive des chemins de fer du Sud de l'Autriche, le diaphragme intérieur qui, dans les machines de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, est destiné à retenir l'eau entraînée par la vapeur.

**Cheminée.** — La cheminée de la locomotive série 35 *d* n'est pas munie de rose, et, au lieu d'être rétrécie intérieurement, comme dans les machines de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, par un noyau central, elle est cylindrique et en fonte comme celle de la locomotive série 32 *c*. Une simple grille à mailles de 4 à 8 millimètres de côté est placée au pied de la cheminée dans la boîte à fumée, qui ne présente aucune autre disposition spéciale.

**Alimentation.** — Les injecteurs de ces locomotives autrichiennes sont des injecteurs Friedmann; ils sont au nombre de deux, comme les injecteurs Kœrting de la machine de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

**Mécanisme.** — La distribution est à coulisse de Stephenson, à barres droites dans les machines du Brenner et du Semmering, au lieu d'être à coulisse de Gooch, comme dans les machines n<sup>os</sup> 4135 à 4159.

**Suspension.** — La suspension, dans la machine à huit roues accouplées des chemins de fer du Sud de l'Autriche, se réduit à un système de huit ressorts, qui sont indépendants pour les deux essieux d'avant, et qui, pour les deux essieux d'arrière, sont réunis par un balancier. Dans les locomotives n<sup>os</sup> 4135 à 4159 de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, la même disposition a été appliquée aux deux essieux d'avant. Le châssis est intérieur dans ces diverses machines.

**Passage dans les courbes.** — Dans la machine autri-

chienne de 1883, comme dans la machine de 1873, on a donné à l'essieu d'arrière un jeu de 20 millimètres de chaque côté, soit un jeu total de 40 millimètres, et à l'essieu d'arrière un jeu de 5 millimètres. On n'a pas cru devoir, en 1883, augmenter la facilité de passage dans les courbes; car d'une part on craignait, comme pour les machines à voyageurs série 32 *c*, une trop grande complication, et, d'autre part, la conservation des bandages (dont l'usure n'atteignait 1 millimètre qu'après un parcours de 5.750 kilomètres sur la ligne du Semmering et de 6.650 kilomètres sur celle du Brenner), pouvait être considérée comme suffisante. Les vitesses plus considérables imposées à la locomotive de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, et le désir de diminuer pour la voie la fatigue résultant du passage de la machine dans les courbes, ont conduit à donner aux coussinets des boîtes à graisse du premier et du quatrième essieu un jeu total de 55 millimètres, et au deuxième et troisième essieu un jeu total de 5 millimètres. On a dû, en conséquence, accepter la complication provenant de l'emploi de coussinets sphériques pour relier les bielles d'accouplement et d'arrière à la bielle du milieu.

**Contre-vapeur.** — A l'appareil Le Chatelier appliqué aux machines de 1873, on a substitué dans la locomotive série 35 *d* de 1883 le frein à vide Smith-Hardy.

Les autres détails de construction de locomotives ou tenders ont été donnés à propos de la machine série 32 *c*.

Indépendamment des types de machines étudiées ci-dessus qui desservent les lignes principales du réseau autrichien de la société A.-H. des chemins de fer de l'État et de celui des chemins de fer du Sud de l'Autriche, il existe, sur ce dernier réseau, un type de locomotives plus faibles destinées à remorquer les trains dits secondaires sur les lignes principales. L'étude de ces machines,

qui font également le service des lignes secondaires, trouvera sa place dans la partie de ce mémoire qui est relative à la « traction sur les lignes secondaires. »

#### B. — TRACTION SUR LES LIGNES SECONDAIRES.

Ainsi que je l'ai dit au début de ce mémoire, il importe de distinguer, au point de vue de la traction, les trains dits secondaires et les lignes dites secondaires. C'est qu'en effet, à la société A.-H. des chemins de fer de l'État, le même matériel de locomotives assure sur les lignes principales le service des trains secondaires aussi bien que celui des trains ordinaires, les locomotives d'un type plus faible étant exclusivement réservées au service des trains sur les lignes secondaires, tandis que, sur le réseau des chemins de fer du Sud de l'Autriche, le matériel spécial affecté à la traction sur les lignes secondaires est également celui qui est employé pour le service des trains secondaires sur les lignes principales. Les locomotives qui constituent ce matériel ont subi dans ces dernières années des modifications intéressantes qui, n'ayant pas été signalées dans les publications plus anciennes, méritent d'être mentionnées ici avec quelque détail.

*Locomotives - tenders des chemins de fer du sud de l'Autriche. Séries 4, 3, 3<sup>a</sup>, 3<sup>b</sup> (types 1880-1883-1884-1886), à quatre roues accouplées.*

*Programme d'après lequel ces types ont été établis. — D'après les considérations qui précèdent, ces locomotives devaient satisfaire au programme suivant :*

1° Assurer la remorque de trains secondaires sur les lignes principales ;

2° Assurer le service des lignes secondaires.

Cette dernière condition imposait à la charge par essieu un maximum qui dépendait des conditions d'établissement de la voie des diverses lignes secondaires dont les rails ne peuvent respectivement supporter que des charges de 9, 10 et 12 tonnes. Si l'on avait voulu avoir des machines capables de circuler indistinctement sur toutes ces lignes, il eût donc fallu que la charge maxima par essieu ne dépassât pas 9 tonnes, et il en serait résulté une grande diminution du poids adhérent, ce qui eût présenté un inconvénient sérieux à cause de l'importance des rampes dont l'inclinaison atteint parfois 25 millimètres. Ce but était cependant rempli par la machine de la série 4 (n<sup>os</sup> 52-58 et 59-64), au type de laquelle on s'arrêta tout d'abord ; dans cette machine, construite en 1880 dans les ateliers de Florisdorf, la charge par essieu n'excédait pas en effet 8,600. Mais on ne tarda pas à reconnaître les avantages que présenterait l'adoption de machines d'un type approprié aux lignes à desservir qui ne sont, en fait, que des embranchements isolés sur lesquels la même machine fait le service en navette.

Un article spécial de l'ordonnance du 1<sup>er</sup> août 1883 sur le service des lignes secondaires, et un article de l'ordonnance du 1<sup>er</sup> avril 1885 sur le service des trains secondaires autorisent la marche de la machine dans les deux sens. Dans ces conditions, un matériel de traction devrait être spécialement affecté à chaque ligne secondaire ou groupe de lignes secondaires. Il n'y avait dès lors que des avantages à faire varier les types de locomotives de manière à les adapter aux conditions d'établissement des voies qu'elles avaient à parcourir. C'est ainsi qu'on s'est arrêté aux trois types suivants : le premier, qui comprend les machines n<sup>os</sup> 11-12 (série 3), construites en 1883 par les ateliers de Florisdorf, n'a pas



d'essieu dont la charge soit supérieure à 9<sup>t</sup>,750; dans le second, auquel se rattachent les locomotives n<sup>os</sup> 13-14 (série 3<sup>a</sup>), que les mêmes ateliers ont livrées en 1884, cette charge ne dépasse pas 9<sup>t</sup>,950; enfin dans le troisième, qui est désigné sous le nom de série 3<sup>b</sup> (machines n<sup>os</sup> 15-17), et que les ateliers de la société A.-H. des chemins de fer de l'État à Vienne ont construits pour les chemins de fer du Sud de l'Autriche en 1885 et 1886, on a atteint par essieu une charge de 11<sup>t</sup>,950. Les deux premiers types conviennent aux voies caractérisées par le chiffre de 10 tonnes, et le troisième fait le service des lignes pour lesquelles la charge de 12 tonnes est un maximum. On étudie d'ailleurs, dans les mêmes ateliers, le projet d'une machine à essieux indépendants dont un seul serait actionné par les pistons.

Quant à la première condition, d'après laquelle la machine devait assurer le service des trains secondaires sur les lignes principales, elle se traduisait par les obligations suivantes imposées à la locomotive :

1<sup>o</sup> Pouvoir passer dans des courbes de 189<sup>m</sup>,60 de rayon ;

2<sup>o</sup> Assurer la remorque, sur des rampes de 25 millimètres, à une vitesse effective maxima de 30 à 35 kilomètres à l'heure, des trains secondaires composés de trois voitures à deux essieux et appartenant à l'un des types suivants :

(a) Wagon américain à couloir intérieur et à quatre compartiments de 10 places chacun, soit en tout 40 places, dont 20 de 1<sup>re</sup> classe et 20 de 2<sup>e</sup>; poids de la voiture, 8<sup>t</sup>,800.

(b) Wagon américain à couloir intérieur et à cinq compartiments, dont les deux extrêmes ont chacun 11 places et les trois autres 12, soit en tout 58 places, toutes de 3<sup>e</sup> classe; poids de la voiture, 8 tonnes.

(c) Fourgon à bagages avec un compartiment pour le service de la poste; poids, 7<sup>t</sup>,5.

On peut donc évaluer à 30 tonnes le poids à remorquer dans les conditions indiquées ci-dessus.

Les machines, séries 4, 3, 3<sup>a</sup>, 3<sup>b</sup>, ont parfaitement réalisé ces conditions.

*Dimensions principales.* — Indépendamment de la question de poids qui différencie les locomotives des séries 4, 3, 3<sup>a</sup>, 3<sup>b</sup>, comme on l'a vu plus haut, on peut établir une distinction entre les locomotives des séries 3, 3<sup>a</sup>, 3<sup>b</sup> et celles de la série 4, ces dernières ayant, à l'exclusion des autres, un compartiment à bagages et trois essieux, dont un essieu porteur à l'arrière, un essieu moteur à l'avant et un essieu accouplé au milieu. Les locomotives des séries 3, 3<sup>a</sup>, 3<sup>b</sup> n'ont, au contraire, que deux essieux, savoir : le deuxième moteur et le premier accouplé.

1<sup>o</sup> Locomotives série 4. — Le mémoire déjà mentionné de M. Polonceau a donné (voir *Annales des mines*, 8<sup>e</sup> série, tome II, 1882) les dessins d'une machine de ce genre. Je me dispenserai donc de les reproduire ici, me contentant d'indiquer les dimensions de deux autres types de cette série n<sup>os</sup> 52-58 et 59-64, en les comparant aux dimensions que donne le mémoire en question.

DÉSIGNATION DES PIÈCES	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche			
	Série 4, voir Annuaire des mines, 1882	Série 4, nos 52-58, type 1880	Série 4, nos 59-64, type 1880	
Surface . . . . .				
{ de grille . . . . .	»	0 <sup>m</sup> 2,72	0 <sup>m</sup> 2,81	
{ de chauffe. { Foyer . . . . .	»	3 ,6	3 ,91	
{ de chauffe. { Tubes . . . . .	»	37 ,1	40 ,44	
{ de chauffe. { Total . . . . .	34 <sup>m</sup> 2,16	40 ,7	44 ,35	
Timbre . . . . .	11 <sup>kg</sup>	10 <sup>kg</sup>	10 <sup>kg</sup>	
Diamètre des cylindres . . . . .	0 <sup>m</sup> ,25	0 <sup>m</sup> ,265	0 <sup>m</sup> ,265	
Course des pistons . . . . .	0 ,4	0 ,4	0 ,4	
Distance d'axe { du 1 <sup>er</sup> au 2 <sup>e</sup> essieu . . . . .	1 ,4	1 ,4	1 ,4	
en axe . . . . . { du 2 <sup>e</sup> au 3 <sup>e</sup> — . . . . .	2 ,2	2 ,2	2 ,2	
Diamètre des roues au contact . . . . .	3 ,6	3 ,6	3 ,6	
Capacité de la { à eau . . . . .	0 ,95	0 ,95	0 ,95	
caisse . . . . . { à combustible . . . . .	2 <sup>m</sup> 3,7	2 <sup>m</sup> 3,7	2 <sup>m</sup> 3,7	
Frein . . . . .	1 ,1 Smith-Hardy.	1 ,1 Smith-Hardy.	1 ,1 Smith-Hardy.	
Poids. {	Locomotive (en charge (avec armement complet et 400 kilogr. de charge dans le compartiment à bagages). . . . .	23 <sup>t</sup> ,4	24 <sup>t</sup> ,9	25 <sup>t</sup> ,1
	de l'armement . . . . .	17 ,8	18 ,7	19 ,2
	Répartition par es- (1 <sup>er</sup> essieu (moteur) . . . . .	»	0 ,26	0 ,26
	sieu du poids en — (accouplé) . . . . .	»	8 ,7	8 ,6
	charge . . . . . — (porteur) . . . . .	»	8 ,5	8 ,6
	utile pour l'adhérence . . . . .	»	7 ,7	7 ,9
Effort de traction $0,65 \frac{p \cdot d^2 l}{D}$ . . . . .	1 <sup>t</sup> ,856	1 ,896	1 ,896	
Rapport du poids adhérent à l'effort de traction . . . . .	»	9	9	

2° Locomotives séries 3, 3<sup>a</sup>, 3<sup>b</sup>. — On trouvera (v. Pl. XI) les dessins de ces locomotives, dont les deux premiers types sont assez semblables l'un à l'autre pour avoir pu être représentés par la même figure.

Leurs dimensions principales sont données par le tableau I (col. 14, 15, 16) (\*).

#### Description comparative de ces machines.

**Puissance de traction.** — Ces machines, dont le tableau précédent indique la puissance de traction, satisfont au programme posé, comme le montrerait un calcul

(\*) Voir *infra*, page 372<sup>bis</sup>.

identique à celui qui a été fait ci-dessus pour les locomotives du Brenner et du Semmering. Sous ce rapport l'avantage reste à la machine série 3<sup>b</sup>. Toutefois son coefficient d'adhérence est inférieur à celui des autres machines, en même temps que sa charge par essieu plus élevée la rend impropre au service de certaines lignes. A ce double point de vue, et abstraction faite de la puissance de traction, la locomotive série 4 possède une réelle supériorité sur les autres machines, grâce à la plus grande élévation de son coefficient d'adhérence, qui n'exclut pas une charge par essieu moins considérable.

Son point faible, c'est de comprendre un compartiment à bagages dont la position, en porte-à-faux à l'arrière du dernier essieu, est défectueuse et dont la connexion avec la machine donne à cette locomotive tous les inconvénients qu'on reproche aux voitures qui portent avec elles leur moteur, telle que le wagon Belpaire ou le wagon Thomas du chemin de fer Louis de Hesse, à savoir : manque d'élasticité d'une disposition qui se prête mal aux exigences variables du service des bagages, immobilisation de cette partie du matériel qui, se trouvant liée au moteur, subit forcément, et sans nécessité pour elle, les chômages résultant d'un passage relativement fréquent du mécanisme aux ateliers de visite et de réparation. Ces inconvénients qui, joints au désir d'avoir une locomotive capable de suffire aux exigences d'une circulation plus active, ont conduit à renoncer à l'emploi des voitures à vapeur, ont amené la suppression du compartiment à bagages dans les derniers types de locomotives séries 3, 3<sup>a</sup>, 3<sup>b</sup> adoptés aux chemins de fer du Sud de l'Autriche. Dans celles-ci, où le nombre des essieux se réduit à deux essieux accouplés, la machine, dont aucune pièce n'est plus en porte-à-faux, a une stabilité parfaite. D'autre part, le châssis ne porte plus que l'appareil moteur, et cette suppression du compartiment



à bagages a permis de supprimer l'essieu porteur d'arrière et de réduire par conséquent l'empattement de la machine qui, de 3<sup>m</sup>,600, est descendu à 2<sup>m</sup>,300 et même à 2<sup>m</sup>,200.

En fait, ces nouveaux types de locomotives ont tous une charge par essieu trop élevée pour convenir aux lignes secondaires qui ne peuvent supporter qu'une charge de 9 tonnes. Il n'aurait cependant pas été impossible de construire une locomotive sans compartiment à bagages et qui aurait satisfait à cette condition de charge. Les ateliers de la société A.-H. des chemins de fer de l'État, à Vienne, ont en effet récemment construit, pour les houillères de Gross-Manyok, une locomotive à tender presque identique à celles des séries 3, 3a, 3b et dans laquelle la charge totale en service ne dépasse pas 17,5, la charge par essieu n'excédant pas 9 tonnes. Cette dernière machine a les dimensions suivantes :

Surface de grille . . . . .	0 <sup>m²</sup> ,75
Nombre des tubes . . . . .	110
Longueur des tubes . . . . .	2 <sup>m</sup>
Surface de chauffe du foyer . . . . .	2 <sup>m²</sup> ,5
— des tubes . . . . .	30 ,4
— totale . . . . .	32 ,9
Diamètre des cylindres . . . . .	0 <sup>m</sup> ,26
Course des pistons . . . . .	0 ,4
Timbre (pression effective) . . . . .	12 <sup>kg</sup>
Empattement . . . . .	1 <sup>m</sup> ,9
Diamètre des roues motrices et accouplées (au contact) . . . . .	0 <sup>m</sup> ,85
Caisse à eau . . . . .	1 <sup>m³</sup> ,8
Caisse . . . . .	0 ,9
Poids de la machine vide . . . . .	13 <sup>t</sup>
— en charge . . . . .	17 ,5
Charge sur le 1 <sup>er</sup> essieu (accouplé) . . . . .	8 ,6
— 2 <sup>e</sup> — (moteur) . . . . .	8 ,9
Effort de traction $0,65 \frac{p d^2 l}{D}$ . . . . .	2 ,433
Poids utile pour l'adhérence . . . . .	17 ,5
Rapport du poids adhérent à l'effort de traction . . . . .	7 ,3

Cette machine pourrait donc faire le service des lignes que dessert le type n° 4.

**Disposition du mécanisme.** — Dans toutes ces machines, les cylindres et la distribution sont extérieurs. L'essieu moteur est à l'avant dans la locomotive série 4. Il est au contraire à l'arrière dans les autres machines et les cylindres qui, dans la locomotive série 4 sont rejetés en arrière de l'essieu du milieu, sont, dans les machines séries 3, 3a, 3b, placés en avant du premier essieu. L'emploi de l'essieu d'avant comme essieu moteur présenterait des inconvénients réels dans les machines à quatre roues et notamment l'obligation de placer à l'arrière les cylindres à vapeur (pour avoir des bielles de longueur suffisante et d'obliquité modérée), aurait pour résultat de décharger outre mesure l'essieu moteur placé à l'avant de la machine. Le choix de l'essieu d'arrière comme essieu moteur est d'ailleurs sans inconvénient dans le cas actuel. C'est en effet la nécessité de donner du jeu à cet essieu d'arrière qui fait hésiter quelquefois à le prendre pour essieu moteur, et cette nécessité n'existe pas ici, à cause de la limite assignée à la vitesse et de la faiblesse de l'empattement. Cette disposition permet en outre de placer les cylindres à vapeur à l'avant de la machine et par suite d'augmenter la charge de l'essieu d'avant; quant à l'essieu d'arrière, il se trouve sous le foyer et par suite suffisamment chargé.

**Foyer.** — La surface de chauffe du foyer, qui n'est que de 3<sup>m²</sup>,60 dans les locomotives nos 52-58, atteint 3<sup>m²</sup>,91, 4<sup>m²</sup>,10 et enfin 4<sup>m²</sup>,20 dans les locomotives nos 59-64 et dans les séries 3, 3a, 3b. Ce foyer est en cuivre; les seules particularités à signaler à ce sujet sont : 1° l'emploi de portes en tôle au lieu de portes en fonte dont le poids eût été trop considérable; et 2° l'inclinaison donnée à la paroi qui limite la boîte à feu du côté de la plate-

forme du mécanicien. Cette inclinaison a pour but d'augmenter la capacité de l'espace destiné à recevoir le combustible. Je n'insisterai pas sur les détails de construction des diverses parties de ces machines, et, renvoyant à ce qui a été dit au sujet de la locomotive à grande vitesse de la même compagnie, je me bornerai à signaler ici les particularités relatives à ces locomotives-tenders.

**Chaudière.** — La chaudière est formée de deux viroles; la virole d'arrière ayant un diamètre intérieur égal au diamètre extérieur de la virole d'avant qui s'y engage. Les chiffres donnés dans les tableaux qui précèdent sont relatifs au diamètre extérieur de cette dernière virole.

Une augmentation sensible de la surface de chauffe des tubes a été réalisée dans la machine série 3<sup>b</sup>.

**Boîte à fumée.** — La boîte à fumée, qui n'a pas les dispositions du système américain (voir page 337), est simplement munie d'une grille en fils de fer.

**Cheminée.** — La cheminée est pourvue de l'appareil déjà décrit (page 336).

**Soupape de rentrée d'air.** — Une soupape de rentrée d'air du système de M. Ricour a été appliquée à la locomotive série 3<sup>b</sup>.

**Alimentation.** — Les caisses à eau, au nombre de deux, sont placées sur les côtés de la chaudière; les caisses à charbon, également au nombre de deux, se trouvent en arrière des précédentes et de part et d'autre de la plateforme réservée au mécanicien.

**Boîtes à vapeur.** — On a abandonné, dans la locomotive série 3<sup>b</sup>, le type de boîtes à vapeur adopté pour les locomotives série 4, 3 et 3<sup>a</sup>. Dans ces dernières, la boîte est constituée par une pièce de fonte formant couvercle et fixée au corps du cylindre par des boulons, ce qui permet

un démontage facile de la boîte et une visite complète des tiroirs; toutefois la tige des tiroirs n'est alors guidée qu'à une extrémité, ce qui est un grave inconvénient. Les tiroirs portent sur leur surface de contact avec la table des lumières des alvéoles qu'on laisse vides et dans lesquelles l'huile de graissage vient se rassembler.

**Mécanisme.** — La distribution est à coulisse de Stephenson à barres droites.

**Roues.** — Les roues sont en fonte avec bandage fixé à l'allemande.

**Passage dans les courbes.** — Le faible empatement dispensait de toute disposition particulière en vue de faciliter le passage dans les courbes.

**Suspension et châssis.** — Les ressorts, dont les éléments on été indiqués dans le tableau ci-dessus, sont indépendants. Le châssis, qui est intérieur dans toutes ces machines, est formé de deux longerons constitués chacun de deux tôles.

**Frein.** — Le frein est du système Smith-Hardy, à vide. Les voitures du train en sont également munies. Sur les trois voitures qui constituent le train, deux portent des cylindres de frein et la troisième n'a que les conduites.

*Locomotives-tenders de la Société A.-H. des chemins de fer de l'État. Catégories IVc'' et Vc (types 1884 et 1885), à six et à huit roues accouplées.*

*Programme d'après lequel ces types ont été établis.* — Les conditions d'établissement des lignes secondaires à exploiter, dont les voies ne peuvent supporter une charge supérieure à 9<sup>t</sup>,500 imposait l'obligation de limiter à ce chiffre la charge par essieu des locomotives destinées à desservir cette partie du réseau.



D'autre part, la charge maxima des trains circulant sur ces lignes est fixée par un règlement spécial à la société A.-H. des chemins de fer de l'État, à 100 essieux pour les trains de marchandises et à 60 pour les trains mixtes, tandis que, pour les trains ordinaires desservant les lignes principales, les chiffres limites assignés par les règlements administratifs sont de 100 essieux pour les trains de voyageurs et de 200 pour les trains de marchandises.

La vitesse maxima est fixée pour chaque ligne secondaire lors de sa concession. Elle ne dépasse pas 30 kilomètres sur cette partie du réseau autrichien de la société A.-H.

Quant à leur tracé et à leur profil, les lignes présentent des courbes de rayon inférieur à 200 mètres et des rampes qui atteignent 33 millimètres par mètre.

Pour définir complètement le programme d'après lequel ces types ont été établis, il faut déterminer la valeur en tonnes du poids d'un train que les règlements ci-dessus mentionnés ne définissent que par le nombre des essieux.

Les wagons qui entrent dans la composition de ces trains appartiennent à l'un des types suivants :

a) Wagon américain à couloir intérieur et à quatre essieux à 6 places de 1<sup>re</sup> classe, 12 de 2<sup>e</sup>, 29 de 3<sup>e</sup>, soit en tout 47 places; poids de la voiture en service, 11',600.

b) Wagon à deux essieux à couloir latéral et à quatre compartiments de 8 places de 2<sup>e</sup> classe chacun; soit en tout 32 places; poids de la voiture en service, 12 tonnes.

c) Wagon à deux essieux à couloir latéral et à trois compartiments de 6 places de 1<sup>re</sup> classe chacun; soit en tout 18 places; poids de la voiture en service, 12',200.

d) Fourgon à bagages avec compartiment pour le service de la poste, à deux essieux, pesant vide 7',200 et pouvant recevoir 6 tonnes de charge.

e) Wagon couvert à marchandises, à deux essieux,

pesant vide 6',800 et pouvant recevoir 10 tonnes de charge.

f) Wagon ouvert à marchandises, à deux essieux, pesant vide 5',300 et pouvant recevoir 11',300 de charge.

On peut donc évaluer à 6',100 le poids maximum à remorquer par essieu entrant dans la composition d'un train de voyageurs et à 8',400 le même élément relatif aux trains de marchandises. En conséquence on peut regarder 7',250 comme un maximum de la charge moyenne par essieu entrant dans la composition d'un train destiné à circuler sur une ligne secondaire.

Comme, d'autre part, le trafic de ces lignes, faible à l'origine, était appelé à prendre un développement rapide, il était logique d'y affecter, au début, des locomotives d'un type réduit, sauf à y substituer ultérieurement des machines capables d'un effort plus considérable; ce n'est, en effet, que par une série de transformations successives qu'on est arrivé aux types actuels représentés par les locomotives catégories IVc'' (type 1884) et Vc (type 1885). Je ne dirai que quelques mots de ceux qui les ont précédés depuis 1879 qui appartiennent aux catégories IVc et IVc'.

Locomotives-tenders, catégories IVc et IVc'. — M. Polonceau a donné, dans le mémoire déjà mentionné inséré aux *Annales des mines* (8<sup>e</sup> série, t. II, 1882), le dessin d'une machine-tender à trois essieux accouplés qui n'est autre que la locomotive catégorie IVc (nos 616-618), construite en 1881 par les ateliers de la société A.-H. à Vienne. Cette locomotive avait été elle-même précédée par une locomotive-tender à trois essieux accouplés appartenant à la même catégorie (nos 609 à 615) qui sortit des mêmes ateliers en 1879. Ces deux machines ne diffèrent que par le poids, qui était de 27',150 pour la machine de 1879 et de 28',100 pour celle de 1881, avec une différence insignifiante dans le diamètre des roues. En 1882, les mêmes

ateliers livrèrent une locomotive catégorie IVc' qui ne différait des deux autres que par une légère augmentation du diamètre des cylindres et une faible modification du poids qui se trouvait compris entre celui de la locomotive de 1879 et celui de la locomotive de 1881. L'accroissement donné au diamètre des cylindres augmentait un peu l'effort de traction dont la machine était susceptible. En effet, on avait :

	LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat		
	Catégorie IVc, type 1879	Catégorie IVc, type 1881	Catégorie IVc', type 1882
Diamètre des cylindres . . . . .	0 <sup>m</sup> ,3	0 <sup>m</sup> ,3	0 <sup>m</sup> ,32
Course des pistons . . . . .	0,46	0,46	0,46
Diamètre des roues motrices . . . . .	1,11	1,105	1,105
Timbre . . . . .	10 <sup>kg</sup>	10 <sup>kg</sup>	10 <sup>kg</sup>
Poids en charge . . . . .	27 <sup>t</sup> ,45	28 <sup>t</sup> ,1	27 <sup>t</sup> ,8
Effort de traction $0,65 \frac{p d^2 l}{D}$ . . . . .	2,424	2,446	2,86
Poids utile pour l'adhérence . . . . .	27,15	28,1	27,8
Rapport du poids adhérent à l'effort de traction . . . . .	11,2	11,4	9,7

Le coefficient d'adhérence était donc resté suffisamment élevé dans celle des machines précédentes où l'effort de traction était plus considérable. Cependant cet effort, qui correspondait à la traction d'un train de 55 tonnes sur une rampe de 33 millimètres, à la vitesse effective de 10 kilomètres à l'heure, n'était plus considéré comme suffisant au bout de deux ans, et dès 1883 l'augmentation du trafic imposait la création d'un type plus puissant.

2° Locomotive-tender, catégorie IVc". — On conserva d'abord le même type de machines à six roues accouplées en se contentant d'accroître les dimensions de l'appareil moteur. C'est ce que réalisa la locomotive catégorie IVc" qui est sortie en 1884 des ateliers de la société A.-H. à Vienne et dont le tableau suivant donne les éléments.

	LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat  Catégorie IVc", type 1884
Diamètre des cylindres . . . . .	mèt. 0,37
Course des pistons . . . . .	— 0,46
Diamètre des roues motrices . . . . .	— 1,105
Timbre . . . . .	kg. 10
Poids en charge . . . . .	tonn. 28,15
Effort de traction $0,65 \frac{p d^2 l}{D}$ . . . . .	— 3,721
Poids utile pour l'adhérence . . . . .	— 28,15
Rapport du poids adhérent à l'effort de traction . . . . .	— 7,5

La puissance de cette locomotive correspondait à la traction d'un train de 60 tonnes marchant à la vitesse effective de 10 kilomètres à l'heure sur une rampe de 33 millimètres.

3° Locomotive-tender, catégorie Vc. — Pour augmenter l'effort de traction au delà de cette limite, on dut abandonner les machines à six roues accouplées. En effet, l'impossibilité de dépasser, sur des lignes secondaires, une charge de 9<sup>t</sup>,500 par essieu fixait au poids adhérent d'une machine à trois essieux accouplés une limite supérieure égale à 28<sup>t</sup>,500. En raison du caractère accidenté des lignes secondaires, il convenait que le rapport du poids adhérent à l'effort de traction ne descendît pas au-dessous de 7, ce qui fixait pour cet effort, dans le cas des machines à six roues accouplées une valeur maxima de  $\frac{28^t,500}{7} = 4^t,070$ . Si l'on voulait en particulier obtenir

une machine capable de remorquer un train de 100 tonnes sur une rampe de 33 millimètres, à la vitesse effective de 10 kilomètres à l'heure, c'est-à-dire si l'on voulait construire une locomotive pouvant développer un effort de traction de 5<sup>t</sup>,100, il fallait recourir à un système de



huit roues accouplées. C'est ce qu'on a fait pour la locomotive-tender catégorie Vc qui fut livrée en 1885 par les mêmes ateliers que les précédentes, et qui, comme le montre le tableau suivant, satisfait complètement au programme imposé :

		LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat — Catégorie Vc, type 1885
Diamètre des cylindres. . . . .	mèt.	0,4
Course des pistons . . . . .	—	0,46
Diamètre des roues motrices. . . . .	—	0,9
Timbre . . . . .	kg.	10
Poids en charge. . . . .	tonn.	36,5
Effort de traction $0,65 \frac{p}{D}$ . . . . .	—	5,32
Poids utile pour l'adhérence. . . . .	—	36,5
Rapport du poids adhérent à l'effort de traction. . . . .	—	6,8

En prenant d'après ce qui précède pour la puissance de cette locomotive, une fraction  $\frac{1}{7}$  du poids adhérent, on voit que l'effort de traction qu'elle est capable de développer sans que l'adhérence devienne insuffisante est  $\frac{36^1,500}{7} = 5^1,200$ , nombre supérieur au nombre  $5^1,100$  que l'on s'était imposé.

Je n'étudierai en détail que ces deux dernières machines qui datent, l'une de 1884, l'autre de 1885, et dont les mémoires, insérés aux *Annales des mines*, ne pouvaient, en raison même de leur date, donner la description.

Dimensions principales. — Le tableau I (col. 17 et 18) (\*), contient les dimensions principales de ces deux loco-

(\*) Voir *infra*, page 372<sup>bis</sup>.

tives, qui sont d'ailleurs représentées par les *fig. 1, 1a* et *2*, de la Pl. XIII.

*Description comparative de ces machines.*

Puissance de traction. — Sans revenir sur les développements donnés ci-dessus à propos de la puissance de traction de chacune de ces machines, je ferai observer que ces locomotives (qui ont été calculées pour être en état de remorquer sur des rampes de 33 millimètres à une vitesse effective de 10 kilomètres à l'heure des trains de 60 tonnes pour la première et de 100 tonnes pour la deuxième) peuvent, sur des rampes moins prononcées, remorquer des trains plus lourds et plus rapides. Un calcul, dont le principe a été exposé au cours de ce travail, donne les charges des trains qui peuvent être remorqués à une vitesse déterminée et sur une rampe donnée pour l'effort de traction dont on dispose. On obtient ainsi les résultats consignés dans le tableau suivant :

INCLINAISON des rampes (millim. par mètre)	VITESSE kilométrique par heure	LOCOMOTIVE	
		Catégorie IVc'',	Catégorie Vc
0	20	710 tonnes	1.190 tonnes
0	30	385	645
5	20	205	345
5	25	160	275
5	30	130	220
7	15	210	350
7	20	155	265
7	25	120	210
7	30	95	170
10	15	150	255
10	20	110	190
10	25	85	150
10	30	70	125
14	15	105	180
14	20	75	135
14	25	60	105
14	30	45	85
20	10	115	185
20	15	70	120
20	20	50	90
25	10	85	140
25	15	50	95
33	10	60	100

Renvoyant, comme je l'ai déjà fait, pour les détails de construction à la description de la machine à grande vitesse de la société A.-H. des chemins de fer de l'État, je me bornerai à mentionner ici les particularités relatives à ces locomotives-tenders.

**Disposition du mécanisme.** — Les cylindres et le mécanisme de distribution sont intérieurs dans toutes ces machines. Dans la locomotive à six roues accouplées (catégorie IVc'), la faiblesse de l'empattement et la vitesse réduite des trains que cette machine était appelée à remorquer, ont permis de prendre pour essieu moteur l'essieu d'arrière. C'est une solution qui d'ailleurs résultait tout naturellement des conditions d'établissement de la machine elle-même. Si en effet l'essieu du milieu eût été pris comme essieu moteur, la faible longueur de la machine eût obligé à adopter des bielles trop courtes et trop obliques. Quant à l'essieu d'avant, les ingénieurs de la société A.-H. semblent en considérer l'emploi en qualité de moteur comme présentant trop d'inconvénients pour que la question puisse se poser même à titre de simple projet. Rien ne s'opposait, du reste, à l'adoption de l'essieu d'arrière, qui, passant sous la partie antérieure de la boîte à feu placée en porte-à-faux, se trouvait suffisamment chargé pour remplir utilement l'office d'essieu moteur. Dans les machines à huit roues accouplées (catégorie Vc), la valeur plus élevée de l'empattement, en obligeant à donner du jeu à l'essieu d'arrière, l'excluait comme moteur. Avec des cylindres placés de part et d'autre de la boîte à fumée, on était conduit à arrêter son choix sur le troisième essieu (à partir de l'avant), si l'on ne voulait pas avoir des bielles trop courtes et trop inclinées. Même en prenant cet essieu comme moteur on n'a pu avoir que des bielles de 1<sup>m</sup>,98, et il a fallu incliner de 1/20 sur l'horizon l'axe des cylindres à vapeur.

**Foyer.** — Le foyer de ces deux machines est en porte-à-faux. La grille est formée d'une partie fixe et d'une partie mobile que j'ai déjà décrite (voir page 276). Il convient de signaler dans la machine à huit roues l'augmentation des dimensions données à la grille; la surface de celle-ci, qui présentait dans la locomotive catégorie IVc'' la forme d'un rectangle légèrement allongé dans le sens transversal à la machine, a reçu dans la locomotive catégorie Vc un allongement notable dans la direction de l'axe de la chaudière; et, malgré la diminution de largeur qu'elle a subie, son accroissement superficiel n'a pas été de moins de 56 p. 100.

**Chaudière.** — La longueur relativement considérable de la machine catégorie Vc, par rapport à la machine catégorie IVc'', a permis de donner aux tubes de chaudière une longueur plus considérable et d'augmenter de 60 p. 100 leur surface de chauffe. La surface de chauffe totale s'est trouvée finalement accrue de 78 p. 100 dans la locomotive à huit roues accouplées.

**Cylindres.** — La seule particularité à signaler est l'inclinaison de l'axe des cylindres dans la machine catégorie Vc, disposition dont la raison a été donnée ci-dessus. La largeur des bielles motrices (2<sup>m</sup>,55) était suffisante dans la machine à huit roues pour ne pas nécessiter l'abandon de la position horizontale de l'axe des pistons.

**Mécanisme.** — La distribution est à coulisse de Stephenson à barres droites.

**Passage dans les courbes.** — Aucune disposition n'a été prise dans la machine à six roues, en vue de faciliter le passage dans les courbes, l'empattement n'étant que de 2<sup>m</sup>,60. Dans la machine à huit roues, où cet élément s'élevait à 3<sup>m</sup>,35, il a fallu donner à chacun des essieux extrêmes un jeu latéral dont la valeur totale est de 20 millimètres.



**Suspension et châssis.** — Le châssis est intérieur et chaque longeron se compose d'une tôle de 22 millimètres. Les ressorts sont indépendants dans la machine catégorie *Vc*, tandis que, dans la locomotive à six roues, un balancier est installé entre les deux essieux d'arrière.

**Sablière.** — Les machines qui ont précédé la machine catégorie *IVc''*, et dont les principaux types ont été énumérés plus haut, n'étaient pas munies de la sablière qui, placée sur la chaudière de cette locomotive, distribue le sable à volonté, soit devant les roues du premier essieu accouplé quand la machine circule cheminée avant, soit devant les roues de l'essieu moteur quand elle se déplace cheminée en arrière. Dans la machine à huit roues, catégorie *Vc*, le sable est distribué de même, dans la première hypothèse devant les roues de l'essieu accouplé le plus voisin des cylindres, et dans la seconde devant les roues de l'essieu moteur. Le type de sablière de la société A.-H. a été défini plus haut (voir page 282).

**Caisse à eau et à combustible.** — Les caisses à eau sont au nombre de trois : l'une d'elles est située au-dessous de la chaudière entre les longerons, les deux autres sont placées sur les côtés de la chaudière. Les caisses à charbon sont situées de part et d'autre du foyer. La disposition adoptée dans la locomotive catégorie *Vc* ne diffère pas en principe de celle que présente la machine catégorie *IVc''*. Seules les dimensions ont été modifiées de manière à augmenter de plus de 19 p. 100 la capacité de la caisse à charbon et de plus de 100 p. 100 celle de la caisse à eau.

**Frein.** — A l'appareil Le Chatelier, employé dans la locomotive à six roues catégorie *IVc* de 1881, on a substitué, dans la machine catégorie *IVc''* de 1884 et dans la machine catégorie *Vc* de 1885, le frein à vide Smith-Hardy.

TABLEAU I

		LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche à grande vitesse	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Nord français	LOCOMOTIVE de la Société autrichienne-hongroise des chemins de fer de l'Etat à grande vitesse		LOCOMOTIVE de la Compagnie d'Orléans à grande vitesse	LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat		LOCOMOTIVE de la Société autrichienne-hongroise des chemins de fer de l'Etat	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche		LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche				LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat			
		Série 16 <sup>b</sup> , type 1885-1888 (Pl. IX, fig. 1 et 1a)	Type 1873	N° 2101	Catégorie I, type 1882 (Pl. X, fig. 2 et 2a)	Catégorie I a, type 1886 (Pl. X, fig. 3 et 3a)	N° 101, type 1889	Catégorie IV', type 1887 (Pl. XII, fig. 2 et 2a)	Catégorie IV s, type 1873 (Pl. XII, fig. 3 et 3a)	Catégorie V, type 1875 (Pl. XII, fig. 4 et 4a)	Série 32 <sup>c</sup> , type 1884	Série 32 <sup>c'</sup> , type 1889 (Pl. XIII, fig. 1 et 1a)	N° 1825, type 1889	Série 35 <sup>d</sup> , type 1883 (Pl. XIII, fig. 2)	Série 3, type 1883	Série 3a, type 1884 (Pl. XI, fig. 1 et 1a)	Série 3b, type 1886 (Pl. XI, fig. 2 et 2a)	Catégorie IV c', type 1884 (Pl. XI, fig. 4 et 4a)	Catégorie V c, type 1885 (Pl. XI, fig. 6 et 6a)	
		<b>Chaudière.</b>																		
Grille . . . . .	Longueur . . . . .	1 <sup>m</sup> ,859	1 <sup>m</sup> ,859	2 <sup>m</sup> ,02	2 <sup>m</sup> ,218	2 <sup>m</sup> ,218	2 <sup>m</sup> ,285	2 <sup>m</sup> ,501	1 <sup>m</sup> ,54	1 <sup>m</sup> ,816	1 <sup>m</sup> ,781	1 <sup>m</sup> ,889	1 <sup>m</sup> ,71	2 <sup>m</sup> ,129	1 <sup>m</sup> ,039	1 <sup>m</sup> ,035	1 <sup>m</sup> ,145	0 <sup>m</sup> ,92	1 <sup>m</sup> ,7	
	Largeur . . . . .	1,08	1,8	1,012	1,04	1,04	0,941	1,044	1,093	1,018	1,001	1,03	1,018	1,01	0,874	0,872	0,891	1,008	0,854	
	Surface . . . . .	2 <sup>m2</sup>	2 <sup>m2</sup>	2 <sup>m2</sup> ,044	2 <sup>m2</sup> ,306	2 <sup>m2</sup> ,306	2 <sup>m2</sup> ,915	2 <sup>m2</sup> ,51	1 <sup>m2</sup> ,68	1 <sup>m2</sup> ,85	1 <sup>m2</sup> ,78	1 <sup>m2</sup> ,94	1 <sup>m2</sup> ,74	2 <sup>m2</sup> ,15	0 <sup>m2</sup> ,906	0 <sup>m2</sup> ,902	1 <sup>m2</sup>	0 <sup>m2</sup> ,927	1 <sup>m2</sup> ,45	
	Inclinaison . . . . .	0	"	"	8°	8°	17°	"	"	"	0	5°	27°	"	"	"	"	"	"	"
Foyer . . . . .	Hauteur intérieure . . . . .	avant . . . . .	1 <sup>m</sup> ,485	"	"	1 <sup>m</sup> ,71	1 <sup>m</sup> ,71	1 <sup>m</sup> ,82	1 <sup>m</sup> ,35	1 <sup>m</sup> ,409	1 <sup>m</sup> ,58	1 <sup>m</sup> ,47	1 <sup>m</sup> ,765	1 <sup>m</sup> ,665	1 <sup>m</sup> ,041	1 <sup>m</sup> ,041	1 <sup>m</sup> ,18	0 <sup>m</sup> ,888	1 <sup>m</sup> ,672	
		arrière . . . . .	id.	"	"	1,38	1,38	1,26	1	id.	id.	1,42	1,35	1,115	1,54	0,936	0,936	1,065	"	"
	Longueur intérieure . . . . .	en haut . . . . .	1,775	"	"	2,19	2,19	2,21	2,49	1,659	1,786	1,719	1,57	1,592	2,061	0,965	0,965	0,935	"	"
		en bas . . . . .	1,839	"	"	2,218	2,218	2,222	2,531	1,691	1,816	1,78	1,889	1,71	2,129	1,033	1,031	1,14	1,02	1,7
	Largeur intérieure . . . . .	en haut . . . . .	1,034	"	"	1,07	1,07	0,941	1,196	1,073	1,089	1,056	1,117	1,192	1,066	0,816	0,816	0,948	0,994	1,072
		en bas . . . . .	1,08	"	"	1,04	1,038	id.	1,044	1,093	1,018	1,001	0,99	1,018	1,01	0,874	0,872	0,891	1,108	0,854
	Épaisseur des tôles . . . . .	Ciel . . . . .	0,015	"	"	0,02	0,02	0,02	0,015	0,02	0,02	0,018	0,017	0,016	0,018	0,015	0,015	0,017	0,02	0,02
		Côté . . . . .	id.	"	"	0,016	0,016	0,016	id.	id.	0,016	0,0145	0,0135	id.	0,0145	0,0115	0,012	0,012	0,013	0,015
		Arrière . . . . .	id.	"	"	0,015	0,015	0,015	id.	id.	id.	id.	0,0145	id.	id.	id.	id.	0,0125	id.	id.
		Plaque tubulaire. Partie . . . . .	perforée . . . . .	0,025	"	"	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,025	0,025	id.	0,025	0,02	0,020	0,021	0,023
non perforée . . . . .	0,015	"	"	0,018	0,018	0,018	0,015	0,02	0,018	0,015	0,015	id.	0,015	0,0115	0,012	0,013	0,013	0,013	0,018	
Boîte à feu extérieur . . . . .	Longueur extérieure . . . . .	2,04	"	"	2,421	2,421	2,052	2,751	"	"	1,96	2,07	1,76	2,31	1,18	1,18	1,3	1,19	1,87	
	Largeur extérieure . . . . .	maxima . . . . .	1,264	"	"	1,236	1,236	1,16	1,254	"	"	1,43	1,432	1,3	1,511	1,043	1,044	1,18	1,278	1,340
		minima . . . . .	1,26	"	"	1,206	1,206	1,4	1,43	"	"	1,18	1,204	1,2	1,19	1,02	1,02	1,05	1,194	1,024
	Hauteur . . . . .	1,932	"	"	2,4	2,4	2,72	2,33	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1,71	1,735	
	Épaisseur des tôles . . . . .	Avant . . . . .	0,016	"	"	0,015	0,015	0,016	0,015	"	"	0,016	0,016	0,016	0,016	0,012	0,013	0,014	0,014	0,014
		Arrière . . . . .	0,015	"	"	id.	id.	0,015	id.	"	"	0,015	0,015	id.	0,0155	0,0115	0,012	0,013	id.	id.
Côté . . . . .		id.	"	"	id.	id.	id.	id.	"	"	id.	0,0135	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	
Ciel . . . . .	0,017	"	"	id.	id.	id.	id.	"	"	0,02	0,019	id.	0,021	0,016	0,016	0,018	id.	id.		
Tube . . . . .	Nombre . . . . .	186	"	202	163	149	160	193	165	195	190	208	246	213	108	108	160	97	145	
	Diamètre extérieur . . . . .	0 <sup>m</sup> ,05	"	0 <sup>m</sup> ,045	0 <sup>m</sup> ,052	0 <sup>m</sup> ,052	0 <sup>m</sup> ,048	0 <sup>m</sup> ,052	0 <sup>m</sup> ,052	0 <sup>m</sup> ,052	0 <sup>m</sup> ,05	0 <sup>m</sup> ,05	0 <sup>m</sup> ,048	0 <sup>m</sup> ,052	0 <sup>m</sup> ,044	0 <sup>m</sup> ,044	0 <sup>m</sup> ,044	0 <sup>m</sup> ,052	0 <sup>m</sup> ,052	
	Longueur entre les plaques tubulaires . . . . .	3,7	3 <sup>m</sup> ,55	3,822	5	5	5,19	3,5	4,135	5,002	4,275	3,9	4,439	4,76	2,3	2,3	2,45	3,32	3,5	
Surface de chauffe . . . . .	Foyer . . . . .	8 <sup>m2</sup> ,93	7 <sup>m2</sup> ,9	13 <sup>m2</sup> ,8	10 <sup>m2</sup> ,36	10 <sup>m2</sup> ,1	14 <sup>m2</sup> ,19	10 <sup>m2</sup> ,59	8 <sup>m2</sup> ,7	9 <sup>m2</sup> ,52	9 <sup>m2</sup> ,5	9 <sup>m2</sup>	11 <sup>m2</sup> ,8	10 <sup>m2</sup> ,8	4 <sup>m2</sup> ,1	4 <sup>m2</sup> ,1	4 <sup>m2</sup> ,2	4 <sup>m2</sup> ,15	7 <sup>m2</sup> ,22	
	Tubes . . . . .	108,1	99,8	97	133,14	121,7	123,29	110,38	112	158,98	127,5	127,4	162,85	159,2	34,3	34,3	56,8	51,6	82,93	
	Total . . . . .	117,03	107,7	110,8	143,5	131,8	137,48	120,97	120	168,5	137	136,4	174,65	170	38,4	38,4	61	56,1	90,15	
	Rapport de la surface des tubes à celle du foyer . . . . .	12,1	"	"	12,85	1,204	8,54	11	12,9	16,6	13,4	14,1	13,80	14,7	8,3	8,3	14,2	11,4	11,4	
Corps cylindrique . . . . .	Diamètre moyen . . . . .	1 <sup>m</sup> ,26	1 <sup>m</sup> ,26	1 <sup>m</sup> ,25	1 <sup>m</sup> ,306	1 <sup>m</sup> ,306	1 <sup>m</sup> ,25	1 <sup>m</sup> ,36	1 <sup>m</sup> ,264	1 <sup>m</sup> ,422	1 <sup>m</sup> ,37	1 <sup>m</sup> ,4	1 <sup>m</sup> ,5	1 <sup>m</sup> ,48	1 <sup>m</sup>	1 <sup>m</sup>	1 <sup>m</sup> ,346	1 <sup>m</sup> ,038	1 <sup>m</sup> ,284	
	Longueur totale . . . . .	6,54	6,315	6,8	5,05	5,05	5,015	6,936	4,188	4,98	4,151	5,56	4,315	4,66	4,03	4,03	4,27	3,388	3,57	









TABLEAU I (suite)

	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche à grande vitesse	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Nord français	LOCOMOTIVE de la Société autrichienne-hongroise des chemins de fer de l'Etat à grande vitesse		LOCOMOTIVE de la Compagnie d'Orléans à grande vitesse	LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat		LOCOMOTIVE de la Société autrichienne-hongroise des chemins de fer de l'Etat	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche		LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche				LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat			
	Série 16b, type 1885-1888 (Pl. IX, fig. 1 et 1a)	Type 1873	N° 2101	Catégorie I, type 1882 (Pl. X, fig. 2 et 2a)	Catégorie Ia, type 1886 (Pl. X, fig. 3 et 3a)	N° 101, type 1889	Catégorie IV', type 1872 (Pl. XII, fig. 3 et 3a)	Catégorie IVs, type 1873 (Pl. XII, fig. 3 et 3a)	Catégorie V, type 1875 (Pl. XII, fig. 4 et 4a)	Série 32c, type 1884	Série 32c', type 1889 (Pl. XIII, fig. 1 et 1a)	N° 1825, type 1889	Série 35a, type 1883 (Pl. XIII, fig. 2)	Série 3, type 1883	Série 3a, type 1884 (Pl. XI, fig. 1 et 1a)	Série 3b, type 1886 (Pl. XI, fig. 2 et 2a)	Catégorie IVc', type 1884 (Pl. XI, fig. 4 et 4a)	Catégorie Vc, type 1885 (Pl. XI, fig. 6 et 6a)	
<b>Châssis et roues (suite et fin).</b>																			
Essieu du bogie . . . . .	Distance . . . . .	1 <sup>m</sup> ,5	1 <sup>m</sup> ,32	2 <sup>m</sup> ,1	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
	Diamètre . . . . .	d'axe en axe (du bogie . . . . .)	6,01	5,37	7,345	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
		des essieux . . . . .	1,15	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
		d'entre axe des fusées . . . . .	0,148	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
		des essieux au milieu . . . . .	0,15	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Longueur de la fusée . . . . .	de la fusée . . . . .	0,155	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
	de la portée de calage . . . . .	0,18	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
Roues accouplées et motrices . . . . .	Diamètre . . . . .	1,78	"	"	1 <sup>m</sup> ,7	2 <sup>m</sup>	1 <sup>m</sup> ,34	1 <sup>m</sup> ,165	1 <sup>m</sup> ,073	1 <sup>m</sup> ,135	1 <sup>m</sup> ,146	1 <sup>m</sup> ,35	0 <sup>m</sup> ,986	0 <sup>m</sup> ,74	0 <sup>m</sup> ,74	0 <sup>m</sup> ,74	1 <sup>m</sup>	0 <sup>m</sup> ,8	
	au contact . . . . .	1,91	1,9	2,31	1,8	2,1	1,456	1,264	1,185	1,265	1,276	1,5	1,106	0,86	0,86	0,86	1,105	0,9	
Roues porteuses . . . . .	Diamètre . . . . .	"	"	"	1	1	1,12	"	"	"	"	1	"	"	"	"	"	"	
	au contact . . . . .	"	"	"	1,1	1,1	1,27	"	"	"	"	1,15	"	"	"	"	"	"	
Roues du bogie . . . . .	Diamètre . . . . .	0,83	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
	au contact . . . . .	0,96	0,95	1,04	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
Ressorts . . . . .	Épaisseur des bandages . . . . .	0,065	0,065	0,055	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
	Nombre des feuilles . . . . .	1 <sup>er</sup> essieu . . . . .	13	"	"	15	13	17	15	14	17	17	"	"	12	12	14	11	11 (pas de balancier).
		2 <sup>e</sup> — . . . . .	13	"	"	23	23	id.	24	id.	id.	id.	"	id.	id.	id.	id.	19	
		3 <sup>e</sup> — . . . . .	18	"	"	id.	id.	id.	id.	28	id.	id.	"	id.	id.	id.	id.	19	
		4 <sup>e</sup> — . . . . .	17	"	"	10	12	id.	"	id.	id.	id.	"	id.	id.	id.	id.	19	
	Corde de fabrication . . . . .	1 <sup>er</sup> essieu . . . . .	0 <sup>m</sup> ,8	"	"	0 <sup>m</sup> ,88	0 <sup>m</sup> ,88	0 <sup>m</sup> ,97	0 <sup>m</sup> ,948	0 <sup>m</sup> ,948	0 <sup>m</sup> ,908	0 <sup>m</sup> ,908	"	"	0 <sup>m</sup> ,73	0 <sup>m</sup> ,73	0 <sup>m</sup> ,73	0 <sup>m</sup> ,76	0 <sup>m</sup> ,76 (ress. indépendants). (balancier).
		2 <sup>e</sup> — . . . . .	id.	"	"	1,17	1,17	id.	id.	id.	id.	id.	"	"	id.	id.	id.	id.	
		3 <sup>e</sup> — . . . . .	0,992	"	"	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	"	"	id.	id.	id.	id.	
		4 <sup>e</sup> — . . . . .	id.	"	"	0,88	0,88	id.	"	id.	id.	id.	"	"	id.	id.	id.	id.	
	Section des feuilles . . . . .	1 <sup>er</sup> essieu . . . . .	0,105×0 <sup>m</sup> ,1	"	"	0,09×0 <sup>m</sup> ,011	0,11×0 <sup>m</sup> ,011	0,09×0 <sup>m</sup> ,1	0,09×0 <sup>m</sup> ,1	0,09×0 <sup>m</sup> ,1	0,105×0 <sup>m</sup> ,01	0,105×0 <sup>m</sup> ,01	"	"	0,01×0 <sup>m</sup> ,09	0,01×0 <sup>m</sup> ,09	0,01×0 <sup>m</sup> ,09	0,01×0 <sup>m</sup> ,09	0,01×0 <sup>m</sup> ,09 (ress. indépendants). (balancier).
2 <sup>e</sup> — . . . . .		id.	"	"	0,09×0,013	0,09×0,013	id.	id.	id.	id.	id.	"	"	id.	id.	id.	id.		
3 <sup>e</sup> — . . . . .		id.	"	"	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	"	"	id.	id.	id.	id.		
4 <sup>e</sup> — . . . . .		id.	"	"	0,09×0,011	0,09×0,011	id.	id.	id.	id.	id.	"	"	id.	id.	id.	id.		
<b>Mécanisme.</b>																			
Diamètre des cylindres . . . . .	0 <sup>m</sup> ,411	0 <sup>m</sup> ,411	0 <sup>m</sup> ,48	0 <sup>m</sup> ,43	0 <sup>m</sup> ,46	0,45	0 <sup>m</sup> ,45	0 <sup>m</sup> ,421	0 <sup>m</sup> ,47	0 <sup>m</sup> ,48	0 <sup>m</sup> ,48	0 <sup>m</sup> ,48	0 <sup>m</sup> ,5	0 <sup>m</sup> ,275	0 <sup>m</sup> ,275	0 <sup>m</sup> ,31	0 <sup>m</sup> ,37	0 <sup>m</sup> ,4	
Course des pistons . . . . .	0,632	0,632	0,6	0,65	0,65	0,7	0,65	0,632	0,632	0,61	0,61	0,6	0,61	0,4	0,4	0,42	0,46	0,46	
Distance d'axe en axe . . . . .	des cylindres . . . . .	2,482	"	0,632	1,9	1,9	0,615	2,068	2,067	2,041	2,06	2,06	2,143	2,08	1,91	1,91	1,94	2	2,01
	des tiges des tiroirs . . . . .	2,484	"	"	2,4	2,4	1,8	0,816	0,816	0,816	0,82	0,82	2,48	2,2	1,976	1,976	2,01	2,26	2,27
Longueur des bielles motrices . . . . .	1,85	"	"	1,738	1,788	1,99	1,9	1,712	2,45	1,78	1,78	1,665	2,4	2,05	2,05	2,09	2,55	1,98	

TABLEAU I (suite)

	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche à grande vitesse	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Nord français	LOCOMOTIVE de la Société autrichienne-hongroise des chemins de fer de l'Etat à grande vitesse		LOCOMOTIVE de la Compagnie d'Orléans à grande vitesse	LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat		LOCOMOTIVE de la Société autrichienne-hongroise des chemins de fer de l'Etat	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche	LOCOMOTIVE de la Compagnie d'Orléans	LOCOMOTIVE des chemins de fer du Sud de l'Autriche				LOCOMOTIVE de la Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat		
	Série 16 <sup>b</sup> , type 1885-1888 (Pl. IX, fig. 1 et 1a)	Type 1873	N° 2101	Catégorie I, type 1882 (Pl. X, fig. 2 et 2a)	Catégorie Ia, type 1886 (Pl. X, fig. 3 et 3a)	N° 401, type 1889	Catégorie IV <sup>f</sup> , type 1887 (Pl. XII, fig. 2 et 2a)	Catégorie IV <sup>s</sup> , type 1873 (Pl. XII, fig. 3 et 3a)	Catégorie V, type 1875 (Pl. XII, fig. 3 et 3a)	Série 32 <sup>c</sup> , type 1884	Série 32 <sup>c'</sup> , type 1889 (Pl. XIII, fig. 1 et 1a)	N° 1825, type 1889	Série 35 <sup>d</sup> , type 1883 (Pl. XIII, fig. 2)	Série 3, type 1883	Série 3a, type 1884 (Pl. XI, fig. 1 et 1a)	Série 3b, type 1886 (Pl. XI, fig. 1 et 2a)	Catégorie IV <sup>c'</sup> , type 1884 (Pl. XI, fig. 4 et 4a)	Catégorie V <sup>c</sup> , type 1885 (Pl. XI, fig. 6 et 6a)
<b>Distribution.</b>																		
Longueur des lumières d'admission ou d'échappement.	0 <sup>m</sup> ,33	"	"	0 <sup>m</sup> ,34	0 <sup>m</sup> ,34	0 <sup>m</sup> ,4	0 <sup>m</sup> ,29	0 <sup>m</sup> ,29	0 <sup>m</sup> ,294	0 <sup>m</sup> ,3	0 <sup>m</sup> ,3	0 <sup>m</sup> ,36	0 <sup>m</sup> ,316	0 <sup>m</sup> ,17	0 <sup>m</sup> ,17	0 <sup>m</sup> ,17	0 <sup>m</sup> ,2	0 <sup>m</sup> ,25
Inclinaison de la table des tiroirs sur l'horizontale (tg)	1/7	"	"	117 p. 1000	117 p. 1000	"	"	"	"	"	"	"	"	1 : 9,67	1 : 9,67	1 : 9,25	"	1,20
Rayon d'excentricité	0 <sup>m</sup> ,076	"	"	0 <sup>m</sup> ,055	0 <sup>m</sup> ,055	0 <sup>m</sup> ,055	0 <sup>m</sup> ,076	0 <sup>m</sup> ,079	0 <sup>m</sup> ,069	0 <sup>m</sup> ,08	0 <sup>m</sup> ,08	0 <sup>m</sup> ,068	0 <sup>m</sup> ,085	0 <sup>m</sup> ,055	0 <sup>m</sup> ,055	0 <sup>m</sup> ,06	0 <sup>m</sup> ,60	0 <sup>m</sup> ,06
Angle d'avance	{ en avant. 15° 30'	"	"	30°	29° 25'	29° 20'	22°	19°	17°	16°	16°	20°	18°	20°	20°	30°	30°	30°
	{ en arrière. 14 30	"	"	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.
Recouvrement	{ extérieur 0 <sup>m</sup> ,0245	"	"	0 <sup>m</sup> ,0275	0 <sup>m</sup> ,0275	0 <sup>m</sup> ,026	0 <sup>m</sup> ,0155	0 <sup>m</sup> ,012	0 <sup>m</sup> ,013	0 <sup>m</sup> ,0265	0 <sup>m</sup> ,0265	0 <sup>m</sup> ,0235	0 <sup>m</sup> ,031	0 <sup>m</sup> ,018	0 <sup>m</sup> ,018	0 <sup>m</sup> ,0185	0 <sup>m</sup> ,03	0 <sup>m</sup> ,03
	{ intérieur 0	"	"	0 <sup>m</sup> ,0005	0 <sup>m</sup> ,0005	0 <sup>m</sup> ,0005	0 <sup>m</sup> ,00075	"	0 <sup>m</sup> ,0022	0 <sup>m</sup> ,001	0 <sup>m</sup> ,001	0 <sup>m</sup> ,0005	"	0 <sup>m</sup> ,0005	0 <sup>m</sup> ,0005	0 <sup>m</sup> ,0005	0 <sup>m</sup> ,0005	0 <sup>m</sup> ,0005
Diamètre des tuyaux	{ d'arrivée de vapeur 0 <sup>m</sup> ,13	"	"	0 <sup>m</sup> ,115	0 <sup>m</sup> ,115	"	0 <sup>m</sup> ,118	0 <sup>m</sup> ,118	0 <sup>m</sup> ,118	0 <sup>m</sup> ,116	0 <sup>m</sup> ,116	"	"	0 <sup>m</sup> ,68	0 <sup>m</sup> ,068	0 <sup>m</sup> ,08	0 <sup>m</sup> ,105	0 <sup>m</sup> ,105
	{ d'échappement 0 <sup>m</sup> ,15	"	"	0 <sup>m</sup> ,15	0 <sup>m</sup> ,15	"	0 <sup>m</sup> ,132	0 <sup>m</sup> ,132	0 <sup>m</sup> ,145	0 <sup>m</sup> ,145	0 <sup>m</sup> ,145	"	"	0 <sup>m</sup> ,78	0 <sup>m</sup> ,078	0 <sup>m</sup> ,09	0 <sup>m</sup> ,117	0 <sup>m</sup> ,117
<b>Frein.</b>																		
Système	a vide (Hardy)	"	"	{ a vide (Smith-Hardy)	{ a vide (Smith-Hardy)	(Wenger)	"	"	"	{ a vide (Smith-Hardy)	{ a vide (Smith-Hardy)	(Wenger)	{ a vide (Smith-Hardy)	{ a vide (Smith-Hardy)	{ a vide (Smith-Hardy)	{ a vide (Smith-Hardy)	{ a vide (Smith-Hardy)	{ a vide (Smith-Hardy)
Nombre des cylindres à vide	2	"	"	"	"	"	"	"	"	2	2	"	2	1	1	1	"	"
Diamètre	0 <sup>m</sup> ,45	"	"	"	"	"	"	"	"	0 <sup>m</sup> ,45	0 <sup>m</sup> ,45	"	0 <sup>m</sup> ,45	0 <sup>m</sup> ,45	0 <sup>m</sup> ,45	0 <sup>m</sup> ,45	"	"
Effort correspondant à un vide de 2/3 d'atmosphère	14 <sup>l</sup> ,7	"	"	"	"	"	"	"	"	20 <sup>l</sup> ,6	20 <sup>l</sup> ,6	"	17 <sup>l</sup> ,57	9 <sup>l</sup> ,17	9 <sup>l</sup> ,17	9 <sup>l</sup> ,3	"	"
<b>Poids.</b>																		
Locomotive vide	40 <sup>l</sup> ,435	34 <sup>l</sup> ,335	39 <sup>l</sup> ,4	42 <sup>l</sup> ,45	44 <sup>l</sup> ,2	49 <sup>l</sup> ,65	34 <sup>l</sup> ,6	30 <sup>l</sup> ,3	39 <sup>l</sup> ,35	36 <sup>l</sup> ,4	36 <sup>l</sup> ,4	46 <sup>l</sup> ,15	45 <sup>l</sup> ,125	13 <sup>l</sup> ,9	14 <sup>l</sup> ,25	17 <sup>l</sup> ,06	22 <sup>l</sup> ,25	27 <sup>l</sup> ,19
Locomotive en charge	{ Hauteur d'eau (froide) au-dessus du ciel du foyer 0 <sup>m</sup> ,15	0 <sup>m</sup> ,15	0 <sup>m</sup> ,1	0 <sup>m</sup> ,1	0 <sup>m</sup> ,1	0 <sup>m</sup> ,1	"	"	"	0 <sup>m</sup> ,155	0 <sup>m</sup> ,155	0 <sup>m</sup> ,1	0 <sup>m</sup> ,15	0 <sup>m</sup> ,15	0 <sup>m</sup> ,15	0 <sup>m</sup> ,15	0 <sup>m</sup> ,105	0 <sup>m</sup> ,105
	{ de charbon sur la grille 250 <sup>kg</sup>	"	"	200 <sup>kg</sup>	200 <sup>kg</sup>	200 <sup>kg</sup>	"	"	"	350 <sup>kg</sup>	350 <sup>kg</sup>	200 <sup>kg</sup>	300 <sup>kg</sup>	2 <sup>l</sup> ,2	2 <sup>l</sup> ,2	2 <sup>l</sup> ,7	"	"
	{ Poids d'eau dans la chaudière 130	"	"	"	"	"	"	"	"	300	300	"	200	0 <sup>l</sup> ,95	0 <sup>l</sup> ,95	1 <sup>l</sup> ,16	"	"
	{ de charbon dans la caisse à combustible	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	2 <sup>l</sup> ,24	2 <sup>l</sup> ,91
Total (personnel compris)	44 <sup>l</sup> ,4	38 <sup>l</sup> ,5	43 <sup>l</sup> ,2	47 <sup>l</sup> ,4	49 <sup>l</sup> ,4	54 <sup>l</sup> ,7	38 <sup>l</sup> ,3	33 <sup>l</sup> ,8	44 <sup>l</sup> ,9	41 <sup>l</sup> ,65	41 <sup>l</sup> ,65	51 <sup>l</sup> ,5	51 <sup>l</sup> ,9	0 <sup>l</sup> ,12	0 <sup>l</sup> ,12	0 <sup>l</sup> ,15	28 <sup>l</sup> ,15	36 <sup>l</sup> ,5
Répartition par essieu	{ 1 <sup>er</sup> essieu 8,65	7,5	8,15	12	12,7	14,2	12,8	11,3	11,2	"	"	12,4	12,76	0 <sup>l</sup> ,09	0 <sup>l</sup> ,09	0 <sup>l</sup> ,07	9 <sup>l</sup> ,25	9 <sup>l</sup> ,06
	{ 2 <sup>e</sup> — id.	id.	id.	13,5	13,7	15,7	id.	11,4	id.	13,85	13,85	12,5	12,82	18,9	19,25	23,5	9 <sup>l</sup> ,4	9 <sup>l</sup> ,03
	{ 3 <sup>e</sup> — 13,7	12,4	14,6	13,2	13	id.	12,7	11,1	11,3	14	14	13,9	12,5	9 <sup>l</sup> ,15	9 <sup>l</sup> ,3	11,55	9 <sup>l</sup> ,5	9 <sup>l</sup> ,21
	{ 4 <sup>e</sup> — 13,4	10,1	12,3	8,7	10	9,1	"	11,2	13	13	13	12,7	12,82	9 <sup>l</sup> ,75	9 <sup>l</sup> ,95	11,95	"	9 <sup>l</sup> ,2
Effort de traction $0,65 \frac{p d^2 l}{D}$	4,324	3,95	5,07	3,906	4,037	5,703	5,876	5,184	6,901	7,944	7,864	6,589	9,414	2,154	2,73	3,66	3,721	5,32
Poids utile pour l'adhérence	27,1	22,5	26,9	26,7	26,7	31,4	38,3	33,8	44,9	41,65	41,65	39,1	51,9	18,9	19,25	23,5	28,15	36,5
Rapport du poids adhérent à l'effort de traction	6,4	5,7	5,3	6,83	6,61	5,5	6,5	6,5	6,5	5,2	5,2	5,9	5,5	7,5	7	6,4	7,5	6,8
<b>Caisses à eau et à combustible.</b>																		
Capacité totale des caisses	{ à eau	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	2 <sup>m</sup> 3,2	2 <sup>m</sup> 3,2	2 <sup>m</sup> 3,7	3 <sup>m</sup> 3,6	4 <sup>m</sup> 3,3
	{ à combustible	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1 <sup>m</sup> 15	1 <sup>m</sup> 15	1 <sup>m</sup> 5	0 <sup>m</sup> 8	1 <sup>m</sup> 74



TROISIÈME PARTIE.  
DÉPENSES DE TRACTION.

---

I. RÉPARTITION DES DÉPENSES DE TRACTION  
ENTRE LES DIVERSES LIGNES.

1° *Chemins de fer du Sud de l'Autriche.* — Aux chemins de fer du Sud de l'Autriche on calcule en bloc la somme des dépenses de traction en imputant à chaque ligne les dépenses auxquelles la traction sur chacune d'elles a donné lieu. Toutefois, pour certaines dépenses, cette imputation est impraticable; telles sont les dépenses de service central, du graissage des wagons, de réparation des wagons de voyageurs d'une part et de marchandises de l'autre. Pour celles-ci la répartition se fait d'après les règles basées sur les conventions suivantes :

(a) *Service central.* — On calcule, pour chaque ligne, le rapport des recettes de cette ligne aux recettes de l'ensemble du réseau. Ce rapport ramené à 100 donne un coefficient par lequel on doit multiplier les dépenses totales du service central pour obtenir la portion de ces dépenses qui est imputable à la ligne considérée.

(b) *Graissage des wagons.* — Le coefficient par lequel on doit multiplier les dépenses totales du graissage des wagons pour calculer la fraction de ces dépenses afférente à chaque ligne, s'obtient en prenant le rapport du nombre d'essieux kilométriques relatif à la ligne considérée, au nombre total d'essieux kilométriques de l'ensemble du réseau.

(c) *Réparations des wagons de voyageurs.* — Le coeffi-

cient relatif à chaque ligne se calcule comme pour le graissage des wagons. Il en est de même des :

(d) *Réparations des wagons de marchandises.*

2° *Réseau autrichien de la société A.-H. des chemins de fer de l'État.* — La différence de régime des lignes principales de ce réseau, dont il a été fait mention au début de ce mémoire, apporte dans le calcul et la répartition des frais de traction une complication que ne présentent point les chemins de fer du Sud de l'Autriche.

Il a été dit ci-dessus que :

1° Le réseau complémentaire et le chemin de fer Brunn-Rossitz jouissent d'une garantie de l'État.

2° Le réseau autrichien est divisé, au point de vue du service de la traction, en trois sections, dont la première et la deuxième contiennent seules des lignes appartenant à la portion garantie du réseau.

Dès lors si on appelle :

$N_1$  le nombre de kilomètres de trains effectués sur la portion non garantie de la première section.

$N'_1$  le nombre de kilomètres de trains effectués sur la portion garantie de la même section.

$F_1$  le total des frais de traction relatif à cette section, les dépenses de traction par kilomètre de trains sur cette section seront :

$$\frac{F_1}{N_1 + N'_1}$$

En adoptant, pour la seconde section, les mêmes notations affectées de l'indice 2, on aura, pour les dépenses de traction, par kilomètre de trains sur cette section, l'expression :

$$\frac{F_2}{N_2 + N'_2}$$

Posons :

$$\frac{F_1 N'_1}{N_1 + N'_1} + \frac{F_2 N'_2}{N_2 + N'_2} = A.$$

On calcule par cette formule pour les deux parties du réseau garanti :

1° La quantité A relative au réseau complémentaire.

2° La quantité B relative au chemin de fer Brunn-Rossitz. Si d'ailleurs S désigne la somme des frais de traction du réseau autrichien, l'expression  $D = S - (A + B)$  représente la somme des dépenses de traction à imputer aux autres lignes. La répartition entre ces dernières se fait de la manière suivante : On calcule, en le ramenant à 100, le rapport des tonnes kilométriques relatives à chaque ligne au nombre total des tonnes kilométriques relatives à l'ensemble du réseau non garanti. Soit  $\alpha$  le résultat de ce calcul.

On fait le même calcul pour les trains-kilomètres. Soit  $\beta$  le coefficient ramené à 100 ainsi obtenu.

On prend la moyenne arithmétique  $\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}$  de ces deux nombres, comme coefficient de répartition entre les lignes des dépenses D de traction.

Pour déterminer enfin les frais de traction imputables à chaque ligne pour les divers articles (graissage, éclairage, etc.) qui seront indiqués plus loin dans le détail des dépenses, on admet entre les nombres relatifs à chacun de ces articles le même rapport de proportionnalité qu'entre les nombres correspondants qui figurent dans la somme des dépenses relatives à l'ensemble du réseau.

Ce mode de répartition ne s'applique qu'aux dépenses proprement dites de traction (personnel, frais de bureau, combustible, graissage des locomotives et wagons, alimentation en eau des locomotives, éclairage).

Pour les articles du chapitre « Entretien, » qui comprend l'entretien des locomotives, des wagons de voyageurs ou de marchandises, des chasse-neige, des voitures de factage, on adopte le mode de répartition suivant :

1° On affecte aux lignes garanties une fraction de ces

dépenses proportionnelle au rapport du nombre de trains kilométriques relatif à ces lignes au nombre total de trains kilométriques de l'ensemble du réseau ;

2° Le coefficient relatif aux lignes secondaires est calculé de la même façon, mais en substituant au nombre des trains kilométriques celui des essieux kilométriques.

## II. DÉTAIL DES DÉPENSES.

On donnera successivement le détail, pour l'année 1888, des frais de traction pour les lignes principales et pour les lignes secondaires. Aucune distinction n'est à faire, à ce point de vue, entre les trains ordinaires et les trains secondaires circulant sur les lignes principales, les deux compagnies ne tenant aucun compte spécial pour les dépenses de cette dernière catégorie de trains.

### § 1. — Lignes principales.

1° *Chemins de fer du Sud de l'Autriche.* — Avant de donner le détail des dépenses du service du matériel et de la traction, il convient d'indiquer pour quelle part elles entrent dans le chiffre des dépenses totales. Le tableau suivant donne la répartition, par services, de ces dépenses totales relatives à l'année 1888.

DÉSIGNATION DES SERVICES	PAR	PAR
	100 tonnes kilométriques brutes	kilomètre de trains
	francs	francs
Administration générale. . . . .	0,0630	0,147
Exploitation. . . . .	0,3780	0,840
Matériel et traction. . . . .	0,2836	0,630
Entretien et surveillance de la voie.	0,2250	0,504
Total. . . . .	0,9496	2,121



Le détail des frais de traction est donné par le tableau suivant :

Nombre de kilomètres de trains . . . . .	(*) 15.036.280
— de tonnes kilométriques brutes. . . . .	3.320.580.600

## I. Service central.

Traitement du personnel du service central. . . . .	308.745 <sup>f</sup> ,67
Frais de bureau et divers. . . . .	7.016,21
Total. . . . .	315.761 <sup>f</sup> ,88

## II. Service des lignes.

## 1° Traction.

Personnel, primes, indemnités de route, etc. . . . .	2.103.483 <sup>f</sup> ,76
Frais de bureau, imprimés, etc. . . . .	20.199,41
Combustible pour locomotives . . . . .	2.747.655,50
Graissage, nettoyage et éclairage des locomotives. . . . .	149.566,75
Graissage des wagons. . . . .	63.679,52
Alimentation. . . . .	90.519,27
Éclairage, chauffage et nettoyage des dépôts . . . . .	160.302,65
Entretien et renouvellement des objets à invento- riar. . . . .	32.545,40
total. . . . .	5.367.951 <sup>f</sup> ,96

## 2° Entretien du matériel roulant.

Locomotives et tenders . . . . .	1.975.090 <sup>f</sup> ,36
Wagons à voyageurs . . . . .	648.890,66
— à marchandises. . . . .	1.103.587,77
Réparations extraordinaires . . . . .	61.573,77
Total. . . . .	3.789.142 <sup>f</sup> ,56
Total général. . . . .	9.472.856 <sup>f</sup> ,40

(\*) Ce nombre comprend les parcours des locomotives endou-  
ble traction, c'est-à-dire qu'on l'a calculé en doublant le nom-  
bre des kilomètres de trains remorqués par deux machines.

Par kilomètre de trains. . . . .	{	Service central . . . . .	0 <sup>f</sup> ,0210
		Traction. . . . .	0,3570
		Entretien du matériel roulant. . . . .	0,2520
Total. . . . .			0 <sup>f</sup> ,6300

Par 100 tonnes kilométriques brutes. . . . .	{	Service central . . . . .	0 <sup>f</sup> ,0092
		Traction. . . . .	0,1614
		Entretien du matériel roulant. . . . .	0,1130
Total. . . . .			0 <sup>f</sup> ,2836

Ces frais sont relatifs à l'ensemble des lignes princi-  
pales. Il m'a semblé toutefois intéressant d'en rappro-  
cher les dépenses de traction sur les lignes à forte rampe  
du Brenner et du Semmering, dont les locomotives ont  
été l'objet d'une étude détaillée dans la deuxième partie  
du présent mémoire. Ces frais sont rapportés au kilo-  
mètre de train, et l'on a compté pour deux trains chacun  
de ceux qui sont remorqués par deux locomotives :

NATURE DES DÉPENSES	ENSEMBLE des lignes principales	SEMMERING	BRENNER
	francs	francs	francs
Personnel, primes et indemnités de route. . . . .	0,1391	0,2310	0,1850
Combustible pour locomotives. . . . .	0,1820	0,2941	0,3232
Graissage, nettoyage, éclairage des locomo- tives. . . . .	0,0093	0,0440	0,0391
Graissage des wagons. . . . .	0,0040	0,0042	0,0040
Alimentation. . . . .	0,0062	0,0151	0,0060
Éclairage, chauffage et nettoyage des dépôts. . . . .	0,0110		
Entretien et renouvellement des objets à in- ventorier. . . . .	0,0021	0,0291	0,0313
Réparation des locomotives et tenders . . . . .	0,1340	0,2521	0,2144
Entretien des wagons à voyageurs . . . . .	0,0432	0,1130	0,0922
— à marchandises. . . . .	0,0730	0,0823	0,0820
Par kilomètre de train. . . . .	0,6009	1,0649	0,9769

La comparaison des dépenses de traction, évaluées  
comme ci-dessus, rapportées à 100 tonnes kilométriques  
brutes, donne les chiffres suivants :

	ENSEMBLE du réseau	SEMMERING	BRENNER
	francs	francs	francs
Par 100 tonnes kilométriques brutes . . . . .	0,2701	0,9793	0,8821

2° Réseau autrichien de la société A.-H. des chemins de fer de l'État. — Adoptant l'ordre qui vient d'être suivi pour les dépenses de traction des chemins de fer du Sud de l'Autriche, on indiquera successivement la répartition par service des dépenses totales et le détail des frais de traction.

La répartition des dépenses par service ne sera donnée que pour la portion non garantie du réseau, la comptabilité spéciale du réseau garanti ne fournissant pas de résultats correspondants.

Cette répartition pour l'année 1888, rapportée à 100 tonnes kilométriques brutes et au kilomètre de train, est résumée dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES SERVICES	PAR 100 tonnes kilométriques brutes	PAR kilomètre de train
	francs	francs
Administration générale . . . . .	0,0519	0,1313
Exploitation . . . . .	0,3751	0,9324
Matériel et traction . . . . .	0,2530	0,5910
Entretien et surveillance de la voie . . . . .	0,2180	0,5353
Total . . . . .	0,8780	2,1930

Le tableau suivant donne pour l'année 1888 le détail des dépenses de traction, tant pour lignes dites anciennes

	LIGNES anciennes	RÉSEAU complémentaire	CHEMINS de fer Brünn- Rossitz
Nombre de kilomètres de train . . . . .	4.439.260,7	1.527.533,3	178.733,6
— de tonnes kilométriques brutes . . . . .	126.282.400	37.051.280	3.383.200
<b>I. Service central.</b>			
	francs	francs	francs
Traitement du personnel du service central . . . . .	138.715,33	45.688,91	4.702,66
Frais de bureau et divers . . . . .	6.565,84	2.162,59	222,60
Total . . . . .	145.281,17	47.851,50	4.925,26
<b>II. Service des lignes.</b>			
<b>1° Traction.</b>			
Personnel, primes, indemnités de route, etc. . . . .	856.451,97	265.892,30	35.252,76
Frais de bureau, imprimés, etc. . . . .	8.189,71	3.402,54	377,59
Combustible pour locomotives . . . . .	599.875,22	233.265,61	22.180,18
Graissage, nettoyage et éclairage des locomotives . . . . .	59.320,04	21.355,49	1.831,81
Graissage des wagons . . . . .	30.458,50	9.661,01	1.057,09
Alimentation . . . . .	29.619,60	6.737,50	2.063,56
Eclairage, chauffage et nettoyage des dépôts . . . . .	8.139,77	3.734,50	329,03
Entretien et renouvellement des objets à inventorier . . . . .	9.908,14	3.152,92	490,66
Total . . . . .	1.601.962,95	547.201,87	63.582,68
<b>2° Entretien du matériel roulant.</b>			
Locomotives et tenders . . . . .	391.270,32	175.762,10	20.565,53
Wagons à voyageurs . . . . .	192.185,20	62.433,13	7.305,14
— à marchandises . . . . .	420.168,10	130.295,89	15.215,62
Réparations extraordinaires . . . . .	22.154,01	7.595,82	888,72
Total . . . . .	1.025.777,63	376.086,94	44.005,01
<b>Total général . . . . .</b>			
	2.773.021,75	971.140,31	112.512,95
Par kilomètre de train . . . . .	Service central . . . . .	0,0330	0,0313
	Traction . . . . .	0,3610	0,3583
	Entretien du matériel roulant . . . . .	0,2310	0,2471
	Total . . . . .	0,6250	0,6367
Par 100 tonnes kilométriques brutes . . . . .	Service central . . . . .	0,0110	0,0129
	Traction . . . . .	0,1270	0,1477
	Entretien du matériel roulant . . . . .	0,0800	0,1014
	Total . . . . .	0,2180	0,2620

Comparaison entre les deux réseaux. — Si l'on compare le prix de revient du kilomètre de train sur les deux réseaux, il importe d'observer que le nombre de kilo-



mètres de train a été calculé, aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, en faisant intervenir les parcours en double traction, c'est-à-dire en comptant comme double le parcours des trains remorqués par deux locomotives. Cette majoration n'est pas appliquée dans la comptabilité de la société A.-H. Pour rendre la comparaison possible, il convient donc tout d'abord de retrancher du nombre de trains kilométriques indiqué aux chemins de fer du Sud de l'Autriche (15.036.280) le nombre des kilomètres parcourus en double traction (soit 1.269.737) (voir page 11), ce qui ramène à 13.766.543 le chiffre des trains kilométriques. C'est ce qui a été fait dans les calculs dont les résultats sont indiqués ci-dessous, où l'on a divisé, pour obtenir les dépenses rapportées au kilomètre de train, les dépenses totales relatives aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, non plus par 15.036.280, mais par 13.766.543. Ces résultats ne seront pas, du reste, comparés aux chiffres correspondants du réseau autrichien tout entier de la société A.-H., mais seulement aux anciennes lignes non garanties; la portion garantie de ce réseau est effectivement soumise à un régime de comptabilité spéciale qui rend toute comparaison impossible. Cette comparaison réduite à ces termes portera : 1° sur la répartition par service des dépenses totales rapportées au kilomètre de train et aux 100 tonnes kilométriques brutes; 2° sur le détail des frais de traction rapportés aux 100 tonnes kilométriques. Le tableau suivant donne les éléments relatifs à la répartition par service :

DÉSIGNATION DES SERVICES	PAR 100 tonnes kilométriques brutes		PAR kilomètre de train	
	Chemins de fer du Sud de l'Autriche	Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat	Chemins de fer du Sud de l'Autriche	Société A.-H. des chemins de fer de l'Etat
	francs	francs	francs	francs
Administration générale. . . . .	0,0630	0,0519	0,4602	0,4313
Exploitation. . . . .	0,3780	0,3751	0,9148	0,9324
Matériel et traction. . . . .	0,2836	0,2330	0,6860	0,5940
Entretien et surveillance de la voie.	0,2250	0,2180	0,5490	0,5353
Total. . . . .	0,9496	0,8780	2,3100	2,1930

La comparaison du détail des frais de traction rapportés aux 100 tonnes kilométriques brutes donne les résultats suivants :

NATURE DES DÉPENSES	CHEMINS de fer du Sud de l'Autriche	SOCIÉTÉ A.-H. des chemins de fer de l'Etat
<b>I. Service central.</b>		
Traitement du personnel du service central . . . . .	francs 0,0090	francs 0,0103
Frais de bureau et divers . . . . .	0,0002	0,0005
Total . . . . .	0,0092	0,0110
<b>II. Service des lignes.</b>		
<i>1° Traction.</i>		
Personnel, primes, indemnités de route, etc. . . . .	0,0633	0,0678
Frais de bureau, imprimés . . . . .	0,0006	0,0007
Combustible pour locomotives . . . . .	0,0827	0,0476
Graissage, nettoyage et éclairage des locomotives . . . . .	0,0045	0,0046
— des wagons . . . . .	0,0019	0,0025
Alimentation . . . . .	0,0027	0,0024
Eclairage, chauffage et nettoyage des dépôts . . . . .	0,0048	0,0007
Entretien et renouvellement des objets à inventorier . . . . .	0,0009	0,0007
Total . . . . .	0,1614	0,1270
<i>2° Entretien.</i>		
Locomotives et tenders . . . . .	0,0590	0,0309
Wagons à voyageurs . . . . .	0,0190	0,0152
— à marchandises . . . . .	0,0340	0,0322
Réparations extraordinaires . . . . .	0,0010	0,0017
Total . . . . .	0,1130	0,0800
Total général . . . . .	0,2836	0,2180

Ainsi la société A.-H. des chemins de fer de l'État réalise, sur ses frais de traction par rapport à la société des chemins de fer du Sud de l'Autriche, une économie de 0',0656 par kilomètre de train.

Cette différence provient, pour 0',0344, du service de la traction proprement dit, et, pour 0',0330, de l'entretien du matériel. Il y a une légère différence de 0',0018 en sens inverse sur les dépenses du service central, mais elle est trop faible pour compenser les écarts qui existent sur les deux autres articles.

Au chapitre traction la différence entre les dépenses

de charbon est dominante, puisqu'elle est à elle seule de 0',0351, ce qui correspond, pour la compagnie des chemins de fer du sud de l'Autriche, à une augmentation de 73 p. 100. Il est bien vrai que les équivalents des combustibles employés sur les deux réseaux ne sont pas rapportés aux mêmes unités, ce qui ne permet pas d'établir, à ce point de vue, une comparaison absolument rigoureuse. En tout cas on peut justifier, dans une certaine mesure, cette élévation de la dépense de combustible sur les chemins du Sud par les conditions défavorables où les place le profil accidenté de ses lignes, et l'obligation qui en résulte de remorquer une partie des trains en double traction. On peut seulement se demander s'il n'y a pas à établir une corrélation entre l'économie de combustible constatée et la valeur relative des primes d'économie, qui sont sensiblement plus élevées à la société de l'État qu'à celle des chemins de fer du Sud.

Il convient aussi de noter l'écart existant, au profit de la société de l'État, à l'article : Éclairage, chauffage et nettoyage des dépôts. Mais on doit reconnaître que l'économie réalisée de ce chef par cette compagnie tient à ce qu'une partie de cette dépense y est comptée à l'exploitation.

Si on passe maintenant au chapitre de l'entretien du matériel, on constate sur tous les articles qui le composent, à l'exception d'un seul, des augmentations au compte des chemins de fer du Sud, ce qu'expliquent le caractère accidenté des lignes de son réseau et la faiblesse du rayon de ses courbes.

## § 2. — Lignes secondaires.

1° *Chemins de fer du Sud de l'Autriche.* — On donnera ci-dessous le détail, pour l'année 1888, des frais de



386 SERVICE DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION

traction relatifs à la ligne de Spielfeld à Radkersburg, dont les éléments sont les suivants :

Profil : une courte rampe de 21 millimètres par mètre, partout ailleurs les rampes ne dépassent pas 4 millimètres.

Longueur, 30<sup>km</sup>,9.

Nombre de kilomètres de trains . . . . .	69.000
— de tonnes kilométriques brutes . . . . .	4.030.900

I. Service central.

Traitement du personnel du service central . . . . .	508 <sup>f</sup> ,19
Frais de bureau et divers . . . . .	21,01
Total . . . . .	529 <sup>f</sup> ,20

II. Service des lignes.

1° Traction.

Personnel, primes, indemnité de route, etc. . . . .	5.077 <sup>f</sup> ,80
Frais de bureau, imprimés, etc. . . . .	63,00
Combustible pour locomotives . . . . .	7.284,90
Graissage, nettoyage et éclairage des locomotives . .	451,84
— des wagons . . . . .	134,82
Alimentation . . . . .	222,00
Éclairage, chauffage et nettoyage des dépôts . . . . }	733,06
Entretien et renouvellement des objets à inventorier. }	
Total . . . . .	13.967 <sup>f</sup> ,42

2° Entretien du matériel roulant.

Locomotives . . . . .	6.312 <sup>f</sup> ,10
Wagons à voyageurs . . . . .	2.387,70
— à marchandises . . . . .	1.656,90
Réparations extraordinaires . . . . .	49,68
Total . . . . .	10.406 <sup>f</sup> ,38
Total général . . . . .	24.633 <sup>f</sup> ,00

DES CHEMINS DE FER AUTRICHIENS. 387

Par kilomètre de train . . . . .	{	Service central . . . . .	0 <sup>f</sup> ,0076
		Traction . . . . .	0,2025
		Entretien du matériel roulant . . . . .	0,1469
Total . . . . .			0 <sup>f</sup> ,3570

Par 100 tonnes kilométriques brutes . . . . .	{	Service central . . . . .	0 <sup>f</sup> ,0131
		Traction . . . . .	0,3464
		Entretien du matériel roulant . . . . .	0,2516
Total . . . . .			0,6111

2° Réseau autrichien de la société A.-H. des chemins de fer de l'État. — On prendra comme exemple de ligne secondaire de ce réseau celle de Sadska à Nimburg, dont la longueur est de 7<sup>k</sup>,8 avec déclivités maxima de 0,004 :

Nombre de kilomètres de train . . . . .	18.727,7
— de tonnes kilométriques brutes . . . . .	1.748.100

I. Service central.

Traitement du personnel du service central . . . . .	432 <sup>f</sup> ,37
Frais de bureau et divers . . . . .	20,45
Total . . . . .	452 <sup>f</sup> ,82

II. Service des lignes.

1° Traction.

Personnel, primes, indemnités de route, etc. . . . .	2.332 <sup>f</sup> ,80
Frais de bureau, imprimés, etc. . . . .	22,30
Combustible pour locomotives . . . . .	1.633,95
Graissage, nettoyage et éclairage des locomotives . .	161,57
— des wagons . . . . .	82,97
Alimentation . . . . .	80,68
Éclairage, chauffage et nettoyage des dépôts . . . .	22,18
Entretien et renouvellement des objets à inventorier.	26,98
Total . . . . .	4.363 <sup>f</sup> ,43

2° *Entretien du matériel roulant.*

Locomotives . . . . .	2.154 <sup>f</sup> ,70
Wagons à voyageurs . . . . .	647,45
— à marchandises . . . . .	511,20
Réparations extraordinaires . . . . .	93,11
<b>Total . . . . .</b>	<b>3.406<sup>f</sup>,46</b>
<b>Total général . . . . .</b>	<b>8.222<sup>f</sup>,72</b>
Par kilomètre de train . . . . .	
Service central . . . . .	0 <sup>f</sup> ,0241
Traction . . . . .	0,2331
Entretien du matériel roulant . . . . .	0,1818
<b>Total . . . . .</b>	<b>0<sup>f</sup>,4390</b>
Par 100 tonnes kilométriques brutes . . . . .	
Service central . . . . .	0 <sup>f</sup> ,0259
Traction . . . . .	0,2496
Entretien du matériel roulant . . . . .	0,1947
<b>Total . . . . .</b>	<b>0<sup>f</sup>,4702</b>

Il semble difficile d'établir un parallèle détaillé entre les dépenses de traction des lignes secondaires de ces deux réseaux en raison des différences de leur matériel. Je me bornerai donc à extraire des tableaux précédents les chiffres ci-après :

DÉPENSES DE TRACTION DES LIGNES SECONDAIRES	CHEMINS DE FER du Sud de l'Autriche	SOCIÉTÉ A.-H. des chemins de fer de l'Etat
Par kilomètre de train . . . . .	francs 0,3570	francs 0,4390
Par 100 tonnes kilométriques brutes . . . . .	0,6111	0,4702

## NOTE

SUR

L'EXPLOSION DE GRISOU  
DU Puits VERPILLEUX

Le 3 juillet 1889, à onze heures cinquante minutes du matin, les travaux souterrains du puits Verpilleux de la concession houillère de Méons (Loire) ont été le théâtre d'une catastrophe qui n'a pas fait moins de 213 victimes, dont 207 morts et 6 blessés. La présente note a pour objet de faire connaître les circonstances de l'accident et les résultats auxquels on est arrivé dans la recherche de ses causes.

## I. CONDITIONS GÉNÉRALES DE L'EXPLOITATION.

Le champ d'exploitation de Méons (Pl. XIV, *fig. 1*), compris entre les deux failles, grossièrement parallèles, de Méons à l'est et du Soleil à l'ouest, est limité, sur les deux autres côtés, par la faille de la République au nord et par la concession de Monthieux au sud ; il affecte la forme d'un parallélogramme de 1.200 mètres de longueur sur 700 mètres de largeur, dont la superficie est de 88 hectares environ.

La couche exploitée est la treizième du système de



Saint-Étienne, ou Grande Couche inférieure; son épaisseur est de 5 à 6 mètres; elle se divise en deux bancs: le banc du toit, d'une épaisseur de 1<sup>m</sup>,30, est formé d'un charbon de qualité secondaire; on le considère comme une couche distincte, la Crue, séparée du banc inférieur par un lit de gore de 0<sup>m</sup>,40, et on ne l'exploite qu'exceptionnellement. Le banc du mur, d'une épaisseur de 4 mètres fournit un excellent charbon de forge à 4, 3, et quelquefois 1 p. 100 seulement de cendres, avec 20 p. 100 de matières volatiles.

Dans la région nord-ouest du champ d'exploitation, la couche forme fond de bateau; elle se relève vers le sud-est avec une pente de 0<sup>m</sup>,13 par mètre, affectant la forme d'un dos d'âne dont le point culminant se trouve vers l'extrémité sud des chantiers exploités en 1889.

La couche est grisouteuse, mais le gaz s'en dégage moins d'une manière uniforme et continue que par intermittences locales, très variables comme intensité et comme durée; on n'a toutefois jamais observé à Méons de soufflard proprement dit.

Ce champ d'exploitation a été partagé arbitrairement en deux régions dont la ligne de séparation (ligne MN du plan, *fig.* 1, Pl. XIV), ne correspond à aucun accident de la couche, ni à aucune circonstance notable de l'exploitation.

La *région du nord-ouest*, ou région de Saint-Louis, est desservie par deux puits, le puits Saint-Louis et le puits des Flaches. Le puits Saint-Louis, d'une profondeur de 389 mètres, avec deux recettes intérieures, dont la plus basse est au mur de la couche, est affecté à l'extraction et à l'entrée de l'air. Le puits des Flaches, d'une profondeur de 362 mètres, est muni d'un ventilateur Guibal, aspirant, de 9 mètres de diamètre, et sert non seulement à l'aérage, mais encore à la descente des remblais.

La *région du sud-est*, ou quartier de Verpilleux, dis-

pose de trois puits, le puits Verpilleux, le puits du Bardot et le puits du Gagne-Petit. Le puits Verpilleux, au mur de la faille de Méons, avec deux recettes d'accrochage à 376 et 378 mètres de profondeur, est affecté à l'extraction et à la descente du courant d'air. Le puits du Bardot, profond de 316 mètres est exclusivement consacré au service des remblais. Le puits du Gagne-Petit, de 292 mètres de profondeur, muni d'un ventilateur Guibal de force égale à celui des Flaches, devait servir de retour d'air à tout le quartier Verpilleux. La distance qui sépare, dans les travaux, le puits Verpilleux du puits du Gagne-Petit, est d'environ 2 kilomètres. Par suite du grand rejet de la faille du Soleil (310 mètres), la treizième couche a été reportée presque en face de la huitième, exploitée autrefois par le puits Jabin; la galerie de retour d'air de Verpilleux, au delà de la faille, se trouve donc presque tout entière en 8<sup>e</sup> couche.

Ce champ d'exploitation de Méons s'étend en grande partie sous un des faubourgs de la ville de Saint-Étienne. Pour atténuer autant que possible les dégâts à la surface, qui grèvent l'exploitation de frais considérables, on décida d'enlever la couche en deux tranches, la première prise au mur, le plus rapidement possible, avec remblais extrêmement soignés, la seconde en couronne après le tassement des remblais.

L'allure rapide des travaux et la division du déhoulement en deux périodes éloignées étaient sans doute de nature à régulariser la descente des terrains supérieurs. Cette conduite de l'exploitation était donc rationnelle, en admettant que l'activité de l'aérage fût toujours maintenue en rapport avec celle de l'extraction.

La couche fut attachée à son aval-pendage par le puits Saint-Louis et par le travers-bancs venu de Verpilleux, et les niveaux furent tracés de 30 en 30 mètres en remontant.

On adopta le défilage par longues tailles chassantes en direction, sans traçage préalable, d'une longueur de 32 mètres environ suivant la pente : les remblais marchaient en arrière de la taille à une distance de 2 mètres au moins et de 4 mètres au plus. Chaque taille occupait 6 piqueurs, la production s'élevait à 72 tonnes par poste. Ce qui permet d'atteindre à Méons une production aussi considérable, c'est que le charbon de la Grande Couche est découpé par des plans de clivage parallèles à la ligne d'inclinaison, de sorte que les tailles cheminant en direction attaquent la houille suivant les faces de son clivage ; sous la pression du toit, ces larges feuilles de charbon font ventre au vide et s'abattent avec la plus grande facilité : il suffit d'y faire une coupure en couronne tout le long de l'avancement.

## II. SITUATION DE LA MINE AU MOMENT DE L'ACCIDENT.

1° *État des travaux.* — A la suite de pluies persistantes, l'entretien d'eau avait beaucoup augmenté ; le puits de l'Isérable, chargé de l'épuisement, n'avait pu y suffire, et il avait fallu lui adjoindre le puits Saint-Louis, où l'extraction avait dû être arrêtée pour faire place au service des bennes à eau ; par suite, le jour de l'explosion, toutes les tailles du fond de bateau au nord-ouest étaient désertes : au lieu des 212 hommes que comprenait habituellement le poste de jour du puits Saint-Louis, 49 ouvriers, boiseurs ou remblayeurs, étaient seuls descendus le matin dans la mine ; sans cette circonstance, le nombre des victimes eût été augmenté de 80 p. 100.

L'abatage se continuait au contraire avec toute son intensité dans le quartier du sud-est, desservi par le puits Verpilleux. On y comptait huit tailles en activité ; trois

de ces tailles, n° 5, n° 6, n° 4, étaient venues buter contre une faille, la faille de l'Isérable, où l'on avait constaté un rejet de 3 mètres ; les niveaux supérieurs de ces tailles avaient dû s'infléchir le long de la faille ; deux de ces niveaux, ceux des tailles n° 5 et n° 6, s'étaient avancés de 15 à 20 mètres en cul-de-sac ; bref, sur un parcours de 130 mètres environ, toutes les galeries desservant les avancements se trouvaient, sinon dans la faille elle-même, du moins au voisinage immédiat de celle-ci.

En outre de ces tailles n° 5, n° 6 et n° 4, échelonnées en gradins renversés le long du rejet de l'Isérable, le quartier Verpilleux comptait cinq autres tailles, savoir : les tailles n° 1, n° 2, n° 3, n° 7 et n° 13, dont la dernière en deuxième tranche.

C'est dans un étroit espace de trois hectares environ, vers les avancements du sud-est, qu'était concentrée toute l'activité de la mine.

2° *Circulation des remblais et des charbons.* — Les remblais de Verpilleux, les seuls à considérer, arrivaient par le puits du Bardot et descendaient aux tailles en cheminant en sens inverse du courant d'air.

Quant aux charbons, ils se concentraient en tête du grand plan de Verpilleux de l'étage 148 à l'étage 128 et s'écoulaient vers le puits par le travers bancs de Verpilleux.

Les charbons de la taille n° 3 arrivaient à la tête du plan de Verpilleux par le niveau des Flaches (cote 148), et devaient franchir la porte P<sub>3</sub>, qui était une porte simple ; les charbons des tailles n° 1 et n° 2 suivaient le même grand niveau des Flaches, sans trouver de portes d'aérage ; les tailles n° 7, n° 4 et n° 6 envoyaient leurs wagons à ce même niveau des Flaches par une descente 161<sup>m</sup>,46 à 157<sup>m</sup>,93 et 146<sup>m</sup>,43, qui est libre de toute porte ; enfin la taille n° 5, située à proximité de la tête du



plan, y envoyait les charbons par son niveau du fond.

En résumé, et sauf exception pour la porte P<sub>6</sub>, toute cette mine de Verpilleux était ouverte aux mouvements des remblais et des charbons.

3° *Aérage*. Il résulte des documents réunis par les soins du Service des Mines, que l'aérage de la mine était établi de la manière suivante.

Le courant d'air, entré par le puits Saint-Louis, se divisait en quatre branches. Le premier courant, issu de la recette supérieure de l'accrochage, quittait le niveau 125 un peu au-delà de l'écurie, suivait la descente de Méons, parcourait les tailles n° 5, n° 6<sub>C</sub>, n° 6<sub>B</sub> et A pour gagner par le grand plan des Flaches le puits du même nom.

Le deuxième courant s'engageait dans le niveau 125, traversait en dessous le plan des Flaches et, après avoir aéré les tailles n° 14 et n° 9, gagnait le retour d'air par le niveau 143.

Le troisième courant, parti de la recette inférieure, suivait le couloir de droite de la descente de Méons, parcourait les tailles n° 8, n° 7 et n° 3 et se joignait ensuite à la branche précédente. Ces trois courants fournissaient de l'air à tout le fond de bateau du nord-ouest.

Le quatrième courant aéra l'amont-pendage; il gagnait le niveau des Flaches par la remonte dite de communication, parcourait la taille n° 2 (niveau 158), aéra la taille n° 10 (niveau 165), et gagnait en descendant le puits de sortie.

Pour le quartier de Verpilleux, le plan montre qu'un long parcours était imposé au courant d'air, pour arriver du puits Verpilleux au puits du Gagne-Petit, vers lequel il était appelé par le ventilateur, donnant une dépression de 5 à 6 centimètres d'eau. La taille n° 3, la plus rapprochée du puits du Gagne-Petit, en était déjà éloignée de

1.300 mètres environ, et l'effet produit par le ventilateur aux chantiers se trouvait amoindri par les rentrées d'air qui se faisaient par les portes des recettes du puits Jabin, placées au voisinage immédiat du courant.

L'air, entré dans la mine par le puits Verpilleux et le travers-bancs du même nom, remontait le grand plan incliné de Verpilleux. Après avoir dépassé la lampisterie au carrefour du plan incliné et du chemin des ouvriers, dit la Baronnière (point E<sub>4</sub> du plan *fig.* 1), le courant arrivait à la voie du niveau des Flaches; là il se partageait en deux branches, dans des proportions qu'il est impossible de préciser: l'une s'engageait dans le niveau, y rencontrait la porte P<sub>6</sub>, remontait les tailles n° 13, n° 1, n° 2, n° 3, et gagnait ensuite le retour d'air; l'autre branche atteignait, par la remonte 146<sup>m</sup>,19 — 151<sup>m</sup>,40, le bas de la taille n° 5, parcourait les fronts d'abatage des tailles n° 6, n° 4, n° 7, et se réunissant à la première dérivation, passait par la taille n° 3 pour gagner le retour d'air. Mais il est nécessaire de remarquer qu'il n'existait à l'entrée du niveau des Flaches, au point 146<sup>m</sup>,19, aucune porte qui obligeât une partie du courant d'air à se dériver ainsi vers l'est par la remonte 146<sup>m</sup>,19 — 151<sup>m</sup>,40 pour aboutir aux tailles n° 5, 6 et 4 (\*), et que, pour se rendre à la voie de retour par la taille n° 7 et le plan Jabin n° 1, le courant d'air trouvait un peu plus loin un chemin plus direct et plus facile par la remonte 146<sup>m</sup>,43 — 157<sup>m</sup>,93 qui servait à descendre vers le puits le charbon des tailles supérieures et qui était à large section et dans un état excellent d'entretien.

Ainsi, au quartier de Verpilleux, le courant devait, dans le niveau des Flaches, se diviser de lui-même entre

(\*) C'est à tort que des portes ont été figurées en ce point sur le plan de la mine inséré dans le *Génie civil* (vol. XV, p. 265, numéro du 27 juillet 1889).

les diverses tailles suivant les facilités que lui offraient les voies ouvertes devant lui ; les diverses branches ainsi formées se réunissaient ensuite en un seul courant en deçà de la taille n° 3 pour se rendre au puits du Gagne-Petit.

D'après ce qui précède, l'aérage devait être ascendant dans les tailles n° 13, n° 1 et n° 2. En réalité, d'après le registre des avancements et les dépositions des ouvriers, l'aérage de ces tailles n° 13, n° 1 et n° 2 était fort souvent descendant, et dans ce cas le puits du Bardot aspirait l'air extérieur, tandis qu'il devait, en principe, ne jouer aucun rôle dans l'aérage, et, en fait, rejeter normalement à l'extérieur l'air passant à travers la porte qui le séparait du circuit.

Ces interventions de courant s'expliquent aisément. Ces tailles n° 2, n° 1 et n° 13 étaient situées entre le puits du Bardot et le puits des Flaches ; or les recettes intérieures de ces deux puits sont séparées par une courte distance, 500 mètres au plus en suivant le cheminement des galeries, et elles n'étaient isolées l'une de l'autre que par une seule porte  $P_7$ , si l'on ne considère que la branche d'aérage arrivant du puits Saint-Louis au puits des Flaches par la remonte de communication, ou par trois portes  $P_7$ ,  $P_{28}$  et  $P_{30}$  si l'on considère l'aspiration totale du ventilateur des Flaches. Lorsque, pour une cause quelconque, on venait à augmenter la vitesse du ventilateur, la dépression produite se faisait sentir, en dépit de la présence des portes, d'ailleurs mal jointives, jusqu'au puits du Bardot, l'air descendait par ce puits, et l'aérage était aussi descendant dans les tailles ; dans ce cas, pour assurer un débit suffisant au courant ainsi renversé, l'on ouvrait la porte placée à la recette inférieure du puits du Bardot ; lorsque, au contraire, la vitesse du ventilateur était diminuée, le courant normal se rétablissait, l'aérage redevenait ascendant dans les tailles, et le puits

du Bardot se bornait à évacuer au dehors l'air qui passait par la porte de sa recette, tenue d'ailleurs régulièrement fermée.

Il suit de là que, dans toute cette partie de la mine à grisou de Verpilleux, l'aérage était flottant, s'établissant tantôt dans un sens et tantôt dans un autre.

Quant au volume d'air total entrant dans la mine, les dernières observations antérieures à l'accident, faites en février 1887 dans le travers-bancs de Verpilleux, donnaient pour le débit de ce courant un volume de  $11^{\text{m}^3},7$  par seconde. La production de la mine ressortant par jour à 600 bennes de 450 kilogr., le rapport caractéristique de l'aérage était donc de  $\frac{11,7}{270} = \frac{1}{23}$ .

4° *Lampes.* — La mine étant grisouteuse, on ne se servait que de lampes de sûreté, du système Marsaut, et munies de la fermeture magnétique Villiers.

### III. — COUP DE FEU. — SES CONSÉQUENCES. — REPRISE DE LA MINE.

Telle était la situation de la mine lorsque, le 3 juillet, à 11<sup>h</sup>50<sup>m</sup> du matin, une détonation venant du fond fut entendue sur les plâtres de tous les puits en communication avec les travaux de Méons.

Au puits Verpilleux, la fumée n'arriva pas au jour ; à Saint-Louis, la colonne d'eau qui tombait dans le puits fut refoulée par delà les molettes ; une fumée noire sortit par le puits Jabin ; il en fut de même aux puits des Flaches et du Bardot.

C'était, à n'en pas douter, un coup de grisou qui s'était étendu à la mine entière : 214 ouvriers y étaient des-



cendus le matin, on put aussitôt pressentir qu'un très grand nombre d'entre eux avaient dû périr.

On se porta immédiatement au secours des victimes.

Au puits Verpilleux, on remonta tout d'abord les ouvriers qui, à l'une des recettes supérieures, travaillaient aux pompes ; puis deux des ingénieurs, accompagnés de deux ouvriers, entreprirent de descendre à la recette du fond ; mais au-dessous de la galerie qui va vers le puits Mars, l'atmosphère était irrespirable, et les quatre sauveteurs tombèrent asphyxiés : trois d'entre eux s'affaissèrent dans la cage, et remontés au jour non sans blessures peu d'instant après, purent être rappelés à la vie ; le quatrième, un des ouvriers, était tombé au fond du puits et s'était tué dans sa chute.

Toutefois, un peu plus tard, on reconnaissait que le courant d'air s'était rétabli dans le sens normal, et que les fumées avaient repris le chemin de Méons : on put alors descendre au fond, et l'on trouva un feu considérable dans l'écurie, près de la recette ; après avoir remonté quelques cadavres et essayé de lutter contre l'incendie, on fut obligé de se retirer devant les fumées de plus en plus abondantes, et l'on se décida à noyer le fond du puits.

A Saint-Louis, l'air descendait, appelé par l'eau qui tombait dans le puits en abondance ; la mine était plus abordable ; c'est par ce puits que l'on chercha à pénétrer dans les travaux. Du côté de l'ouest, on fut arrêté par l'éboulement  $E_1$  qui occupait tout le carrefour de la galerie du niveau 125 et de la remonte de communication ; du côté de l'est, les éboulements  $E_2$  et  $E_3$  barraient l'entrée du travers-bancs de Verpilleux, et l'éboulement  $E_4$  au haut de la Baronnière rendait impossible l'accès des tailles d'exploitation.

Tous ces éboulements furent attaqués et franchis dès que le moindre passage y eut été ouvert. Au delà des ébou-

lements  $E_2$  et  $E_3$ , on fut arrêté par le mauvais air qui commençait à arriver de Verpilleux. Au delà de l'éboulement  $E_4$ , on releva deux mineurs encore vivants, mais grièvement brûlés ; dans la taille n° 5, on trouva un feu allumé par l'explosion au milieu de copeaux de bois, mais on parvint rapidement à l'éteindre ; la présence du gaz en couronne était en même temps signalée dans cette taille. Plus loin, on ne trouva plus que des morts ; d'ailleurs le mauvais air de Verpilleux arrivait, et il fallut battre en retraite.

Du côté de l'ouest, quand on eut réussi à franchir les éboulements  $E_1$ ,  $E_5$  et  $E_6$ , on rencontra un feu, non flambant, au bas du plan des Flaches ; on se hâta d'aveugler l'éboulement. Dans la nuit suivante, le 4 juillet, vers 4 heures du matin, et par delà l'éboulement  $E_1$ , on se trouva en présence d'un feu flambant, au pied de la remonte de communication ; on referma l'éboulement et on éleva un barrage en terre ; mais le feu passait en couronne et avançait rapidement. Cet incendie, placé à peu de distance de la recette, activé par le courant d'air que les eaux entraînaient dans le puits, ne menaçait pas seulement l'unique ligne de retraite qui restât disponible, puisque tout l'amont-pendage était envahi par le mauvais air, mais encore il mettait en question la conservation même de la mine ; on pouvait chercher à le noyer, mais le barrage en terre qui avait été établi n'était capable que d'une résistance de quelques heures, et, pour élever le plan d'eau au-dessus de l'incendie, plusieurs jours étaient nécessaires ; on eut alors recours à l'emploi de toiles multiples placées à peu de distance les unes des autres de manière à former des sas à air qui devaient se remplir progressivement de gaz non comburants, modérer par suite la vitesse d'avancement du feu, peut-être même l'éteindre et assurer en tout cas l'exécution des barrages définitifs.

Ce ne fut toutefois qu'à 4 heures du matin, le 5 juillet, qu'il fut possible, grâce au concours de 8 élèves de l'École des Mines de Saint-Étienne, d'établir les premiers de ces barrages volants. On en commença cinq à la fois à 2 ou 3 mètres d'intervalle, en réservant jusqu'au dernier moment un passage à la sole. L'effet produit par ces toiles fut immédiat. En passant sous les toiles et visitant chacun des sas ainsi formés, on constata que de l'un à l'autre l'air présentait dans sa composition une différence très sensible. Les fumées cessèrent à partir de ce moment, et il fut aisé d'établir les barrages définitifs.

On avait espéré pouvoir reconquérir le travers-bancs de Verpilleux, mais il fallut y renoncer : la recette fut noyée sous un mètre d'eau et le mauvais air fut contenu du côté de Méons par de multiples barrages en toile, établis soit au niveau 125, soit au haut du plan incliné.

On put alors, avec le courant de Saint-Louis, se porter vers les tailles n° 5, n° 6 et n° 4 : on y trouva 44 cadavres.

Mais on n'avait toujours qu'une seule ligne de retraite par Saint-Louis. Or, par suite du temps perdu dans les manœuvres du puits, l'épuisement avait été ralenti et le niveau des eaux n'était plus qu'à 0<sup>m</sup>,50 au-dessous de la recette. Il fut alors reconnu que le puits du Bardot aspirait l'air extérieur : on le fit ouvrir, et l'on mit ses machines en état de service ; dès ce moment, le sauvetage put être poursuivi en toute sécurité.

Ce long travail, sur les détails duquel il n'y a pas lieu d'insister, n'a pris fin que le 5 septembre suivant, en raison des difficultés de toute sorte qui se sont présentées : on dut en effet franchir 55 éboulements, reconquérir 7 kilomètres de galeries, et maîtriser 4 incendies ; on eut à relever 162 cadavres.

Mais il restait encore 35 hommes dans les travaux du puits Saint-Louis, au delà des barrages que l'incendie

avait obligé à établir. Ce ne fut que dans le courant du mois d'août 1890, après avoir noyé le niveau de roulage de ce puits, et laissé l'eau se maintenir pendant près de neuf mois à la cote 135 mètres, que l'on rentra dans les travaux ; malheureusement des difficultés de diverses natures n'ont permis de reconquérir encore qu'une très faible partie des galeries, et l'on n'a pu remonter au jour que six cadavres, retrouvés au pied du plan des Flaches ; les vingt-neuf autres demeurent encore ensevelis dans les tailles qui restent à explorer.

Les constatations faites au cours des travaux de sauvetage ont permis de reconstituer la marche de la catastrophe et de suivre point par point la trace des courants enflammés.

Si l'on n'a pu s'accorder sur le point précis de l'origine de l'inflammation, que les uns ont placé vers le haut de la taille n° 5, et les autres plus en amont, dans la taille n° 6, les observations faites au cours du sauvetage, confirmées d'ailleurs par le témoignage des rares survivants, ont du moins positivement démontré que l'explosion était partie des tailles voisines du rejet de l'Isérable. C'est ainsi que dans le niveau des Flaches (cote 148), les débris de toutes les portes d'aérage avaient été projetés de l'est vers l'ouest ; au niveau de la taille n° 6, un convoi de wagonnets avait été emporté dans le même sens de l'est vers l'ouest, c'est-à-dire de la taille vers le puits ; au niveau de la taille n° 13, le couvercle d'un coffre avait été arraché et lancé en avant, toujours vers l'ouest.

En tête du plan incliné de Verpilleux, au contraire, et dans le bas du niveau de la taille n° 5, les bennes avaient été projetées dans une direction inverse, c'est-à-dire des tailles vers le puits Verpilleux, et à l'extrémité du travers-bancs la porte en fer de l'écurie, arrachée de ses gonds, avait été transportée dans ce même sens.



C'est dans les galeries voisines du puits que les effets mécaniques les plus violents ont été observés; dans les tailles n° 5 et n° 6, au contraire, tous les bois étaient en place, les hommes étaient tombés à l'endroit où ils travaillaient, mais c'est là aussi que s'observaient les bois carbonisés et les brûlures les plus profondes.

Divers faits ont témoigné de l'extrême violence du courant gazeux : dans la taille n° 1, une pelle avait été enlevée et s'était implantée horizontalement, à la façon d'une hache, dans le montant d'un cadre. Au voisinage du puits Verpilleux, le couvercle d'un coffre a été arraché, emporté à 30 mètres de distance, et s'est enfoncé de 3 à 4 centimètres dans le chapeau d'un des cadres de la galerie.

Près de la recette du Bardot, un malheureux ouvrier avait les jambes embarrassées dans des pièces de bois quand il avait été saisi par le courant : les jambes avaient été coupées, et le tronc mutilé projeté 25 mètres en avant.

Partout les flammes avaient laissé des croûtes de coke; dans certaines tailles, quelques bois en étaient couverts sur toutes leurs faces, mais le plus souvent on n'en trouvait que sur une seule, et, bien que l'opinion inverse ait été soutenue, ces dépôts se trouvaient sur la face qui regardait l'arrivée des flammes.

L'épaisseur de ces croûtes de charbon à demi-carbonisé était très variable; à la taille n° 5, cette épaisseur arrivait à 35 millimètres; elle était de quelques millimètres seulement dans les galeries de roulage éloignées des tailles d'abatage. Il y avait donc eu, à la fois, explosion de grisou et inflammation de poussières; les dépositions de trois des survivants ont à cet égard confirmé de tout point l'observation de l'état des lieux après la catastrophe.

Les flammes parties de l'extrémité sud-est du champ

d'exploitation du puits Verpilleux l'ont parcouru dans son entier, comme le démontrent l'incendie allumé au bas du plan des Flaches et celui de l'écurie de Verpilleux, à 600 et 700 mètres du point d'origine; les effets de l'explosion se sont fait sentir jusqu'au puits Jabin, où les portes ont été ouvertes par la chasse d'air, et où deux hommes ont succombé. Au puits Saint-Louis, le courant a été assez violent pour refouler et faire rejaillir jusque par-dessus les molettes l'eau qui tombait dans le puits; le champ d'exploitation de ce puits, qui n'était séparé de celui de Verpilleux que par de simples portes, a été, du moins en partie, sillonné par les flammes et en tout cas envahi dans son entier par les gaz délétères, de telle sorte que dans toutes les galeries dépendant et du puits Saint-Louis et du puits Verpilleux, sur une superficie de près de 90 hectares, pas un être vivant, à deux ou trois exceptions près, n'a été épargné. Les fumées sont même arrivées jusque dans les travaux du puits Mars, où un ouvrier a été asphyxié, à 1.800 mètres du point origine de l'explosion.

Cette catastrophe, la plus meurtrière que les houillères françaises aient eu à enregistrer, eût été, comme on l'a vu, plus terrible encore, sans les circonstances fortuites qui avaient amené la suspension de l'extraction au puits Saint-Louis : 163 hommes de plus se seraient en effet trouvés dans les travaux de ce puits, et il est à présumer qu'ils auraient eu le même sort que les 49 ouvriers qui y étaient descendus, et parmi lesquels deux seulement ont survécu.

#### IV. CAUSES DE L'ACCIDENT.

Il ne paraît pas inutile de rappeler, à propos de cet accident, et d'ailleurs on ne saurait trop répéter, qu'il

faut, dans toute explosion de grisou, distinguer deux sortes de causes, d'importances fort inégales, d'une part la cause *essentielle*, c'est-à-dire l'accumulation du gaz en proportion explosive sur une étendue plus ou moins grande, sans laquelle tout accident serait impossible; d'autre part, la cause de l'inflammation elle-même, qui n'est que la cause *occasionnelle* et secondaire.

Ce qu'on a pu déterminer, dans l'explosion du puits Verpilleux, de l'un et de l'autre de ces deux ordres de causes, va être brièvement résumé.

1° *Causes de l'accumulation du grisou.* — Plusieurs explications ont été mises en avant peu après l'accident pour rendre compte de l'accumulation du grisou. On a indiqué notamment, comme causes probables, les variations de la pression atmosphérique ou les mouvements de l'écorce terrestre. Ces explications ont été reconnues inadmissibles.

D'autre part, des critiques ont été dirigées contre la méthode d'exploitation par tranches prises en remontant, qui, si elle est susceptible d'offrir certains inconvénients, ne saurait cependant être rendue responsable de la catastrophe.

En fait, la présence du grisou en quantité dangereuse aux chantiers d'où est partie l'explosion paraît avoir été directement liée à la présence de la faille de l'Isérable. C'est, en effet, lorsque cette faille a été rencontrée par les avancements de la taille n° 5, que le grisou s'est montré à l'amont de la taille; le même fait s'est reproduit à l'avancement de la taille n° 6, et lorsque celui de la taille n° 5 fut porté en cul-de-sac dans la veine, cet avancement se remplit de grisou, si bien qu'on dut l'abandonner, en se bornant d'ailleurs à en barrer l'accès, sans le remblayer. Enfin, le jour de la catastrophe, la taille n° 6 était elle-même en pleine faille (coupe  $\beta$ , *fig. 3*), et

c'est, comme il a été dit, de ces tailles n° 5 et n° 6, qui saignaient en quelque sorte la faille, qu'est partie l'explosion.

Il faut ajouter que, par suite du sens de cette faille, les tailles en première tranche établies à son mur se trouvaient forcément exposées, comme le montrent les coupes *fig. 2*, 3 et 4, à l'invasion du grisou qui se dégageait, du côté du toit, du charbon laissé en couronne au fur et à mesure de son tassement sur les remblais.

Quant au courant d'air qui devait balayer ces tailles, on n'a aucune donnée sur son importance; l'examen des cadavres n'a fourni non plus sur son intensité aucune indication sérieuse; car là, comme dans d'autres tailles, telles que la taille n° 7, les uns ont été trouvés le torse nu, et les autres vêtus d'une chemise ou d'un tricot; mais si l'on se reporte à ce qui a été dit plus haut au sujet de l'aérage, on peut conclure que la dérivation latérale qui se faisait spontanément à l'entrée du niveau des Flaches pour monter vers les tailles n° 5, 6 et 4, ne devait représenter qu'une faible fraction du courant total.

Il convient d'ajouter enfin qu'au moment de l'accident, les conditions habituelles de l'aérage, qui ont été exposées plus haut, se trouvaient quelque peu modifiées par suite de la suspension de l'exploitation dans le quartier du puits Saint-Louis; en effet, la puissante chute d'eau qui tombait dans ce puits y déterminait une introduction d'air au moins égale au débit normal, et le ventilateur du puits des Flaches étant arrêté depuis le 30 juin, cette masse d'air n'était plus sollicitée à se diriger vers ce puits en suivant les parcours normaux précédemment indiqués. Les courants d'aérage des deux champs d'exploitation de Saint-Louis et de Verpilleux s'influençant mutuellement, comme on l'a vu, malgré les portes de séparation, une partie de l'air entré par le puits Saint-Louis pouvait donc se trouver appelée dans le quartier de



Verpilleux par l'aspiration du ventilateur du puits du Gagne-Petit, et dans ce cas l'existence de ce courant parasite devait avoir pour effet de réduire dans une proportion plus ou moins sensible l'action de ce ventilateur sur le puits Verpilleux et sur les tailles dans lesquelles ne pouvait pénétrer l'air venant du puits Saint-Louis, sur les tailles n<sup>os</sup> 5, 6 et 4 en particulier.

En résumé, au point de vue de l'accumulation du gaz inflammable, il y a lieu de retenir les faits suivants :

Réunion de chantiers à exploitation intensive et représentant des galeries en cul-de-sac au voisinage d'une faille susceptible de donner des dégagements de grisou;

Déversement dans ces chantiers, par suite de leur position même et du sens de la faille, du grisou dégagé du côté du toit par la deuxième tranche de charbon non encore exploitée;

A quoi, enfin, il faut ajouter que le courant d'air était insuffisant pour assainir convenablement l'atmosphère de ces chantiers, ainsi qu'il résulte de l'accident lui-même.

2<sup>o</sup> *Causes de l'inflammation.* — Sur ce point, ainsi qu'il arrive fatalement dans un grand nombre d'accidents de grisou, il a été impossible de faire la lumière, et l'on n'a pu arriver même à une probabilité.

Les causes les plus habituelles, ouverture de lampes de sûreté ou tirage à la poudre, ont dû être tout d'abord écartées : aucune lampe en effet n'a été trouvée ouverte, et l'on ne faisait pas de coups de mine aux chantiers. On avait, il est vrai, prétendu que l'inflammation aurait eu pour origine le tirage d'un coup de mine dans un percement au rocher; les constatations directes faites dans ce percement ont montré que les ouvriers y avaient été surpris à l'avancement en plein travail et ont ainsi mis à

néant cette hypothèse, que contredisait au surplus la situation tout autre des chantiers reconnus pour avoir été le point de départ de l'explosion.

L'existence d'auréoles régulières d'oxydation à la partie supérieure des tamis de diverses lampes trouvées dans les tailles n<sup>os</sup> 5 et 6 avait donné à penser que le mélange grisouteux avait pu brûler quelque temps dans ces lampes, en porter la toile métallique à l'incandescence, et communiquer alors l'inflammation à l'extérieur; mais des lampes éteintes, abandonnées simplement pendant quelques jours dans une atmosphère humide, ont montré des auréoles semblables, tandis que des tamis portés d'abord à l'incandescence ont été au contraire protégés par l'oxyde magnétique formé dans ces conditions contre toute oxydation ultérieure. D'autre part, toutes les expériences auxquelles on a soumis à diverses reprises la lampe Marsaut ont prouvé que des lampes de ce type, en bon état, ne pouvaient propager l'inflammation à l'extérieur.

Enfin, l'on avait, dès le début (\*), mis en avant l'idée d'une inflammation du mélange gazeux explosif par une étincelle provenant du choc du pic contre un rognon de fer carbonaté; mais il a fallu renoncer également à cette explication en présence des résultats constamment négatifs de toutes les expériences entreprises pour la vérifier (\*\*).

Bref, les recherches ont été vaines, et l'on a dû abandonner l'une après l'autre les diverses hypothèses successivement émises; mais l'insuccès même de toutes les investigations auxquelles on s'est livré, l'impossibilité de découvrir le point qui s'est trouvé en défaut, prouvent

(\*) *Génie civil*, vol. XV, p. 267, numéro du 27 juillet 1889.

(\*\*) *Annales des mines*, 2<sup>e</sup> vol. de 1890, p. 699-707.

une fois de plus combien il serait imprudent de se fier, pour empêcher les accidents, aux seules mesures ayant pour but d'écartier les causes possibles de l'inflammation du grisou. Ces causes, comme on l'a si justement dit (\*), sont en quelque sorte innombrables, et impossibles à éviter toutes avec certitude : l'une d'elles peut se produire inopinément, au moment où tout paraîtra, comme à Verpilleux, tant sous le rapport des lampes que sous celui des procédés d'abatage, dans des conditions parfaitement satisfaisantes de sécurité.

C'est donc aux causes essentielles, à celles de l'accumulation du gaz, qu'il faut avant tout s'attaquer, et l'on est en droit d'espérer que la réunion de tous les efforts faits pour assurer la sécurité de l'exploitation houillère parviendront à rendre de plus en plus rares ces épouvantables catastrophes.

(\*) H. Le Chatelier, *Le grisou et ses accidents (Revue générale des sciences pures et appliquées, n° 20, du 30 octobre 1890).*

## 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.

(Suite et fin) (\*)

## CHAPITRE IX

## MOTEURS HYDRAULIQUES.

Si l'emploi de la vapeur a diminué l'importance des moteurs hydrauliques, s'ils ne sont plus pour nous les seuls appareils puissants mis en action par les forces de la nature, l'usage de ces moteurs n'en reste pas moins des plus fréquent; leur nombre et surtout leur puissance vont sans cesse en croissant. Beaucoup d'usines, il est vrai, ont renoncé à l'utilisation de cours d'eau insuffisants et irréguliers; la nécessité d'une commande hydraulique n'a plus imposé des emplacements souvent peu favorables; mais la plupart des moteurs qui ont ainsi disparu étaient mal installés et d'un faible rendement, tandis que nous voyons aujourd'hui se multiplier les machines puissantes utilisant des chutes élevées et abondantes, souvent au prix de travaux considérables. L'usage de la puissance motrice des cours d'eau est loin d'être gratuit, ainsi qu'on le dit quelquefois à tort : en réalité nous

(\*) Voir vol. XVIII, p. 536.



n'avons rien gratuitement, c'est-à-dire sans travail, si ce n'est l'air et le rayonnement du soleil. La puissance du cours d'eau est gratuite si l'on veut, mais est gratuite comme la houille dans le sein de la terre, avant que nous n'allions la chercher. Souvent les dépenses d'exploitation d'une usine hydraulique sont faibles, mais dans bien des cas les dépenses d'établissement sont fort importantes.

Certaines industries qui exigent une puissance motrice considérable, comme la métallurgie actuelle de l'aluminium, recherchent avant tout les grandes chutes d'eau. Pour l'éclairage électrique, pour la transmission de la puissance motrice, nous voyons aussi se créer de grandes usines hydrauliques. Aux États-Unis, dans la nouvelle Angleterre notamment, le régime des cours d'eau se prête à l'installation de nombreux moteurs, et les Américains savent bien profiter de cette ressource.

Les moteurs hydrauliques se divisent en quatre grandes classes : roues, turbines, machines à piston, appareils à entraînement direct et divers. Les roues reçoivent l'action du poids et du choc de l'eau; leur axe est le plus souvent horizontal. Les turbines ont fréquemment l'axe vertical, mais cette position de l'axe ne peut suffire pour les définir : la caractéristique des turbines, c'est le déplacement relatif de l'eau sur leurs aubes, nécessaire pour leur fonctionnement. Les moteurs à piston comprennent les machines à colonne d'eau pour l'épuisement des mines et un grand nombre d'appareils d'un emploi fréquent. Enfin la quatrième classe contient surtout des appareils pour élever l'eau, tels que les ajutages à cônes, les béliers.

Le travail disponible d'une chute d'eau est le produit du débit en poids par la hauteur de la chute. On ne peut recueillir la totalité de ce travail : des pertes de force vive sont inévitables, parce que l'eau est rejetée par l'appareil avec une certaine vitesse, parce qu'il se produit

des frottements du liquide, des chocs, des changements brusques de direction; l'eau peut tomber inutilement d'une certaine hauteur, sans agir sur le moteur; enfin le moteur lui-même absorbe en résistances passives une partie du travail qu'il reçoit. On trouvera le développement de la formule générale du travail des moteurs hydrauliques dans le *Cours de machines* de M. Haton de la Goupillière, t. I, p. 214. Le rendement du moteur est le rapport du travail qu'il produit au travail total disponible de l'eau qui l'actionne.

Il est difficile de mesurer avec précision le rendement d'un moteur hydraulique. Le frein de Prony donne le travail utile, un nivellement fait connaître la hauteur de chute; mais le débit est d'une appréciation délicate. D'une part, le moteur étant installé dans les conditions usuelles, les vannages que traverse l'eau ne sont pas des orifices simples, et, par suite, on ne peut en connaître exactement le débit d'après des formules usuelles; d'autre part, les formules sont parfois incertaines. Pour la détermination exacte du débit, il faudrait une installation spéciale, permettant par exemple le passage de l'eau, à la sortie du moteur, sur un déversoir en mince paroi : le plus souvent cette installation est impraticable. Une erreur en moins sur le débit, volontaire ou non, accroît le chiffre du rendement.

1° **ROUES.** — Les principaux types de roues sont les roues à augets, les roues de côté, les roues en dessous, parmi lesquelles la roue Poncelet forme une catégorie toute spéciale, enfin les roues pendantes.

*Roues en dessus ou roues à augets.* — Ces roues, qui conviennent surtout pour des chutes de 5 à 10 mètres, sont rarement construites aujourd'hui. Le rendement en est bon, mais elles sont lourdes et encombrantes et, par suite, coûteuses; en outre la lenteur de leur rotation est

presque toujours un inconvénient. Rankine fait remarquer que, pour réduire au minimum la fatigue de la roue, il convient de placer le pignon qu'elle commande de telle sorte que le point de contact des dents soit sur la verticale du centre de gravité de la masse d'eau totale contenue dans les augets. A ce point de vue, le mieux serait d'avoir une couronne dentée et un pignon sur chacune des faces latérales de la roue; mais on compliquerait l'installation et il serait difficile de faire porter également les deux pignons.

Nous n'insisterons pas sur ces moteurs anciens, simples et bien connus; nous en rappellerons seulement deux variantes, la roue alimentée en arrière, d'un diamètre supérieur à la hauteur de la chute, moins sujette à patouiller lorsqu'elle marche noyée par une crue d'aval, et la roue à manteau, qui évite le déversement anticipé.

*Roues de côté.* — Les roues de côté, qui conviennent pour des chutes aux environs de 3 mètres, sont les moteurs de cette classe qui peuvent encore aujourd'hui recevoir le plus d'application, à cause de leur bon rendement et de leur convenance pour des chutes moyennes abondantes. L'eau, admise au-dessous du diamètre horizontal de la roue, descend entre les pales sur un coursier qui les emboîte avec un jeu aussi faible que possible. Ce moteur se présente avec des variantes assez différentes: dans le type primitif, l'eau est admise sur des pales radiales en dessous d'une vanne d'une assez grande hauteur; la vitesse de la roue est réglée de manière à éviter le choc de l'eau sur les pales à l'entrée, mais le choc se produit sur la paroi intérieure de la roue, et l'on perd au total toute la hauteur de chute au-dessus du débouché de la vanne. D'autres roues (Bélangier, Waddington, Zuppinger) ont des pales à profil polygonal ou courbe, normales à la circonférence extérieure, pour éviter le choc de l'eau contre la paroi intérieure et augmenter ainsi un peu le

travail recueilli. Enfin certains types sont alimentés en déversoir par-dessus la vanne et reçoivent une nappe, qui est fort épaisse dans la roue Sagebien. Les pales cessent souvent d'être radiales et sont inclinées dans un sens ou l'autre pour réduire la résistance soit à l'entrée dans l'eau d'amont, soit à la sortie du bief d'aval, ou, comme dans la roue Sagebien, de manière à permettre la suppression de la paroi intérieure. La roue Sagebien, qui tourne avec lenteur en contenant un grand volume d'eau, a donné de bons rendements; Callon fait remarquer une propriété intéressante de cet appareil (*Cours de machines*, t. I, p. 166): c'est une sorte de compteur et son débit est proportionnel à la vitesse; si le travail résistant vient à augmenter, la roue se ralentit, mais l'effort moteur reste constant. Il y a en quelque sorte équilibre instable entre la puissance et la résistance. Dans une roue de côté ordinaire, ou dans une roue à augets, au contraire, le débit reste constant; si la roue se ralentit, elle se charge d'un poids d'eau supérieur.

On voyait, à l'Exposition de 1889, le modèle d'une roue Sagebien récemment construite pour l'alimentation du canal de Pierrelatte, près du Rhône: cette roue a un diamètre de 5 mètres et une largeur de 3 mètres, et commande une roue élévatoire semblable, moins large. La *Zeitschrift des Ver. D. Ing.* (1888, p. 53) contient la description d'une importante installation, à Heilbronn, de 5 roues Zuppinger, qui diffèrent des précédentes par la courbure, en sens contraire de leur mouvement, de l'extrémité des aubes. Ces roues utilisent une chute haute de 2<sup>m</sup>,50 en moyenne, avec un débit de 6,6 à 9<sup>m</sup>³,7 par seconde; leur diamètre est de 7 mètres, et leur vitesse à la circonférence de 1<sup>m</sup>,25 par seconde.

*Roues en dessous.* — La roue en dessous est un moteur à très faible rendement, qui ne dépasse pas 0<sup>m</sup>,33; son seul mérite est de débiter beaucoup d'eau pour des chutes



de médiocre hauteur. On peut partout lui substituer la roue Poncelet, à aubes courbes, qui en double le rendement sans être plus compliquée. La roue Poncelet est une véritable turbine, à fonctionnement troublé parce que, dans son mouvement relatif sur l'aube, l'eau revient en arrière pour sortir du côté où elle est entrée.

*Roues pendantes.* — Les roues pendantes, actionnées par le courant des fleuves, sont de plus en plus rares. Le travail qu'elles recueillent étant à peu près proportionnel au cube de la vitesse du courant, la réduction de cette vitesse sur beaucoup de fleuves d'Europe, par suite des travaux exécutés pour la navigation, les rend absolument impuissantes.

2° TURBINES. — Ce sont surtout les turbines qu'on installe aujourd'hui sur des chutes de toutes hauteurs. L'eau, guidée par des directrices fixes, vient exercer l'effort moteur sur les aubes d'une couronne tournante. Suivant le sens du mouvement de l'eau par rapport à l'axe de la turbine, on distingue : les turbines *parallèles* (ou *axiales* des Allemands), où les filets liquides se meuvent sur des cylindres concentriques à cet axe (telle est la turbine Fontaine); les turbines *radiales*, où les filets liquides restent dans des plans perpendiculaires à cet axe, soit qu'ils s'en éloignent dans les moteurs *centrifuges* (exemple : turbine Fourneyron), soit qu'ils s'en rapprochent, dans les moteurs *centripètes* (exemple : turbine Francis); enfin les turbines *mixtes*, où les filets se recourbent dans l'intérieur de la couronne mobile, entrant comme dans les appareils centripètes et sortant comme dans les parallèles (exemple : turbine Risdon) et les turbines *composées*, formées de la réunion de deux couronnes de catégories différentes, centripètes et mixtes (exemple : turbine Leffel); ces deux derniers genres sont fort usités aux États-Unis.

Une autre classification plus générale est fondée sur le mode d'action de l'eau, qui agit par *impulsion* ou par *réaction* : l'eau qui glisse en nappe sur une aube mobile, avec une vitesse relative uniforme, imprime à l'aube une impulsion motrice; mais si la vitesse relative augmente pendant le trajet même de l'eau sur l'aube qu'elle actionne, par suite d'une réduction de la section de passage sur le parcours, on dit que l'appareil fonctionne avec réaction. Dans les turbines l'eau peut former une nappe sur chaque aube de la couronne mobile sans toucher le revers de l'aube voisine : tel est le cas des *turbines à impulsion*, ou *turbines à libre déviation* de Girard, que les Allemands appellent *action turbinen*, les Anglais *impulse turbines*. La pression au débouché des aubes fixes du distributeur est alors la pression ambiante, généralement la pression atmosphérique. Au contraire, les espaces entre les aubes de la couronne mobile peuvent être entièrement pleins d'eau, et offrir une section normale décroissante : la turbine est alors dite *à réaction*.

Sans s'arrêter aux différences un peu subtiles entre l'impulsion et la réaction, on peut dire que la turbine à réaction a ses aubages complètement remplis d'eau; dans la turbine à impulsion, au contraire, il y a seulement une nappe d'eau sur chaque aube.

Une classe intermédiaire comprend les appareils où les conditions d'écoulement et par suite de pression sont les mêmes que dans la turbine à impulsion, mais où la surface de l'eau arrive à toucher le revers des aubes et à remplir complètement l'espace qui les sépare.

Les turbines à réaction appartiennent à l'un quelconque des cinq genres et sont parallèles, centrifuges, centripètes, composées ou mixtes. Les turbines à impulsion sont parallèles, centrifuges ou centripètes (roue tangentielle Zuppinger).

D'après son principe même, la turbine à impulsion doit

tourner dans l'air en marche normale, c'est-à-dire au-dessus du niveau d'aval; on ménage même des orifices sur les joues latérales de la couronne, dans la portion que la nappe d'eau ne touche pas, pour assurer la ventilation et éviter l'engorgement des aubages. Dans le cas fréquent où le niveau d'aval est variable, il faut donc ou installer la turbine assez haut et perdre ainsi une fraction de la chute quand les eaux sont basses, ou la faire tourner noyée lors des crues; il est vrai que dans ce cas l'abondance du débit peut compenser la diminution du rendement qui provient de la marche anormale. Girard et Callon avaient imaginé un ingénieux montage pour éviter ces inconvénients, le montage hydropneumatique: la turbine, placée au niveau d'aval le plus bas, était recouverte d'une sorte de cloche à plongeur, pleine d'air comprimé à la pression correspondant à l'élévation du niveau variable d'aval; une pompe entretenait l'air sous cette cloche. Ce genre de montage ne paraît pas s'être répandu beaucoup, à cause des dépenses supplémentaires qu'il entraîne et de la consommation de puissance motrice par la pompe à air.

Rappelons encore une disposition caractéristique de la turbine Girard, l'extrême évasement transversal de la couronne mobile (voir *fig. 3*, Pl. XV): la nappe d'eau s'écrase en s'élargissant sur les aubes, et, grâce à la réduction de son épaisseur, l'angle final des aubes avec la circonférence extérieure peut être notablement réduit. On arrive ainsi à diminuer la vitesse avec laquelle l'eau quitte la turbine.

Les turbines à réaction marchent, au contraire, soit dans l'air, soit noyées; on peut donc les installer au-dessous du niveau le plus bas d'aval, de manière à ne jamais rien perdre sur la hauteur de la chute, malgré la variation des niveaux: mais cette position de la turbine n'est commode ni pour l'installation primitive, ni

pour l'entretien; aussi préfère-t-on souvent munir la turbine, montée au-dessus du bief d'aval, d'un tube d'aspiration débouchant dans ce bief; à la sortie de la couronne mobile, l'eau trouve une pression réduite à peu près à la pression atmosphérique diminuée de la hauteur correspondant à la colonne d'eau suspendue au-dessus du niveau d'aval; l'effet de la réduction de la hauteur de chute se trouve ainsi compensé. Telle est la turbine Jonval-Koechlin; les turbines américaines centripètes, mixtes et composées se prêtent souvent à ce montage commode. Il convient que l'appareil soit disposé de manière à éviter l'accumulation, sous la couronne mobile, de l'air qui a tendance à se dégager de l'eau par suite de la réduction de pression; il faut aussi, bien entendu, prévoir des moyens d'amorçage.

*Admission partielle.* — L'eau peut n'être admise que sur une portion seulement de la couronne mobile; afin de soustraire l'arbre à des efforts de flexion, s'il est vertical, il convient que cette admission partielle ait lieu sur deux ou trois arcs symétriquement disposés autour du centre. Si les turbines tournent dans l'air, le rendement peut être le même que l'admission soit partielle ou totale; il n'en est plus de même quand la turbine est noyée: il se produit des pertes de force vive par suite des arrêts subits et des brusques remises en mouvement de la masse d'eau contenue entre deux aubes de la couronne, à chaque passage devant l'arc fermé du distributeur. D'une manière générale on peut dire que la turbine à impulsion se prête bien mieux à l'admission partielle que la turbine à réaction, qui est habituellement noyée.

L'appareil peut être normalement installé pour la marche à admission partielle, comme le sont le plus souvent les turbines Girard de hautes chutes; ou bien l'admission peut être rendue partielle à l'aide de vannages pour



régler le travail moteur d'après le travail résistant et d'après le débit disponible.

*Vannages.* — Le réglage du travail des turbines est une question importante et délicate, surtout si l'on veut utiliser aussi bien que possible la chute disponible à chaque instant. Les moyens employés sont de trois genres : en premier lieu, on diminue, à l'aide d'une vanne ou d'un papillon, la section de passage sur le conduit d'amenée ou de départ de l'eau, moyen qui a le défaut d'être l'équivalent d'une réduction de la hauteur de chute; en second lieu, on réduit la section de chacun des orifices par lesquels le distributeur envoie l'eau sur la couronne mobile : tels sont les vannages des turbines Fourneyron, Fontaine, de la turbine Thomson, ce dernier à directrices articulées du distributeur; pour les turbines à réaction, ce vannage a le même inconvénient que le précédent : il produit une perte de force vive; il agit d'autant plus énergiquement qu'il est placé au point où l'eau a sa plus grande vitesse. Sur une turbine à impulsion, au contraire, ce système ne modifie pas le rendement, ou du moins n'apporte qu'une perturbation secondaire au fonctionnement normal. En troisième lieu, on peut fermer complètement un nombre plus ou moins grand des orifices du distributeur. Nous avons indiqué un peu plus haut l'effet de cette fermeture sur les deux sortes de turbines. En somme, nous voyons que la régulation n'est satisfaisante que si les turbines tournent dans l'air, et c'est là l'inconvénient le plus grave des turbines à réaction noyées.

Ce sont les vannages du troisième genre qui sont les plus fréquents, et les types divers en sont nombreux. C'est en effet un détail pratique important de l'installation des turbines, et le problème est assez difficile : il faut installer un mécanisme simple, facile à manœuvrer, dont la plupart des organes, placés sous l'eau, sont inacces-

sibles pendant la marche; l'appareil ne doit pas risquer d'être détérioré si l'eau entraîne des corps flottants; il est même désirable que le fonctionnement ne soit pas paralysé dans ce cas.

Les rouleaux coniques de cuir armé de plaques de tôle, qui recouvrent plus ou moins le distributeur de la turbine Jonval, sont bien connus : avec de faibles charges d'eau, ils peuvent donner un bon service. Les canaux distributeurs peuvent s'ouvrir sur deux demi-circonférences de rayons différents, de telle sorte qu'en faisant tourner un tiroir annulaire en fonte, on recouvre un nombre plus ou moins grand d'orifices diamétralement opposés (*Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, t. XXV, Pl. X).

Au lieu de tiroirs plans, on emploie, dès que la pression de l'eau est un peu forte, des tiroirs cylindriques équilibrés, les canaux distributeurs s'ouvrant à l'extérieur d'un cylindre.

Dans le cas des très hautes chutes, utilisées à l'aide de turbines Girard avec un faible nombre d'orifices distributeurs, le vannage est un tiroir avec commande à vis, qui réduit progressivement chacun des orifices avant de le fermer complètement (et fonctionne, par suite, comme appareil des deuxième et troisième genres).

Si la chute est assez importante pour comporter plusieurs turbines, on en met un nombre variable en marche suivant le débit, solution qui convient au cas de turbines à réaction noyées. Quelquefois on peut associer à l'une de ces turbines une turbine à impulsion sur laquelle portera toute la variation du débit (voir *Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, 1888, p. 725). Parfois on divise la couronne mobile et le distributeur en deux ou trois parties à l'aide de cloisons parallèles aux joues latérales, ainsi que l'avait fait Fourneyron; on admet l'eau dans tout ou partie de l'ensemble : ce sont, en somme, plusieurs turbines réunies sur le même axe. Citons comme exemple les turbines

Jonval, récemment établies à Genève (*Génie civil*, 2 février 1889).

*Régularisation.* — La régularisation automatique du mouvement des turbines et des autres moteurs hydrauliques est difficile, parce que l'effort nécessaire pour manœuvrer les vannages est considérable. On a parfois fait agir le régulateur sur un embrayage commandant le vannage; nous avons déjà indiqué, dans le chapitre iv, le grave défaut de cette disposition (Marié, *Annales des mines*, 7<sup>e</sup> sér., t. XIV, p. 505). Pour corriger ce défaut, MM. J. Rieter et C<sup>o</sup> ont ajouté au régulateur à embrayage un frein destructeur du travail, qui absorbe l'excès du travail moteur jusqu'à ce que la manœuvre du vannage soit terminée; ce frein consiste en un robinet étranglant plus ou moins le passage de l'eau refoulée par une petite pompe. Le frein seul était employé par M. Boudilliat (Marié, *Annales*, 8<sup>e</sup> sér., t. XII, p. 235). Afin d'obtenir une commande plus rapide du vannage, M. Lehmann le relie à un piston pressé par l'eau dans un sens ou l'autre suivant la position donnée par le régulateur à une soupape d'admission (*Zeitschrift D. Ver. des Ing.*, t. XXV, p. 59); M. Picard emploie un véritable servo-moteur hydraulique, qui reproduit exactement et sans retard les déplacements du régulateur et donne ainsi une régularisation satisfaisante. Cet appareil a reçu de nombreuses applications à Genève (*Mém. de la Soc. des ing. civils*, 1888, 2<sup>e</sup> sem. p. 196).

*Amenée de l'eau.* — Suivant la hauteur des chutes et les circonstances locales, l'eau est conduite aux turbines de diverses manières: rappelons ici l'ingénieuse disposition, déjà ancienne, du siphon de Girard pour les chutes de faible hauteur à grand débit. Lorsque les chutes sont très élevées, on installe des lignes de tuyaux, souvent au prix de travaux considérables. C'est ainsi que les eaux du Velino sont amenées à l'usine de Terni (Italie), sur un

parcours de 6.600 mètres avec dénivellation de 233 mètres, par deux conduites contiguës de 700 millimètres de diamètre; en outre, l'eau traverse, dans un canal, deux tunnels longs de 746 mètres et de 2.657 mètres (*Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, t. XXXI, p. 26). La même publication (t. XXVI, p. 302) donne le prix de revient de l'installation à Immenstadt d'une turbine Girard utilisant 300 litres par seconde tombant de 180 mètres; la dépense s'est élevée à 450.000 francs, dont 45.000 francs pour la turbine avec ses fondations et transmissions et 210.000 fr. pour la canalisation, longue de 1,5 kilomètre.

*Détails de construction.* — Le détail le plus important des turbines à axe vertical est l'usage fréquent du pivot Fontaine, ramené à la partie supérieure de l'appareil, grâce à l'emploi d'un arbre creux tournant autour d'un arbre fixe central.

*Études sur les turbines.* — Les turbines ont été étudiées par de nombreux auteurs, dont les travaux forment des ouvrages spéciaux, ou sont publiés dans des journaux techniques. Les publications allemandes surtout sont riches à cet égard. On trouvera dans le *Cours de machines de M. Haton de la Goupillière*, chapitre x, de nombreuses indications bibliographiques sur ce sujet. Parmi les livres les plus récents, nous citerons l'*Allgemeine Theorie der Turbinen* de Ludewig (1890), les *Hydraulic motors* de Bodmer (1889), et *Die graphische Theorie der Turbinen*, etc., de G. Herrmann (1887).

Si simple que paraisse le sujet à première vue, il comprend plusieurs détails d'une étude délicate, et la théorie des turbines n'est pas toujours présentée d'une manière claire et satisfaisante. Une théorie complète ne doit pas d'ailleurs être limitée au cas spécial d'une vitesse déterminée de turbine, nécessaire pour l'entrée sans choc de l'eau dans les aubes mobiles; elle s'appliquera à toutes les vitesses possibles, correspondant à des valeurs diverses



du travail résistant; on envisagera une série de vitesses croissantes depuis l'immobilité de la turbine jusqu'au moment où les résistances seules de l'appareil absorberaient entièrement tout le travail moteur. Il convient de bien distinguer dans cette étude les turbines à réaction et à impulsion. Prenons d'abord les premières : nous voulons nous rendre compte du fonctionnement de l'appareil pour une vitesse quelconque de la couronne mobile; à cette vitesse de marche, l'appareil étant supposé construit et installé sous une chute donnée, la quantité d'eau qui le traversera en une seconde sera déterminée; il faut commencer par la chercher. Nous admettons que le mouvement est permanent; puis nous supposons l'eau parfaitement guidée par les directrices fixes, de telle sorte que l'écoulement se fasse par filets parallèles, tous animés d'une vitesse  $v$  faisant un angle  $\alpha$  avec le plan de séparation du distributeur et de la couronne mobile.

Dans cette conception de la turbine, le débit est défini par la vitesse  $v$ ; il est égal au produit de  $v$  par la section de passage normale aux directrices, qui est  $A \sin \alpha$ , si  $A$  est la surface du débouché des directrices dans le plan de séparation. Or les théorèmes simples de l'hydraulique nous permettent de déterminer cette vitesse  $v$ ; le théorème de Bernoulli, dans le mouvement absolu de l'eau à travers les directrices et dans le mouvement relatif à travers la couronne, donne deux équations contenant en inconnues la vitesse  $v$  et la pression  $p$  au joint du distributeur et de la couronne. Dans ces équations on rapportera les vitesses en chaque point à la vitesse  $v$ , avec laquelle elles varient toutes proportionnellement et l'on introduira les pertes de charge dues aux frottements et aux chocs, qui s'expriment en fonction du carré de la vitesse de l'eau. Les frottements dans les conduits d'amenée de l'eau, au passage des directrices et à travers la couronne mobile, s'évaluent aisément d'après la formule simple monôme

(en fonction du carré de la vitesse, du périmètre mouillé et en raison inverse de la section); mais il n'en est pas de même pour la perte de charge qui se produit à l'entrée de la couronne mobile, par suite du brusque changement de direction des filets liquides. L'eau se présente avec une certaine vitesse relative qui, sauf pour une vitesse spéciale de marche, n'est pas tangente à l'aube de la couronne; mais dès qu'elle pénètre dans la couronne, l'eau doit se mouvoir en glissant sur l'aube. On applique souvent, pour évaluer la perte de force vive causée par ce brusque changement, la formule du choc des veines fluides sur les plans; mais cette application n'est pas fort exacte, pour deux raisons : les aubes de la couronne mobile ne sont pas assez rapprochées pour que chaque filet liquide soit ainsi brusquement dévié par choc, et il n'y a qu'une faible fraction des filets qui frappent l'aube; puis l'eau n'est pas libre de s'écouler sur le plan après le choc, mais doit prendre une vitesse rigoureusement déterminée par la section de passage.

M. Fliegner fait remarquer que le brusque changement à l'entrée de la couronne se rapproche au moins autant de l'effet du coude brusque des tuyaux que de celui du choc (*Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, t. XXIII, p. 461).

D'autres causes viennent encore compliquer le phénomène : les filets ne sont pas assez bien guidés pour sortir tous du distributeur avec des vitesses  $v$  égales et parallèles, surtout si les rayons extrêmes de la couronne diffèrent beaucoup; par suite de l'épaisseur des aubes directrices, il se produit un épanouissement de la veine à leur sortie, suivi d'une contraction à cause de l'épaisseur des aubes de la couronne, qu'il convient de biseauter pour éviter un choc brusque contre leur tranche comme on le voit sur la *fig. 1*, Pl. XV, sans toutefois faire des tranchants trop minces qui se détruiraient rapidement; enfin une fuite se produit entre le distributeur et la couronne,

qui ne peuvent être absolument jointifs, toutes les fois que la pression de l'eau y dépasse celle du fluide ambiant. Or dans les turbines à réaction, la pression à la sortie du distributeur est plus forte que la pression ambiante, la vitesse  $v$  étant d'autant moindre que cette pression au passage est plus forte : l'égalité des pressions existe dans les turbines à impulsion et intermédiaires ; enfin une pression plus faible que la pression ambiante, avec augmentation de la vitesse  $v$ , ne se trouve pas normalement ; il en résulterait une aspiration par le joint au lieu d'une fuite. D'après le constructeur Meissner, auteur d'un ouvrage estimé sur les turbines, l'effet de la perte au joint peut être assez important.

On comprend, après l'énumération de toutes ces causes, qu'on ne peut guère donner une formule théorique exacte de la perte de charge à l'entrée dans la couronne, et qu'il faut se contenter d'approximations, contrôlées par l'expérience et l'observation. On peut ainsi évaluer, avec une précision plus ou moins grande, la vitesse  $v$  de l'eau et par suite le débit de l'appareil à toutes les allures. Le débit ne variera pas beaucoup avec la vitesse et tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, suivant les dispositions de détails dans les turbines parallèles ; il croît avec elle dans les turbines centrifuges et décroît dans les turbines centripètes.

Une fois le débit connu, nous pouvons calculer immédiatement le travail moteur que recueille la turbine : c'est le travail total disponible de la chute, diminué des diverses pertes de force vive que nous avons dû évaluer et de la force vive de l'eau quittant l'appareil avec la vitesse  $v_1$ , facile à construire. En exprimant que le travail moteur est nul, on obtiendra la plus grande valeur de la vitesse  $u$  que puisse prendre la turbine.

On peut représenter graphiquement, ainsi que l'a fait M. Ludewig, les résultats de l'analyse que nous venons

d'indiquer : on obtient un diagramme tel que celui de la *fig. 2*, Pl. XV (d'après l'ouvrage de M. Ludewig). On a porté en abscisse non la vitesse angulaire de la turbine, mais le rapport de cette vitesse à celle que donnerait le libre écoulement de l'eau tombant de hauteur  $H$  de la chute,  $\sqrt{2gH}$ , rapport qui figure dans les équations. En ordonnées on a porté successivement les diverses fractions du travail de l'eau, représenté au total par une ordonnée proportionnelle à  $H$ , savoir : le travail recueilli par la turbine, AB, la portion perdue en force vive de l'eau rejetée, BC, la perte en frottements dans le passage de la couronne, CD, la perte par choc et autrement à l'entrée de la couronne, DE, enfin la perte en frottements jusqu'à la sortie du distributeur, EF. Ces ordonnées ne représentent que des rapports ; pour voir la valeur absolue du travail, il faut multiplier l'ordonnée AB par le débit correspondant, représenté par la courbe MN. Il faudrait encore retrancher du travail recueilli AB la part consommée par les résistances mécaniques de la turbine.

On voit clairement sur le diagramme, en P, la vitesse correspondant à l'entrée sans choc, en Q, celle qui donne le minimum de perte en force vive de l'eau à la sortie : ces deux points peuvent ne pas coïncider.

On peut ainsi déterminer la meilleure vitesse à donner à une turbine et se rendre compte de l'effet des variations de cette vitesse. En pratique, on maintient d'habitude la vitesse constante, mais il est un autre élément qui varie souvent, c'est la hauteur  $H$  de la chute ; la variation de cette hauteur conduit à employer fréquemment le type Jonval. Le diagramme donne immédiatement l'effet des variations de cette hauteur.

La force vive de l'eau rejetée par la turbine est le plus souvent perdue ; mais cette perte n'est pas inévitable, et l'on peut recueillir l'eau dans un conduit à évasement progressif qui ralentit la vitesse ; la pression au débouché de



la couronne mobile s'en trouve réduite. Tel est le rôle du *diffuseur de Boyden*, rarement employé parce que son effet pratique est peu sensible dans les turbines bien réglées, qui rejettent l'eau avec une faible vitesse absolue, du moins quand la hauteur de chute n'est pas grande. Les tubes d'aspiration de certaines turbines mixtes, à profil progressivement évasé, remplissent le même rôle.

La théorie des turbines ne permet guère de fixer de nombreux détails qu'elle laisse indéterminés : ainsi faut-il multiplier ou éloigner les aubes du distributeur et de la couronne? En les rapprochant, l'eau est mieux guidée, mais les frottements et les chocs sont augmentés. Faut-il chercher à rapprocher autant que possible les rayons extrêmes de la couronne mobile, ou, au contraire, lui donner une grande largeur par rapport à son rayon moyen? Il est difficile de répondre à ces questions autrement que par l'étude pratique de types existants de turbines. Les règles suivies par les constructeurs varient beaucoup à cet égard. D'une manière générale, les turbines américaines sont remarquables par leur petit rayon, leur grande largeur et le faible nombre de leurs aubes. Il est important, pour les turbines parallèles ou mixtes établies de la sorte, de ne pas se contenter de tracer le profil des aubes pour le cylindre de rayon moyen seulement; les angles extrêmes des aubes doivent varier suivant leur distance de l'axe.

L'étude des turbines à impulsion est bien plus simple que celle des turbines à réaction, parce que la vitesse de l'eau à la sortie du distributeur est constante et égale à  $\sqrt{2gh}$ , aux frottements près, qu'il est facile d'évaluer,  $h$  étant la hauteur de chute au-dessus du distributeur; nous supposons la turbine placée, comme d'habitude, dans l'air à la pression ambiante. L'application des lois du choc à l'entrée de l'eau dans la couronne est alors mieux fondée que pour les turbines à réaction. Un seul

point exige une étude spéciale, c'est l'effet de l'extrême évasement de la couronne des turbines Girard (*fig. 3, Pl. XV*): la vitesse relative de tous les filets à la sortie n'est plus alors dirigée dans un plan parallèle à l'axe pour les turbines parallèles et perpendiculaire à l'axe pour les turbines centrifuges; la vitesse absolue, obtenue en composant la vitesse relative avec la vitesse d'entraînement, ne reste plus dans le même plan: la force vive perdue se trouve très légèrement augmentée au total, d'une quantité facile à calculer ou à déterminer graphiquement, sauf une légère incertitude sur le profil transversal de la nappe écrasée sur l'aube.

*Emploi des divers types de turbines.* — En Europe, sur les chutes moyennes, on trouve surtout soit des turbines Jonval, soit des turbines Girard parallèles: les premières sont préférées quand les niveaux varient beaucoup, les secondes ont l'avantage d'un réglage facile. Sur les hautes chutes, on fait un usage fréquent de la turbine Girard centrifuge à axe horizontal et admission partielle.

De nombreuses usines en France, en Suisse et en Allemagne, construisent ces deux types principaux, ainsi que beaucoup d'autres qui s'en écartent plus ou moins et peuvent donner aussi d'excellents résultats.

Aux États-Unis, où les turbines sont abondantes, elles sont presque toutes centripètes, mixtes ou composées: ces types, fabriqués en séries par un petit nombre de constructeurs, sont établis surtout en vue de l'économie du prix d'achat et d'installation: les appareils sont aussi peu volumineux que possible pour un débit donné, et les aubes en petit nombre. Les rendements peuvent néanmoins en être satisfaisants; on a même souvent indiqué pour certaines de ces turbines un effet utile extrêmement élevé; c'est là une question qui a donné lieu à des discussions fréquentes et stériles; la répétition de quel-

ques essais, faits avec soin et désintéressement, serait plus instructive à cet égard que des volumes de polémique. *La lumière électrique*, t. VIII et IX, a donné une série d'articles de G. Richard sur les turbines, où de nombreux types américains sont décrits.

Ces types commencent à se répandre en Grande-Bretagne, ainsi qu'on pouvait en juger d'après les spécimens figurant à l'Exposition d'Édimbourg en 1890 (*Engineering*, 1890, 1<sup>er</sup> sem., p. 502). Les turbines Mahler, installées pour la distribution d'eau de la ville de Porto, sont du type composé (*Revue tech. de l'Exp. de 1889*, 7<sup>e</sup> partie, p. 89).

Parmi les types qui s'écartent des données habituelles, nous citerons enfin la roue Pelton, ou *hurdy-gurdy*, d'un emploi fréquent en Californie (Bodmer, *hydraulic motors*, p. 419). Un seul ajutage envoie l'eau dans une série de petits augets montés sur la circonférence extérieure d'une roue; l'appareil est assimilable à une turbine parallèle à impulsion. Escher Wyss et C<sup>o</sup> construisent en Suisse un type qui présente quelque analogie avec le précédent (*Revue tech. de l'Exp. de 1889*, 7<sup>e</sup> partie, p. 52).

3<sup>o</sup> MOTEURS A PISTON. — L'un des moyens les plus simples en principe de recueillir la puissance motrice de l'eau des chutes élevées consiste à la faire agir sur un piston.

*Machines à colonne d'eau.* — C'est ainsi que fonctionnent les machines à colonne d'eau qui servent à l'épuisement des mines, surtout lorsqu'on dispose d'une galerie d'écoulement débouchant dans un puits à une certaine profondeur; une chute motrice depuis la surface jusqu'à la galerie peut ainsi servir à remonter les eaux du fond jusqu'à cette même galerie. La machine à colonne d'eau est à simple ou à double effet; les pistons peuvent être reliés à des bielles et manivelles, mais la

commande directe sans arbre tournant est plus fréquente. Les circonstances qui se prêtent à l'installation de semblables machines sont assez rares; mais on peut encore en trouver facilement des exemples. Nous citerons notamment la machine à colonne d'eau du puits Reine-Marie, à Clausthal (*Zeitschrift für Berg, Hütten et Salinenwesen*, t. XXVI, p. 233); l'appareil moteur et les pompes sont installés à 592 mètres de profondeur, l'eau est refoulée à 242 mètres plus haut, ainsi que l'eau d'échappement des cylindres moteurs. La chute effective est de 592 — 242 = 368 mètres. Le moteur comprend deux cylindres à double effet, de 310 millimètres de diamètre avec course de 625 millimètres, agissant sur deux manivelles à 90 degrés d'un arbre à volant, qui fait 10 à 12 tours par minute. Le rendement de l'appareil, en eau élevée, n'est que de 33 p. 100 de la puissance totale utilisable; les fuites autour des pistons sont considérables.

La machine à colonne d'eau du système Roux, installée au Creusot et décrite par M. Bianzat dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minière* (2<sup>e</sup> sem., t. XV, p. 277; voir aussi Haton de la Goupillière, *Exp. des mines*, t. II, p. 334), est à commande directe sans mouvement de rotation. Trois pistons sont montés sur une même tige, sans presse-garniture; celui du milieu (diamètre, 352 millimètres) reçoit alternativement la pression motrice sur ses deux faces; les deux autres (diamètre, 136 millimètres) jouent dans deux corps de pompe à simple effet, avec soupapes d'entrée d'eau et de refoulement. La distribution se fait par le jeu de deux groupes de petits pistons démasquant des orifices. L'appareil, dont la course est de 255 millimètres, marche à la vitesse considérable de 50 coups simples par minute, et le rendement en eau élevée atteint 60 p. 100 de la puissance totale utilisable.

La pompe Hawthorn, Davey et C<sup>o</sup>, installée au puits Lhuillier des charbonnages des Bouches-du-Rhône (*Génie*



*civil*, t. VIII, p. 81 et 101), est de même à commande directe sans arbre; elle fonctionne au fond d'un puits de 153 mètres et refoule l'eau à 93 mètres; une particularité intéressante est sa commande par une chute artificielle, l'eau motrice étant comprimée par une machine à vapeur installée au jour.

La machine à colonne d'eau n'est pas exclusivement réservée aux mines; l'eau du Rhin, avec une chute de 11 mètres, refoule 5 litres d'eau par seconde à la hauteur de 111 mètres, pour l'alimentation de Neuhausen (Suisse). La machine est également du système Roux; son rendement serait de 70 p. 100 en eau élevée, à la vitesse de 85 coups simples par minute. Elle est décrite dans la *Publication industrielle d'Armengaud*, 22<sup>e</sup> vol., p. 454.

Les machines à colonne d'eau sont l'objet d'une étude détaillée dans le *Traité des pompes et machines à élever les eaux* de Poillon, t. II, p. 213.

*Machines à mouvement de rotation.* — On emploie aussi les moteurs à piston, avec des dimensions bien moindres alors, pour faire tourner des arbres qui actionnent des appareils divers, souvent des cabestans et des grues. La marche de ces appareils est le plus souvent discontinue et la condition de démarrage dans toutes les positions conduit à multiplier les cylindres qui doivent être au moins au nombre de deux sur manivelles à 90 degrés dans le cas du double effet et de trois sur manivelles à 120 degrés avec le simple effet. Le simple effet s'impose lorsqu'on veut faire usage de pistons plongeurs, plus faciles à conserver étanches que les pistons pleins; le piston ordinaire se trouve d'ailleurs aussi dans les moteurs à simple effet, lorsqu'on veut réduire la longueur de l'appareil, en articulant la bielle sur le piston même (comme dans les machines à fourreau). Les moteurs qui nous occupent ne sont pas le plus souvent

actionnés par des chutes naturelles, mais ils reçoivent l'eau artificiellement soumise à une pression élevée; nous examinerons dans le chapitre suivant ce système de transmission de la puissance motrice. Parfois c'est l'eau de la canalisation générale des villes qui les actionne.

La distribution de ces machines se fait souvent par un tiroir qui n'a pas de recouvrements, car l'admission et l'échappement doivent avoir lieu pendant toute la durée de la course; il est important surtout d'éviter une ouverture tardive ou une fermeture anticipée de l'orifice d'échappement, car il en résulterait nécessairement soit l'arrêt de la machine, soit une rupture de pièces. La grandeur de l'espace libre, toujours plein d'eau, est d'ailleurs indifférente.

Le volume d'eau consommé par tour de ces machines est constant; mais le travail qu'elles produiront par tour diminuera avec leur vitesse, parce qu'avec la vitesse augmentent les frottements de l'eau et les pertes de charge au passage des orifices étranglés de la distribution et des coudes; en outre, la vitesse avec laquelle l'eau est rejetée au dehors croît comme la vitesse de marche. Les conduits d'arrivée d'eau au cylindre étant étroits et sinueux le plus souvent, les pertes de force que nous venons de citer deviennent considérables pour des vitesses un peu grandes; il est d'ailleurs aisé de les calculer dans chaque cas d'après les formules simples de l'hydraulique. Le rendement du moteur ne peut donc être bon que pour les marches lentes, pourvu toutefois qu'il n'y ait pas de fuites autour des pistons et des tiroirs; or, les fuites sont difficiles à éviter avec les hautes pressions en usage, et invisibles sauf autour des pistons plongeurs. La diminution du rendement quand la vitesse croît n'a d'ailleurs pas d'inconvénients dans les conditions habituelles d'emploi de la plupart de ces moteurs; s'ils commandent par exemple une grue, ils doivent être

établis pour soulever une charge maxima qui se présentera rarement, et la dépense d'eau restera la même quel que soit le poids élevé.

Nous ne pouvons citer ici tous ces moteurs ; beaucoup de types, encore en usage, sont assez anciens déjà. On consultera sur ce sujet le *Cours de machines* de M. Haton de la Goupillière, t. I, chap. XI ; le chapitre XIII des *hydraulic motors* de Bodmer ; Knoke, *die Kraftmaschinen des Kleingewerbes*. Dans un mémoire sur la transmission au moyen de l'eau sous pression (*Annales des mines*, 7<sup>e</sup> S., t. VII, p. 163), M. Achard a étudié les frottements de ces machines. Souvent les cylindres sont oscillants ; dans le moteur Schmid, dans le moteur Haag, c'est l'oscillation même du cylindre qui amène ses lumières devant les orifices d'admission et d'échappement. Cette disposition évite le frottement de l'organe de distribution qui pourrait être énorme avec les hautes pressions ; mais le moindre défaut d'ajustage ou la moindre usure donne lieu à des fuites. Pour la plupart des moteurs qui nous occupent, on redoute moins les fuites que les frottements et l'usure du tiroir et de sa table. La distribution du moteur Megy (*Revue industrielle*, 1882, p. 13) est analogue aux précédentes, mais avec changement de marche, obtenu par l'interversion des orifices d'arrivée et d'échappement de l'eau. Le moteur Brotherhood, que nous avons décrit dans les machines à vapeur (chap. IV), se retrouve aussi, avec distribution modifiée, bien entendu, comme moteur hydraulique. Enfin, on fait usage de machines rotatives, où la capacité variable remplie d'eau est formée de pièces tournantes au lieu d'un piston.

Nous signalerons spécialement une classe de ces moteurs, où l'on a cherché à rendre variable, suivant le travail résistant, la dépense d'eau par tour. Dans le moteur Hastie (*Proc. of the Inst. of mechanical engineers*, 1879, p. 484, et ouvrages généraux cités), la course est

variable automatiquement suivant la résistance. La course est variable de même dans le moteur à quatre pistons Rigg (*Civil Engineers*, t. XCIV, p. 39), le moteur Balland (*Bulletin de l'Assoc. des élèves d'écoles d'arts et métiers*, mars 1889). Le moteur Ph. Meyer a de grands espaces libres remplis d'air qui permettent de faire varier la quantité d'eau admise à chaque coup de piston (Bodmer, *Hyd. motors*, p. 500).

*Machines à déplacement rectiligne.* — La puissance hydraulique, artificielle, est souvent employée pour produire simplement le déplacement rectiligne d'un engin ou l'élévation d'une charge : tel est le cas des presses hydrauliques, de divers outils employés surtout dans les ateliers de chaudronnerie, des grues, des ascenseurs. Nous examinerons ces applications dans le chapitre suivant, mais nous décrirons ici sommairement les appareils moteurs.

La presse hydraulique est l'un des engins les plus simples et les plus commodes de l'industrie. Le retour du piston de la presse, après son action, se fait par son simple poids si elle agit verticalement en soulevant, ou par l'action de contrepoids ou d'un piston auxiliaire si elle est horizontale ou verticale renversée. La presse hydraulique est d'un usage fréquent dans les ateliers de construction pour emmancher à frottement dur des pièces de machines, notamment pour caler les roues sur les essieux du matériel des chemins de fer ; dans ce cas, des efforts d'une centaine de tonnes sont plus que suffisants pour le calage, mais doivent être souvent dépassés de beaucoup pour le décalage. Des presses plus petites servent à l'emmanchement de nombreuses pièces, par exemple d'axes ou de bagues dans des œils. Un calage bien fait rend inutiles les clavettes. On se sert aussi de la presse pour rectifier des pièces déformées (par exemple l'acier après la trempe), pour donner à l'aide de man-



drins successifs la forme carrée à un trou rond percé dans une pièce de métal, etc. Une petite presse hydraulique portative, avec la pompe qui l'actionne, constitue le vérin hydraulique (*Manuel du mécanicien, Richard et Baclé*, p. 371).

L'une des applications les plus considérables de la presse est celle faite dans les forges pour remplacer le marteau-pilon dans le travail du fer et de l'acier. La simple pression en effet peut se substituer au choc pour le forgeage et le matricage, pourvu qu'elle soit assez considérable. La presse Davy, installée chez Cammell et C<sup>o</sup>, à Sheffield (*Engineering* du 23 avril 1886; Chômiennne, *Bulletin des anciens élèves des écoles d'arts et métiers*, 1888, p. 287), a deux pistons de 915 millimètres de diamètre, avec course de 2<sup>m</sup>,820, la pression pouvant atteindre 330 kilogrammes par millimètre carré. Avec des dimensions moindres, la presse hydraulique est d'un emploi fréquent pour l'emboutissage des tôles. Le *Port. écon. des machines* de 1890, p. 66, donne quelques détails sur les presses à emboutir et à cintrer employées pour la construction du pont du Forth.

La presse convient parfaitement pour la commande des cisailles, des poinçons, des bouterolles dans les machines à river; la forte pression de l'eau permet d'obtenir l'effort voulu avec des cylindres de diamètre restreint. Dans les riveuses, cisailles et appareils analogues, le mouvement de retour du piston est obtenu par l'action constante de l'eau sous pression, en sens contraire de l'effort moteur principal, sur un petit piston auxiliaire, parfois concentrique au piston principal, ou sur une zone annulaire de ce piston principal; à l'aide d'un tiroir équilibré ou de soupapes de manœuvre, on met en relation le piston principal avec l'admission ou l'échappement. Le *Génie civil*, t. II, pp. 265, 289, 339 et 363, contient une description des principaux appareils de rivetage hydrau-

lique, et, t. XVI, p. 459, une note sur une riveuse de 200 tonnes. Voir aussi les *Proc. of the Inst. of mechanical engineers*, 1874, p. 204.

Citons encore l'emploi de la presse hydraulique, avec une pression de 140 kilogrammes par centimètre carré, pour l'avancement du bouclier dans le percement du tunnel en terrain aquifère sous la rivière Saint-Clair, qui coule du lac Huron au lac Erié (*Revue gén. des ch. de fer*, avril 1891, p. 221).

Les grues peuvent être construites de la manière la plus simple à l'aide d'un piston plongeur soumis à la pression de l'eau et levant directement la charge. Des appareils de ce genre sont fréquents dans les aciéries. De même les ascenseurs et monte-charges sont souvent composés d'un piston sur lequel repose directement la charge. L'ascenseur ordinaire des habitations, actionné par l'eau des distributions urbaines, est équilibré par des contrepoids attachés à des chaînes, qui doivent avoir un poids moitié de celui d'un cylindre d'eau de même hauteur, ayant pour base la section du piston. Ces contrepoids évitent une dépense d'eau excessive; ils ont l'inconvénient de soumettre à la traction l'attache de la cage au piston; la rupture de cette attache a causé de très graves accidents. Plusieurs types d'appareils ont été étudiés de manière à éviter ce danger; il faut que la manœuvre en reste très simple et l'entretien facile, puisque souvent ils n'ont pas de conducteur spécial. Dans l'ascenseur Crouan (*Bull. de l'Assoc. des élèves de l'École des mines*, 1885, p. 129), une tige en fer fixée à la cage et montée dans l'axe du piston le soustrait à tout effort de traction. L'ascenseur Stevens et Major (*Engineering*, t. XXXIV, p. 105) n'a plus ni chaînes ni contrepoids, remplacés par des pistons supplémentaires qui donnent un équilibre hydraulique du système. Il en est de même dans les dispositions d'Ellington (*Engineering*, 1885,

1<sup>er</sup> sem., p. 477); d'Heurtebize (Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, t. I, p. 356); des monte-charges à compensateurs de la gare Saint-Lazare (*Port. écon. des machines*, 1890, p. 102). Un mémoire de E. B. Ellington (*Proceedings of the inst. of mechanical engineers*, 1882, pp. 119 et 152), est accompagné des dessins de plusieurs types d'ascenseurs.

Certains ascenseurs, destinés au transport simultané d'un grand nombre de personnes, prennent des dimensions considérables; citons ceux qui desservent les stations souterraines du chemin de fer sous la Mersey, à Liverpool (*Port. écon. des machines*, 1887, p. 7). L'une des stations est à la profondeur de 23<sup>m</sup>,35, l'autre à 26<sup>m</sup>,75; chacune est desservie par trois ascenseurs pouvant contenir chacun 100 personnes, du poids moyen de 68 kilogrammes. Ces ascenseurs sont à commande directe par un piston de 450 millimètres pressé par l'eau d'un réservoir installé au sommet d'une tour; la pression devait être modérée pour qu'on pût donner un diamètre un peu fort au piston, longue pièce chargée en bout, et en porte-à-faux quand la charge est concentrée sur un côté de la plate-forme de l'ascenseur.

Les monte-charges à commande directe par piston hydraulique prennent aussi parfois des dimensions considérables. Ils servent, par exemple, à élever les wagons dans les gares à plusieurs étages. A la gare du chemin de fer de l'Ouest, à Paris (*Revue générale des chemins de fer*, 1891, 1<sup>er</sup> sem., Pl. VI), les monte-wagons, pouvant soulever 15 tonnes, sont commandés par trois pistons (diamètre, 175 millimètres; course, 9<sup>m</sup>,60; pression, 52 kilogrammes par centimètre carré); suivant la charge à élever, on admet l'eau en pression sous un, deux ou trois pistons; en outre, à la descente d'un wagon chargé, le piston central est mis en relation avec la conduite

sous pression où l'eau est refoulée; on récupère ainsi une fraction du travail moteur.

On a même employé le monte-charge à la manœuvre d'un sas plein d'eau remplaçant les écluses sur les canaux et permettant une élévation verticale d'un seul jet bien plus grande que l'écluse. Remarquons que la présence d'un bateau dans le sas n'en modifie pas la charge, puisque son poids est exactement égal à celui de l'eau qu'il déplace.

Tel est l'appareil installé à Anderton, en 1883, et imité avec des proportions plus grandes aux Fontinettes, près de Saint-Omer (*Génie civil*, t. VI, p. 101): le piston supporte un sas de 40 mètres sur 5<sup>m</sup>,60, profond de 2 mètres; son diamètre est de 2 mètres, la course de 13<sup>m</sup>,13, enfin la pression de l'eau est de 25 kilogrammes par centimètre carré. La difficulté était de construire un pot de presse de cette dimension offrant une sécurité complète; après de longs tâtonnements, on a résolu le problème de la manière la plus simple et la plus satisfaisante: le cylindre est constitué par un empilage d'anneaux laminés en acier, qui sont de véritables bandages de locomotives, sans mentonnet; la section est de 140 millimètres de hauteur sur 55 millimètres d'épaisseur; les faces planes sont dressées avec un petit embrèvement pour l'assemblage des anneaux entre eux. Une chemise en cuivre intérieure, épaisse de 2<sup>mm</sup>,5, rend le cylindre étanche.

La cale sèche de Clarke est une plate-forme, commandée par une série de presses à longue course, qui peut soulever un navire hors de l'eau. On en a installé une à Bombay, il y a quelques années (*Engineering*, 1887, 2<sup>e</sup> sem., p. 548; *Revue industrielle*, 1882, p. 473), longue de 108 mètres; elle est comprise entre deux rangs de 18 colonnes chaque, portant chacune deux pots de presse



avec pistons de 355 millimètres de diamètre. Cet appareil a le défaut de coûter très cher.

La commande directe ne convient pas toujours, et alors on élève la charge à l'aide d'une chaîne mouflée qui amplifie la course du piston moteur et qui peut passer sur des poulies de renvoi. Les grues, les ascenseurs, divers appareils de manœuvres, sont souvent disposés de la sorte.

Citons, par exemple, les ascenseurs Otis : trois appareils de ce genre, installés à Hoboken, près de New-York, peuvent élever chacun 130 personnes à une hauteur de 45 mètres (*Engineering*, 1891, 1<sup>er</sup> sem., p. 613); rappelons aussi ceux de la tour Eiffel (*Revue tech. de l'Exp. de* 1889, 7<sup>e</sup> partie, p. 9).

4<sup>o</sup> APPAREILS A ENTRAÎNEMENT DIRECT ET DIVERS. — L'eau provenant d'un réservoir élevé peut, en s'écoulant dans la tuyère centrale d'un appareil analogue à l'injecteur à vapeur, entraîner un certain volume d'eau qu'il s'agit d'élever à une hauteur moindre. La théorie de ces appareils (Pochet, *nouvelle machine industrielle*, p. 305) montre que leur rendement, toujours faible, diminue quand la hauteur d'élévation s'abaisse pour une même chute motrice. Telles sont les pompes à jet de Körtzing, de Schäffer et Walcker, de Greathead et Martindale, ces deux dernières avec plusieurs tuyères concentriques (Hartmann, *die Pumpen*, p. 518). Ces machines sont employées pour combattre les incendies, lorsqu'on dispose à la fois d'une canalisation d'eau motrice à très haute pression et d'une distribution ordinaire; elles peuvent s'installer de distance en distance et portent un raccord pour le boyau flexible (*Proc. of Inst., of civil engineers*, XCIV, p. 23).

Un autre appareil élevant l'eau par communication de force vive, dont l'action n'est plus continue, mais péri-

dique, est le bélier hydraulique; à l'inverse du précédent, le bélier élève l'eau à une hauteur supérieure à celle de la chute. C'est l'une des machines les plus remarquables que nous possédions, et par sa simplicité et par l'effet utile qu'elle peut donner : les expériences d'Eytelwein ont indiqué des rendements en eau élevée supérieurs à 80 p. 100. Le bélier fonctionne sans surveillance et les soupapes, si elles sont bien construites, ne s'usent que fort lentement. Cependant cette machine remarquable paraît un peu négligée, et ses applications, bien que nombreuses, ne le sont pas autant qu'elle devraient l'être, eu égard au faible chiffre des dépenses d'installation et d'exploitation qu'elle exige. Peut-être cette sorte de discrédit du bélier tient-il à ce qu'il n'existe pas de théorie simple rendant un compte satisfaisant de sa marche, et à ce qu'on en parle rarement dans l'enseignement. Les constructeurs de ces appareils ne semblent pas non plus prendre grand'peine pour faire connaître, dans les publications consacrées aux machines, les applications intéressantes qu'ils en font.

On trouve le bélier employé surtout pour l'alimentation des maisons isolées, ou les petites distributions d'eau. Cependant on en construit parfois avec de grandes dimensions, et l'Exposition de 1889 nous en montrait de tels.

Nous citerons entre autres les béliers de Pearsall (*Engineering*, t. XLI, p. 345 ; t., XLVII, p. 586), à matelas d'air et soupape commandée, analogues en principe au compresseur à choc de Sommellier, fournissant l'air comprimé pour le percement du tunnel du Mont-Cenis; les grands béliers construits par M. Bollée pour les villes de Nevers et de Châtellerault; les béliers Durozoi, disposés s'il est nécessaire pour élever une eau autre que l'eau motrice et à de grandes hauteurs (*Revue tech. de l'Exp. de* 1889, 7<sup>e</sup> partie, p. 53).

M. de Caligny a fait une étude toute spéciale de cette classe d'appareils : son bélier hydraulique aspirateur (*Annales des Ponts et Chaussées*, avril 1879) est disposé pour l'épuisement de l'eau à l'aide d'une faible chute : il a fonctionné d'une manière satisfaisante pour l'assèchement d'écluses dans la Mayenne.

Citons enfin les applications diverses de la force vive de colonnes liquides par M. de Caligny, pompe sans piston ni soupape, composée d'un simple tube vertical conique animé d'un mouvement de va-et-vient (Exposition de 1889), écluses à colonnes oscillantes. Il a étudié ces applications dans ses *Recherches théoriques et expérimentales sur les oscillations de l'eau et les machines à colonnes liquides oscillantes*.

La force vive d'un jet d'eau animé d'une grande vitesse a été aussi employée à l'enlèvement du sable sous l'eau pour enfoncer des pieux et fonder des murs (travaux du port de Calais, *Société des ingénieurs civils*, octobre 1890, p. 582) : l'appareil a même permis de traverser des bancs argileux.

Enfin parmi les moteurs hydrauliques, on peut encore citer la *balance d'eau*, d'un emploi si fréquent pour les élévations verticales ou sur plans inclinés, et l'*écluse*.

COMPARAISON DES TYPES DIVERS DE MOTEURS HYDRAULIQUES. — Si nous laissons de côté les moteurs des troisième et quatrième classes, dont les dispositions spéciales sont étudiées en vue d'usages particuliers, il reste comme machines d'application générale les roues et les turbines. Les roues, roues pendantes, roues en-dessous et de côté, roues en-dessus, sont applicables pour les chutes les plus basses, jusqu'à un maximum de 15 mètres environ ; les turbines peuvent convenir pour toutes les chutes, quelle que soit leur hauteur ; cependant, pour les chutes très basses à grand débit, leur installation

devient assez difficile : jusque vers 2 mètres de hauteur, on pourra hésiter entre la pompe et la turbine. De 2 à 15 mètres, les deux sont encore applicables : mais la turbine coûtera le plus souvent moins cher que la roue et aura l'avantage de tourner moins lentement. En somme la turbine est presque toujours préférée aujourd'hui.

Parmi les turbines, quels types choisit-on ? Pour les très hautes chutes, de plus de 20 ou 30 mètres par exemple, la turbine Girard est seule ou presque seule employée : l'admission partielle permet de lui donner tel diamètre et par suite telle vitesse de rotation qu'on désire, car c'est la vitesse linéaire de la couronne mobile qui dépend de la hauteur de la chute. L'axe est généralement horizontal.

C'est pour les chutes moyennes ou faibles qu'on peut hésiter entre la turbine à impulsion et la turbine à réaction : si l'on place les deux appareils dans les meilleures conditions possibles de fonctionnement, leurs rendements diffèrent peu ; cependant la turbine à réaction paraît présenter un léger avantage ; mais la turbine à impulsion se prête à l'admission partielle et par suite à la variation du débit, sans modification notable du rendement ; d'autre part la turbine à réaction noyée, qui doit toujours marcher à plein débit pour conserver son rendement, a l'avantage de fonctionner aussi bien quel que soit le niveau d'aval. Sur la plupart des cours d'eau, les deux éléments débit et niveau d'aval sont variables, l'augmentation du débit étant accompagnée du relèvement du bief d'aval. Chacun des deux types a donc son avantage et son inconvénient spécial. Nous avons dit plus haut qu'en Europe on appliquait surtout les turbines Jonval et Girard, et qu'en Amérique on faisait usage de turbines centripètes et mixtes.

EXEMPLES D'USINES HYDRAULIQUES. — Certains cours



d'eau ont pu être aménagés de manière à fournir une puissance motrice considérable soit à un établissement unique, soit à une série d'usines. Nous en citerons quelques exemples.

A Bellegarde, sur le Rhône, une chute de 11 à 13 mètres (variation du niveau d'amont, 3<sup>m</sup>,05 ; du niveau d'aval, 5<sup>m</sup>,28) actionne six turbines Jonval de 630 chevaux effectifs chaque ; la puissance motrice est transmise par câbles (*Lumière électrique*, t. VIII, p. 75) à diverses usines. Un second groupe pareil de turbines avait été prévu, mais n'a pas été établi, les usines ne s'étant pas développées autant que le pensaient les promoteurs de l'entreprise.

Les travaux récents du Rhône à Genève ont amené la création d'une chute variant entre 1<sup>m</sup>,68 à 3<sup>m</sup>,70, avec un débit de 267 à 120 mètres cubes par seconde. Cette chute doit actionner vingt turbines Jonval de 210 chevaux effectifs chaque, dont six fonctionnaient en 1889, pour la commande de pompes (*Congrès int. de méc. app.* t. III, p. 235) ; ces travaux sont décrits dans un grand ouvrage récemment publié à Genève (1890) sur l'*Utilisation des forces motrices du Rhône, etc.*

L'usine de Neuhausen, près de Schaffouse, dispose pour la production de l'aluminium de 20 mètres cubes par seconde empruntés au Rhin et tombant de 20 à 21 mètres. Cette chute actionne trois turbines Jonval, une de 300 chevaux et deux de 600 chevaux, ces dernières d'un diamètre de 1<sup>m</sup>,1 faisant 225 tours par minute. Chaque turbine commande directement une machine dynamo-électrique montée sur le même axe vertical (*Engineering*, 1<sup>er</sup> sem., p. 228).

La grande aciérie de Terni emprunte aux chutes de la Nera une puissance de 6.000 chevaux. Nous avons cité les travaux d'aménage de l'eau tombant de 223 mètres. Une série de turbines Girard à axe horizontal, de 1.000

à 20 chevaux, commandent les divers opérateurs de l'usine, notamment les laminoirs et les machines soufflantes ; dans les ateliers de réparation, la turbine est installée directement sur l'arbre de couche principal ; les dynamos pour l'éclairage sont montées sur l'arbre des turbines qui les commandent. La puissance hydraulique actionne aussi les marteaux-pilons, dont un de 100 tonnes, par l'intermédiaire de l'air comprimé : les compresseurs sont mis en mouvement par des machines à colonnes d'eau. L'air comprimé est très commode pour la manœuvre du pilon, car il ne donne pas de condensations comme la vapeur. On trouvera des descriptions sommaires de l'aciérie de Terni dans l'*Engineer* (1887, 2<sup>e</sup> sem., p. 255) et l'*Engineering* des 3 et 10 juin 1887.

Aux États-Unis, le barrage de la rivière Connecticut à Holyoke donne une chute de 18<sup>m</sup>,3, fournissant 15.000 chevaux à de nombreux établissements. L'eau est vendue aux industriels d'après le débit de leurs moteurs, par une compagnie propriétaire de la chute : une installation spéciale a été faite pour l'essai des moteurs (*Port. écon. des mach.*, 3<sup>e</sup> s., t. VIII, col. 17).

Les chutes du Niagara peuvent fournir une puissance motrice presque indéfinie, dont une bien minime fraction est actuellement utilisée. A diverses époques on a projeté la création de grandes usines hydrauliques auprès des chutes. La possibilité du transport électrique de la puissance motrice, qui pourrait être transmis jusqu'à la ville de Buffalo, distante de 35 kilomètres, a fait récemment reproduire ces projets (voir *Engineering*, 2<sup>e</sup> sem. 1890, et 1891, 1<sup>er</sup> sem., p. 19 et 563 ; 2<sup>e</sup> sem., p. 468). La configuration du sol rendrait assez facile l'installation des moteurs : la rivière Niagara tombe dans une gorge creusée au milieu d'un vaste plateau, sur lequel elle coule en amont. Les eaux seraient amenées par un canal ou mieux par un tunnel passant sous la ville de Niagara,

et tomberaient par des puits dans un autre tunnel rendant les eaux en aval. La chute utile serait de 42<sup>m</sup>,60 et la section des tunnels de 45 mètres carrés. On obtiendrait ainsi une puissance de 120.000 chevaux en ne dérivant qu'une faible fraction du débit total, estimé à 7.500 mètres cubes par seconde. L'aspect des chutes ne serait nullement modifié.

Nous signalerons encore une installation faite en 1887 à Gokak, Inde (à 150 kilomètres de Goa), sur une chute de 51<sup>m</sup>,5 : trois turbines Girard, centrifuges, avec admission partielle, à axe horizontal, développent 250 chevaux chacune et transmettent la puissance motrice par l'intermédiaire de câbles télédynamiques à une filature distante de 2.000 mètres environ. Le diamètre des turbines est de 1<sup>m</sup>,700 le nombre de tours de 155 par minute (*Engineering*, t. XLV, p. 562).

Citons enfin une curieuse application de la puissance hydraulique, en préparation sur la ligne de Mendoza à Valparaiso. Pour la perforation du tunnel de la Cumbre, traversant les Andes à l'altitude de 3.188 mètres, on monte des turbines Girard sur des chutes hautes de 115 et 170 mètres ; mais ces turbines, étant éloignées des têtes du tunnel, actionnent les compresseurs d'air par l'intermédiaire d'une transmission électrique. L'application directe de l'électricité à la commande des perforatrices semble préférable en principe : Les *Comptes rendus mensuels de la Soc. de l'Ind. minière* (mai 1891, p. 103) donnent quelques exemples de cette application.

## CHAPITRE X.

### TRANSMISSION HYDRAULIQUE DE LA PUISSANCE MOTRICE.

Plusieurs des moteurs hydrauliques que nous avons cités dans le chapitre précédent, et surtout les moteurs

à piston, peuvent être actionnés par des chutes artificielles. Les transmissions hydrauliques de la puissance motrice ont pris une grande importance, surtout à cause de l'extrême commodité qu'elles offrent pour la commande de certains engins à marche intermittente.

La pression statique de l'eau pour ces transmissions est souvent de 50 ou de 100 kilogrammes par centimètre carré (pression qu'on dépasse même beaucoup), ce qui correspondrait à des réservoirs élevés à 500 et à 1000 mètres. Comme l'établissement de pareils réservoirs est impraticable, on leur substitue un accumulateur, qui consiste en un piston plongeur, convenablement chargé, se mouvant dans un cylindre, où des pompes refoulent l'eau : on emmagasine ainsi, à la pression choisie, un volume d'eau qui se dépense par intermittences. Dès que le nombre des engins commandés par l'accumulateur est un peu grand, la dépense moyenne à chaque instant varie peu et l'accumulateur peut remplir convenablement son rôle de réservoir, malgré sa capacité forcément restreinte. La marche des pompes doit être réglée pour correspondre autant que possible à cette dépense moyenne ou pour la dépasser un peu. Lorsque l'accumulateur arrive vers le haut de sa course, il interrompt automatiquement la marche des pompes, en fermant l'arrivée de vapeur du moteur qui les commande ou en agissant sur un débrayage, si les pompes n'ont pas de moteur à vapeur spécial. Cette disposition n'offrirait pas une garantie suffisante contre la projection du piston de l'accumulateur hors du cylindre, accident fort grave : on fait commander par l'appareil une soupape de décharge, de manière à laisser échapper l'eau quand le piston est en haut de sa course ; on peut aussi percer vers la base du piston un trou qui vient déboucher au dehors et offrir une issue à l'eau, si le piston dépasse sa position limite. On munit aussi parfois les accumulateurs d'une soupape des-



tinée à prévenir sa descente brusque en cas de baisse anormale de la pression dans les conduites.

En descendant, l'accumulateur remet en marche les pompes. Dans le cas fréquent où elles sont commandées par un moteur à vapeur spécial, cette remise en marche automatique exige des dispositions particulières. D'abord le moteur aura au moins deux cylindres agissant sur manivelles à angle droit, pour démarrer dans toutes les positions : mais il faut encore que la distribution soit telle que l'un des cylindres au moins reçoive toujours de la vapeur, ce qui conduit à des machines à très faible détente. On accepte cet inconvénient dans les petits appareils : pour les grands, il augmenterait par trop les dépenses de vapeur et l'on doit installer des mécanismes spéciaux de démarrage. Par exemple, les machines à deux cylindres, construites à Fives-Lille pour le port de Calais, ont une distribution Meyer ; sur chaque cylindre un petit tiroir auxiliaire, commandé par le même excentrique que le tiroir principal de distribution, et donnant de grandes périodes d'admission, puisqu'il n'est pas recouvert par les taquets de détente, reçoit de la vapeur quand l'accumulateur, dans son mouvement de descente, rouvre le papillon d'arrivée : le conduit dérivé, qui alimente ces tiroirs auxiliaires, se referme dès que la machine est en marche.

Parfois le moteur est compound, à deux cylindres ou à trois (le cylindre à B. P. étant divisé en deux) : il faut alors, pour le démarrage, une admission directe de vapeur au réservoir, avec pression convenablement réduite ; une soupape automatique isolant l'échappement du petit cylindre (par exemple du système von Borries) peut être avantageuse. Dans le moteur compound à trois cylindres installé pour le service du port de Brême (*Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, 1890, p. 869 et 894), le cylindre à haute pression est muni d'une détente Meyer, que l'accumula-

teur manœuvre, de manière à réduire l'admission quand il approche de sa limite supérieure.

Un des détails importants de l'accumulateur est la garniture du piston plongeur : le cuir embouti s'use rapidement sous l'action des frottements qui changent constamment de sens. Aujourd'hui on préfère généralement une simple garniture en chanvre avec presse étoupes : le frottement est un peu plus grand, mais l'entretien est plus facile et les fuites moindres. Les accumulateurs sont d'ordinaire chargés au moyen de masses métalliques pesantes, soit couronnes en fonte, soit caisses remplies de limaille ; quelquefois au lieu de poids on fait usage d'air comprimé agissant sur un piston porté par l'accumulateur, qui donne un effort variable suivant la position de l'appareil, à moins d'employer un grand réservoir d'air. Un accumulateur de ce type est installé à Bochum (*Civil engineers, abstracts of foreign periodicals*, 1890-1891, p. 72) ; une couche d'huile sur le piston empêche les fuites d'air ; la pression de l'eau atteindrait le chiffre énorme de 500 atmosphères.

On peut aussi augmenter la pression que donne un réservoir en le fermant complètement et comprimant de l'air au-dessus de l'eau : tels sont les réservoirs alimentant les grands ascenseurs Otis que nous avons cités (*Engineering*, 1891, 1<sup>er</sup> sem., p. 613).

Dans presque tous les grands ateliers de chaudronnerie, de construction de navires, la transmission hydraulique est en usage ; il s'agit, en effet, de commander des machines à marche intermittente, disséminées en petit nombre sur de vastes espaces. Dans ce cas, les transmissions par arbres et courroies sont fort coûteuses : elles absorbent un travail considérable en frottements continus ; enfin la puissance du moteur doit suffire pour que les divers engins puissent fonctionner en même

temps, l'intermittence de la marche n'excluant pas la simultanéité.

Les cisailles et poinçonneuses hydrauliques sont d'un emploi fort commode, car dès que la pièce à découper est en place on peut mettre en mouvement l'outil, sans attendre, comme dans les appareils à commande mécanique, la position de l'arbre de commande qui permet l'introduction de la cale d'embrayage : c'est une économie de quelques secondes, mais bien souvent répétée dans la journée. On est sûr, en outre, que l'introduction d'une pièce trop forte sous la cisaille ne produira aucune rupture de l'appareil, car l'effort est strictement limité par la section du piston et la pression de l'eau. *L'Engineering* (t. XLIV, p. 649) décrit une cisaille hydraulique de 1.000 tonnes pour le découpage de lingots d'acier.

La riveuse mécanique, et la riveuse hydraulique en est la meilleure, est non seulement un engin commode, mais c'est un appareil indispensable pour les gros rivets employés avec des tôles épaisses, telles que celles des chaudières marines; on ne pourrait les river convenablement à la main. Les avantages de la rivure mécanique sont étudiés dans un mémoire de M. Considère (*Annales des Ponts et Chaussées*, janvier 1886, p. 96). Les riveuses sont, soit fixes, soit mobiles; la riveuse fixe se compose de deux bornes portant à leur partie supérieure la bouterolle mobile et la butée correspondante, et solidement assemblées à leur partie inférieure; la profondeur du vide entre les deux bornes correspond à la demi-hauteur des cylindres qu'on peut river sur la machine. Dans les constructions récentes, on emploie l'acier coulé pour ces bornes. L'effort est en effet considérable : il doit atteindre 90 kilogrammes par millimètre carré de la section du rivet. La riveuse mobile permet de river certaines parties des chaudières, telles que le tour des portes et autres ouvertures; elle est surtout utile pour river en

place les châssis de wagons, les tôles de navires, les ponts, les charpentes; c'est une sorte de mâchoire qui se ferme par l'action de la pression hydraulique. L'appareil est suspendu à une grue, ou porte sur un wagonnet qui permet de le déplacer (voir par exemple *Engineering*, 1885, 1<sup>er</sup> sem., p. 474); l'eau y arrive par des tuyaux métalliques à articulations et à spirales flexibles. On emploie fréquemment, pour la commande des machines à river, l'accumulateur différentiel de Tweddell, caractérisé par son faible volume avec une grande course; la section trop faible qui en résulterait étant insuffisante pour éviter les flexions, l'appareil se compose d'un piston tourné suivant deux diamètres légèrement différents, traversant chacun une garniture; la pression de l'eau s'exerce seulement sur une zone annulaire égale à la différence des deux sections. Il en résulte une chute rapide de l'accumulateur pendant la manœuvre de la riveuse, et un arrêt brusque en fin de course de la bouterolle; la pression sur le rivet s'en trouve fortement augmentée, ainsi que le montrent les diagrammes d'indicateur relevés sur le cylindre moteur de la riveuse (voir *Génie civil*, t. II, p. 289).

La riveuse hydraulique exerce le même effort, quel que soit le diamètre du rivet à serrer; dans l'appareil de Schönbach (*Engineering*, 1890, 1<sup>er</sup> sem., p. 533), l'emploi de deux pistons concentriques permet de varier cet effort.

On trouve aussi, dans les ateliers de chaudronnerie, des machines à cintrer et à dresser; des presses à emboutir qui permettent de travailler d'un seul coup les grandes tôles d'acier à leur sortie du four. L'Exposition de 1889 montrait des spécimens d'emboutissage remarquables par leur netteté et leur dimension, exécutés par la *Leeds forge Co*; c'étaient des façades de grandes chaudières marines à trois foyers, et des longerons de tender



raidis transversalement par des bords relevés, dispensant de cornières rivées (*Port. écon. des machines*, 1890, p. 72).

Toutes ces machines sont déjà anciennes; elles étaient connues lors de l'Exposition de 1878; ce que nous devons signaler, c'est l'extension de leur emploi depuis cette époque. On consultera encore avec intérêt la description de l'outillage hydraulique de l'arsenal de Toulon par M. Berrier-Fontaine dans les *Proceedings of the inst. of mechan. Engineers*, 1878, p. 346; l'eau, à la pression de 105 kilogrammes par centimètre carré, y actionne de nombreux appareils. L'*Engineering* de 1889, 1<sup>er</sup> sem., p. 641, contient une note sommaire sur les appareils hydrauliques à l'Exposition de 1889; nous voyons signaler la petite perceuse portative Berrier-Fontaine, actionnée par un moteur Brotherhood; le graisseur de Thornton, où quelques gouttes d'huile sont refoulées avec l'eau pour lubrifier les appareils.

Dans les ateliers de forge, l'emploi de la presse hydraulique pour le forgeage et le matriçage de l'acier prend une certaine extension; nous avons cité la grande presse de Cammell et C<sup>o</sup>; le Creusot vient de faire une installation analogue. La presse est commandée par un système spécial de pompes avec accumulateur; des presses plus petites permettent la manœuvre rapide des pièces. Ce n'est pas ici le lieu de comparer les mérites de la presse et du pilon; rappelons seulement que la presse a été installée par Haswell, à Vienne, en 1871 (*Egleston, School of mines quarterly, New-York*, mars 1885), et renvoyons au travail de M. Gauthier, dans le *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale* (t. III, 3<sup>e</sup> liv., p. 839).

Pour la commande des engins de levage et de manœuvre, la transmission hydraulique est d'un usage courant dans certaines usines, dans les gares de chemins

de fer, sur les ports. L'installation d'une gare comprend une série de grues de puissance variée (soit à action directe, soit à chaîne) et des cabestans pour la traction et le virage sur plaque des wagons. Le cabestan se compose d'une poupée verticale sur laquelle on pose, en lui faisant faire trois ou quatre tours, le câble de manœuvre; un petit moteur hydraulique, souvent à trois cylindres, placé en contre-bas du sol, fait tourner le cabestan dès qu'on appuie sur une pédale. Les cabestans établis par la compagnie de Fives-Lille à Marseille (*Portefeuille économique des machines*, 1890, Pl. 40-41) ont une poupée à deux gorges superposées de diamètres différents, afin de varier l'effort sur le câble; une plaque horizontale, au ras du sol, reposant sur deux tourillons, porte en dessus la poupée, en dessous son moteur; l'eau arrive par l'un des tourillons et sort par l'autre. En faisant pivoter la plaque, on amène le mécanisme au-dessus du sol, ce qui est bien plus commode pour l'entretien que lorsqu'il est confiné dans une fosse étroite et humide. Le cabestan Caillard (*Port. écon. des mach.*, mai 1891) est également à deux diamètres; il est mobile et peut se brancher sur des raccords fixes.

Les gares de chemins de fer peuvent aussi comporter des ascenseurs et monte-charges pour les voyageurs, les marchandises et les wagons; des appareils hydrauliques pour la manœuvre des plaques tournantes, des chariots transbordeurs.

Citons comme exemple l'installation récente de la gare Saint-Lazare à Paris. La *Revue générale des chemins de fer* a donné en 1886 (1<sup>er</sup> sem., p. 106 et 156) les calculs d'établissement, et en 1890 (2<sup>e</sup> sem., p. 3 et 181) et 1891 (1<sup>er</sup> sem., p. 55) la description des appareils (voir aussi le *Port. économique des machines* de 1889 et 1890). Cette installation comprend trois machines motrices compound à deux cylindres, pouvant développer

chacune 50 chevaux en eau refoulée à la pression de 52 kilogrammes par centimètre carré, et six accumulateurs de 750 litres utiles chacun, les uns auprès des machines motrices, les autres vers les extrémités de la conduite auprès des points de dépense : cette division des accumulateurs permet une réduction du diamètre des conduites, qui sont longues dans l'espèce. Les appareils actionnés consistent en deux monte-charges de 15 tonnes, sept de 1 tonne, sept chariots transbordeurs avec plaque pour locomotives, vingt-deux cabestans de 400 kilogrammes et deux plans inclinés pour bagages.

Pour le service des stations du chemin de fer électrique récemment installé à Londres (City and Sth. London Ry.) placées au nombre de six à des profondeurs de 13 à 20<sup>m</sup>,5, on fait usage d'ascenseurs offrant un tablier de 18 mètres carrés, commandés par des pistons hydrauliques à chaîne mouflée et actionnés par une distribution unique d'eau à 70 atmosphères (*Engineering*, 1890, 2<sup>e</sup> sem., p. 756).

Dans les ports, on trouve des séries de grues, souvent d'une grande puissance, des appareils pour la manœuvre des portes d'écluses (voir la description d'une installation de ce genre à Bordeaux, dans les *Annales des ponts et chaussées*, 1891, I, p. 540), des ponts tournants, des cabestans pour la traction des bateaux. L'installation récente du port de Calais est remarquable. On trouve dans les *Annales des ponts et chaussées*, septembre 1888, p. 278, une description sommaire de celles plus anciennes d'Anvers et de Marseille.

Les appareils hydrauliques ont même été employés pour la navigation fluviale : aux écluses de Bougival, sur la Seine, ils commandent les portes, les vannes et des cabestans (*Port. écon. des machines*, déc. 1889, p. 180).

Dans les installations que nous venons de citer, la

transmission hydraulique, outre son extrême commodité, a l'avantage de n'exiger qu'une machine motrice peu puissante en comparaison de la puissance totale des appareils qu'elle actionne, grâce à la marche par courtes intermittences des appareils : l'accumulateur permet d'ailleurs à plusieurs récepteurs de produire simultanément une puissance notablement supérieure à celle du moteur. Cet avantage du système est assez marqué pour compenser un grave défaut des moteurs secondaires, à savoir leur faible rendement, qui tient non pas tant aux pertes inévitables de la transmission de la puissance motrice, qu'à la dépense par les appareils de la quantité d'eau correspondante à leur force maxima, quel que soit l'effort utile.

Plus le nombre d'appareils desservis sera grand, plus l'avantage du système se montrera, et plus la marche du moteur initial pourra s'approcher de l'uniformité ; c'est ce qui arrive si l'on réunit en un système unique un grand nombre d'installations, en créant un service public de distribution d'eau à forte pression. Les installations de ce genre sont nécessairement peu nombreuses : nous en citerons une à Hull (*Congrès de mécanique appliquée*, t. IV, p. 228) et surtout la grande transmission de Londres (*Proceedings of the Inst. of civil Engineers*, XCIV, p. 1). Une station centrale et trois stations auxiliaires alimentent un réseau dont le développement total est de 76 kilomètres ; et qui dessert 1.300 appareils (en avril 1891, on estime que le nombre des appareils atteindra 1.500 à la fin de 1891). La station centrale comprend quatre moteurs compound à 3 cylindres, pouvant développer chacun 200 chevaux indiqués et refouler par minute 1.360 litres, à la pression de 52 kilogrammes par centimètres carrés, sous deux accumulateurs de 508 millimètres de diamètre avec course de 7 mètres. Les moteurs de la station plus récente de Wapping sont à triple ex-



pansion. Les conduites principales ont des diamètres de 168 et 152 millimètres; les accumulateurs auxiliaires des stations secondaires, placés vers les extrémités du réseau, y régularisent la pression. Les appareils commandés sont surtout des ascenseurs et monte-charges; viennent ensuite des grues et, en très petit nombre, des moteurs continus. Pour la transmission constante de la puissance motrice, les prix sont en effet trop élevés. Le consommateur paie un tarif décroissant suivant la dépense de ses appareils, mesurée par un compteur installé sur l'eau d'échappement. Le prix varie, par machine et par trimestre, depuis 1,25 livre sterling pour une consommation de 13.600 litres jusqu'à 42,5 livres pour 1.360 mètres cubes. Le développement de la consommation est rapide: la dépense moyenne de 1.300 mètres cubes par semaine en 1884, était de 9.000 mètres cubes en 1888, 16.500 mètres cubes en mars 1890, pour atteindre 25.000 mètres cubes en avril 1891.

Ce qui frappe surtout le visiteur à la station centrale, c'est le faible mouvement des accumulateurs: la dépense totale des appareils est à chaque instant si régulière que la marche des pompes de compression peut y correspondre presque exactement.

Une distribution hydraulique, dont les pompes sont actionnées par des moteurs à gaz, existe à Birmingham (*Engineering*, 1891, 2<sup>e</sup> sem., p. 101. Une autre distribution publique remarquable est celle de Genève, dont nous avons déjà cité les turbines motrices: la transmission hydraulique y fournit une puissance motrice continue, tandis que presque partout nous l'avons vue employée pour des usages discontinus, à cause de ses avantages spéciaux et de sa commodité pour cette application. A Genève, la distribution est à la pression relativement modérée de 15 kilogrammes par centimètre carré: elle actionne un grand nombre de moteurs Schmid et de tur-

bines: le prix de revient, d'après les estimations faites, n'y dépasse pas sensiblement le prix d'autres modes de transmission. Le tarif payé par les industriels est soit à la jauge (de 585 à 100 francs par cheval et par an, pour dix heures de marche par jour), soit au compteur (de 9 à 2 centimes le mètre cube). Avec le moteur Schmid, un simple compteur de tours suffit. En 1888, le nombre des moteurs ainsi actionnés était de 64, d'une puissance totale de 1.060 chevaux, dont 600 pour l'éclairage électrique. Les redevances de ce chef se sont élevées à 150.000 francs. Ajoutons qu'en outre de nombreux moteurs de petite puissance (138, de 320 chevaux au total) sont alimentés par l'eau de la distribution à basse pression (50 mètres). Cette application spéciale de la transmission par l'eau sous pression, différente de l'usage qui en est fait presque partout, mérite d'être signalée. L'installation est décrite sommairement dans le *Génie civil*, t. XIV, p. 209, et dans le *Congrès de mécanique appliquée*, t. IV, p. 235.

Les distributions d'eau ordinaires fournissent enfin commodément la puissance motrice, surtout pour des usages discontinus; c'est ainsi qu'elles actionnent bien souvent les ascenseurs. A Gand, une turbine commandée par l'eau de la ville sert à la manœuvre d'un pont tournant (*Génie civil*, t. XVIII, p. 247); c'est une disposition simple et n'exigeant aucune installation autre que celle du moteur même du pont; une solution analogue serait sans doute souvent avantageuse, surtout lorsque le nombre des appareils à actionner est faible et que les manœuvres ne sont pas fréquentes.

Nous pouvons encore citer des applications intéressantes de la transmission hydraulique: les postes pour la manœuvre des aiguilles et des signaux atteignent de grandes dimensions dans les gares importantes de chemins de fer, où parfois plus de cent leviers sont concen-

trés dans la même cabine; le travail musculaire nécessaire pour la manœuvre de ces leviers est considérable. MM. Bianchi et Servettaz avaient exposé en 1889, dans la section italienne, un ingénieux appareil de commande hydraulique (*Revue gén. des chemins de fer*, 1889, 1<sup>er</sup> sem., p. 205; *Engineering*, XLVIII, p. 32): un petit accumulateur, facilement chargé à l'aide d'une pompe à main (dans une grande gare la commande mécanique serait aisée), fournit l'eau à 50 kilogrammes par centimètre carré, transmise aux appareils par des tuyaux de 10 millimètres. Les lames d'aiguilles sont actionnées par deux plongeurs de diamètres inégaux, jouant dans deux cylindres munis chacun d'un tuyau; un seul robinet, sur la conduite du plus grand cylindre, suivant qu'il établit la communication avec l'accumulateur ou avec l'échappement, donne aux lames l'une ou l'autre position. Pour éviter la congélation dans ces tuyaux forcément exposés au froid, on fait usage d'un mélange d'eau et de glycérine.

Les grands navires renferment aujourd'hui une quantité de moteurs auxiliaires, cabestans, grues, machines à gouverner, etc.; la marine militaire a en outre des tourelles mobiles, des canons énormes à manœuvrer et à charger; au lieu d'alimenter les moteurs auxiliaires par une canalisation de vapeur, où la perte par condensation est considérable, on fait souvent usage comme sur terre, de la transmission hydraulique. Les *Proc. of the Inst. of mechanical Engineers de 1874* donnent une description complète d'une installation de ce genre (p. 33). L'accumulateur est chargé par un piston sur lequel la pression de la vapeur s'exerce; des servo-moteurs hydrauliques commandent le gouvernail et l'arbre de relevage de la machine motrice; des grues à chaîne mouflée et des treuils servent au déchargement de la cargaison. L'accumulateur à charge de vapeur n'est pas sans offrir quel-

que inconvénient et même quelque danger, car il est exposé à une chute subite de la pression de vapeur par suite de condensation. On lui préfère souvent des accumulateurs plus petits, chargés par des rondelles Belleville, qui ne font plus que régulariser le débit des pompes.

Faisons remarquer, en terminant ce chapitre, que l'eau, n'étant pas compressible, agit comme une tige rigide, et souvent beaucoup mieux qu'une tige rigide, pour transmettre à distance des efforts de poussée: la colonne liquide a l'avantage de se plier aux coudes et renvois dans toutes les directions; les frottements de cette colonne peuvent d'ailleurs être faibles, car le frottement de l'eau dans une conduite est indépendant de la pression; on peut donc sans inconvénients employer des pressions élevées de manière à réduire autant qu'on le veut la quantité d'eau à déplacer. Dans l'installation des charbonnages des Bouches-du-Rhône, que nous citons plus haut, les colonnes d'eau poussées par un moteur à vapeur remplacent, pour la commande des pompes, les maîtresses tiges en bois ou en fer.

## CHAPITRE XI

### MACHINES ÉLÉVATOIRES.

Les appareils qui servent à élever l'eau forment l'une des classes les plus nombreuses, depuis les plus petites pompes, manœuvrées à la main, jusqu'aux grandes machines qui épuisent les mines, qui alimentent les villes, qui maintiennent à sec des provinces entières.

Ces appareils ont été bien souvent décrits et étudiés; nous citerons seulement, parmi les travaux les plus récents: le *Traité des pompes et machines à élever les eaux* de Poillon, qui renferme une abondante collection de types divers; K. Hartmann, *Die Pumpen*, bonne ency-



clopédie avec nombreux croquis ; Boulvin, *Machines servant à déplacer les fluides* (7<sup>e</sup> fascicule du *Cours de mécanique appliquée aux machines*), qui, sous un volume restreint, donne une classification nette des appareils et les principes de leur théorie.

Les machines si variées qui élèvent les eaux peuvent se classer en six catégories : 1<sup>o</sup> les appareils de transport direct ; 2<sup>o</sup> les pompes à piston ; 3<sup>o</sup> les pompes rotatives ; 4<sup>o</sup> les pompes centrifuges ; 5<sup>o</sup> les appareils à entraînement direct ; 6<sup>o</sup> les appareils divers ne rentrant pas dans les catégories précédentes.

1<sup>o</sup> APPAREILS DE TRANSPORT DIRECT. — Les appareils de cette catégorie servent pour les élévations à faible hauteur, souvent avec un grand débit : ce sont les écopés manœuvrés à bras d'homme, les roues à augets (série d'écopés commandées mécaniquement), la noria, le chaquet, les roues à tympan, les roues élévatoires, la vis d'Archimède, la pompe à spirale.

*Roues à tympan.* — A la roue à tympan de Vitruve, à cloisons droites, on préfère le tympan à aubes courbes, qui donne un moindre choc à l'entrée et offre une résistance moins variable dans son mouvement de rotation : c'est toujours une machine lourde et exigeant une transmission coûteuse.

*Roues élévatoires.* — La roue de côté, recevant d'un moteur un mouvement de rotation en sens inverse, relève l'eau d'aval en amont ; le type adopté est d'habitude la roue hollandaise ou roue Sagebien, appareils fort analogues. C'est une machine d'un emploi fréquent pour les assèchements et les irrigations, où il s'agit d'élever à une faible hauteur, généralement variable, de grands volumes d'eau. En Hollande, les applications en sont nombreuses. Un mémoire de M. Cuppari (*Ing. civile e le arti ind.*, 1882-1883, traduction en anglais dans les *Civil*

*engineers*, t. LXXV, p. 261) décrit avec détail les installations hollandaises. La station d'Halfweg draine 120.000<sup>ha</sup> (les abréviations du système métrique sont données dans les *Annales des mines*, 8<sup>e</sup> s., t. XVIII, p. 726), avec 6 roues ; celle de Katwijk compte également 6 roues, larges de 2<sup>m</sup>,40 sur un diamètre de 9 mètres, pesant chacune, avec son arbre, plus de 40 tonnes (Boulvin, *ouv. cité*, p. 7). Le mémoire de M. Cuppari donne la comparaison des roues et des pompes centrifuges, également fort employées en Hollande ; les roues ont un rendement supérieur, qui serait, dans les bonnes installations, de 67 p. 100 du travail indiqué du moteur. La limite extrême de l'élévation de l'eau est de 5 mètres, sous peine d'arriver à des diamètres excessifs pour les roues. Les 8 roues d'Atfeh, en Égypte (diamètre 10 mètres, largeur 3 mètres et 3<sup>m</sup>,6), peuvent élever à des hauteurs de 0<sup>m</sup>,5 à 2<sup>m</sup>,6, par vingt-quatre heures, près de 3 millions de mètres cubes d'eau du Nil pour les irrigations (*Génie civil*, t. X, p. 72). L'assèchement de 18.000 hectares de terrains bas de la vallée de Trent (Angleterre) est assuré en partie par des roues hollandaises, dont le rendement en eau élevée est de 44 à 47 p. 100 du travail indiqué des moteurs à vapeur qui les actionnent (*Proc. of the Inst. of civil Engineers*, t. XCIV, p. 264). Un modèle représentait, à l'Exposition de 1889, l'installation de deux roues Sagebien pour l'alimentation du canal d'irrigation de Pierrelatte (vallée du Rhône), l'une motrice, l'autre élévatoire.

D'autres roues élévatoires ont les aubes inclinées autrement que dans la roue Sagebien, ou bien courbes.

*Vis d'Archimède.* — On trouve encore quelques applications de la vis d'Archimède pour les irrigations, les épaissements. De très grandes vis avaient été établies à l'usine élévatoire de Katatbeh (delta du Nil) pour élever 1.500.000 mètres cubes par vingt-quatre heures à une

hauteur de 0<sup>m</sup>,50 à 3 mètres ; le diamètre était de 3<sup>m</sup>,68, la longueur 12 mètres. Mais ces vis, de résistance insuffisante, se rompirent sous le poids de l'eau ; trois seulement ont été conservées comme pompes de secours, après consolidation.

2° POMPES A PISTON. — Les pompes à piston peuvent se ranger en deux grandes catégories : les pompes à piston plein et les pompes à piston creux (c'est-à-dire portant une soupape qui laisse passer l'eau), catégories subdivisées elles-mêmes en deux, suivant que le piston est du type ordinaire ou plongeur. Enfin la considération du mode d'action, à simple ou à double effet, permet de pousser plus loin la classification ; nous distinguerons finalement les huit classes ci-dessous désignées :

Pompes à piston plein	{	Ordinaire	{ à simple effet.
			{ à double effet.
	{	Plongeur	{ à simple effet.
			{ à double effet.
Pompes à piston creux	{	Plongeur	{ (le simple effet n'existe pas).
			{ à double effet.
		Ordinaire	{ à simple effet.
			{ à double effet.
Pompes mixtes (combinaison de deux types différents de pistons).			

Les dispositions des pompes rangées dans chacune de ces huit classes présentent encore des différences importantes ; nous examinerons les principales :

*Pompes à piston plein ordinaire à simple effet.* — Cette pompe est généralement verticale. M. Boulvin en indique six variantes, suivant qu'on veut faire travailler la tige à la traction pendant l'aspiration ou pendant le refoulement, ou bien produire à la fois le travail d'aspiration et de refoulement pendant une seule course simple.

*Pompes à piston plein ordinaire à double effet.* — Le double effet a l'avantage de doubler le débit d'un corps

de pompe de dimensions données. La pompe est souvent horizontale, par exemple comme pompe à air de condenseur. Quelquefois on réunit dans le même corps de pompe deux ou même quatre pistons commandés par deux tiges à mouvements alternatifs, avec course réduite à moitié et au quart (pompes de Stone, de Blundell, pour épuisement de cales de navires, etc. ; Poillon, *ouv. cité*, p. 166 et 193). Ces dispositions exigent des garnitures multipliées pour le passage des tiges à travers les pistons.

*Pompes à piston plongeur à simple effet.* — Le piston plongeur est préféré quand la hauteur de refoulement devient un peu grande ; la garniture est bien plus facile à exécuter et à tenir étanche. Il est d'un emploi général pour les pompes de mines (Haton de la Goupillière, *Cours d'exploitation des mines*, t. II, p. 265). Le plongeur présente un autre avantage important : c'est qu'il ne met pas en mouvement dans le corps de pompe une colonne d'eau de même diamètre que lui, ainsi que doit le faire le piston plein ; il peut se mouvoir dans une chambre de capacité aussi grande qu'on le veut, offrant une grande surface pour les clapets. Aussi la vitesse du piston plongeur n'est-elle pas limitée comme celle du piston plein.

*Pompes à piston plein plongeur à double effet.* — En plaçant bout à bout deux corps de pompe, avec plongeur unique traversant deux garnitures voisines, on obtient le double effet. Cette pompe est généralement horizontale. Telles sont les excellentes pompes Girard déjà anciennes et qu'on installe souvent encore aujourd'hui pour l'alimentation des villes. Nous citerons celles de la ville de Paris à Saint-Maur (*Engineering* du 26 juillet 1878) et de l'usine récente de Bercy, où quatre groupes pareils comprennent chacun une pompe à double effet avec plongeur de 415 millimètres de diamètre, et course de 1.600 ; le nombre de tours est de 21 à 22 par minutes.



La longueur occupée par la pompe est assez grande. Pour réduire cette longueur, on fait usage (dans la pompe Worthington, par exemple) d'une garniture intérieure que traverse le plongeur. Cette garniture n'est plus visible ni même réglable; elle donne lieu à une fuite qui peut être de peu de conséquence. Si l'on suppose un plongeur de 200 millimètres dans une gaine de 201 millimètres, sur une longueur de 300, il passera environ 3 litres par seconde pour une pression de 40 mètres d'eau.

Si les deux plongeurs réunis sur la même tige avaient des diamètres différents, on réaliserait le double effet avec une seule soupape pour l'aspiration et une seule pour le refoulement, cette dernière placée de manière à séparer les deux corps de pompe; l'aspiration se fait par le gros plongeur seul; pendant ce temps le petit refoule; l'eau chassée ensuite par le gros plongeur se divise en deux parties: l'une remplit le corps de pompe du petit plongeur, l'autre est refoulée; les pompes d'accumulateur et d'épuisement de la Société Cockerill (*fig. 4, Pl. XV*) sont analogues en principe. Des pompes souterraines de ce genre fonctionnent à Marihaye (Belgique) et à l'Horcajo (Espagne).

*Pompes à piston creux plongeur.* — Supposons, dans le système précédent, placé verticalement, que le groupe des deux plongeurs forme un tuyau creux, dans lequel sera monté la soupape de refoulement, la soupape d'aspiration restant à la base du corps de pompe inférieur, qui correspond au plus gros diamètre. On obtiendra le même effet de refoulement à chaque course simple, les plongeurs creux, toujours pleins d'eau, aspirant et refoulant comme des plongeurs pleins. La pompe Rittinger, souvent employée dans les mines (Haton de la Goupillière, *Cours d'exploitation*, t. II, p. 271) est analogue; seulement le plongeur creux supérieur est fixe et c'est son

corps de pompe, relié au plongeur inférieur, qui est mobile.

*Pompes à piston creux ordinaire à simple effet.* — Cette pompe est généralement verticale. Le piston creux porte une soupape qui laisse passer l'eau seulement quand il descend; cette soupape peut être soupape de refoulement ou soupape d'aspiration, suivant que la soupape à siège fixe est à la base ou à la partie supérieure du corps de pompe. Le trajet de l'eau est direct; la tige travaille à la traction; enfin l'entretien est facile même si la pompe est noyée. C'est pour ces raisons qu'on choisit en général ce type comme pompe nourricière des appareils d'exhaure.

L'usine de Bercy, citée un peu plus haut, renferme encore pour chaque machine une pompe de ce genre, avec diamètre de 1<sup>m</sup>,005 et course de 640, tournant à la même vitesse que les pompes foulantes et élevant l'eau d'une dizaine de mètres.

*Pompes à piston creux ordinaire à double effet.* — On obtient le double effet en montant dans un corps de pompe unique deux pistons creux animés de mouvements en sens contraire; l'un des pistons porte les soupapes d'aspiration, l'autre, celles de refoulement, et l'on n'a plus besoin de clapets à siège fixe. Une disposition équivalente mais plus commode consiste à conjuguer à l'aide d'une traverse les deux pistons, qui se meuvent dans deux corps de pompe parallèles disposées comme sur la *fig. 5, Pl. XV*; mieux encore, les pompes sont étagées comme sur la *fig. 6*, et les pistons reçoivent d'un balancier des mouvements opposés. Telles sont, par exemple, les pompes de l'usine élévatoire du quai d'Austerlitz, à Paris (Belgrand, *Les travaux souterrains de Paris*, t. IV, p. 71 et atlas, Pl. VI). On peut même multiplier les pistons, comme dans la pompe Davey à trois pistons décrite dans l'*Engineering*, 1886, 2<sup>e</sup> sem., p. 8; celle de l'usine de Mâcon, à trois pistons commandés par les trois cy-

lindres d'une machine à triple expansion (Bechmann, *Salubrité urbaine, distribution d'eau, etc.*, p. 263).

*Pompes mixtes.* — Comme exemple de ce type, nous citerons, avec M. Boulvin, la pompe de Lawrence (Mass.), composée d'un piston creux ordinaire et d'un plongeur (fig. 7, Pl. XV, *Engineering*, 1879, 1<sup>er</sup> sem., p. 58); des soupapes de refoulement supplémentaires sont installées en  $S_R$ .

*Pièces de détail des pompes à piston.* — La fonte est employée pour les cylindres et pistons des grandes pompes; parfois une chemise de bronze protège le piston contre la rouille ou l'attaque des eaux acides. Les plongeurs sont creux; quand ils sont horizontaux, on leur donne souvent une densité moyenne égale à celle de l'eau pour ménager leur garniture. Quand ils déplacent l'eau dans une grande capacité, il convient que leur extrémité soit effilée.

Les parties les plus délicates sont les soupapes ou clapets. Les petites pompes ont souvent des soupapes circulaires en bronze; pour les grandes pompes, on fait usage des soupapes à double siège de Cornouailles (voir dans l'*Engineering* de 1889, 2<sup>e</sup> sem., p. 669, une intéressante étude sur ces organes); ou bien on multiplie les soupapes ou on les superpose. On trouvera dans l'ouvrage de Hartmann les dessins d'un grand nombre de types de soupapes. Disons que les grandes soupapes de Girard, munies d'un ressort extérieur pour la fermeture, donnent encore de très bons résultats et sont préférées, dans les usines de la ville de Paris, aux autres types essayés. Citons encore l'emploi de petits disques de cuivre avec ressort de même métal, semblables à ceux des pompes à air des machines Corliss; toutefois, ces disques ne résistent pas à des pressions fort élevées. Les clapets à charnière sont d'un usage moins fréquent aujourd'hui.

Pour les faibles pressions, on emploie souvent les clapets en caoutchouc.

Dès que la marche d'une pompe est un peu rapide, il faut des précautions spéciales pour éviter des chocs lors de la fermeture des soupapes, qui ne touchent pas leur siège au moment précis où le piston passe à son point mort, mais se ferment avec un certain retard. Pour réduire cet effet, on peut limiter la levée des soupapes en augmentant leur périmètre afin d'obtenir une section de passage suffisante; on les munit aussi de ressorts comme la soupape Girard que je viens de citer. Dans les pompes Hanarte, l'eau circule dans des passages fortement élargis à l'endroit des soupapes, et raccordés avec le corps de pompe et les conduites par des épanouissements et rétrécissements graduels sans aucun changement brusque; la vitesse est faible au passage des soupapes, même avec une marche rapide du piston, et les pertes de charge sont évitées autant que possible (*Congrès de mécanique appliquée*, t. IV, p. 293).

Une solution plus radicale est celle de Riedler, qui consiste à commander mécaniquement le mouvement des soupapes, qui peuvent alors avoir sans inconvénient de grandes levées. L'ouverture de la soupape n'est pas influencée par le mouvement de commande, qui doit saisir la soupape sans choc vers la fin de la course du piston et la rapprocher rapidement de son siège (*Revue de Cuyper*, 1886, t. II, p. 267).

*Mouvement de l'eau dans les pompes à piston.* — Les colonnes liquides, à l'aspiration et au refoulement, reçoivent du piston un mouvement intermittent. Or ces colonnes liquides forment un système matériel capable de très bien transmettre les pressions, ainsi que nous l'avons vu au chapitre précédent; mais il est incapable de transmettre des tractions. La pression doit toujours être positive; elle peut devenir nulle à la limite, mais



ne peut se transformer en traction. Si ces efforts de traction se produisent sur deux parties d'une colonne liquide, celle-ci se rompt immédiatement en deux portions, qui laissent entre elles un espace presque vide, sauf un peu d'air et de vapeur. Cette rupture de la colonne, dans une pompe, a de grands inconvénients : les deux parties disjointes se réunissent à un autre moment de la marche de l'appareil et cette réunion est accompagnée d'un choc, d'un coup de bélier, souvent violent et destructeur. Pour qu'une pompe fonctionne bien, il faut que jamais les colonnes liquides ne se brisent, que jamais elles ne quittent les pistons. C'est un système où aucune traction ne doit se produire, c'est comme une machine dont les pièces seraient simplement appuyées l'une contre l'autre sans aucun boulon d'assemblage.

Pendant l'aspiration, le piston part du repos et prend un mouvement accéléré; la colonne liquide doit le suivre sous l'action de la pression atmosphérique qui s'exerce au dehors sur le bief d'aval. Si le vide existait entre le piston et le liquide, la pression atmosphérique donnerait à ce liquide un certain mouvement qui est le plus rapide qu'il puisse prendre. Si donc l'accélération du mouvement du piston dépasse celle de ce mouvement limite, il y aura séparation du piston et de la colonne. Vers la fin de l'aspiration, le piston ralentit, cette séparation ne peut plus se produire. Au refoulement, au contraire, c'est quand la vitesse du piston diminue que la colonne refoulée peut le devancer, surtout si elle présente des parties horizontales. On peut déterminer dans chaque cas, surtout si les conduits sont de formes simples, les accélérations positives et négatives que le piston ne doit pas dépasser; c'est une étude du mouvement non permanent en conduits, assez rarement faite dans l'hydraulique usuelle. Les colonnes liquides peuvent être telles aussi que la séparation puisse se produire en

d'autres points qu'au contact du piston, par exemple si une partie horizontale succède à une portion verticale.

Plus les colonnes liquides seront longues, plus leur masse sera grande et plus l'accélération positive ou négative que peut leur communiquer une force donnée sera faible; plus on devra ralentir le mouvement des pompes pour éviter les chocs. On arriverait vite à des impossibilités pratiques si l'on ne pouvait, par des artifices, réduire beaucoup les longueurs des colonnes participant au mouvement périodique du piston. La disposition la plus fréquente est celle des réservoirs d'air, au delà desquels le mouvement du liquide est presque uniforme. Le réservoir est utile sur l'aspiration comme sur le refoulement, dès que les tuyaux d'aspiration présentent un développement horizontal un peu considérable.

Pour entretenir l'air dans les réservoirs de refoulement, on fait parfois usage d'une petite pompe à air spéciale; mais il est bien plus simple de laisser de temps en temps entrer un peu d'air dans le corps de pompe principal, en ouvrant un robinet reniflard sur l'aspiration.

Au lieu de réservoir de refoulement, on trouve aussi, surtout en Angleterre, la colonne piézométrique ou tube vertical de hauteur suffisante, terminé à sa partie supérieure par un élargissement librement ouvert. La masse d'eau à mouvement intermittent y est plus grande.

Avec les pressions très élevées, les réservoirs de refoulement ne conviennent plus : l'air n'y reste pas. L'accumulateur en tient lieu; aussi ajoute-t-on souvent dans ce cas aux pompes un véritable petit accumulateur chargé par poids ou ressort, dans le cas où l'installation n'en comporte pas pour d'autres motifs. Les pompes qui actionnent la machine à colonne d'eau du puits Lhuillier, citée plus haut, et refoulent l'eau à 42 atmosphères, ont ainsi un compensateur chargé à l'aide d'un piston pressé par la vapeur.

On peut encore, sinon rendre les réservoirs inutiles, du moins réduire leur action, en conjuguant plusieurs pompes à mouvement croisés, de manière à obtenir un débit voisin de l'uniformité. La pompe Worthington, que nous avons citée en parlant des moteurs, comprend ainsi deux groupes à double effet. Dans les machines de Providence (États-Unis) installées par Corliss (Boulvin, *ouvrage cité*, p. 65), l'uniformité est obtenue par l'emploi de 5 pompes à double effet, disposées en étoile autour d'un axe vertical.

Pour étudier le mouvement intermittent de l'eau dans une pompe, il ne suffit pas de connaître le nombre de coups de piston donnés par minute; il faut savoir quelle est la loi du déplacement du piston dans chacune de ses excursions; cette loi dépend de la relation de la puissance motrice et de la résistance, et varie suivant la nature et la disposition du moteur. Trois cas principaux sont à considérer: 1° la pompe est commandée par un moteur à volant puissant, animé d'un mouvement de rotation sensiblement uniforme; 2° elle reçoit l'action directe de cylindres à vapeur sans addition de volant; 3° elle est commandée par une roue hydraulique ou une turbine.

Dans la première disposition, qui est très fréquente, la loi du mouvement du piston est simple et connue d'avance, pourvu que le volant soit assez puissant. Le maximum, en valeur absolue, de l'accélération du mouvement d'un piston commandé par une manivelle, animée d'une rotation uniforme, a lieu lors des passages aux points morts; c'est donc dans ces positions que la séparation du piston et de la colonne liquide risque de se produire, au début de la course pour l'aspiration, à la fin pour le refoulement. Pour chaque pompe on cherchera ainsi la valeur maxima de l'accélération, et l'on en déduira la plus grande vitesse de rotation admissible.

La seconde disposition (commande directe des pompes

par les pistons à vapeur) est celle de l'ancienne machine de Cornouailles, et de toutes ses dérivées; elle se retrouve dans un grand nombre d'appareils récents, parmi lesquels nous avons spécialement cité, au chapitre V, la pompe Worthington. La loi du mouvement du piston n'est plus connue *a priori*; on doit calculer ce mouvement d'après les efforts moteurs et résistants et les masses solides et liquides mises en jeu. L'effort moteur est en général supérieur à l'effort résistant au début de la course et s'abaisse en-dessous en fin de course. C'est encore surtout au début de la course que le piston peut se séparer de la colonne aspirée; la colonne refoulée pourrait le devancer en fin de course si le piston moteur devient aussi résistant, par exemple par la compression de la vapeur.

La troisième disposition, commandée par roue hydraulique ou turbine, présente une particularité intéressante, signalée par M. Boulvin (*ouv. cité*, p. 45), lorsqu'il n'y a qu'une seule manivelle commandant les pompes: l'accélération croît rapidement en fin de course du piston des pompes, parce que le couple moteur reste constant, tandis que la résistance devient nulle. C'est un inconvénient bien plus grave que dans la première disposition, où l'effort moteur de la vapeur s'annule en même temps que l'effort résistant, les pistons moteurs et résistants étant reliés à la même manivelle.

Pour obtenir avec le moteur hydraulique la rotation uniforme, il faudrait un volant très puissant qui n'existe pas d'habitude. Aussi ne peut-on donner dans ce cas qu'une marche lente aux pompes; par exemple, les grandes turbines Girard commandant directement par manivelle unique les pompes de l'usine de Saint-Maur (Belgrand, *ouv. cité*, t. IV; atlas, Pl. 9 à 12), ne font que 7 et 7,5 tours par minute. L'emploi de deux pompes commandées par manivelles à angle droit remédie à cet inconvénient; cette disposition est adoptée à la Chaux-de-



Fonds (*Revue tech. de l'Exp. de 1889*, 7<sup>e</sup> partie, p. 73).

Parmi les pompes à piston, mentionnons encore la pompe monoclapet (*Revue tech. de l'Exp. de 1889*, 7<sup>e</sup> partie, p. 45), où l'ascension de la colonne d'eau est produite alternativement par refoulement direct et par sa force vive. Citons enfin la *pompe à piston captant*, Mont-richard (*Revue tech. de l'Exp. de 1889*, 7<sup>e</sup> partie, p. 35), où le piston reçoit un mouvement combiné de rotation et de translation.

3<sup>o</sup> POMPES ROTATIVES. — Les pompes rotatives sont en principe l'équivalent des pompes à piston : une capacité variable est en relation tantôt avec la conduite d'aspiration, tantôt avec celle de refoulement. Tournant en sens inverse, la pompe rotative devient moteur. Nous retrouvons l'analogie déjà signalée pour les machines à vapeur. L'eau toutefois n'admet pas la période de détente et de compression comme la vapeur ; la capacité comprise entre les organes tournants et fixes ne doit donc pas changer de volume quand elle ne communique ni avec l'aspiration ni avec le refoulement ; cette condition n'est pas toujours rigoureusement remplie et ce sont les fuites qui préviennent l'arrêt ou la rupture de la machine, à moins que des poches ne forment réservoir d'air.

L'axe tournant peut être unique, avec pièces mobiles isolant les chambres à capacité variable ; ou bien il y a deux axes tournants, ce qui permet de supprimer toute autre partie mobile. Dans les pompes Behrens et de Root les deux axes tournent en sens contraire avec la même vitesse ; dans la pompe Greindl, le rapport des vitesses des deux axes est de 1 à 2 (Poillon, *ouv. cité*, t. I, p. 461).

Les pompes rotatives sont d'une installation facile, comme les pompes centrifuges ; leurs fuites augmentent naturellement avec la hauteur de refoulement et l'usure. En bon état elles peuvent bien utiliser le travail moteur.

D'autres types de pompes, pompes à diaphragme, pompes oscillantes, etc., sont encore analogues en principe aux pompes à piston.

4<sup>o</sup> POMPES CENTRIFUGES. — Les pompes centrifuges forment une classe des plus intéressantes ; elles offrent un vaste champ d'études théoriques, capables de conduire à d'importantes améliorations pratiques. Ce sont des appareils commodes pour élever de grandes quantités d'eau à des hauteurs modérées. Leur invention paraît remonter à Papin, qui les a décrites et figurées en 1698 (*Engineering*, 1890, 2<sup>o</sup> sem., p. 670).

La pompe centrifuge a une certaine analogie avec une turbine mixte à marche renversée ; toutefois, elle n'a presque jamais de directrices fixes. Elle se compose essentiellement d'une couronne mobile à aubes, montée sur un arbre tournant ; l'eau est aspirée suivant l'axe de l'arbre par une ouïe ou mieux deux ouïes symétriques ; elle est envoyée dans une enveloppe circonférentielle fixe qui entoure les aubes et d'où part le tuyau de refoulement. La couronne mobile ne doit laisser qu'un jeu très faible contre les parois fixes qui l'enferment, car ce jeu permet une fuite depuis l'enveloppe où l'eau est refoulée jusqu'aux ouïes qui l'amènent. Les aubes peuvent être ou non reliées à des joues latérales.

L'axe est le plus souvent horizontal, et dans ce cas l'emploi de deux ouïes symétriques soustrait l'arbre à toute poussée latérale. On peut toutefois obtenir le même effet avec une seule ouïe en ménageant des ouvertures dans les joues de la couronne mobile (J. Richards, *Engineering*, 1887, 2<sup>o</sup> sem., p. 525). Lorsque l'axe est vertical, au contraire, en plaçant l'ouïe unique au-dessus de la couronne, la pression sous la joue inférieure équilibre le poids de l'appareil (même auteur).

L'eau doit entrer autant que possible sans choc dans

la couronne mobile; cette condition paraît assez bien remplie en général, parce que l'eau peut prendre un mouvement hélicoïdal dans l'ouïe. Les conditions de sortie dans l'enveloppe circonférentielle diffèrent beaucoup suivant les appareils. Souvent cette enveloppe a une grande section, la vitesse de l'eau s'y éteint à peu près complètement et il doit s'y établir une pression suffisante pour l'élévation de l'eau jusqu'à la hauteur voulue par le tuyau de refoulement; il faut alors, pour le bon rendement, que la vitesse perdue de l'eau soit faible, ce qui conduit à donner aux aubes un angle assez petit (souvent de 30°) avec la circonférence extérieure dans le sens de la rotation; la coupe de l'aube sera par suite une courbe convexe telle que sur la *fig. 8*, Pl. XV. La vitesse absolue de l'eau, pour être minima, doit être alors aussi voisine que possible de la direction radiale.

On peut au contraire donner à l'enveloppe circonférentielle une section telle que la vitesse de l'eau s'y conserve au moins en partie; cette section devra alors croître sur la circonférence entière jusqu'au point où s'en détache le tuyau de refoulement (*fig. 9*, Pl. XV); la courbure des aubes sera alors toute différente, puisqu'on admet pour l'eau, à la sortie de la couronne mobile, une vitesse assez grande qui peut se rapprocher de la tangente. Telles sont, par exemple, les pompes Farcot (Hartmann, *die Pumpen*, p. 488).

Les aubes sont alors concaves, ou planes, ou à double courbure. La section transversale de l'enveloppe est tracée de manière à éviter les remous et changements brusques.

Ces manières différentes d'envisager en théorie la pompe centrifuge expliquent la variété extrême des tracés. Dans tous les cas, chaque pompe correspond à un débit et à une hauteur d'élévation donnés, pour lesquels elle doit tourner à une vitesse déterminée; la variation d'un des trois élé-

ments, débit, hauteur, vitesse, en réduit le rendement; mais cette réduction peut être faible malgré des variations étendues. Pour qu'une pompe centrifuge fonctionne bien, il faut donc qu'elle soit l'objet d'une étude soignée, souvent assez difficile. Il convient d'ailleurs que la hauteur de refoulement ne soit pas trop considérable, car elle conduirait à une vitesse angulaire inacceptable; en outre, les fuites et pertes de charge seraient considérables. Dans ce cas, on emploie quelquefois deux pompes conjuguées; l'aspiration de la seconde recevant le refoulement de la première, le travail se partage également entre les deux pompes si elles sont identiques et tournent à la même vitesse. On a même employé des pompes triples: par exemple en Californie (*Engineering*, 1887, 2<sup>e</sup> sem., p. 525); les trois couronnes sont montées l'une à côté de l'autre sur un même axe vertical, et chacune refoule l'eau dans une large enveloppe; ces pompes élèvent 13.500 mètres cubes par vingt-quatre heures à la hauteur de 21 mètres.

Pour les faibles hauteurs d'élévation, on abaisse parfois le tuyau de refoulement en siphon plongeant dans le bief d'amont, ce qui permet de placer la pompe à un niveau suffisant au-dessus des eaux même en temps de crues, et réduit au minimum la hauteur à laquelle on élève l'eau. Un clapet ferme le tuyau de refoulement pour éviter le retour de l'eau pendant les arrêts.

L'emploi de la pompe centrifuge est fréquent. La marine en fait usage presque exclusivement comme pompe de circulation des condenseurs à surface de grande dimension. On la trouve souvent pour l'épuisement des formes de radoub, malgré la réduction de son rendement qui résulte de la variation de la hauteur. Cette application a été spécialement étudiée par M. Boulvin (*ouv. cité*, p. 91). Nous citerons l'installation de Malte (*Engineering*, 1887, 2<sup>e</sup> sem., p. 224) où deux pompes à couronne de 2.100 mè-



tres faisant 130 tours épuisent 100 mètres cubes par minute à la hauteur maxima de 11 mètres ; celle de Birkenhead (en face de Liverpool), où trois pompes versent ensemble 52.000 mètres cubes d'eau par heure à une hauteur de 3 mètres au maximum dans le bassin de Wallasey, devenu insuffisant pour les navires actuels : l'approfondissement étant difficile, on a adopté une solution inverse consistant à surélever le niveau (*Engineering*, 1890, 2<sup>e</sup> sem. p. 755).

C'est pour les assèchements et les irrigations que la pompe centrifuge a reçu les applications les plus considérables. Citons par exemple l'installation relativement ancienne des pompes Gwynne établies aux marais de Ferrare (*Engineering*, t. XVI, p. 67, t. XXI, p. 9) ; huit pompes, à couronne mobile de 1<sup>m</sup>,50, élèvent par minute 2.000 mètres cubes d'eau à des hauteurs de 2<sup>m</sup>,20 à 3<sup>m</sup>,70. Pour cet emploi, la pompe centrifuge se trouve souvent en concurrence avec les roues élévatoires, qui peuvent avoir un rendement un peu supérieur si on les considère seules, c'est-à-dire si on compare le travail qu'elles reçoivent à celui qu'elles rendent en eau élevée ; mais la roue élévatoire est bien plus lourde, elle tourne lentement, si bien que la commande exigera une transmission intermédiaire : le travail perdu en frottements sera donc considérable. La pompe centrifuge, au contraire, peut généralement être commandée directement par son moteur, si bien que le rapport entre le travail indiqué de la vapeur sur les pistons et le travail en eau élevée s'en trouve relevé. Rappelons enfin que la construction de la pompe centrifuge demande à être étudiée avec grand soin pour chaque application ; beaucoup de ces pompes ne travaillent pas dans les meilleures conditions possibles et pourraient être améliorées. Le mémoire de Cuppari déjà cité (*Civil Engineers*, t. LXXV, p. 261) contient quelques détails sur cette comparaison, faite en Hollande. Dans la

vallée du Trent, les pompes centrifuges ont donné un rendement de 50 à 55 p. 100 du travail moteur indiqué, supérieur à celui que nous indiquons pour les roues hollandaises (*Civil Engineers*, t. XCIV, p. 264) ; M. Dornès, dans les *Mémoires de la Soc. des Ingénieurs civils* (mai 1889), étudie également l'emploi des pompes centrifuges et des roues élévatoires pour le dessèchement des marais de Fos.

D'une manière générale, on peut dire que les deux systèmes, convenablement établis, donnent un rendement en eau élevée d'au moins 50 p. 100 du travail indiqué du moteur. L'installation de la pompe centrifuge paraît plus simple et les progrès de sa construction en multiplieront probablement les applications.

L'installation la plus importante est celle des pompes construites par Farcot pour l'alimentation du canal du Khatatbeh : (*Soc. des Ingénieurs civils*, nov. 1886, p. 554 ; *Port. écon. des mach.*, 1887, p. 18 ; *Génie civil*, t. X, p. 38 ; *Annales des Ponts et Chaussées*, sept. 1888, p. 325 ; *Revue tech. de l'Exp.* de 1889, 7<sup>e</sup> partie, p. 126). L'axe des pompes, au nombre de cinq, est vertical, l'eau étant aspirée par une ouïe verticale inférieure ; la commande se fait directement par une machine Corliss attaquant une manivelle à la partie supérieure de l'arbre. La disposition est très simple ; la difficulté principale était l'installation d'un grand arbre vertical pesant 48 tonnes, difficulté qui a été résolue par l'emploi d'un pivot hors d'eau du genre des pivots Fontaine, avec dispositions spéciales pour la circulation et le refroidissement de l'huile de graissage. Le diamètre de la couronne mobile est de 3<sup>m</sup>,800, le nombre de tours de 32 par minute. Chaque pompe élève 6 mètres cubes par seconde, la hauteur maxima étant de 3 mètres. D'après les jaugeages exécutés par M. Brüll, ces pompes ont donné un rendement extrêmement élevé, 65 p. 100 du travail indiqué des moteurs.

La pompe centrifuge sert encore à des usages spéciaux tels que l'élévation d'eaux troubles chargées de matières en suspension, telles que les eaux d'égout : on l'emploie à cet usage à Gennevilliers (Poillon, *ouv. cité*, t. II, p. 63). Dans ce cas on écarte autant que possible les aubes pour éviter les obstructions. On s'en sert aussi pour le dragage des vases et même des graviers (*Bulletin de la Soc. des élèves d'Arts et métiers*, 1880, p. 681). On l'a même employée à la propulsion des bateaux, suivant un principe souvent proposé et dont la réalisation peut être loquace pour un canot de sauvetage (*Engineer*, sept. 1890, p. 193).

Ajoutons qu'on a quelquefois construit des pompes à directrices fixes tout à fait analogues à des turbines à marche renversée : mais ces appareils ne sont guère appliqués.

5° APPAREILS A ENTRAÎNEMENT DIRECT. — Nous avons dit quelques mots de ces appareils (béliers, injecteurs à eau), cités au chap. IX comme moteurs hydrauliques. Dans cette classe figure aussi l'injecteur à vapeur, examiné chap. VIII, qui est une mauvaise machine élévatoire lorsque l'eau n'a pas besoin d'être fortement chauffée.

6° APPAREILS DIVERS. — Dans cette catégorie, nous citerons les pulsomètres, examinés comme machines à vapeur au chap. V ; les élévateurs à air comprimé, les émulseurs, formés d'un tube en V à branches inégales où la densité moyenne du liquide dans la longue branche est abaissée par son émulsion à l'aide d'air comprimé : le liquide s'élève alors dans cette longue branche. Parmi les émulseurs, nous rappellerons la curieuse disposition du *Steam-loop*, déjà mentionné au chap. III, pour le retour automatique aux chaudières de l'eau condensée dans les conduites de vapeur et enveloppes de cylindres, quand

la chaudière est à un niveau supérieur (*Engineering*, 1890, 1<sup>er</sup> sem., p. 712, et 2<sup>e</sup> sem., p. 22) : les deux branches verticales d'un tuyau se remplissent, la plus longue d'un mélange d'eau et de vapeur, l'autre d'eau seulement, ce qui donne un courant descendant dans la branche la plus courte, qui aboutit à la chaudière.

D'après notre énumération, déjà longue et encore incomplète, on voit quelle est la variété des machines à l'aide desquelles nous pompons pour nos besoins une minime fraction de l'eau que le soleil élève constamment dans l'atmosphère et qui retombe en neige ou en pluie. Nos moyens si compliqués paraissent bien peu de chose à côté de l'action naturelle si simple ! L'idée d'employer à notre gré la puissance calorifique du soleil pour actionner nos pompes est séduisante, mais difficile à mettre en pratique. On connaît la machine à vapeur Mouchot, dont la chaudière est au foyer de puissants réflecteurs. L'appareil Tellier, exposé en 1889, consiste en un moteur à dissolution d'ammoniaque, fonctionnant à une température peu élevée ; la chaudière peut être directement chauffée par les rayons solaires : c'est un grand récipient plat posé sur des toits. On cherche par la facilité de l'installation à compenser l'inconvénient du faible écart des températures entre lesquelles travaille le fluide moteur.

TRANSPORT PAR CONDUITES DES LIQUIDES AUTRES QUE L'EAU. — Les pompes et les conduites ne servent pas exclusivement au transport de l'eau, mais d'importantes applications ont été faites pour d'autres liquides. En France, les grandes sucreries sont alimentées par des râperies souvent fort éloignées, dont les jus sont refoulés dans des conduites. Je citerai comme exemple la sucrerie de Coulommiers (bien que d'autres possèdent des réseaux plus étendus et plus ramifiés) ; la conduite d'un



diamètre de 100 millimètres, part d'une râperie fournissant en moyenne 2<sup>l</sup>,15 par seconde : après un parcours de 8.500 mètres, elle reçoit 1<sup>l</sup>,70 d'une seconde râperie, et le diamètre est porté à 120 millimètres ; 2.050 mètres plus loin, un embranchement long de 2.200 mètres sur 108 millimètres de diamètre, amène 2<sup>l</sup>,78 d'une troisième râperie ; le tout s'écoule alors dans une conduite de 150 millimètres, longue de 17.300 mètres. Cette conduite s'élève à 50 mètres au-dessus de son point de départ pour franchir un faite, puis redescend 70 mètres plus bas. Des pressions observées au refoulement des pompes des deux premières râperies de la sucrerie de Coulommiers, on peut conclure que le coefficient B, dans la formule de la perte de charge par mètre courant  $J = \frac{64 B Q^2}{\pi^2 D^5}$  (Q étant le débit, D le diamètre) est de trois à cinq fois plus fort pour les jus sucrés que pour l'eau pure.

Aux États-Unis, le transport des pétroles bruts se fait par un immense réseau de conduites, depuis la région des puits jusqu'aux ports de l'Atlantique, à une distance de plus de 500 kilomètres. Une installation semblable a été projetée entre Bakou et la mer Noire, mais n'a pas été exécutée.

D'après des renseignements qui m'ont été communiqués par M. Eckley B. Coxe, dont le nom est bien connu des lecteurs des *Annales*, les lois théoriques du mouvement du pétrole dans les conduites n'ont pas été déterminées, mais on établit les pompes comme s'il s'agissait de refouler à la même hauteur le même volume d'eau. Le travail absorbé par le refoulement du pétrole est d'ailleurs variable et augmente en hiver ; on est même obligé de le chauffer pendant les froids. Une note pour le Congrès de 1891 de l'*Am. Soc. of mechanical Engineers* donne quelques détails sur la ligne de conduites qui relie Olean (Pennsylvanie) à New-York. Cette ligne,

divisée en onze tronçons de 50 kilomètres environ chacun, débite 6.800 mètres cubes par 24 heures ; la pression au refoulement des pompes atteint 610 mètres d'eau.

## CHAPITRE XII.

### COMPRESSION DE L'AIR.

Une classe étendue d'appareils sert à la compression de l'air et d'autres gaz, soit qu'il s'agisse de mettre en mouvement de grandes masses gazeuses sous l'action d'une faible différence de pression, soit qu'on veuille, au contraire, obtenir une forte tension en réduisant beaucoup le volume. Parfois les gaz sont pris à une pression inférieure à celle de l'atmosphère, puis refoulés à cette pression, à l'aide d'une *machine pneumatique*.

Si nous examinons les divers degrés de compression, nous trouvons d'abord des appareils tels que les cheminées ordinaires, les foyers d'aérage des mines, où un petit nombre de millimètres d'eau mesure l'écart des pressions ; viennent ensuite les jets de vapeur, l'échappement des locomotives, qui produisent un tirage plus actif de quelques centimètres d'eau ; les ventilateurs des mines, donnant des différences de 3 à 10 centimètres d'eau ; les ventilateurs de foyers, donnant des surpressions de 20 à 30 centimètres, et même, lorsqu'ils sont conjugués, de 0<sup>atm</sup>,2. Nous trouvons, plus loin dans la série des machines soufflantes qui refoulent l'air à 0<sup>atm</sup>,33 en plus de la pression atmosphérique dans les hauts fourneaux, et à 2 atmosphères dans les convertisseurs Bessemer. Viennent ensuite les compresseurs, qui donnent des pressions de 3 à 8 atmosphères pour les transmissions par l'air comprimé, de 10 à 12 atmosphères pour le transport du gaz d'éclairage, de 30 atmosphères pour

les moteurs de certains tramways, de 120 atmosphères pour les torpilles et même de 330 atmosphères pour le canon Graydon (*Engineer*, janvier 1891, p. 95).

Nous nous bornerons à l'examen des machines, sans étudier le tirage par cheminée ou par jets de vapeur; nous ne dirons d'ailleurs que peu de mots des ventilateurs de mines, continuant à laisser de côté l'étude du matériel spécial de l'industrie minière.

Les machines servant à la compression de l'air se rangent dans deux catégories principales, ventilateurs déprimogènes (à force centrifuge, à impulsion oblique) et machines à piston; certains ventilateurs, dits volumogènes, sont assimilables à des machines à piston.

*Ventilateurs à force centrifuge.* — La théorie de ces appareils a beaucoup d'analogie avec celle des pompes centrifuges, car on y considère les gaz comme des fluides incompressibles; pour les faibles différences de pression, l'erreur commise est minime; elle peut devenir assez considérable pour les ventilateurs à forte pression. Dans certains cas aussi, les variations de température des gaz traversant l'appareil pourraient n'être pas négligeables.

Quoi qu'il en soit, la théorie simplifiée par l'hypothèse souvent plausible de la pression et de la densité constantes a été développée avec grand soin par divers auteurs; nous citerons parmi les plus récents M. H. de la Goupillière (*Exploitation des mines*, t. II, p. 456) et Ser (*Physique industrielle*, t. I, p. 669); le *Bulletin de la Société de l'industrie minière* a donné récemment (t. III, 1889, p. 5) une traduction d'un rapport intéressant d'une commission prussienne sur les ventilateurs.

De même que pour les pompes centrifuges, on peut chercher, en établissant les ventilateurs à force centrifuge, à résoudre des problèmes bien différents; ou bien l'air sera abandonné par les ailes de la couronne mobile, dans l'enveloppe fixe de l'appareil, avec une vitesse

absolue aussi faible que possible; ou bien il sera dirigé presque tangentiellement dans cette enveloppe, prolongée par un diffuseur à section croissante, où la vitesse se réduit sans changement brusque en même temps que la pression augmente. Dans le ventilateur Guibal, nous trouvons la seconde disposition, mais l'échappement de l'air ne se fait que sur une fraction de la circonférence de la couronne mobile, de sorte que le débit de l'appareil est faible pour ses grandes dimensions. Le ventilateur Ser (Ser, *Physique industrielle*, t. I, p. 714) est au contraire enveloppé sur toute sa circonférence par un canal à section croissante, terminé par une buse divergente; les ailettes, fort rapprochées et normales à l'entrée dans l'ouïe, ont leur concavité dans le sens de la rotation, afin de diriger l'air avec une grande vitesse absolue dans l'enveloppe.

Parfois on modifie le principe de l'appareil suivant la pression qu'on veut obtenir: c'est ainsi que les ventilateurs à haute et moyenne pressions (jusqu'à 1 mètre d'eau) de Denis Farcot (*Revue industrielle*, août 1890, p. 329) dirigent l'air tangentiellement dans l'enveloppe, tandis que, pour les pressions moindres, la courbure des ailes est inverse, de manière à ce que l'air débouche dans l'enveloppe avec une faible vitesse radiale; dans ces derniers appareils, les ouïes sont relativement grandes, mais les aubes sont prolongées suivant des plans radiaux.

Ce qui rend délicate l'étude d'un ventilateur, c'est qu'il faut obtenir à la fois un débit déterminé et une différence de pression donnée (par exemple nécessaire pour avoir le débit voulu dans une mine); or, il peut se faire qu'un ventilateur donne bien le débit voulu, mais avec une dépression différente, ou inversement.

*Ventilateurs à impulsion oblique.* — Les ventilateurs de ce genre, avec ailes de forme hélicoidale, sont moins



répandus que les précédents; la théorie en est à peu près la même.

*Ventilateurs accouplés.* — Pour obtenir de fortes différences de pression, on peut accoupler les ventilateurs comme les pompes centrifuges. Tels sont les ventilateurs doubles, triples, quadruples de Perrigault et Macé, ces derniers donnant l'air à la pression de 1<sup>m</sup>,50 d'eau.

*Machines à piston.* — Dans la plupart des machines à piston, il reste à fond de course un espace libre, qui est souvent environ le 20<sup>e</sup> du volume engendré par le piston. On démontre aisément que l'espace libre n'a qu'une influence secondaire sur le travail absorbé par la machine, parce que la détente de l'air qui y est comprimé restitue en partie le travail absorbé par la compression; mais l'espace libre réduit la quantité d'air fournie par un cylindre de dimensions données; il peut même en paralyser complètement le fonctionnement lorsque le rapport de compression est considérable.

Le plus souvent des clapets ou des soupapes règlent l'entrée et le refoulement de l'air. Pour que les clapets d'aspiration s'ouvrent, il faut que la pression dans le cylindre devienne un peu moindre qu'à l'extérieur; pour soulever les clapets de refoulement, il faut qu'elle dépasse celle du réservoir où se fait le refoulement. En outre, une certaine différence de pression est nécessaire pour le passage de l'air à travers les clapets à section nécessairement restreinte, la section totale des orifices d'aspiration dépassant difficilement le cinquième de la surface du piston; cette différence de pression croît comme le carré de la vitesse de l'air, c'est-à-dire comme le carré de la vitesse du piston; pour une même valeur absolue, la perte relative de travail qui en résulte est d'autant plus grande que le rapport de compression, ou rapport des pressions initiale et finale de l'air, est plus voisin de l'unité; c'est pourquoi les compresseurs, donnant l'air à

plusieurs atmosphères, admettent des vitesses de piston plus grandes que les machines soufflantes.

Enfin, l'un des points importants des compresseurs est la loi de la compression; si l'on prend un kilogramme de gaz occupant le volume  $v_1$ , à la pression  $p_1$  et à la température  $\theta_1$  et qu'on le comprime jusqu'à la pression  $p_2$  en maintenant sa température constante, le travail théorique nécessaire, abstraction faite des frottements, surpressions pour le passage des clapets, etc., sera, pour cette compression isotherme :

$$p_2 v_2 + p_1 v_1 \mathcal{L} \frac{p_2}{p_1} - p_1 v_1 = p_1 v_1 \mathcal{L} \frac{p_2}{p_1}.$$

( $\mathcal{L}$  désignant le logarithme népérien). Si, au contraire, la compression était adiabatique, le gaz passerait de la température  $\theta_1 + 273 = t_1$  à la température  $\theta_2 + 273 = t_2$  telle que  $\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$ ,  $k$  étant égal à 1,41, et le travail nécessaire, plus considérable, serait :

$$p_2 v_2 + Ec(\theta_2 - \theta_1) - p_1 v_1,$$

$E$  étant l'équivalent mécanique de la chaleur et  $c$  le coefficient de chaleur spécifique à volume constant du gaz. Le travail est représenté graphiquement par l'aire comprise entre l'axe des  $y$ , deux parallèles à l'axe des  $x$  correspondant aux pressions  $p_1$  et  $p_2$ , et enfin un arc de courbe représentant la loi de compression, hyperbole équilatère dans le premier cas. Si les pressions  $p_1$  et  $p_2$  sont voisines, comme dans une machine soufflante, la différence entre les deux limites du travail de compression n'est pas bien grande; mais quand le rapport  $\frac{p_2}{p_1}$  s'élève, la différence s'accroît et finit par devenir considérable.

Ces diverses circonstances peuvent rendre difficile le

fonctionnement des machines à piston et augmenter le travail qu'elles consomment; certaines dispositions évitent ou réduisent ces inconvénients.

Pour corriger l'effet des espaces libres sur le débit des machines, on fait usage de pompes étagées, l'une comprimant l'air de  $p_1$  à une pression intermédiaire  $p'_2$ , et la seconde de  $p'_2$  à  $p_2$ ; on supprime même complètement l'espace libre en introduisant une certaine quantité d'eau dans le cylindre, introduction qui a d'autres motifs encore; parfois on vide l'espace libre en fin de course, en faisant communiquer les deux faces du piston; le compresseur ne restitue plus alors le travail de la compression dans l'espace libre, mais il fournit une plus grande quantité d'air. Cette communication s'obtient, dans le compresseur Burckhardt (*Publ. ind. d'Armengaud*, 3<sup>e</sup> s., vol. I, p. 559; *Revue tech. de l'Exp. de 1889*, 4<sup>e</sup> p., 2<sup>e</sup> fasc., p. 9), au moyen d'un tiroir à canal.

Les machines soufflantes sont habituellement munies de clapets en cuir ou autre matière flexible; les compresseurs, où l'air peut être fortement échauffé ou mélangé d'eau, de soupapes en bronze. Parmi les dispositions intéressantes, citons les soupapes d'aspiration des compresseurs du système Sturgeon (*Engineering*, 1889, 1<sup>er</sup> sem., p. 683) qui occupent tout le fond du cylindre et portent la garniture de la tige du piston; elles sont entraînées par cette tige, mais leur course est très faible. On peut aller plus loin dans la même voie, et commander mécaniquement toutes les soupapes, de manière à leur donner une levée considérable tout en les fermant sans choc au moment précis. Telles sont les dispositions étudiées par M. Riedler (*Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, 1891, p. 117): la fermeture de toutes les soupapes est commandée, ainsi que l'ouverture des soupapes d'aspiration; seule l'ouverture des soupapes de refoulement est produite par la pression de l'air.

On a quelquefois employé les tiroirs, au lieu de soupapes, pour les machines soufflantes et les compresseurs. On démontre aisément qu'un tiroir à coquille, conduit par un excentrique, ne donne jamais une distribution convenable pour un cylindre soufflant, les ouvertures et fermetures ne pouvant toutes se produire aux moments convenables; cette question est traitée en détail dans l'*Étude sur les machines soufflantes* de Deny.

Dans le compresseur Burckhardt, que nous venons de citer, un tiroir à canal avec recouvrements extérieur et intérieur égaux, assure l'aspiration par la lumière médiane; le canal compense le retard à l'aspiration, par suite du passage d'un côté à l'autre du piston de l'air comprimé dans l'espace libre à fond de course. Une plaque de retenue sur le dos du tiroir forme un véritable clapet de refoulement.

Les dispositions des compresseurs qui empêchent l'air de s'échauffer pendant la compression sont des plus importantes, surtout lorsque le rapport des pressions finale et initiale est grand. On peut faire usage de cylindres avec enveloppe à circulation d'eau; ce moyen est assez commode, mais il n'évite pas complètement l'élévation de température de l'air. Dans le compresseur Sommeiller, employé aux travaux de percement du Mont-Cenis et souvent appliqué depuis, le piston déplace dans des cylindres verticaux deux colonnes d'eau qui constituent de véritables pistons hydrauliques; les inconvénients de cette disposition sont la lenteur obligée du piston (0<sup>m</sup>,60 par seconde environ), et le peu d'efficacité du refroidissement, la surface de contact de l'eau et de l'air n'étant pas très étendue. Les colonnes d'eau du compresseur Hanarte (*Revue technique de l'Exp. de 1889*, t. IV, p. 283) se meuvent dans des cylindres à évasement parabolique.

Le moyen le plus efficace consiste à injecter de l'eau dans le cylindre; il convient que l'eau soit lancée par des



orifices qui la pulvérisent, comme l'a fait Colladon. Il est facile de calculer le volume d'eau nécessaire; dans beaucoup de compresseurs, c'est environ le 1000<sup>e</sup> du volume de l'air aspiré. L'eau injectée remplit les espaces libres, puis, refoulée avec l'air, se dépose dans le réservoir où se fait la compression.

L'effet de cette injection n'est pas toujours aussi grand qu'on le croirait, même quand l'air refoulé sort parfaitement froid dans le tuyau de refoulement du compresseur (Riedler, *Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, 1891, p. 115; Rosigneux, *C. R. mensuels de la Soc. de l'Ind. min.*, avril 1891, p. 86) : parfois l'air se refroidirait non pendant la compression mais seulement pendant le refoulement ou au passage des soupapes. Pour éviter cet inconvénient, il faut que l'eau injectée soit dirigée convenablement dans la masse gazeuse et pendant la période de compression.

L'injection peut se faire avec une pompe spéciale, ou bien l'eau peut être ramenée au cylindre du réservoir, où elle se refroidit; l'injection cesse alors pendant le refoulement. On reproche parfois à l'envoi d'eau dans le cylindre de rendre le graissage défectueux et d'être ainsi une cause d'usure rapide et de fuites. Comme exemple de ce mode de refroidissement, nous citerons les compresseurs Dubois et François (*Engineering*, 1889, 1<sup>er</sup> sem., p. 686).

Ajoutons que la compression successive dans plusieurs cylindres réduit l'échauffement de l'air, si on le laisse se refroidir dans des réservoirs intermédiaires; nous avons déjà indiqué un autre effet de cette compression successive, l'atténuation de l'action des espaces libres. L'emploi de ce procédé n'est toutefois bien justifié que si la pression finale est élevée et atteint 10 ou 15 atmosphères (*C. R. mensuels de la Soc. de l'Ind. min.*, août 1891, p. 206).

Les appareils soufflants et les compresseurs, commandés par un cylindre à vapeur, sont presque toujours mu-

nis d'un volant, car l'effort résistant augmente pendant la compression de l'air, tandis que l'effort moteur diminue par suite de la détente de la vapeur. Au début d'une course, par suite de la détente de l'air dans l'espace libre, le cylindre soufflant est même moteur. Il n'est pas nécessaire de calculer le volant pour une rotation presque uniforme, un certain ralentissement en fin de course ayant même l'avantage de permettre un meilleur fonctionnement des clapets. La régularité est parfois obtenue par l'emploi de deux groupes de machines sur un même arbre avec manivelles à 90 degrés, ou même de trois pompes. On peut aussi, comme l'a fait M. Burckhardt, atteler le cylindre moteur et le cylindre soufflant sur deux coudes d'un même arbre, convenablement calés; le compresseur Schram (*Engineering*, 1881, 2<sup>e</sup> sem., p. 523) présente une disposition analogue.

Après cet examen rapide des principales conditions à remplir par les machines à comprimer l'air, nous citerons quelques types intéressants de ces appareils.

La machine soufflante de la Société Cockerill, d'un type déjà ancien, est encore en faveur; un bel exemplaire en figurait à l'Exposition de 1889. C'est une machine Woolf verticale, les deux cylindres moteurs placés côte à côte, le cylindre à vent monté en-dessus. Une traverse, entre les cylindres moteurs et soufflant, commande, par deux bielles pendantes, l'arbre de couche à deux volants, placé à la base de la machine. Les dimensions principales de la machine exposée en 1889 sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression. . . .	0 <sup>m</sup> ,850
— basse — . . . .	1,200
— vent. . . . .	3,000
Course commune. . . . .	2,440
Diamètre des volants. . . . .	7,240
Poids. . . . .	18.000 <sup>kg</sup> .

Vitesse normale, 15 tours par minute, donnant 388 mè-

tres cubes d'air à la pression de 25 centimètres de mercure en plus de l'atmosphère.

La machine à balancier, avec un cylindre moteur ou deux cylindres Woolf, se prête bien à la commande d'un cylindre soufflant; la bielle du volant s'articule sur un point du balancier. Il existe plusieurs types de ces machines à balancier.

La disposition horizontale des cylindres moteur et soufflant, montés en tandem, est fréquemment employée malgré le risque d'usure inégale des grands cylindres. On peut éviter cet inconvénient en supportant par deux glissières la tige et la contre-tige du piston et en rendant mobiles les garnitures sur les fonds du cylindre, de telle sorte que la flèche prise par la tige sous le poids du piston soit constante.

Dans les compresseurs, dont les cylindres sont bien moins grands, la position horizontale est la plus fréquente; le nombre de tours est plus considérable, ce qui peut ne pas donner une plus grande vitesse linéaire du piston, la course étant moindre.

*Ventilateurs volumogènes* — Les ventilateurs volumogènes comportent des pièces tournantes qui enferment l'air dans des capacités variables, et sont assimilables en théorie à des machines à piston, de même que les machines à vapeur rotatives. Les communications des chambres avec l'aspiration et le refoulement s'établissent par le jeu même de l'appareil sans l'intermédiaire de clapets. Plusieurs appareils de mines se rangent dans cette classe. Parmi les ventilateurs d'ateliers et d'usines, nous citerons celui de Root (*Engineer*, 1882, 2<sup>e</sup> sem., p. 134), qui est fort répandu.

*Machines pneumatiques.* — Une machine pneumatique est un compresseur qui prend l'air à une pression inférieure à celle de l'atmosphère, le comprime jusqu'à cette pression et le refoule dans l'atmosphère. La théorie en est

identique à celle des compresseurs, et l'on doit combattre de même, et par les mêmes moyens, l'action des espaces libres et l'échauffement pendant la compression. L'emploi de ces machines est assez fréquent : on les trouve dans les sucreries, les usines à gaz; par exemple, les machines de l'usine de Landy, près de Paris, à 3 cylindres, aspirent 1 mètre cube par seconde à la vitesse de 31 tours par minute. Nous dirons quelques mots de leur emploi à Paris pour transmission de la puissance motrice.

*Emplois de l'air comprimé.* — L'air comprimé est d'un usage fréquent pour activer les combustions; c'est ainsi qu'avec un faible excès de pression sur l'atmosphère il produit le tirage forcé des chaudières, surtout à bord des navires; puis il sert, avec des pressions croissantes, pour les feux de forges, les cubilots, les hauts fourneaux, enfin les convertisseurs Bessemer. Il permet d'exécuter des fondations sous l'eau. Un autre usage important de l'air comprimé est la transmission à distance de la puissance motrice, et l'accumulation de cette puissance dans des réservoirs transportables. C'est surtout dans les mines, et pour la perforation des tunnels, que cette transmission est usitée, à cause des avantages évidents qu'elle offre dans ce cas. Suivant toujours le même programme, nous n'étudierons pas les appareils spéciaux de perforation et de havage. Citons encore son emploi pour commander la riveuse Allen (*Engineering*, t. XLVI, p. 504). L'air comprimé peut aussi servir à la transmission générale de la puissance motrice. Quelques applications étendues de ce système ont été faites récemment, l'une d'elles, fort importante, à Paris.

La distribution de Paris a été l'objet de nombreuses publications, notamment dans la *Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, 1889, p. 185 et 213; 1890, p. 1089; 1891, p. 113; l'*Engineering*, 1<sup>er</sup> sem. 1889, p. 640, 683 et 715; 2<sup>e</sup> sem. 1889, p. 320; la *Revue technique de l'Exposition de 1889*,



fascicule 25, p. 349 (article de G. Richard). L'*Engineering* du 1<sup>er</sup> sem. 1891, p. 327 et 419, contient en outre une description de la nouvelle usine du quai de la Gare, qui doit être prochainement mise en exploitation, et où l'air est comprimé par des machines Corliss pilon à triple expansion de 2.000 chevaux, construites au Creusot. A Birmingham, il existe aussi une distribution d'air comprimé décrite dans l'*Engineering* (2<sup>e</sup> sem. 1886, p. 342).

Parmi les applications de l'air comprimé, nous avons déjà cité celle de Terni, où il commande un pilon de 100 tonnes. On peut encore le faire agir directement sur l'eau pour l'épuisement des mines, par exemple à Marihaye (Belgique), d'après le système Dubois et François.

*Canalisations.* — La distribution par l'air comprimé exige une canalisation résistante à la pression, pour amener l'air aux divers moteurs secondaires. Les dimensions des conduites doivent être telles qu'on ne perde pas trop de travail en frottements; plusieurs séries d'expériences étendues ont été faites à ce sujet, notamment par M. Arson pour les conduites de gaz d'éclairage. Citons aussi le travail de M. Stockalper dans la *Revue de Cuyper* (2<sup>e</sup> sem., t. VII, p. 225). Souvent on se contente d'estimer la perte de charge au moyen d'une formule monôme simple, en assimilant l'air à un fluide incompressible, ce qui n'est admissible que pour de faibles variations de pression. La vitesse de l'air comprimé ne doit pas dépasser 8 à 10 mètres par seconde dans les conduites, d'après MM. François et Riedler. Ajoutons qu'on peut obtenir, dans un moteur à air comprimé, un travail indiqué d'un Poncelet avec une consommation par heure de 2 à 5 mètres cubes d'air à la pression effective de 6 kilogrammes. Des purgeurs automatiques doivent être disposés de distance en distance sur les conduites pour l'écoulement de l'eau déposée par l'air.

*Moteurs à air comprimé.* — Les moteurs actionnés par l'air comprimé ont de l'analogie avec les machines à vapeur (on a parfois commandé des machines à vapeur par l'air comprimé), mais le refroidissement de l'air pendant sa détente entraîne certaines dispositions spéciales. Le cylindre cède peu de chaleur à l'air: si la quantité de chaleur reçue par l'air pendant sa détente, depuis la pression  $p_1$  jusqu'à la pression  $p_2$ , était nulle, la température absolue (centigrade + 273)  $t_2$  serait,  $t_1$  étant la température initiale,  $t_2 = t_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0,29}$ . Par exemple, pour  $p_1 = 5p_2$ , l'air comprimé étant pris à 15°,  $t_2 = 181°$ : c'est une température centigrade de — 92°. Ce refroidissement considérable amène la congélation de la vapeur d'eau que renferme l'air toujours humide, surtout s'il est fourni par des compresseurs à injection. La neige et le givre ainsi formés obstruent les passages de l'air et gênent le jeu des organes de la distribution. Remarquons ici que notre calcul du refroidissement supposait l'air sec: quand il est humide, la température atteinte est moins basse, l'eau cédant de la chaleur en se condensant et se congelant.

Parfois, pour éviter l'inconvénient de l'arrêt des machines par la glace, on renonce presque complètement à détendre l'air, en le faisant travailler seulement par sa pleine pression: le refroidissement ne se produit alors que dans le courant d'échappement, c'est-à-dire en un point où le givre ne peut se déposer par suite de la vitesse du courant. Mais on perd ainsi une fraction notable de la puissance disponible: pour éviter les inconvénients pratiques de la détente, il suffit de fournir à l'air comprimé une certaine quantité de chaleur, soit par injection d'eau chaude, de vapeur, dans le cylindre, soit en le chauffant avant son entrée dans le moteur. La température finale  $t_2$  étant proportionnelle à la température initiale  $t_1$ , pour

une même détente, il suffirait, dans l'exemple choisi, que la température de l'air comprimé fût de 161° pour qu'il ne se refroidît pas au-dessous de 0°. En outre le travail moteur sera notablement augmenté.

Le chauffage préalable de l'air comprimé complique un peu un appareil pour lequel on a en vue surtout la simplicité et la facilité du service : néanmoins il se fait aisément dans des sortes de calorifères peu encombrants et consommant peu de combustible (*Revue technique de l'Exp. de 1889*, fasc. n° 25, p. 351). Il est en effet remarquable, comme la théorie et la pratique le montrent aisément, qu'une faible quantité de chaleur communiquée à l'air augmente notablement le travail qu'il fournit : la proportion de chaleur transformée en travail, un tiers dans certains cas, dépasse de beaucoup tout ce que nous voyons d'habitude dans les moteurs thermiques ; mais il ne faut pas oublier qu'il s'agit là d'une portion d'un mécanisme d'ensemble ne pouvant exister seule.

L'injection de vapeur dans l'air comprimé est pratiquée sur une batterie de huit machines de 50 chevaux chacune installée à Paris, rue Boissy-d'Anglas (*C. R. mensuels de la Soc. de l'Ind. min.*, avril 1891, p. 84).

On peut même effectuer le chauffage de l'air à l'intérieur même du cylindre moteur au moyen de la combustion du gaz d'éclairage, faisant ainsi un véritable moteur mixte à gaz et à air comprimé. Tel est le moteur Pischinger (*Zeitschrift des Ver. D. Ing.* mars 1891, p. 293).

Pour les petites puissances, on fait souvent usage de moteurs rotatifs, par exemple des moteurs Sturgeon et Popp (*Revue tech. de l'Exp. de 1889*, n° 25, p. 364 et 370) ; on emploie aussi des machines à simple effet, par exemple le moteur Proell à détente Woolf (d° — p. 369). Un régulateur de pression (d° — p. 353) est utile pour fournir aux moteurs l'air comprimé à tension constante, malgré les variations dans les conduites.

*Transmission par l'air raréfié.* — L'application la plus importante de la transmission par l'air raréfié a été faite à Paris autour d'une usine centrale située rue Beaubourg. Certaines conditions spéciales, rarement réalisées, justifient l'emploi de l'air raréfié : c'est l'installation d'un grand nombre de petits ateliers, n'exigeant chacun qu'une faible puissance motrice, et groupés aux divers étages des maisons d'un quartier populeux dans un rayon peu étendu. L'aspiration exercée par les moteurs a une salubre influence dans ces petits ateliers, souvent mal aérés ; la marche de ces moteurs est très simple ; la détente de l'air n'étant pas considérable (la pression dans les conduites ne descend pas au-dessous de un tiers d'atmosphère), on est peu gêné par la formation du givre, combattue au besoin, en hiver, par un chauffage à l'aide d'un bec de gaz. Les moteurs à air raréfié n'y diffèrent d'ailleurs pas, en principe, des moteurs à air comprimé ; on trouve la description dans la *Revue tech. de l'Exp. de 1889*, n° 25, p. 378. La grande dimension des conduites nécessaires rendrait inapplicable à de grandes distances ce mode de transmission.

*Poste pneumatique.* — Une intéressante application est celle du transport par tuyaux de boîtes contenant des dépêches (M. Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, t. I, p. 180). Dans l'installation de Paris, l'air est aspiré à un bout de la conduite et refoulé à l'autre, de manière à créer une différence de pression d'environ une atmosphère.

*Freins.* — Rappelons enfin l'emploi étendu de l'air raréfié et de l'air comprimé pour la commande des freins continus de chemins de fer.

*Comparaison des divers modes de transmission et de distribution de la puissance motrice.* — La comparaison des procédés divers de transmission et de distribution de la puissance motrice a donné lieu à bien des travaux et



à bien des controverses. Il est rare que l'on puisse comparer divers systèmes dans des conditions équivalentes, et il est plus facile d'exposer les avantages propres de chaque procédé que d'en donner le prix de revient exact. Ce prix de revient varie d'ailleurs beaucoup, pour des systèmes qui exigent des constructions énormes, suivant l'extension de la consommation, suivant sa régularité ou son irrégularité.

Le t. IV du *Congrès int. de méca. app.* (p. 219) contient un travail de M. Boudenoot sur cette question. M. Riedler a récemment publié dans la *Zeitschrift des Ver. D. Ing.* (mars 1891, p. 299) des tableaux comparatifs de l'estimation du prix de revient de divers moteurs à gaz, à vapeur et à air comprimé : ces tableaux méritent d'être étudiés, et peuvent servir de base pour une étude analogue dans des conditions différentes.

Outre les travaux déjà cités, nous indiquerons encore, pour l'air comprimé spécialement, le rapport de M. Kennedy, analysé dans la *Revue tech. de l'Exp.*, n° 25, p. 372 ; des notes de MM. Hanarte et Solignac dans le t. IV du *Congrès de méca. app.* ; des articles sur l'air comprimé et l'électricité de MM. Bayet et Gérard, dans la *Revue de Cuyper*, XIII (1891), p. 166 et 185.

De tous les modes de transmission, les moteurs à gaz offrent la solution la plus simple dans les villes, puisqu'ils utilisent une usine centrale et des canalisations existant pour l'éclairage. Ces moteurs ont l'inconvénient de consommer, outre le gaz, une assez forte quantité d'eau et d'huile. Souvent en France et notamment à Paris, le prix beaucoup trop élevé du gaz ne permet pas de les employer avec tout leur avantage. Nous trouvons là un exemple de l'énorme inconvénient des mesures fiscales et autres qui empêchent de livrer au consommateur un produit à son prix normal : le consommateur est souvent forcé de se priver de ce produit et d'en chercher

d'autres, moins commodes ou d'un prix de revient réel plus élevé ; c'est en somme un véritable gaspillage de travail, l'emploi des capitaux et de la main-d'œuvre n'étant pas le meilleur possible.

Les transmissions hydrauliques, pour un travail continu, paraissent en général coûteuses, à moins qu'on ne puisse facilement établir une distribution abondante à la pression de 10 ou 15 kilogrammes par centimètre carré.

La vapeur peut être distribuée par une station centrale, ainsi qu'on le fait à New-York, et donner le chauffage outre la puissance motrice, mais une pareille distribution exige des canalisations difficiles à établir et à entretenir. L'installation de New-York est décrite dans la *Revue tech. de l'Exp. de 1889*, fasc. 25, p. 384. Une récente communication de M. C. E. Emery (*Trans. of the American Soc. of civil Engineers*, mars 1891, p. 188) donne de nouveaux détails sur cette installation : elle signale l'utilisation préalable d'une partie de la puissance motrice de la vapeur produite à une pression élevée, avant son envoi dans les conduites, et la suppression des tuyaux de retour d'eau condensée, tuyaux détériorés par une corrosion rapide. Citons encore l'usage de l'eau surchauffée à Boston, servant au chauffage et transformée partiellement en vapeur pour actionner les machines. (*Revue tech. de l'Exp.* fasc. 25, p. 394).

Ce sont là de grandes entreprises sur lesquelles on ne peut guère donner un avis général et qui doivent toujours être précédées d'une étude minutieuse.

L'air comprimé, et exceptionnellement l'air raréfié, fournissent une solution, dont les petites applications sont nombreuses ; l'emploi à grande échelle restera probablement fort rare, malgré l'exemple de Paris. La production de l'air comprimé est en effet coûteuse ; le rendement total de la transmission n'est pas très élevé ; enfin il ne donne que la puissance motrice, sauf l'emploi

secondaire comme réfrigérant de l'air produit par les moteurs.

Vient enfin l'électricité, dont l'emploi s'est rapidement développé depuis quelques années pour l'éclairage ; la transmission de la puissance motrice par ce moyen commence aussi à se répandre ; elle est encore assez chère sans doute, mais il semble qu'elle coûtera de moins en moins. Nous laissons entièrement de côté ce sujet.

Nous ne parlons pas non plus des transmissions par arbres ou par câbles, qui ne constituent pas de distributions proprement dites et ne peuvent s'étendre au loin.

En résumé, il est difficile d'attribuer un avantage exclusif à l'une des transmissions sur les autres. A considérer l'intérêt général, on peut craindre que, dans certains cas, l'établissement de transmissions diverses dans la même ville n'entraîne un certain gaspillage de capitaux, qui s'opposera à la réduction au minimum des prix de vente.

*Transport de l'air comprimé en réservoir.* — La puissance motrice est quelquefois accumulée sous forme d'air comprimé dans des réservoirs, par exemple dans les moteurs Mékarski pour tramways : l'air est comprimé à 30 atmosphères, et détendu, avant l'emploi dans les cylindres moteurs, en traversant un récipient d'eau à 170° dit bouillotte (H. de la Goupillière, *Cours de machines*, t. I, p. 543). Certaines lignes de tramways sont aujourd'hui exploitées à l'aide de ces moteurs, notamment à Nantes, à Londres (*Engineering*, vol. XLV, p. 287) ; ils semblent cependant moins en faveur que les locomotives sans foyer à eau surchauffée. *L'Engineering* (1890, 1<sup>er</sup> sem., p. 334) indique l'emploi à Chester de ces moteurs, avec une pression moindre (12 kilogrammes par centimètre carré), et chargement des réservoirs sur des prises établies de distance en distance. Enfin, près de Paris, sur les chemins de fer Nogentais, des locomotives Méarskki font des parcours de 15 kilomètres. L'air est com-

primé à la pression de 40 à 45 kilogrammes par centimètre carré, par des pompes étagées ; la capacité des réservoirs d'un véhicule est de 3.100 litres, la température initiale de l'eau des bouillottes de 160° (*Revue gén. des chemins de fer*, sept. 1889, p. 264). Citons encore les locomotives à air comprimé employées au percement du Saint-Gothard.

Dans les torpilles Whitehead, l'air emmagasiné à la pression d'une centaine d'atmosphères, réduite à 24 atmosphères environ, agit dans un moteur à trois cylindres à simple effet, avec distribution par tiroirs cylindriques, donnant une admission d'environ 50 p. 100. *L'Engineering* (2<sup>e</sup> sem. 1890, p. 628) donne la description et les dessins de ces torpilles.

**MOULINS A VENT.** — Aux moteurs actionnés par l'air comprimé on peut rattacher ceux qui sont commandés par l'air naturellement en mouvement. Nous voyons reparaître à l'Exposition de 1889 les types décrits par M. Haton de la Goupillière dans sa notice sur celle de 1878 (*Annales*, 7<sup>e</sup> s., t. XVI, p. 197) et dans son *Cours de machines* (t. I, p. 554). Une description détaillée de ces appareils a été publiée par M. G. Richard dans la *Revue tech. de l'Exp. de* 1889, fasc. 25, p. 434. En général les moulins aujourd'hui installés paraissent être de préférence à ailes nombreuses, garnissant entièrement le cercle qu'elles décrivent. Les applications des panèmones à axe vertical sont rares.

## CHAPITRE XIII.

### MACHINES FRIGORIFIQUES.

Les machines frigorifiques sont fréquemment employées aujourd'hui pour la préparation de la glace, dans certaines industries telles que la brasserie, la stéarinerie,



la fabrication de la dynamite, la préparation des salaisons, pour les fonçages en terrains aquifères (procédé Poetsch), pour le transport (d'Australie et d'Amérique en Europe) et l'emmagasinage des viandes fraîches. On signale même l'établissement aux États-Unis de canalisations étendues de liquides froids avec branchements à domicile (*Génie civil*, t. XIX, p. 377; *Chronique industrielle*, 4 oct. 1891, p. 144).

Parmi les nombreux mémoires et ouvrages spéciaux sur ces machines, nous citerons :

Ledoux, Théorie des machines à froid, *Annales des Mines*, 7<sup>e</sup> s., t. XIV, p. 121.

Haton de la Goupillière, Cours de machines, ch. xxxii.

G. Richard, Production mécanique et utilisation du froid artificiel, *Société d'encouragement*, 1889, p. 629.

G. Richard, Les machines frigorifiques, *Revue technique de l'Exposition universelle de 1889*, travail considérable avec description et figures de la plupart des types de machines.

Lebreton, Mémoire sur la méthode de congélation de M. Poetsch, *Annales des Mines*, 8<sup>e</sup> s., t. VIII, p. 111.

T.-B. Lightfoot, On machines for producing cold air, *Proceedings mechanical Engineers*, 1881, p. 105.

A.-C. Kirk, On refrigerating machinery, *Inst. of civil Engineers*, 20 mars 1884.

T.-B. Lightfoot, On refrigerating and ice making machinery and appliances, *Proceedings mechanical Engineers*, 1886, p. 201.

Gottlieb Behrend, Eis und Kälteerzeugungs Maschinen.

On peut ranger dans trois classes principales la plupart des types, fort nombreux, de ces machines : les machines à air, à liquides volatils, à affinité.

1<sup>o</sup> MACHINES A AIR. — Dans un moteur à air chaud, l'air prend la quantité de chaleur  $Q_1$  à une source chaude, à la température  $t_1$ , transforme  $Q_1 - Q_2$  en travail, et cède  $Q_2$  à une source froide, à  $t_2$ . Si nous lui faisons faire la même évolution, mais en sens inverse, il cédera  $Q_1$  à une source chaude (qui sera entretenue à la température

ambiante  $t_1$ ) absorbera le travail  $E (Q_1 - Q_2)$  qui sera fourni par une machine motrice,  $E$  étant l'équivalent mécanique de la chaleur, et absorbera  $Q_2$  à la source froide, qui sera ainsi maintenue à la température  $t_2$ , malgré les apports inévitables de chaleur venant de l'extérieur.

Supposons que l'évolution de l'air soit précisément celle du cycle de Carnot : A (*fig. 1*, Pl. XVI) représentera l'état de 1 kilogramme d'air à la température  $t_1$  et à la pression  $p'_1$ ; il sera comprimé suivant l'isotherme AB jusqu'à la pression  $p_1$ ; il faudra lui enlever pendant cette compression la chaleur  $Q_1$ ; la détente adiabatique BC, avec production de travail externe, l'amène à la température  $t_2$ ; puis pendant la détente isotherme, à  $t_2$ , CD, il soustrait  $Q_2$  calories à la source qui doit être maintenue à  $t_2$ ; enfin la compression adiabatique DA le ramène à l'état primitif. Les compressions DA et AB consomment le travail représenté par l'aire DABbd; les détentes BC et CD restituent le travail BCDdb; on dépense finalement le travail  $T = E(Q_1 - Q_2)$  représenté par l'aire ABCD.

On appelle rendement de l'opération le rapport  $\frac{Q_2}{T} = A \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = A \frac{t_2}{t_1 - t_2}$  (dans le cas du cycle de Carnot)  $\left( A = \frac{1}{E} \right)$ . Ce rendement est alors d'autant plus grand que  $t_2$  est plus grand et que  $t_1 - t_2$  est plus petit; c'est-à-dire que la température froide est moins basse et que l'écart des températures est moindre.

Les raisons qui rendent difficilement réalisable le cycle de Carnot pour les moteurs à air chaud se retrouvent ici. En outre, l'air froid obtenu est en général directement employé à la ventilation d'une chambre à rafraîchir : aussi convient-il de l'obtenir à la pression atmosphérique  $p_a$ ; il se réchauffe ensuite à cette même pression, au lieu d'effectuer la détente isotherme CD.

Remarquons aussi que l'air est produit à une température  $t_2$  bien inférieure à la température  $t'_2$  (aux environs de 0 degré ou 273 degrés absolus en général) qu'on veut entretenir dans les chambres à rafraîchir; il est en petite quantité relativement au cube de cette chambre; de même, pour le chauffage, les calorifères donnent de petites quantités d'air très chaud. On procède ainsi pour éviter d'avoir à faire passer des quantités énormes d'air dans l'appareil, qui devrait avoir des dimensions excessives.

On cherche alors à se rapprocher des cycles d'opérations que nous allons décrire : 1 kilogramme d'air est pris en A (*fig. 2*, Pl. XVI) à la pression atmosphérique  $p_a$  et à la température ambiante  $t_1$ ; une compression isotherme AB lui donne une pression telle que la détente adiabatique BC (avec production de travail) l'amène à la température choisie  $t_2$ , quand il atteint de nouveau la pression atmosphérique  $p_a$ . Le kilogramme d'air (ou un autre kilogramme qui prend la place du premier) se réchauffe alors de  $t_1$  à  $t_2$ , à la pression  $p_a$ .

Mais le réchauffement se subdivise en deux parties, une de  $t_2$  à  $t'_2$  et l'autre de  $t'_2$  à  $t_1$  (trajets CE et EA); on voit que seul le réchauffement jusqu'à  $t'_2$  peut se faire utilement, en rafraîchissant l'enceinte à maintenir à  $t'_2$ ; le réchauffement EA se fait aux dépens de la chaleur extérieure, ou, en réalité, on rejette 1 kilogramme d'air à  $t'_2$  et on aspire de nouveau 1 kilogramme d'air à  $t_1$ .

On consommerait moins de travail si l'on reprenait en E le kilogramme d'air à  $t'_2$  et si on le comprimait d'abord adiabaticquement suivant EF jusqu'à la température  $t_1$ ; le travail économisé correspondrait à l'aire AFE. Mais cette compression, d'abord adiabatique, puis isotherme, serait difficile à réaliser; on opère plus facilement de la manière suivante : soit H l'état de l'air au moment où, dans la détente adiabatique BC, il

atteint la température  $t'_2$ ; prenons l'état G, où, dans la compression isotherme AB, la pression est la même qu'au point H : pour passer de G à H à pression constante, il faudrait que l'air cédât précisément la quantité de chaleur qui peut l'amener de E en A. Un régénérateur qui recueillerait ces calories cédées de G en H pour les restituer de E en A pourrait remplir cet office; mais, sous sa forme ordinaire, il fonctionnerait mal, car la neige et le givre provenant de l'humidité de l'air l'obstrueraient. Mais un *échangeur de température*, faisceau tubulaire analogue à un condenseur par surface, parcouru en sens opposés et d'une manière continue par les gaz à refroidir et à réchauffer, rend les mêmes services. On gagne le travail représenté par l'aire GBH.

Examinons enfin le cas où la compression n'est pas isotherme, mais se rapproche de l'adiabatique. Soit AB' (*fig. 3*, Pl. XVI) la compression adiabatique, amenant l'air à la pression  $p_1$  et à une température  $t'_1 > t_1$ ; il faudra alors refroidir le gaz à pression constante, dans un condenseur séparé de la pompe, pour le ramener en B à  $t_1$  et effectuer alors la détente adiabatique BC de  $t_1$  à  $t_2$ .

Le travail consommé est bien plus grand que précédemment. On dépensera moins de travail si, au lieu de prendre 1 kilogramme d'air à  $t_1$  en A, dans l'atmosphère, on reprend le kilogramme d'air à  $t'_2$  en E en le comprimant adiabaticquement suivant EB"; le travail reste cependant encore plus fort que précédemment.

Examinons maintenant les machines.

La machine P. Giffard, qui figurait à l'Exposition de 1878 et remonte à 1873, comporte deux cylindres à simple effet, un compresseur et un détenteur, dont les pistons sont reliés par bielle et manivelle à un arbre commandé par un moteur. Le premier aspire un volume V d'air à la pression atmosphérique et à la température supérieure  $t_1$ , et le refoule dans un réservoir où règne



une pression  $p_1$  : c'est un compresseur ordinaire, avec circulation d'eau dans une enveloppe, dont l'effet est peu considérable, de sorte que la loi de la compression se rapproche de l'adiabatique. Le réservoir est rafraîchi par une circulation d'eau à travers un faisceau tubulaire, ramenant l'air à  $t_1$ , ou plutôt en réalité à une température de 5 à 10 degrés supérieure.

Le cylindre de détente est un moteur à air comprimé, admettant à pleine pression  $p_1$  un certain volume  $v_1$ , puis le détendant (adiabatiquement) complètement, c'est-à-dire jusqu'à la pression atmosphérique; le volume est alors  $v_2$ , volume du cylindre. Un appareil de distribution donne et interrompt l'admission de l'air aux instants convenables. Le rapport des volumes des deux cylindres,  $V$  et  $v_2$ , est égal à celui des températures  $t_1$  et  $t_2$ ; on a aussi des relations très simples qui déterminent  $v_1$  et  $p_1$  en fonction de  $V$ ,  $t_1$  et  $t_2$ . Plus  $t_2$  devra s'abaisser, plus  $p_1$  augmentera.

Le cycle théorique de la machine se rapproche du cycle AB'BC examiné en dernier lieu (le moins économique), ou bien de EB''BC.

De même que dans les moteurs à air comprimé (et le détenteur est un véritable moteur à air comprimé) la détente prolongée de l'air amène la condensation et même la congélation de l'humidité de l'air; d'où résulte d'une part l'engorgement des organes de la machine, et, d'autre part, un moindre abaissement de température, par suite de la chaleur (facile à calculer) abandonnée par l'eau qui se condense, puis se congèle.

Cet inconvénient grave s'atténue si l'on reprend toujours l'air dans la même chambre à rafraîchir, air qui finit par s'assécher.

Mais au contraire il s'exagère si l'on veut obtenir une compression isotherme au moyen d'une injection dans le compresseur (seul moyen efficace) et se rapprocher du

cycle triangulaire ABC. Dans ce cas, on remédie à l'inconvénient d'une abondante condensation :

1° A l'aide d'un échangeur de température (cycle AGHC); la chaleur absorbée pendant le trajet EA, par le gaz qui se réchauffe de  $t_2$  à  $t_1$ , servant surtout à condenser l'eau du gaz à  $t_1$ , en G, eau qu'on en sépare ensuite à l'aide de chicanes sur le trajet et de purgeurs;

2° Mieux encore, en faisant circuler l'air, débarrassé de son eau autant que possible, dans des tubes sécheurs installés dans la chambre froide même; l'air y précipite le reste de son humidité et arrive sec au détenteur;

3° En effectuant la détente en deux fois, dans deux cylindres détenteurs de volume croissant, avec dépôt d'eau et de neige lors du passage d'un cylindre à l'autre.

Il faut remarquer d'ailleurs que si, d'une part, la compression isotherme réduit le travail moteur nécessaire, d'autre part, l'abondance de la vapeur d'eau réduit le refroidissement de l'air pendant sa détente.

La disposition (2°) se trouve dans les machines Bell-Coleman; la disposition (3°) dans celle de Hall et Lightfoot. Ces deux types de machines ont été appliqués surtout pour le transport par navires des viandes fraîches. On a construit des appareils donnant jusqu'à 8.000 mètres cubes d'air froid par heure.

2° MACHINES A LIQUIDES VOLATILS. — De même que la machine à air dérive du moteur à air chaud en renversant la succession des phénomènes, la machine frigorifique à liquide volatil dérive de la machine motrice à vapeur avec parcours du cycle en sens inverse.

Soit en A (*fig. 4*, Pl. XVI) 1 kilogramme de vapeur saturée sèche d'un liquide à la température  $t_1$  et, par suite, à la pression  $p_1$  correspondante. Soumettons-le à une compression isotherme AB, en lui soustrayant la chaleur  $Q_1$ , jusqu'à ce qu'il soit entièrement réduit en

liquide; une détente adiabatique BC, avec production de travail externe, poussée jusqu'à la température  $t_2$ , ou à la pression  $p_2$  correspondante, nous donne en C un mélange de  $x_2$  de vapeur et de  $1 - x_2$  de liquide; une détente isotherme CD, avec soustraction de la quantité de chaleur  $Q_2$  à la source qui doit être entretenue à  $t_2$ , nous donne en D un mélange qui, comprimé adiabatiquement, nous rendra en A le kilogramme de vapeur saturée sèche à  $t_1$ . Remarquons que cette dernière évolution est impossible avec certains liquides tels que l'éther, pour lesquels la compression adiabatique augmente la proportion de liquide, quand la teneur initiale est faible: on ne pourrait, dans ce cas, obtenir la vapeur sèche en A. Il nous suffira alors de supposer que la vapeur en D est saturée sèche et non plus en A, où elle renfermera la proportion de liquide provenant de la compression DA.

Si le liquide choisi est tel que le rapport des pressions  $p_1$  et  $p_2$  correspondant aux températures  $t_1$  et  $t_2$  n'est pas trop grand, on pourra chercher à se rapprocher du fonctionnement suivant le cycle de Carnot, que nous venons de décrire. De même que dans les machines à air, la température basse  $t_2$  sera inférieure à la température utile  $t'_2$  à obtenir (par exemple  $0^\circ$  ou  $273^\circ$  absolus, s'il s'agit de congeler l'eau), parce qu'un poids moindre de liquide réfrigérant, et par suite une machine moins volumineuse, suffisent, et aussi parce que, le liquide absorbant la chaleur  $Q_2$  à travers des parois métalliques, un trop faible écart de  $t_2$  et de  $t'_2$  conduirait à des surfaces énormes pour ces parois. Reprenant la comparaison faite pour les machines à air, nous ferons remarquer que, dans le chauffage à la vapeur, on emploie de la vapeur à une température bien supérieure à celle qu'on veut obtenir dans la pièce à chauffer.

Revenons au cycle théorique ABCD. Il nous faudrait obtenir une compression d'abord adiabatique DA, puis

isotherme AB; ensuite une détente adiabatique d'abord BC, puis isotherme CD. Mais de même que, dans les moteurs à vapeur, la vapeur est produite en dehors du cylindre, nous pourrions ici la conduire (parcours AB) hors du cylindre donnant la compression DA. Notre cylindre compresseur aspirera alors le volume  $Od$  de mélange de vapeur et de liquide à  $t_2$ , correspondant à l'état marqué par le point D; puis, revenant en sens contraire, il le comprimera suivant DA. La vapeur à  $t_1$  obtenue en D, au lieu d'être liquéfiée dans le cylindre, sera refoulée dans un réservoir condenseur entretenu à  $t_1$  (température ambiante) par une circulation d'eau extérieure: c'est là que se condensera le kilogramme de liquide, le phénomène restant le même que dans notre parcours théorique AB. Nous pourrions aussi avoir un cylindre détenteur où l'on admettrait 1 kilogramme de liquide à  $t_1$  (B) pour le détenteur adiabatiquement jusqu'à  $t_2$  (BC); la proportion  $x_2$  de vapeur dans le mélange se calcule aisément si l'on connaît la chaleur totale  $r_2$  de vaporisation du liquide à  $t_2$ , et sa chaleur spécifique moyenne entre  $t_1$  et  $t_2$ . Après la détente, le piston du cylindre détenteur, revenant en arrière, refoulerait le mélange  $x_2, 1 - x_2$  dans un réfrigérant à  $t_2$ , où un poids égal  $1 - x_2$  de liquide, passant à l'état D [vapeur saturée sèche ( $x'_2 = 1$ ) ou avec  $1 - x'_2$  de liquide suivant leur nature], absorbe le nombre de calories  $Q_2 = (x'_2 - x_2)r_2$ .

Le travail moteur consommé serait en définitive représenté par l'aire ABCD. Mais le travail donné par le cylindre détenteur, BCC', est faible; aussi le supprime-t-on presque toujours; on lui substitue un simple robinet de réglage qui laisse écouler le kilogramme de liquide B dans le réfrigérant à  $t_2$ ; l'ouverture de ce robinet est réglée de manière qu'il débite le poids refoulé dans le condenseur par le compresseur. Le travail moteur consommé est représenté par l'aire ABC'D, et notre cycle s'éloigne de celui de



Carnot pour reproduire ce que nous avons appelé le cycle théorique des machines à vapeur, où la compression ne ramène pas l'eau à la température de la chaudière; mais on la prend à  $t_2$  pour l'introduire dans cette chaudière entretenue à  $t_1$ ; elle y reçoit les calories  $c(t_1 - t_2)$ ; ici, inversement, le liquide pris à  $t_1$  est introduit, à travers le robinet de réglage, dans le réfrigérant à  $t_2$ . Il y apporte, il est vrai, quelques calories de plus, celles qu'il ne transforme plus en travail, de sorte que l'effet utile de l'opération se trouve un peu réduit. On obtiendra, après le passage par le robinet de réglage, un poids de liquide à  $t_2$   $1 - x_2$  un peu moindre que précédemment; la différence est d'ailleurs sans importance.

Les liquides employés sont très variés, suivant les machines, depuis l'éther sulfurique, dont les tensions de vapeur sont bien faibles aux basses températures (2.500 kilogrammes seulement par mètre carré ou 1/4 d'atmosphère, à 0° centigrade) jusqu'à l'acide carbonique, qui donne des tensions déjà considérables à froid et énormes à une température ambiante un peu élevée. La faible tension à la température froide conduit à donner une grande dimension au compresseur, qui doit aspirer à chaque coup un poids donné de vapeur à cette température. Les liquides dont on fait usage sont encore l'éther méthylique, l'acide sulfureux, le chlorure de méthyle, l'ammoniaque. On a aussi essayé des liquides mixtes (acide sulfureux et acide carbonique), où l'affinité chimique entrerait en jeu, suivant la pression; on semble y avoir renoncé.

En résumé, la machine comprend :

- 1° Une pompe de compression aspirant dans un réfrigérant (4°) et refoulant dans un condenseur (2°);
- 2° Un condenseur, rafraîchi extérieurement, où se liquéfie le gaz comprimé;

3° Un robinet de réglage, qui laisse écouler le liquide dans un réfrigérant (4°);

4° Un réfrigérant qui soustrait la chaleur au corps à refroidir, qui peut être de l'air ou souvent une dissolution saline ne se gelant qu'à basse température, dans laquelle on plonge les moules pleins d'eau à transformer en glace.

La compression DA pourra quelquefois, pour certains liquides, amener la vapeur, que nous avons toujours supposée saturée, à l'état de surchauffe dans le cylindre; sa pression reste  $p_1$ , sa température devient  $t'_1 > t_1$ . La compression consommera un peu plus de travail; le condenseur devra soustraire plus de calories. On évite cette surchauffe en refroidissant le cylindre par une enveloppe à circulation d'eau, et parfois en y injectant une petite quantité de gaz liquéfié.

Le plus employé des liquides est le gaz ammoniac liquéfié, qui donne des pressions convenables (11.900 kilogrammes par mètre carré, ou une atmosphère environ, à -30° centigrades; 43.400 kilogrammes à 0°; 120.000 kilogrammes à + 30°) et qu'on se procure aisément à bas prix. Son emploi exige quelques précautions : les machines ne doivent contenir ni cuivre, ni bronze, qu'il attaquerait; puis il est très subtil et les pistons du compresseur sont difficilement étanches. On tourne cette difficulté, dans la plupart des machines, à l'aide de couches d'huile sur les pistons (cylindres verticaux). couches d'huile qui, en outre, suppriment l'espace libre. On peut aussi recueillir le gaz des fuites : par exemple, le compresseur Fixary est à simple effet, mais n'est pas ouvert du côté du piston qui ne travaille pas, et la tige traverse une garniture. Le gaz des fuites est recueilli et aspiré à nouveau dans la chambre ainsi isolée : cette garniture est formée d'huile rendue pâteuse par le refroidissement obtenu à l'aide d'une dérivation de gaz ammoniac détendu qui circule tout autour. Au sortir du compresseur, un sé-

parateur recueille l'huile refoulée avec l'ammoniac. Le piston du compresseur Lavergne fonctionne également dans un bain d'huile. Citons encore les machines de Kilbourn et de Linde; dans un essai de cette dernière machine, rapporté par Richard, on a obtenu une production de 31 kilogrammes de glace par heure et par cheval indiqué au moteur.

La machine de Raydt fonctionne à l'acide carbonique. Le piston compresseur est réglé de manière à ne laisser, pour ainsi dire, aucun espace libre au bout de sa course; il est rafraîchi par une circulation de liquide incongelable venant du réfrigérant. Pour bien refroidir le condenseur et éviter ainsi une trop forte pression au refoulement, on ajoute à l'action de l'eau celle d'un bain incongelable, traversé par un serpentín parcouru par le gaz qui retourne à l'aspirateur de la machine. Cette disposition est pratiquement efficace, mais elle a le défaut d'échauffer le gaz retournant au compresseur, et par suite de réduire le poids aspiré à chaque coup de piston et d'augmenter le travail consommé.

Dans la machine Windhausen, également à l'acide carbonique, la compression se fait en deux fois, dans une pompe compound à piston complété par des masses liquides. Il ne faut pas confondre cette machine avec l'ancienne machine Windhausen à air de 1869.

Citons à cette occasion l'emploi fréquent aujourd'hui de l'acide carbonique liquide, vendu en bouteilles de fer. Parmi les sources de l'acide carbonique ainsi liquéfié, l'*Engineer* (1891, 2<sup>e</sup> sem., p. 40) indique les cuves de la brasserie Guinness, à Dublin.

Enfin parmi les liquides, on a même essayé l'emploi de l'eau, dans une troisième machine Windhausen; mais à cause de sa très faible tension de vapeur aux basses températures (4<sup>mm</sup>,6 de mercure à 0°), il a fallu ajouter à l'action d'une machine pneumatique celle de l'acide sul-

furique absorbant la vapeur d'eau. On opérât sur l'eau même à congeler (*La Nature*, 1884, p. 359).

3<sup>o</sup> MACHINES A AFFINITÉ. — Dans les machines à affinité, qui fonctionnent à l'aide d'une dissolution ammoniacale, l'action du cylindre compresseur est supprimée et remplacée par celle de l'eau et de la chaleur sur le gaz ammoniac; l'eau froide, mise en contact avec le gaz, l'absorbe: il faut en même temps lui enlever la chaleur, qui résulte de cette dissolution, par une circulation d'eau extérieure; puis, quand on chauffe cette dissolution, le gaz ammoniac s'en dégage; si ce dégagement se produit dans un vase clos rafraîchi extérieurement, la pression s'élève et le gaz se liquéfie dans le vase rafraîchi, qui est le condenseur de la machine à compresseur; le compresseur est remplacé ici par l'eau aspirant, puis dégageant sous pression le gaz.

Le condenseur est suivi d'un robinet de réglage, qui laisse le gaz liquéfié pénétrer dans le réfrigérant, où il se vaporise sous faible pression et entretient la température basse  $t_2$  correspondante: ces trois parties de la machine, sont, en principe, exactement les mêmes que dans les appareils à compresseur mécanique. Le gaz est repris au réfrigérant par l'eau qui le dissout, eau contenue dans un vase d'absorption. Il faut alors substituer au liquide appauvri de la chaudière, où l'on chauffe la dissolution ammoniacale (de préférence au bain-marie), le liquide enrichi qui est dans le vase d'absorption.

Cette substitution se fait d'une manière continue, en extrayant de la chaudière la partie inférieure, qui s'appauvrit la première, et l'envoyant dans le vase d'absorption, d'où l'on retire un poids égal d'eau chargée de gaz: une petite pompe fait le refoulement dans la chaudière, où règne la pression  $p$ , plus élevée que celle  $p_2$  du vase d'absorption. Les liquides à échanger sont l'un froid,



l'autre chaud; on les fait circuler en sens inverse dans un échangeur de température, de sorte que le premier s'échauffe tandis que le second se refroidit.

A première vue, l'application directe de la chaleur semble devoir être bien plus économique que l'emploi du travail mécanique obtenu par la transformation d'une faible fraction de la chaleur produite dans la chaudière d'un moteur à vapeur. Mais l'avantage de la machine à affinité se trouve notablement réduit par suite de la vaporisation d'une proportion d'eau considérable en même temps que le gaz ammoniac, eau qui se rend au condenseur, puis suit le gaz liquéfié et transporte ainsi des calories au réfrigérant. En outre, il faut fournir la chaleur qu'on est obligé d'enlever au vase d'absorption. On a cherché à réduire cet inconvénient par l'emploi de deux condenseurs successifs: un pour l'eau, l'autre pour le gaz ammoniac. Il est à noter aussi que les machines à affinité exigent bien plus d'eau de refroidissement que les autres, puisqu'il faut rafraîchir le vase d'absorption et condenser l'eau inutilement distillée par la chaudière. En fait, elles consomment plus de charbon que les bonnes machines à liquides.

Parmi ces appareils, nous citerons celui de Carré, construit par Mignon et Rouart, celui de Pontifex et Wood, et celui de Perkins.

*Comparaison des types divers de machines.* — Les machines à liquides ont une grande supériorité sur les machines à air, à considérer la dépense de puissance motrice qu'elles exigent pour un même effet. Cette supériorité tient aux dimensions bien moindres des premières pour un même nombre de calories soustraites: l'aspiration d'un volume donné de vapeur d'un liquide convenablement choisi correspond en effet à l'absorption d'un bien plus grand nombre de calories que l'aspiration d'un même volume d'air. La moindre dimension des machines réduit

leurs résistances passives. En outre, l'évolution théorique du liquide se rapproche beaucoup plus du cycle de Carnot que celle de l'air.

En fait, on choisit généralement les machines à liquides, surtout à gaz ammoniac liquéfié, plutôt que celles à air, sauf à bord des navires transportant les viandes fraîches, où l'on a jusqu'à présent sacrifié l'économie de puissance motrice à la certitude de la marche: les chances d'avaries dues à des fuites, à la perte du gaz liquéfié, n'existent pas pour les machines à air. On commence cependant à voir des exemples d'installation sur les bateaux de machines à liquides. Un type de machine Linde (à gaz ammoniac) pour la marine figurait à l'Exposition de 1889.

Pour obtenir de l'air froid avec une machine à liquide, on fait circuler l'air sur un serpentin réfrigérant traversé par le liquide qui se vaporise. Quelques précautions sont utiles pour se débarrasser du givre provenant de l'humidité de l'air: on fera, par exemple, usage de serpentins séparés, et lorsqu'un sera couvert de givre, on interrompra son action, et on le placera sur le courant d'air à refroidir, qui fondra le givre.

Quant aux machines à affinité, nous avons dit qu'elles exigent une dépense de combustible supérieure à celle d'un bon moteur alimentant une machine à liquide; elles semblent un peu plus difficiles à conduire.

*Production de glace transparente.* — Quelques précautions sont nécessaires pour obtenir la transparence de la glace artificielle: il faut, ou congeler l'eau très lentement, ou agiter constamment les moules où se forme la glace, ou enfin faire usage d'eau distillée privée d'air; on prend l'eau qui provient de la condensation de la vapeur du moteur, après l'avoir bien débarrassée des matières grasses, ou bien, pour plus de sûreté, on se sert de cette vapeur pour distiller, dans le vide, l'eau à congeler.

## CHAPITRE XIV.

## MACHINES-OUTILS POUR LE TRAVAIL DES MÉTAUX.

La construction des machines exige des pièces métalliques ajustées suivant des dimensions rigoureusement déterminées. Cet ajustage ne peut le plus souvent s'obtenir directement par la fonte ou la forge, mais exige l'emploi des machines-outils. L'organe actif essentiel de ces machines, du moins de celles qui coupent le métal, est un outil, presque toujours en acier trempé, qui peut enlever une certaine épaisseur sur la pièce à travailler.

*Travail de l'outil.* — L'action de l'outil tranchant sur le métal a été l'objet de quelques études; mais ces études ne sont pas aussi nombreuses que le mériterait l'intérêt théorique et pratique de la question. Nous citerons, entre autres, les *Mémoires sur le rabotage des métaux*, par H. Tresca (extrait du t. XXVII des *Mémoires présentés par divers savants à l'Acad. des sciences*), et par J. Thime (Saint-Petersbourg, 1877); le *Rapport sur les expériences faites à Indret*, par Joëssel (*Ann. de la Soc. des anc. élèves des écoles d'arts et métiers*, 1864, p. 91); une *Étude sur la confection des outils d'ajustage*, par M. G. Marié (*Ann. des mines*, 7<sup>e</sup> série, t. XIII, p. 5). Tresca rattache la formation des copeaux sous l'action de l'outil à ses belles études sur l'écoulement des solides comprimés; il a fait de nombreuses observations sur la forme des copeaux et le raccourcissement considérable qu'ils éprouvent suivant leur longueur, en opérant surtout sur le plomb; le métal, refoulé par l'outil, s'écoulerait perpendiculairement à la face rabotée. Thime explique la forme articulée si nette que présentent la plupart des copeaux obtenus dans les ateliers: nous dirons quelques mots de la théorie simple et plausible qu'il a présentée.

Pour enlever sur un barreau de fer une tranche d'épaisseur  $e$ , on peut prendre un prisme d'acier ABC (*fig. 5*, Pl. XVI), dont la hauteur (perpendiculairement au plan de la figure) est au moins égale à la largeur du barreau; en donnant à ce barreau un déplacement vers la gauche, il enlèvera la couche  $e$  en soulevant un copeau, et laissant sur le barreau une surface lisse et polie. Le copeau se recourbe en arc de cercle tangent à AB; sa face convexe est lisse comme celle du barreau, mais sa face concave est hérissée d'une série d'arêtes parallèles au tranchant B de l'outil, arêtes qui se réduisent à des stries fines sur les copeaux très minces. En outre, l'épaisseur du copeau, prise en dehors de ces arêtes, sera supérieure à  $e$ , et sa longueur développée sera inférieure à celle de la tranche enlevée; la réduction de longueur est souvent de moitié et même plus. Enfin, on remarque que le copeau se rompt aisément suivant les arêtes transversales.

En examinant de près la formation du copeau, on remarque de distance en distance, à mesure que l'outil avance, la rupture de la tranche  $e$  par une série de plans de cisaillement parallèles à une même direction EF, qu'on peut définir par l'angle  $\beta$  qu'elle fait avec la face supérieure de l'outil; l'outil a un *angle tranchant*  $t$ , et se présente sur la pièce à raboter sous un *petit angle d'incidence* ou de *dépouille*  $i$ , nécessaire pour qu'il ne frotte pas sur la face travaillée et que le tranchant B ne risque pas d'être soulevé. Si nous suivons l'outil à partir d'un de ces plans de cisaillement EF, nous le voyons s'enfoncer dans le métal en le refoulant jusqu'à un point E', où se produit une nouvelle rupture par cisaillement suivant E'F'; pendant cette pénétration, le refoulement du métal produit le gonflement extérieur de l'élément du copeau compris entre les deux plans EF, E'F', comme on le voit sur la *fig. 6*. En même temps, l'outil soulève l'élément précédemment détaché (n° 6 sur la *fig. 5*), en



le faisant glisser sur le n° 7 suivant la longueur EI : en outre, cet élément n° 6 pivote un peu autour du point G, à cause du gonflement latéral suivant G'I' (*fig. 6*) de l'élément n° 7. Le raccourcissement du copeau est donné par le rapport de E'I à E'E. Les petits pivotements des éléments rendent compte de l'enroulement du copeau.

Chacun des éléments reste encore un peu adhérent à ses voisins, malgré le glissement, dans les copeaux en fer et en acier, mais il est facile de l'en détacher ; avec la fonte et le bronze, les éléments sont souvent entièrement séparés. Chaque élément reste entier et peut être aplati sans rupture s'il vient d'un métal malléable.

L'angle tranchant  $t$  des outils varie beaucoup, et  $i + t$  peut atteindre 90 degrés. Dans ce cas, le point I peut arriver à se confondre avec G, et l'élément du copeau, au lieu d'être un prisme à base trapézoïdale, prend une base en forme de triangle, curviligne sur un des côtés.  $\beta$  étant l'angle de EF et de AB, la somme des trois angles  $\beta$ ,  $t$  et  $i$  varie peu quel que soit l'angle  $t$  et quel que soit le métal travaillé : d'après Thime, cette somme reste comprise entre 140 et 155 degrés.

Quand l'angle tranchant de l'outil descend au-dessous d'une certaine limite, variable suivant le métal à travailler, les copeaux peuvent se former autrement : l'outil commence bien à refouler et à gonfler extérieurement le métal, mais au lieu d'un cisaillement suivant un plan déterminé, il se produit une rupture irrégulière telle que BE (*fig. 7*). Les divers éléments ainsi rompus peuvent rester adhérents (*fig. 8*), mais au lieu d'une surface lisse on n'obtient sur la pièce à travailler qu'une série de cassures irrégulières ; la longueur du copeau reste alors égale à la longueur primitive. Ce sont les *copeaux de rupture* de Thime, qui se produisent surtout avec les métaux fragiles tels que la fonte et le bronze durs ; il nomme les autres *copeaux de cisaillement*.

Le plus souvent, quand la pièce à raboter est large, ou quand la tranche à couper est épaisse, on n'opère pas avec un outil de forme géométrique aussi simple, à long tranchant rectiligne ; mais on décompose la tranche MNM'N', dans sa coupe transversale, perpendiculaire au mouvement de l'outil, en une série de rectangles tels que MN<sub>1</sub>N<sub>1</sub>M', N<sub>1</sub>N<sub>2</sub>N<sub>2</sub>N<sub>1</sub>, etc., ou de parallélogrammes PP<sub>1</sub>Q<sub>1</sub>Q, P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>1</sub>, etc. (*fig. 9*, Pl. XVI) ; puis on enlève successivement la plus grande partie du métal contenu dans chacun de ces rectangles ou de ces parallélogrammes. On obtient alors un copeau dont la section finale est à peu près triangulaire, et dont la formation est moins claire que dans le cas simple du tranchant rectiligne. On y voit bien encore nettement la décomposition en éléments par une série de plans de cisaillement ; mais sur le côté mince du copeau, ces ruptures sont plus nombreuses que sur le côté épais.

C'est à l'aide d'outils arrondis, coupant surtout par leur tranchant latéral, que se fait le plus souvent le travail de dégrossissage. La largeur des éléments MN<sub>1</sub>, N<sub>1</sub>N<sub>2</sub>, etc., successivement enlevés par suite du déplacement transversal de l'outil après chaque passage, s'appelle le *ser-rage*. Quand la tranche à couper est très épaisse, on peut en outre la décomposer en tranches plus minces, enlevées chacune par une *passe* de l'outil. La section du métal détaché d'un seul coup, sur des machines de grande dimension suffisamment robustes, peut être considérable ; il existe dans la collection de l'École des mines des copeaux, provenant du tournage d'un canon, dont la section primitive est de 13 × 16 millimètres.

Les valeurs les plus convenables à l'angle tranchant  $t$  ont été déterminées par les expériences d'Indret : on a cherché, à l'aide d'un dynamomètre, pour quels angles le travail absorbé était le moins grand. Dans tous les cas, l'angle d'incidence  $i$  doit être très petit, et ne pas

dépasser 3 ou 4 degrés, et les meilleures valeurs de  $t$  ont été trouvées de 55 degrés pour le fer et l'acier et de 70 degrés pour le bronze. On a tendance à se tenir plutôt au-dessus de ces chiffres qu'au-dessous, et l'on donne dans les divers ateliers des valeurs assez variables aux angles tranchants, compris en général entre 50 et 65 degrés pour le fer, 60 et 70 degrés pour l'acier, 70 et 80 degrés pour la fonte. Enfin pour la fonte blanche en coquille, on trouve même des outils à angle tranchant de 90 degrés. Ajoutons que pour certains outils spéciaux, travaillant le fer, on est conduit également à l'angle droit pour  $t + i$ .

La vitesse qu'on peut imprimer à l'outil est limitée parce qu'il s'échauffe; il ne faut pas qu'il atteigne la température où il se détrempe, et s'émousse ou se brise. Dans le travail de finissage, la masse métallique de l'outil est grande par rapport à la partie qui travaille, aussi l'on peut marcher plus vite qu'en coupant beaucoup de métal. Dans ce dernier cas, en rafraîchissant l'outil à l'aide d'un filet d'eau, on peut atteindre des vitesses de 120 millimètres par seconde dans le fer et de 100 millimètres dans l'acier. Le bronze et la fonte donnent une production bien moindre de chaleur, sans doute parce que le copeau, beaucoup plus désagrégé, frotte moins sur l'outil. Aussi la vitesse peut-elle être plus grande et le travail se fait-il généralement sans eau.

Le mémoire de M. Marié contient une exposition intéressante des effets de la flexion de l'outil et de ses supports. Cette flexion peut être assimilée à une petite rotation autour d'un centre. Suivant la position de ce centre, la *trajectoire élastique* de l'outil tendra à le soulever ou à l'enfoncer. Dans le premier cas, l'épaisseur enlevée est un peu réduite, mais le travail se fait bien, à moins que les pièces ne soient assez élastiques pour donner lieu à des vibrations ou *broutements* de l'outil.

Dans le cas où l'outil s'enfonce, deux phénomènes différents peuvent se produire : si l'outil et ses supports sont très rigides, la résistance qu'il oppose à la flexion est considérable et croîtra plus vite que la résistance, également croissante, opposée par le métal à mesure que l'épaisseur rabotée augmente; on arrivera donc à une position d'équilibre. Si au contraire la résistance à la flexion de l'outil croît moins vite que la résistance opposée par le métal à son enfoncement, l'équilibre est impossible; on dit que l'outil *plonge* ou *s'engage*, la machine s'arrête ou une rupture se produit.

Les outils de dégrossissage sont en général assez simples; nous donnons, *fig. 10*, un exemple d'outil de tour. Pour attaquer le métal dans les angles, pour faire des vis, pour bien des cas encore, on a recours à des outils de formes variées. Pour les travaux de finissage, on emploie surtout la *plane*, à tranchant rectiligne, et parfois des outils plus compliqués, où la forme de l'arête tranchante est celle du profil qu'on veut obtenir; tel est le *peigne*, qui est un des outils servant à tailler les vis.

La plupart de ces outils sont forgés à l'extrémité de barres d'acier; la forge et la trempe sont des opérations délicates, qui doivent être répétées après un certain nombre d'affûtages. La partie active n'est d'ailleurs qu'une faible portion de la barre d'acier. Pour ces motifs, on a souvent cherché à composer l'outil de deux parties, un support et un tranchant de petite dimension. On réduit ainsi la consommation d'acier, qui doit être fondu au creuset et de qualité supérieure, et on dispose l'assemblage de manière à supprimer autant que possible le travail de forge, qui risque d'altérer le métal. Il existe un grand nombre de systèmes d'outils composés, plusieurs déjà anciens; certains ateliers s'en servent avec succès, mais leur emploi ne semble pas prendre une grande extension. Les conditions à remplir sont difficiles : il faut d'abord



que l'emmanchement de l'outil proprement dit et de son support soit extrêmement solide; il faut en outre qu'il ne tienne pas trop de place, pour ne pas être gênant; enfin le montage et le démontage doivent être faciles. Parmi les systèmes les plus répandus, nous citerons celui de Smith et Coventry, où la partie active est une petite barre ronde d'acier coupée obliquement, suivant une ellipse; l'angle du plan sécant avec l'axe de la barre donne l'angle tranchant suivant une des génératrices. Aucun forgeage n'est nécessaire pour cet outil, simplement meulé. La barre ronde ne peut convenir partout, par exemple pour couper au fond des angles et pour faire des filets de vis; on la remplace alors par une barrette à section trapézoïdale.

On emploie parfois, pour faire des outils, certains aciers très durs bien que non trempés. On fait même usage, notamment dans les ateliers d'Altoona, en Pennsylvanie, d'outils en fonte dont le tranchant est coulé en coquille.

*Machines-outils.* — Nous joindrons à notre examen des divers types de machines-outils quelques détails sur leurs principaux éléments; il n'existe guère de descriptions méthodiques de ces appareils; aussi quelquefois sont-ils mal connus des personnes s'intéressant à la mécanique, qui n'ont pas eu occasion de les étudier de près dans les ateliers.

Nous ne donnerons que peu d'indications bibliographiques en parlant de chaque type de machine, car nous aurions toujours les mêmes ouvrages à citer. On trouvera des exemples de la plupart des appareils dans les publications techniques périodiques telles que : la *Revue générale des machines-outils, des appareils de levage et de pesage*, le *Portefeuille économique des machines, de l'outillage et du matériel*; la *Publication industrielle d'Armengaud aîné*; le *Génie civil*; l'*Engineering*; l'*Engineer*; la *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*.

La *Revue technique de l'Exposition de 1889* contient un travail étendu sur les machines-outils exposées (en cours de publication). Les *Proceedings of the Institution of mechanical engineers* donnent aussi quelques travaux intéressants sur l'outillage.

TOURS. — Le tour est la plus importante des machines-outils; il reçoit les formes les plus diverses et se prête à l'exécution des travaux les plus variés. Pour bien en comprendre l'action, considérons un cylindre sur lequel nous voulons enlever une couche d'épaisseur  $e$ ; faisons-le tourner autour d'un axe déterminé par les sommets de deux cônes ou *pointes du tour*, puis présentons un outil qui viendra couper la couche d'épaisseur  $e$ , en se déplaçant, parallèlement à l'axe, d'une longueur  $s$  pendant que la pièce à travailler fait une révolution. Cette longueur  $s$  sera le *serrage* de l'outil, qui enlèvera un copeau continu de section primitive  $e \times s$ . Si la rotation de la pièce et la translation de l'outil sont uniformes toutes deux, ou, plus généralement, si le rapport de la vitesse angulaire du cylindre à la vitesse linéaire de l'outil est constant, chaque point du tranchant décrit sur le métal à façonner une hélice de pas  $s$ : tel est le principe de l'exécution des vis ou *filetage*.

Nous indiquerons d'abord les parties essentielles du *tour à fileter*, sous sa forme la plus usuelle. Un banc en fonte sert de support général. La longueur de ce banc est celle des plus longues pièces à tourner, augmentée de l'espace occupé par les deux supports extrêmes ou *poupées*. Le dessus du banc est une surface plane bien dressée ou *table*, composée de deux bandes longitudinales (*fig. 1, Pl. XVII*), supportées chacune par une flasque verticale; les deux flasques sont réunies de distance en distance par des entretoises, le tout étant venu de fonte ensemble. Lorsque l'outil travaille, il en résulte une pres-

sion à peu près verticale sur l'un des bords du banc, dirigée par exemple suivant F (*fig. 1*); la pièce tournée transmet aux deux pointes du tour deux composantes de F, dirigées de bas en haut. C'est surtout l'effort F qui fatigue le banc et tend, non seulement à le faire fléchir, mais aussi à le tordre autour d'un axe longitudinal, parce qu'il s'exerce sur le bord. Pour éviter la déformation du banc, dont la face supérieure doit rester plane, certains constructeurs ne se contentent pas de quelques entre-toises entre les deux flasques, mais les relient en outre par une en deux toiles continues (*fig. 2*), qui en font un solide creux.

Les bancs des grandes tours reposent sur une fondation continue, qui augmente leur rigidité et joue ainsi un rôle important : cette fondation doit donc être étudiée et exécutée avec soin. Dans les petits tours, la hauteur du banc est trop faible pour qu'on le pose directement sur le sol; il est supporté aux deux extrémités, et au milieu s'il est long, par deux ou trois pieds en fonte, posant eux-mêmes soit sur une petite fondation, soit directement sur le plancher de l'atelier. Les quatre bords *e i i' e'* de la table sont dressés suivant des règles que nous indiquons plus loin.

A l'une des extrémités du banc, à gauche du tourneur dans sa position normale, est un support qui transmet à la pièce le mouvement de rotation; ce support, dit *poupée fixe*, est un bâti à deux paliers portant l'arbre du tour, dont l'axe doit être parallèle à la table et à ses bords *e i i' e'*. Cet arbre porte l'une des pointes du tour; la *hauteur des pointes*, comptée au-dessus de la table, détermine le plus grand rayon des pièces que peut travailler la machine.

L'arbre, en acier, tourne dans des coussinets de bronze. Quelquefois ces coussinets, au lieu d'être cylindriques, sont légèrement coniques, ce qui permet de corriger les

effets de l'usure et de ramener l'axe de l'arbre à sa hauteur primitive par un léger déplacement longitudinal. L'opportunité de cette disposition, et, en général, de tous les moyens de réglage analogues facilement accessibles au conducteur de la machine, est souvent discutée; si le tour est réglé exclusivement par un ouvrier habile et soigneux, les moyens simples de réglage peuvent être efficaces; si l'outil est entre des mains maladroites ou inexpérimentées, ils ne serviront guère qu'à dérégler l'appareil bien plus que ne le ferait l'usure. Ajoutons que, dans l'espèce, avec l'extrême précision qu'on demande aujourd'hui à certaines machines-outils, le réglage par glissement longitudinal de deux cônes déformés par l'usure ne paraît pas très satisfaisant; mais il peut convenir pour des travaux communs.

Dans tous les cas, l'arbre doit être maintenu contre tout déplacement longitudinal pendant le travail. Il est généralement soumis, en marche, à une poussée assez considérable, qui tend à le chasser vers la gauche du tourneur; cette poussée provient de ce que l'outil, dans le tournage d'un cylindre, coupe surtout par son tranchant latéral; elle se produit aussi dans le dressage des pièces sur le plateau du tour. Le plus souvent, on fait appuyer l'extrémité gauche de l'arbre contre une butée B fixe montée sur un support spécial faisant corps avec la poupée (*fig. 3*, Pl. XVII); deux écrous permettent de régler cette butée; un collet sur l'arbre, également réglable, s'oppose au mouvement en sens inverse, mais n'a que de faibles efforts à supporter.

On peut aussi maintenir plus simplement l'arbre dans les deux sens au moyen d'un collet, ce qui augmente un peu le frottement, mais permet de monter aisément sur l'extrémité de l'arbre les engrenages nécessaires; cette disposition est adoptée par de bons constructeurs, notamment par l'américain Sellers; le collet, en acier trempé,



est compris entre le coussinet de gauche de la poupée et un anneau fixe également en acier trempé.

Outre la pointe, l'arbre porte à droite un plateau circulaire.

La commande de l'arbre s'effectue au moyen d'un mécanisme spécial, qui se retrouve fréquemment dans d'autres machines-outils. Il faut pouvoir faire tourner cet arbre à des vitesses variables suivant le rayon des pièces à travailler, suivant la nature de leur métal et enfin suivant le travail, le planage demandant une grande vitesse circonférentielle. Sur l'arbre du tour peut tourner un cône de transmission C (*fig. 3*), commandé par un contre-cône correspondant monté sur un arbre supérieur; ce cône C fait corps avec le pignon P, et est fou sur l'arbre. Le pignon P commande la roue R calée sur l'arbre auxiliaire XY, qui porte un pignon P' entraînant la roue R' calée sur l'arbre du tour. Celui-ci reçoit ainsi un mouvement de rotation considérablement ralenti, tandis que le cône entraîné par la courroie tourne avec une rapidité suffisante, condition importante dans la commande par courroie; mais pour la rotation rapide de l'arbre du tour, la commande directe par le cône C convient; on relie alors ce cône à la roue R' par un boulon ou *toc à écrou*; en même temps, il faut que l'arbre cesse d'être relié à l'auxiliaire XY. Le moyen le plus simple est de faire glisser sur l'arbre auxiliaire, de manière à ce qu'elles cessent d'engrener les roues R et P', ou même seulement le pignon P'; mais il faut pour cela la place de les loger, ce qui peut conduire à allonger un peu la poupée. Le plus souvent, l'arbre XY est creux et tourne sur un support monté sur deux tourillons ayant un axe X' Y' (*fig. 3*). En faisant tourner de 180° ce support, on amène l'axe XY en X'' Y'', ce qui sépare les engrenages.

La seconde pointe du tour, ou *contre-pointe*, est portée par un support dit *poupée mobile*; ce support doit pou-

voir se déplacer sur le banc, suivant la longueur des pièces à tourner. Dans ce déplacement elle est guidée par les bords *i, i'* de la table. Dans les grands appareils, ce déplacement est facilité par l'emploi d'un pignon porté par la poupée, engrenant sur une crémaillère fixée au banc. Une fois la poupée en place, des boulons de serrage la fixent sur le banc. Afin d'éviter l'inconvénient du très léger jeu transversal qui peut exister entre la poupée et ses guides *i, i'*, Sellers dispose l'appareil de serrage de telle sorte qu'il appuie toujours la poupée contre un seul de ces bords.

La contre-pointe peut d'ailleurs se déplacer sur la poupée mobile pour venir exactement serrer la pièce à travailler, puis permettre de l'enlever et de la remplacer par une autre pareille sans changer de place la poupée; cette pointe est portée par un arbre creux ou *canon* avec écrou, qui reçoit une translation par la rotation d'une vis munie d'un volant de manœuvre. Enfin le guide en fonte de ce canon, du côté de la pointe, est fendu et muni d'une vis de serrage qui permet de la bloquer en position. Diverses dispositions, plus compliquées, sont en usage pour obtenir un blocage concentrique de la contre-pointe, et éviter ainsi toute déviation de l'axe du tour.

La poupée mobile est parfois composée de deux parties, dont la supérieure peut être déplacée perpendiculairement à l'axe du tour; la ligne des pointes reste parallèle à la table, mais s'oblique sur les bords du banc. C'est un moyen simple d'obtenir des cônes aigus sur le tour; la pièce est montée irrégulièrement sur les pointes, mais tourne autour de l'axe oblique qui les joint.

L'axe des pointes est souvent placé en O (*fig. 1*), se projetant au milieu de la table; mais il vaut mieux l'excentrer et le placer en O', du côté opposé à l'outil, de manière à rapprocher du milieu du banc la pression F provenant du travail de l'outil.

La pièce à tourner est entraînée par le plateau de l'arbre du tour, à l'aide d'un *toc* placé dans un des trous du plateau et d'un collier de serrage. D'autres fois, la pièce est pincée entre des mâchoires dont le plateau est muni, souvent commandées par un mouvement unique, qui les rapproche ou les écarte également du centre, et donne ainsi un serrage concentrique. L'attache gêne souvent pour le travail de toute la surface de la pièce. Remarquons que si la première pointe du tour tourne avec la pièce, la contre-pointe est immobile et la pièce tourne sur elle; cette contre-pointe doit être graissée. Ces pointes sont des cônes plus ou moins aigus.

Les organes que nous venons de décrire sont, en principe du moins, anciens, et se retrouvent dans les anciens tours où l'outil était tenu à la main. La partie capitale du tour moderne, celle qui a véritablement créé la machine-outil et les procédés de travail sans lesquels nos constructions mécaniques actuelles ne pourraient être exécutées, est le *support à chariot* de l'outil. Ce support se compose d'abord d'un large patin SS (*fig. 4*, Pl. XVII), posé en travers du banc, le long duquel il peut glisser. L'effort F produit par l'outil pouvant tomber hors du banc et faire basculer le support, le bord extérieur *e'* est taillé en queue d'aronde; le bord *e* est généralement taillé de même, ce qui est moins important. Quelques constructeurs condamnent ces bords en biseau et les dressent verticalement (*fig. 5*, Pl. XVII), en ajoutant au support une griffe G qui saisit le dessous de la table. Le motif de cette disposition est le suivant: la table est soumise à une usure locale, dans la région où le support à chariot travaille le plus fréquemment; quand on vient alors à tourner une pièce longue, au moment où le support arrive sur la partie usée, il s'abaisse un peu; mais alors les deux biseaux en contact s'écartent légèrement et le support prend en même temps un déplacement trans-

versal, parce que la poussée F de l'outil est oblique. Il en résulte une augmentation du diamètre tourné. Avec les bords droits au contraire, en admettant qu'aucune usure ne se produise sur la partie verticale du bord (ce bord n'est exposé qu'à une pression horizontale assez faible), l'abaissement du chariot n'entraînera pas de mouvement transversal, et comme l'outil est à peu près à la hauteur de l'axe du tour, il n'en résultera qu'une augmentation inappréciable du diamètre tourné. Ces considérations ont de l'importance quand on veut obtenir des pièces précises à moins d'un dixième de millimètre près.

Le patin SS porte un guide à queue d'aronde perpendiculaire à l'axe du tour, sur lequel peut coulisser un chariot C (*fig. 4*); une vis *v* portée par le patin S peut recevoir un mouvement de rotation de la main du tourneur, et donner un déplacement transversal à un écrou invariablement lié au chariot C et ne pouvant tourner; c'est une transmission de mouvement d'un emploi constant dans les machines-outils. Le patin S pouvant se déplacer le long du banc, nous verrons tout à l'heure comment, et le chariot C perpendiculairement à ce banc, on peut amener l'outil, fixé à une hauteur convenable sur le chariot, en un point quelconque d'un plan parallèle à la table; toutefois, pour la commodité du réglage de l'outil, on ne le fixe pas immédiatement sur le chariot C, mais celui-ci porte aussi un guide en queue d'aronde parallèle à l'axe du tour, sur lequel coulisse un second chariot C', également commandé par vis; c'est sur ce second chariot qu'on fixe, à l'aide d'un chapeau serré par des écrous, l'outil, qui est généralement forgé à l'extrémité d'une barre carrée.

Une fois l'outil réglé à distance convenable de l'axe du tour, et à l'une des extrémités de la pièce à travailler, il ne reste plus, en même temps qu'on donne un mouvement



de rotation à la pièce, qu'à déplacer le long du banc le support à chariot tout entier. A cet effet, le tour porte, sur toute la longueur du banc, une vis V (*fig. 4*), dite *vis-mère*, qui tourne avec une vitesse convenable. Un écrou, relié au patin S, reçoit une translation dans un sens ou dans l'autre suivant le sens de rotation de la vis.

Il serait toutefois gênant de ne pouvoir séparer cet écrou de la vis, lorsqu'on veut transporter le support à chariot d'une place à une autre du banc au début d'un travail. Aussi l'écrou est-il formé de deux pièces qui peuvent s'écarter ou s'approcher à l'aide de mécanismes divers. Souvent on se contente d'un simple segment d'écrou qu'on appuie contre la vis ou qu'on en éloigne; dans ce cas, pour éviter la flexion de la vis, on fait porter l'extérieur des filets contre un guide lié au patin et faisant face au segment d'écrou.

Une fois l'écrou débrayé, on emploie, pour déplacer rapidement le support à chariot, la rotation d'un pignon qui porte sur une crémaillère fixe *c* (*fig. 4*).

La vis mère est nécessairement placée en dessous de la table, mais elle doit en être aussi rapprochée que possible; on la dispose dans l'angle de la flasque et de la table (*fig. 4*), soit à l'extérieur en V, soit à l'intérieur en V'; le point d'application de la traction du support à chariot paraît un peu mieux placé dans le second cas.

Pour le filetage, il faut que la vitesse de rotation de la pièce à fileter et la vitesse de translation du support à chariot aient un rapport déterminé. Si la vis mère tourne avec la même vitesse que la pièce et dans le même sens, on obtiendra une vis du même pas et de même sens; si elle tourne en sens contraire, le sens de la vis obtenue sera contraire. Si la vitesse angulaire de la vis mère est  $n$  fois celle de la pièce, le pas de la vis obtenue sera  $n$  fois celui de la vis mère. Cette rotation de la vis mère s'obtient à l'aide d'engrenages qui la relie à l'arbre du

tour. Si l'arbre du tour porte une roue ayant  $p$  dents, la vis mère une roue de  $q$  dents, ces deux roues étant reliées par une roue d'un nombre quelconque de dents, qui engrène avec chacune d'elles, le rapport des vitesses angulaires sera de  $n = \frac{p}{q}$ , et les deux rotations seront

dans le même sens. Pour des rotations en sens contraire, il faudra deux roues dentées intermédiaires dont le nombre de dents est indifférent. Toutes ces roues dentées sont placées à l'extrémité du tour, au delà de la poupée fixe. Dans le cas fréquent de la butée par pivot de l'arbre du tour, il ne se prête pas au montage facile de la première roue; aussi établit-on à demeure un petit arbre de renvoi auxiliaire, tournant à la même vitesse que celui du tour, mais en sens contraire; sur le bout de cet arbre on place facilement l'engrenage nécessaire de  $p$  dents. On monte à volonté les intermédiaires entre les roues extrêmes sur un support dit *tête-de-cheval*, qui peut pivoter autour du centre même de la vis mère.

Avec un assortiment convenable de roues, on a une série de valeurs de  $n = \frac{p}{q}$ . Mais on peut encore obtenir

bien d'autres pas que ceux qui sont donnés par ce mode de filetage, dit *à deux roues*; faisons engrener la première roue de  $p$  dents avec une roue de  $q'$  dents; puis sur l'axe de cette seconde roue, et tournant avec elle, montons une roue de  $p'$  dents commandant, directement ou par une roue intermédiaire quelconque, la roue de  $q$  dents montée sur la vis mère; nous obtiendrons un pas  $n = \frac{p}{q} \times \frac{p'}{q'}$ ; c'est le filetage *à quatre roues*. On peut même employer le filetage à six roues,  $p$  commandant  $q'$  qui fait tourner avec lui  $p'$ ;  $p'$  commande  $q''$ , qui entraîne  $p''$ , commandant enfin  $q$ ; le pas sera  $n = \frac{p}{q} \times \frac{p'}{q'} \times \frac{p''}{q''}$ .

On voit qu'avec un assortiment limité de roues on peut obtenir un grand nombre de pas divers.

Lorsqu'il s'agit, non plus de faire du filetage, mais simplement le travail de tournage, dit chariotage, la vis mère permet de donner le serrage qu'on désire; elle est fréquemment employée à cet effet, mais elle n'est plus indispensable, le rapport précis des vitesses de la pièce et de l'outil n'étant plus nécessaire. Aussi trouve-t-on fréquemment, dans le *tour à charioter*, un autre mécanisme pour l'avance du support à chariot. Nous avons vu que ce support porte un pignon engrenant sur une crémaillère fixée au banc pour les manœuvres à la main; il suffit de faire tourner automatiquement ce pignon avec une vitesse convenable. A cet effet, on monte le long du banc, du côté opposé au tourneur, un arbre auxiliaire, carré ou rainé, entraînant un manchon fixé sur le support à chariot; ce manchon, par un renvoi d'engrenages, communique la rotation au pignon moteur de ce chariot. L'arbre auxiliaire reçoit de l'arbre du tour un mouvement de rotation, à vitesse variable, par l'intermédiaire d'une courroie montée sur deux cônes de transmission. La manœuvre de l'appareil est facile, mais l'échelle des vitesses n'a qu'un bien petit nombre d'échelons. Aussi emploie-t-on parfois, surtout aux États-Unis, une transmission par disque de friction; deux disques plats, de même diamètre, sont montés sur les deux arbres à relier; ils sont pincés tous deux sur leur bord extérieur par une paire de disques légèrement cônes, montés sur un axe auxiliaire par une articulation sphérique. Suivant la position de l'axe auxiliaire, les rayons de contact de ces disques avec les deux premiers varient: par suite le rapport des vitesses des deux arbres principaux peut changer d'une manière continue. Quelquefois on fait usage, pour cette transmission, d'engrenages portés par une tête-de-cheval supplémentaire.

On trouve parfois réunis les deux modes d'avancement de l'outil; toute usure de la vis mère altérant la précision de vis obtenue sur le tour, il importe, quand on veut une grande exactitude, de réduire cette usure au minimum en employant ce mode de transmission exclusivement pour les travaux de filetage. Le second mode, par arbre auxiliaire, donne d'ailleurs d'autres ressources; avec addition d'une paire d'engrenages coniques sur le support à chariot, il permet de commander automatiquement la vis transversale du chariot et de déplacer l'outil perpendiculairement à l'axe du tour.

Dans les tours ainsi munis d'une commande automatique de l'outil perpendiculaire à leur axe, on ajoute souvent une troisième coulisse sur le support à chariot, de sorte qu'on dispose de deux mouvements automatiques perpendiculaires et de deux mouvements perpendiculaires de réglage à la main de l'outil. La combinaison des deux mouvements automatiques permet d'obtenir des cônes sur le tour et même de les fileter; par exemple, la commande longitudinale de l'ensemble du support s'obtient avec la vis mère, et celle du mouvement transversal à l'aide du pignon qui engrène sur la crémaillère fixe du banc, pignon qui est entraîné par le premier mouvement; en interposant un harnais convenable d'engrenages entre l'arbre de ce pignon et la vis du mouvement transversal, on réalise un rapport déterminé entre les deux déplacements perpendiculaires de l'outil.

Parfois aussi le support est muni d'une articulation supplémentaire qui permet de déplacer autour d'un axe vertical le chariot porte-outil. On peut ainsi obliquer, par rapport à l'axe du tour, une des vis de ce chariot, et, en la commandant par un cliquet, faire décrire à l'outil la génératrice d'un cône.

Pour obtenir des surfaces coniques, on peut encore donner au support l'avance longitudinale en débrayant



le mouvement transversal ; puis on relie le chariot, libre de coulisser transversalement, à un guide astreint à glisser sur une directrice oblique par rapport à l'axe du tour et portée par un support relié au banc du côté opposé au tourneur. Ce procédé est un cas particulier d'une méthode générale pour obtenir des surfaces de révolution quelconques au moyen de directrices fixes.

On se sert quelquefois de la vis-mère comme vis sans fin actionnant une roue hélicoïdale sur le support à chariot, pour donner le mouvement transversal automatique de l'outil : c'est une disposition simple, qui peut convenir pour des tours où l'on ne cherche pas une extrême précision de filetage.

Signalons encore le mode d'avancement automatique de l'outil à l'aide d'une roue à rochet et d'un cliquet facile à installer sur le tour : il suffit de relier le cliquet par une corde ou une chaînette, passant sur des poulies de renvoi, à une petite manivelle montée sur l'arbre du tour : à chaque révolution, le cliquet est soulevé d'une quantité variable suivant le point d'attache, et fait tourner d'un angle déterminé la vis qui commande le chariot porte-outil, dont le mouvement est alors discontinu.

Les longues pièces, telles qu'un arbre de transmission, fléchiraient sous l'action de l'outil : on les maintient à l'aide d'une *lunette* cylindrique. Toutes les pièces ne sont pas montées sur pointes : lorsqu'elles ont une faible longueur, on les fixe seulement sur le plateau, surtout quand on veut dresser des faces planes perpendiculaires à l'axe du tour.

Après avoir décrit le tour qu'on peut considérer comme type principal, nous indiquerons les variantes les plus importantes de cet outil.

Le mouvement de commande de l'arbre du tour est parfois modifié : dans les petits tours simples, les engre-

nages sont supprimés et la courroie attaque directement l'arbre. Au contraire, dans certaines machines, on ajoute à côté des roues P et R (*fig. 3*) une paire d'engrenages supplémentaires, qu'on peut embrayer à volonté et qui donne un rapport différent de vitesses (*Mechanical progress*, publié à Broadheath, près Manchester, 27 décembre 1888, p. 278) ; pour certains tours très puissants, on fait usage d'un triple renvoi d'engrenages au lieu du harnais double usuel. On a quelquefois placé l'arbre de renvoi au-dessous de l'arbre principal, en cachant complètement les engrenages sous la poupée ; ou même disposé le renvoi à l'intérieur du cône de transmission (*Revue gén. des machines-outils*, février 1890, p. 9).

Le rayon des pièces à tourner est limité à la hauteur de pointes : mais la table peut sans inconvénient être interrompue auprès du plateau, le support à chariot ne devant jamais venir le toucher ; on peut alors donner au plateau un rayon supérieur à la hauteur de pointes, et il peut recevoir des pièces plates de plus grande dimension. C'est la disposition si fréquente des *tours à banc échancre*. La limite de l'agrandissement du plateau est imposée par la vis-mère qu'il ne doit pas toucher. Quelquefois, pour augmenter encore le diamètre du plateau, on interrompt la vis-mère et on la commande à l'aide d'un arbre auxiliaire : tels sont les *tours à banc coupé* ou *rompu*, dont le banc est parfois mobile sur une plaque de fondation et peut s'approcher plus ou moins du plateau. On arrive ainsi à une combinaison, qui paraît rarement utile, du tour à fileter avec le tour à surface que nous allons décrire.

Prenons dans le tour la poupée fixe seule, avec son plateau, auquel on peut donner un très grand diamètre (un tour du Creusot peut recevoir des pièces de 9<sup>m</sup>,500 de diamètre, épaisses de 2 mètres et pesant jusqu'à 89 tonnes) ; l'outil sera monté sur un support qui glisera sur un banc parallèle au plateau ; son avancement

sera souvent commandé par cliquet ; nous avons le *tour à surface*, ou *tour à plateau*, ou *tour en l'air*, utile pour travailler des pièces de grand rayon et pour dresser des surfaces.

Un type de tour qui s'est beaucoup répandu depuis quelques années, est le *tour à support revolver*, où le chariot porte-outil est surmonté d'une tourelle portant cinq ou six outils divers, qui peuvent être substitués immédiatement l'un à l'autre par le déplacement de la tourelle autour de son axe vertical : cet outil est surtout employé pour découper des axes, des boulons dans des barres circulaires pleines. Souvent l'arbre du tour est creux pour permettre l'introduction des barres brutes de grande longueur à débiter. Le filetage est fait généralement à l'aide d'une filière (voir plus loin) rapportée sur le banc. La poupée mobile est alors supprimée. On peut aussi la conserver, et l'employer en rapportant une pointe sur la poupée fixe.

L'une des modifications les plus intéressantes des tours usuels est l'addition d'un second outil ou même de plusieurs autres. Les deux outils peuvent être placés sur le même support, en regard l'un de l'autre, l'un travaillant dans le sens ordinaire, l'autre tendant à être soulevé : cette disposition équilibre les efforts sur la pièce en travail, mais elle est rarement usitée. On préfère placer les outils sur des supports différents et attaquer la pièce en plusieurs endroits à la fois. Pendant qu'un outil est bien engagé pour une passe, le tourneur en profite pour régler et mettre en action un second outil, au lieu de regarder inutilement le premier outil enlever son copeau. L'emploi des outils multiples n'est pas toujours accepté sans conteste. Il faut d'abord, bien entendu, que les machines-outils soient assez robustes et les transmissions assez puissantes ; il faut ensuite que les tourneurs soient plus habiles et plus actifs. Mais il est clair que l'emploi rai-

sonné des outils multiples est un progrès. Comme conséquence pour l'ouvrier, c'est une des dispositions qui conduisent à la diminution de la durée des journées de travail, la production par heure augmentant au prix d'une plus grande dépense d'activité. Il ne faut pas toutefois s'exagérer l'effet des outils multiples : l'addition d'un second outil à un tour, sauf exception, n'en double pas la production.

On a été jusqu'à monter sept outils sur des tours à essieux coudés de locomotives, ces outils, il est vrai, n'étant pas faits pour fonctionner tous simultanément.

Les *tours à roues* des chemins de fer comportent deux poupées fixes, chacune avec un plateau assez grand pour recevoir des tocs qui saisissent les deux roues d'un essieux près de leurs bandages. Les deux plateaux sont commandés par un arbre inférieur ; quelquefois on dispose une commande indépendante de chaque poupée, afin de pouvoir les employer séparément pour aléser des bandages. Près de chaque plateau, un support reçoit un outil, dont le serrage est commandé par un renvoi simple à chaîne, ou bien par une étoile qu'un toc déplace d'une fraction de circonférence à chaque révolution du plateau. Les supports ainsi que les poupées reposent sur une large plaque de fondation.

Les tours à roues doivent être établis avec une grande solidité, pour arrêter les vibrations qui tendent à se produire dans la roue elle-même sous l'action de l'outil. Une des additions les plus importantes est celle de deux supports supplémentaires, permettant l'attaque de chaque roue aux deux extrémités d'un diamètre : mais ces supports supplémentaires rendent un peu plus difficiles la mise en place et l'enlèvement des roues. Quelques tours à roues anciens ont des pointes fixes, le plateau tournant sur un support cylindrique d'assez grand diamètre.

En résumé, les grandes catégories de tours sont les



tours parallèles (à pointes) et les tours en l'air (à plateau). Les premiers servent soit à fileter, soit à charioter seulement : le banc peut être échancré et même rompu. Il existe encore bien des dispositifs de tours pour divers usages spéciaux ; nous en citerons quelques-uns.

Les essieux de wagons doivent être travaillés à leurs deux extrémités seulement : en entraîne souvent dans ce cas, surtout pour le dégrossissage, l'essieu à l'aide d'une poupée centrale qui le saisit en son milieu ; chaque extrémité tourne devant un support à outil. Les pointes deviennent inutiles : supprimées, elles ne gênent plus pour affranchir les extrémités de l'essieu.

Lorsque l'outil de tour n'a de travail à exécuter que sur un arc de faible amplitude (par exemple, dans le dressage de la face d'un contrepoids de roue de locomotive), il y a un temps perdu considérable pendant le parcours du reste de la circonférence : aussi a-t-on disposé des tours à plateau avec mouvement oscillatoire d'amplitude réglée à volonté.

Pour exécuter en grand nombre des vis de petites dimensions, on emploie fréquemment une disposition plus simple que celle du tour à fileter ordinaire : un bout de vis du pas voulu, sur l'extrémité gauche de l'arbre du tour, entraîne un segment d'écrou relié au chariot : l'outil décrit ainsi sur la pièce des hélices du pas demandé.

Les tours se présentent avec des dimensions variant entre des limites fort étendues. Comme exemple de grand tour, nous citerons celui qu'avaient exposé, en 1889, Greenwood et Batley, ayant une hauteur de pointes de 1<sup>m</sup>,525 et une distance entre pointes de 16<sup>m</sup>,200. Le poids de cet engin, destiné à tourner des lingots d'acier de 100 tonnes, est de 320 tonnes.

Dans les ateliers de construction de machines, les tours à charioter et à fileter ont souvent des hauteurs de pointes de 200 à 400 millimètres. Généralement

chaque tour est construit avec une longueur de banc moyenne. Il en résulte que, dans les ateliers qui contiennent un grand nombre de ces machines, on n'utilise guère toute la longueur de la plupart d'entre elles, les pièces courtes à tourner étant en majorité. En pareil cas, les tours à banc court seraient avantageux, mais ils ne se trouvent pas fréquemment parmi les modèles courants offerts par les constructeurs de machines-outils. Parfois on voit sur des bancs trop longs une seconde poupée fixe à plateau, ce qui donne une seconde machine au tourneur.

Citons une disposition commode, employée surtout en Angleterre, pour les tours de petite dimension : on les munit de supports qui reçoivent, au-dessus d'eux, leur transmission intermédiaire ; une simple courroie les reliant à l'arbre principal suffit pour leur montage.

ALÉSAGE. — L'alésage est le tournage de la surface intérieure d'un cylindre creux. Quand la génératrice du cylindre n'est pas trop longue, ce travail se fait sur le tour avec ses outils ordinaires. Mais au delà d'une certaine longueur, l'outil ne pourrait plus atteindre toute la surface interne : on emploie alors une *barre d'alésage* appuyée à ses deux bouts et portant l'outil, ce qui exige une ouverture à chacune des extrémités du cylindre à travailler. Cette barre d'alésage peut être montée sur les pointes d'un tour, la pièce reposant sur le support à chariot, qui lui donne un mouvement de translation.

Mais pour les cylindres de grand diamètre (et l'on dépasse 3 mètres dans certaines machines), l'emploi du tour n'est plus possible ; et même pour les petites pièces, lorsque le travail se répète souvent, une machine-outil spéciale est avantageuse. La barre d'alésage de la *machine à aléser* est horizontale ou verticale. Dans le premier cas, une plaque de fondation ou un banc (pour les petits

appareils) reçoit la pièce à travailler ; deux poupées supportent la barre. Pour les petits diamètres, les outils se fixent directement dans des encoches de la barre ; pour les grands, la barre est munie d'un manchon à plateau dont le bord extérieur porte les outils. La barre est entraînée par engrenages, souvent par une roue hélicoïdale commandée par vis sans fin, qui donne un mouvement très doux, sans saccades, mais au prix d'un frottement considérable.

Le serrage ou déplacement longitudinal de l'outil s'obtient soit par une translation de la barre entière, soit par une translation sur la barre du manchon porte-outil, par l'action d'une vis régnant sur toute la longueur de la barre. Ce serrage est produit par un mouvement différentiel d'engrenages ; il est d'habitude assez faible, car la fonte des cylindres est souvent dure et il est difficile de surveiller l'outil. Dans la plupart des aléseuses, la passe de finissage se fait comme celle de dégrossissage, mais avec une prise et un serrage très faibles. On peut faire deux reproches à cette manière d'opérer : la surface obtenue n'est pas absolument lisse, et l'opération est longue ; la production de la machine est réduite et le parachèvement d'un cylindre de grandes dimensions est retardé. Pour éviter ces inconvénients, Sellers a muni l'aléreuse d'une plane pour la passe de finissage, avec mouvement de serrage rapide (jusqu'à 25 millimètres). Il faut pour cela une machine robuste ne donnant aucune vibration.

Pour mettre en place et retirer le cylindre à travailler, ou bien la barre peut coulisser sur toute sa longueur dans un de ses supports (ce qui complique un peu la machine et exige une grande longueur), ou bien on se contente de démonter une poupée et de faire glisser le cylindre longitudinalement. Souvent on rapporte sur la barre des machines à aléser les cylindres un outil pouvant

recevoir un déplacement radial (à l'aide d'une vis commandée par une étoile rencontrant une butée à chaque tour) pour dresser les faces de joint des plateaux. Parfois ces machines sont doubles et peuvent travailler à la fois deux cylindres d'une machine compound, ou un cylindre avec logement de tiroir cylindrique ; c'est un moyen d'assurer le parallélisme des axes.

Lorsque les diamètres à aléser varient beaucoup, et lorsqu'une série de trous doivent être alésés sur une pièce de grande dimension, on fait usage de machines plus compliquées, où la barre d'alésage est portée par un chariot qui peut coulisser le long d'un support vertical ; un guide reçoit l'extrémité non commandée de la barre. Souvent alors la pièce à travailler n'est plus simplement montée sur une plaque fixe, mais elle repose sur un support pouvant coulisser perpendiculairement à la barre ou sur un plateau à mouvement circulaire. On construit même des chariots pivotant en outre autour d'un axe vertical et autour d'un axe horizontal perpendiculaire à la barre d'alésage, qui peut ainsi prendre toutes les orientations.

Dans les aléseuses verticales pour cylindres, la barre est maintenue par un support approprié, souvent par une traverse en fonte reliant deux jambages assez écartés pour laisser passer les plus grandes pièces à travailler ; le mouvement de commande est à la partie supérieure de l'outil. Il paraît préférable d'aléser les grands cylindres dans la position verticale, lorsqu'ils doivent être montés dans cette position ; la machine verticale se prête mieux au travail des pièces de diamètres divers ; l'enlèvement de la barre est facile, la hauteur ne manquant pas d'habitude dans les ateliers destinés à la construction des grands appareils. Par contre la traverse supérieure, si elle est fixe, gêne un peu pour la mise en place du cylindre, suspendu à la chaîne d'un transbordeur.



Comme exemple d'aléreuse verticale, nous citerons celle du Creusot qui peut travailler des cylindres de 3 mètres de diamètre sur une longueur de 4<sup>m</sup>,700; comme type horizontal, celle de la compagnie des forges et aciéries de la marine et des chemins de fer, à Saint-Chamond, alésant au diamètre de 2<sup>m</sup>,100 sur 10<sup>m</sup>,500.

Autrefois les cylindres à vapeur, après l'alésage mécanique, étaient terminés à la main avec le grattoir. Les machines actuelles permettent de se dispenser de cette opération longue et minutieuse.

Pour l'alésage des petites pièces, on fait un fréquent usage d'appareils verticaux se rapprochant beaucoup de la machine à percer. Dans un type anglais commode, quatre aléuses verticales sont ainsi groupées autour d'un support central unique.

Nous citerons encore celles qui sont disposées pour aléser simultanément deux œils aux deux extrémités d'une bielle; quelquefois les deux barres d'alésage doivent traverser un gabarit à deux trous dont la distance est exactement calibrée. La machine à aléser les trous qui reçoivent les boutons des manivelles des roues des locomotives est du même genre; le train de roue est monté sur pointes ou sur lunette; deux chariots porte-foret se meuvent sur deux guides dont les plans sont à angle droit et se coupent sur l'axe du train de roues, l'un pour la roue de droite, l'autre pour la roue de gauche. On place ainsi exactement à 90 degrés les deux manivelles.

**TARAUDAGE.** — De même que le tour permet l'alésage, on peut, avec le tour à fileter, tracer un pas de vis à l'intérieur du cylindre, c'est-à-dire exécuter un écrou. Mais comme les écrous s'emploient par milliers non seulement dans les machines, mais dans les constructions métalliques, le wagonnage et dans une foule d'appareils, l'exécution sur le tour en serait bien trop dispendieuse.

Aussi, pour leur [fabrication courante, fait-on usage de procédés qui permettent de les produire plus rapidement et plus économiquement.

L'outil employé dans cette fabrication est le *taraud*, qui dérive d'une vis ayant le pas et la forme de la vis qu'on veut obtenir. Sur cette vis, on pratique des saignées longitudinales (figurées sur la coupe transversale de la *fig. 6*, Pl. XVII) au nombre de quatre ou plus. Puis on enlève à l'un des bouts la partie des filets qui sort d'un cône aigu ayant même axe que le taraud et une génératrice MN. On voit qu'il reste finalement, le long des quatre sections A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, une série de tranchants qui ont la forme du filet, soit entier, soit tronqué plus ou moins. Le taraud, en acier, est trempé après construction.

Engageons le taraud, grâce à son extrémité conique, dans un écrou brut, et faisons-le tourner; chacun de ces tranchants va agir comme un outil, peu coupant il est vrai, car l'angle tranchant y est de 90 degrés. Mais il y a un grand nombre de ces outils et chacun d'eux n'enlève pas beaucoup de métal. Si nous suivons l'hélice de la vis sur le taraud, nous y trouverons depuis l'entrée tous ces outils à la file, quatre par tour, et chacun d'eux un peu plus saillant que le précédent, jusqu'à la fin du cône, où le tranchant est un filet complet.

Pendant que le taraud tourne, l'écrou ne doit pas tourner; mais il faut que les deux pièces se déplacent longitudinalement l'une par rapport à l'autre. Il suffit de permettre ce déplacement longitudinal, sans le régler, le taraud se vissant de lui-même dans l'écrou qu'il produit, dès qu'une pression suffisante l'a engagé dans la pièce brute.

La construction des tarauds offre quelques détails intéressants. D'abord, pour faciliter l'entrée du taraud dans les écrous bruts, on les prolonge souvent de telle sorte que le cône à génératrice MN vienne enlever une

partie du noyau de la vis suivant  $NN'$ ; le taraud commence par quatre tranchants rectilignes et s'appelle *taraud aléteur*. Puis les tranchants  $A_1, A_2, A_3, A_4$  n'ont pas d'angle d'incidence ou de dépouille, les parties circulaires telles que  $A_1, B_1$  donnant lieu à un frottement considérable qu'il faut combattre par un emploi abondant de l'huile. On corrige ce défaut en taillant les tarauds dans des barres non circulaires, mais à section polygonale curviligne telle que celle indiquée sur la *fig. 7*, Pl. XXVII. Cette section s'obtient sur un tour spécial, construit par la Société alsacienne de constructions mécaniques; pendant que la barre d'acier tourne, le chariot porte-outil reçoit un mouvement oscillatoire d'un excentrique commandé par un arbre qui règne le long du banc du tour. Ajoutons enfin qu'on préfère ne pas tracer les sections qui déterminent les quatre arêtes  $A_1, A_2, A_3, A_4$ , exactement suivant des génératrices du cylindre dans lequel est débité le taraud, mais les enrouler sur une hélice à pas fort allongé. Le tour spécial donnant la section en polygone curviligne est disposé de manière à ce que les parties saillantes du profil s'enroulent suivant cette même hélice allongée.

La machine à tarauder les écrous est d'une extrême simplicité, puisqu'il suffit de faire tourner le taraud en maintenant l'écrou de manière à ce qu'il puisse prendre un mouvement de translation sans tourner. Quand le taraud a traversé l'écrou, on l'enlève aisément, car il est terminé par un carré débité dans le noyau de la vis et ne présentant pas de saillie gênante.

Pour les grands diamètres, on a parfois composé le taraud de lames trempées rapportées sur un support central. Tel est le taraud de Strong (*Engineering*, XLIII, p. 171).

Lorsqu'il s'agit de tarauder un trou *borgne* ou ne débouchant pas de part en part, le taraud ordinaire ne peut

plus être employé; on le remplace alors par une série de tarauds moins longs, passés successivement, souvent au nombre de quatre: chaque outil approfondit le filet tracé par le précédent; ce travail se fait à la main. Pour tarauder mécaniquement les trous borgnes, il faut éviter la rupture de l'outil au moment où il bute contre le fond du trou; le *support Pearn's* comprend, à cet effet, un ressort qui cède sous une pression déterminée et arrête le taraud. La machine est assez puissante pour permettre le taraudage avec un seul taraud à cône très prononcé, qui forme le filet presque jusqu'au fond du trou borgne. L'appareil Pearn's se monte sur une machine à percer radiale, avec retour en sens inverse pour l'enlèvement du taraud; il est utile notamment pour le taraudage des trous de fixation des goujons qui reçoivent les plateaux des cylindres.

La facilité de l'exécution des écrous sur la machine à tarauder a conduit à l'emploi d'un procédé analogue pour la construction des boulons. Supposons un écrou découpé comme nous avons découpé la vis pour obtenir un taraud, c'est-à-dire divisé en segments par des saignées parallèles à l'axe, puis sectionné par un cône de même axe, qui abat une partie des filets restants, nous obtenons un outil qui agira sur une barre ronde pour former une vis comme le taraud agit dans l'écrou brut. Les segments de l'écrou sont des barrettes d'acier, dites *coussinets*, encastrées dans un support appelé *filière* (ce nom a le défaut d'être le même que celui de l'outil, bien différent, qui sert à étirer les métaux en fils). Ces barrettes sont taillées, avant trempe, par un taraud dit *taraud-mère*. On peut donner à ce taraud-mère un diamètre un peu supérieur à celui des vis qu'on veut obtenir, ce qui permet d'avoir un peu de dépouille pour les outils coupant le métal; mais la différence doit être faible, car le petit segment d'écrou formé par le coussinet ne s'adap-



terait plus sur la vis produite qui a le même pas et par suite présente une rampe plus forte.

La machine à tarauder les boulons est encore fort simple : il suffit de faire tourner le boulon brut engagé dans la filière en permettant une translation libre du boulon par rapport à la filière. Mais une fois le travail terminé, la tête du boulon l'empêche de traverser de part en part la filière, et il faudrait le dévisser pour l'enlever. C'est un embarras et une perte de temps. Aussi les filières sont-elles disposées de manière à ce que la manœuvre d'un levier écarte les coussinets pour dégager le boulon après taraudage. De nombreux mécanismes ont été imaginés à cet effet : il faut que les coussinets soient ramenés exactement à leur position primitive et y soient solidement maintenus.

L'emploi de la machine à tarauder n'est pas limité à la production des vis et boulons de petites dimensions ; on construit aujourd'hui des types fort puissants de ces machines, capables de travailler jusqu'au diamètre de 70 ou 80 millimètres, et de donner économiquement de grosses vis qu'on exécutait sur le tour à fileter. Certaines machines arrivent même à donner par taraudage la vis à filet carré, plus difficile à former que le filet triangulaire.

Citons enfin la taraudeuse américaine de Sternbergh et celle de Demoor, où les coussinets de la filière sont des peignes obtenus par l'affûtage d'une barre de section convenable (fig. 8, Pl. XVII) ; le taraud-mère devient ainsi inutile et l'affûtage reproduit indéfiniment le profil exact de la barre. Ces peignes ont en outre l'avantage d'avoir un angle tranchant suffisamment aigu, et la filière est réglée pour les appliquer tangentiellement sur le boulon au nombre de quatre. Pour qu'un outil de ce genre travaille bien, la barre doit être présentée un peu obliquement sur l'axe du boulon à tarauder, de manière à ce que

les cannelures s'engagent tangentiellement à l'hélice tracée sur ce boulon.

PERÇAGE. — Le perçage au foret est l'une des opérations les plus fréquentes de la construction. Le foret est un outil allongé qui présente en bout deux tranchants et agit par rotation. Chacun des tranchants peut raboter le métal, mais vers le centre l'action est défectueuse, car les deux tranchants ne peuvent se rencontrer, ainsi qu'on le voit sur les fig. 9, 10 et 11, Pl. XVII ; cette action défectueuse du centre limite le serrage de l'outil, c'est-à-dire l'enfoncement à chaque tour ; pour cette raison, les trous de grand diamètre sont souvent amorcés par un premier trou central de petit diamètre. Quant à la vitesse, elle est limitée par l'échauffement comme celle des autres outils : c'est la vitesse circonférencielle qui ne doit pas dépasser un certain chiffre ; la vitesse angulaire décroît donc quand le diamètre du trou augmente.

Le foret à langue d'aspic (fig. 9) a deux tranchants inclinés AB, A'B' ; l'arête BB' qui les relie est plus ou moins abattue de manière à former une sorte de pointe qui gratte ou refoule le métal. Dans le foret à pointe de diamant (fig. 10), les deux tranchants AB, A'B' sont normaux à l'axe et se terminent contre un centre avec une pointe quadrangulaire. Ces deux types de forets, souvent grossièrement exécutés, sont de moins en moins employés, même dans les ateliers de chaudronnerie ; on leur préfère aujourd'hui le foret hélicoïdal ou américain (fig. 11), découpé dans une barre ronde et dont toutes les formes sont géométriquement déterminées. Les deux tranchants AB, A'B' sont obtenus par l'intersection de deux gorges creusées en hélice sur la barre, et de surfaces coniques placées de telle sorte que dans la rotation de foret, elles restent en dehors de la surface que viennent de creuser les tranchants, qui ont ainsi la dépouille

convenable. Ces surfaces coniques sont obtenues par l'affûtage sur une machine spéciale. Comme l'emploi d'une meule conique creuse ne serait pas pratique, on lui substitue le plat d'une meule suivant le plan tangent au cône, et c'est au foret qu'on donne un mouvement de rotation autour de l'axe du cône. Diverses machines à affûter réalisent plus ou moins exactement ces conditions géométriques : leur emploi permet seul d'obtenir tout l'effet des forets hélicoïdaux. On appointe aussi ces forets en abattant une partie de la petite arête qui relie les deux tranchants (l'effet de cette opération n'est pas représenté sur la *fig. 11*).

Le foret hélicoïdal, mieux exécuté que les autres, permet un perçage plus rapide; le copeau est bien formé, et il se dégage aisément par les gorges de l'outil, de sorte qu'il n'est pas besoin de le relever pendant les perçages profonds. Enfin les trous qu'il donne sont mieux calibrés et bien rectilignes.

Il faut, autant que possible, que les deux tranchants d'un foret agissent, mais un faible écart de l'un des tranchants l'empêche de mordre. Il est rare en pratique de voir des forets donnant deux copeaux pareils.

*Machines à percer.* — La machine à percer est simple en principe : elle fait tourner le foret, qui est le plus souvent vertical, et permet de lui donner le mouvement de serrage, soit automatiquement, soit à la main. A cet effet, l'arbre porte-foret se compose de deux parties, une animée du mouvement de rotation, l'autre ne tournant pas et recevant le mouvement de translation. La rotation est communiquée par engrenages; les changements de vitesse nécessaires sont obtenus par un cône à plusieurs étages pour la courroie motrice et par harnais d'engrenages. Dans plusieurs machines récentes, la transmission du mouvement de l'arbre horizontal porte-cône à l'arbre vertical du foret se fait par une courroie passant

sur deux galets de renvoi. La translation est obtenue soit par la rotation d'un écrou fixe que traverse la portion d'arbre qui ne peut tourner, soit par l'action d'un pignon sur une crémaillère portée par cette portion d'arbre. L'arbre porte-foret est souvent équilibré par un contre-poids, afin de rendre plus facile le retour à la main. Quelquefois le foret n'avance pas et c'est le support de la pièce à percer qui reçoit une translation.

La machine à percer peut être disposée pour se fixer contre un mur ou sur une colonne; plus souvent elle est portée par un bâti spécial en fonte. Une table reçoit les pièces à percer. Toutes ces perceuses, dites fixes, ne conviennent que pour des pièces facilement maniables. Pour les pièces de grandes dimensions, on fait usage de *perceuses radiales*, où le foret est porté par un chariot qui peut coulisser le long d'un bras horizontal, pivotant lui-même autour d'un axe vertical fixe. La communication du mouvement au foret se fait par pignons glissant sur arbres rainés. Les mouvements de déplacement du chariot porte-foret sont à la main ou automatiques. La pièce à percer repose sur une table ou sur une plaque de fondation, et l'on peut percer un trou vertical en un point quelconque du champ d'action de la machine. L'axe vertical est rapporté en avant d'un bâti fixe, ou bien est l'axe même d'une colonne formant bâti; dans le second cas, le bras de la machine peut faire un tour presque complet, car il n'est gêné que par la courroie motrice (qui pourrait même être disposée pour ne pas se trouver sur le passage de la machine). Cette extension du champ d'action est rarement utile. Il existe au Creusot une radiale de Ducommun, qui pèse 30 tonnes, et perce des trous de 150 millimètres de diamètre; l'arbre porte-foret peut se déplacer entre des rayons de 1<sup>m</sup>,350 et 3<sup>m</sup>,200.

La radiale ordinaire ne donne que des trous verticaux, placés où l'on veut. Cela suffit le plus souvent; mais pour



certain travaux, tels que le perçage des plaques gauches de blindage, les trous ont des orientations variées. Les *radiales universelles*, employées dans ce cas, donnent une solution complète par l'addition de deux autres mouvements de l'arbre porte-foret, un pivotement autour d'un axe horizontal (parallèle à l'axe du bras sur lequel coulisser le chariot), et un second pivotement autour d'un axe perpendiculaire au précédent et à l'axe du foret.

Parmi les perceuses radiales s'écartant des dispositions ordinaires citons la *machine biradiale* de Challiot, où le glissement radial du chariot est supprimé et remplacé par une seconde articulation autour d'un axe vertical placé vers le milieu du bras de la machine.

Bien des trous sont à percer dans des pièces qui ne peuvent être amenées sous la machine-outil; de petites perceuses mobiles, faciles à déplacer et à installer sur les pièces mêmes, peuvent être avantageuses dans ce cas. On les commande par une transmission funiculaire (*Revue gén. des ch. de fer*, 1879, 2<sup>e</sup> sem., p. 398; 1882, 1<sup>er</sup> sem., p. 25), ou par un moteur électrique. Des appareils analogues servent au taraudage sur place.

La dimension des forets et des machines qui les conduisent varie énormément. Pour les très petits trous, le foret est animé d'une grande vitesse angulaire. Un type assez commode de petite machine à percer avec foret horizontal sert à *centrer* les petites pièces qui doivent être travaillées sur le tour, c'est-à-dire à percer les trous qui doivent recevoir les pointes.

Les variantes des machines à percer sont nombreuses. Ce sont d'abord les foreries à plusieurs mèches : on a fréquemment des trous à percer par séries, notamment dans les tôles et les fers profilés ; il est avantageux alors de monter une série de forets commandés simultanément. Ces forets forment le plus souvent une rangée rectiligne, mais on peut réaliser tous les arrangements spéciaux

utiles, pour l'exécution de pièces fabriquées en répétition. Les divers trous peuvent même ne pas être parallèles.

Si l'on donne au foret pendant qu'il tourne un mouvement transversal de va-et-vient, on creusera, au lieu d'un trou cylindrique, une rainure terminée par deux demi-cylindres : on construit des machines de ce genre pour percer les rainures de clavetage dans les tiges de piston et autres pièces. Les conditions du travail du foret employé de la sorte sont meilleures que dans la perceuse ordinaire : la pointe, qui est la partie forcément défectueuse de cet outil, n'a plus d'action et peut être supprimée, puisque toute la surface du métal à enlever est balayée par les tranchants dans leur mouvement composé. Souvent deux forets opposés attaquent la pièce : on laisse une toile mince entre les deux rainures qu'ils exécutent, toile qu'on peut enlever avec un seul des deux outils. Cette manœuvre se fait automatiquement dans certaines machines à rainer.

On peut encore combiner le mouvement d'un foret à section triangulaire de manière à ce qu'il produise des trous carrés (voir G. Richard, dans le *Bul. de la Soc. d'encouragement* de décembre 1890, p. 787).

Ajoutons que la plupart des machines à percer peuvent exécuter certains travaux d'alésage, sur des diamètres restreints. Par exemple on alèse sur la perceuse les œils qui reçoivent des boulons d'articulation de mécanismes tels que ceux de la distribution des machines à vapeur. Il est parfois difficile de tracer la limite entre la perceuse et l'aléseuse. Telles sont certaines machines employées surtout en Amérique pour aléser les moyeux des roues de chemin de fer.

Les machines à forer les canons, pratiquant seulement un vide annulaire, permettent de laisser un cylindre central, qui peut servir à des essais de la qualité du métal.

Dans l'un des types de ces machines, le canon reçoit un mouvement de rotation par l'intermédiaire d'une roue d'engrenage en deux parties fixée en son milieu ; le porte-outil est un cylindre creux animé du mouvement d'avancement ; un courant d'eau de savon rafraîchit l'outil et entraîne les copeaux. Le forage est fait par chaque bout jusqu'à ce que les deux trous se rencontrent ; il est suivi d'un alésage. Une foreuse construite par Whitworth et installée au Creusot permet de travailler, en deux fois, la longueur de 24 mètres.

MACHINES A RABOTER. — Nous venons de passer en revue des machines qui donnent des surfaces de révolution ou hélicoïdales, et des plans comme cas particulier de surfaces de révolution. Le rabotage et le mortaisage donnent, au contraire, des plans, ou, comme cas particuliers, des surfaces cylindriques engendrées par leurs génératrices rectilignes.

La machine à raboter proprement dite comporte un banc en fonte sur lequel coulisse une table portant la pièce à travailler, et animée d'un mouvement de va-et-vient ; deux montants verticaux, boulonnés au banc, un de chaque côté de la table, et entretoisés à leur partie supérieure, reçoivent une traverse horizontale sur laquelle chemine le chariot porte-outil, perpendiculairement aux grands côtés de la table. Cette traverse peut se fixer à une hauteur variable sur les deux montants, suivant la dimension de la pièce à raboter. L'outil ne travaille que pendant le mouvement de la table dans un sens et reste inactif pendant son retour ; après chaque passage il reçoit automatiquement le serrage ou déplacement transversal. Le tranchant de l'outil de la machine à raboter est souvent rejeté en arrière, de manière à éviter qu'il n'ait tendance à s'engager par flexion ; la flexion produit au contraire un léger soulèvement du tranchant, qui réduit

l'épaisseur du métal enlevé. Il en résulte que pendant le retour de la table, l'outil ne peut plus se loger dans le sillon qu'il vient de tracer : aussi une articulation du support, placée en arrière de l'outil, en permet le soulèvement. Parfois l'articulation est remplacée par un mécanisme spécial qui relève l'outil pendant le retour. Ajoutons qu'on renonce aujourd'hui à cette forme compliquée de l'outil, peu utile en somme.

Le chariot porte-outil se déplace par l'action d'une vis qui règne le long de la traverse transversale ; après chaque retour de la table, cette vis tourne d'un angle déterminé par suite du mouvement d'un cliquet commandé par une butée de la table. Il convient que ce mécanisme agisse rapidement et pendant que l'outil est dégagé de la pièce, sans qu'il soit nécessaire de donner un excédent de course à la table. On a quelquefois construit des raboteuses à deux outils, agissant alternativement pendant l'aller et le retour de la table ; on a fait usage aussi d'un outil qui se retourne à la fin de chaque course et agit dans les deux sens. Ces dispositions ne se sont guère répandues.

La table de la machine à raboter porte sur deux glissières en forme de V, qui donnent un guidage transversal excellent, malgré la poussée latérale de l'outil, mais au prix d'une notable augmentation du frottement : le frottement dû au poids des pièces étant 1 sur un plan sera 1,4 sur un V à angle droit. Dans les grandes machines, où la table est fort lourde, cet angle est souvent obtus ; plusieurs constructeurs préfèrent des glissières horizontales avec addition d'un rebord vertical. Le retour de la table, pendant lequel l'outil ne travaille pas, est en général plus rapide que l'aller, et la course doit varier suivant la longueur à raboter. Trois dispositions principales sont adoptées pour la commande de la table : la première et la plus fréquente est celle à pignon et crémaillère ;



une crémaillère sous la table est conduite par un pignon ; le pignon tourne dans un sens ou dans l'autre ; à cet effet la courroie motrice peut entraîner alternativement deux poulies montées sur le côté de la machine, et en relation avec l'arbre du pignon par des trains d'engrenages disposés pour donner deux rotations en sens contraires et de vitesses différentes. Une poulie folle sépare les deux poulies motrices, de manière que la courroie ne puisse être à la fois sur leurs deux jantes. Le déplacement de la courroie est produit par une fourchette commandée par des buttés fixées contre la table.

La commande de la rotation alternative s'obtient aussi à l'aide de deux courroies, voyageant en sens contraire et avec des vitesses différentes (l'une croisée pour l'aller, l'autre droite et commandée par une poulie plus grande de la transmission supérieure pour le retour) ; la poulie fixe de la raboteuse est alors encadrée entre deux poulies folles et reçoit l'une des deux courroies amenée par la fourchette. Pour éviter qu'au moment de leur déplacement, les deux courroies ne se trouvent à la fois sur la poulie fixe, on est conduit à leur donner une course transversale égale au double de leur largeur : certains mécanismes déplacent successivement les deux courroies, et de leur largeur seulement. D'une manière générale, il importe que les courroies des raboteuses soient rapides et étroites, afin que leur manœuvre soit facile et perde le moins de temps possible.

On reproche quelquefois à la commande par pignon et crémaillère de donner à la table un mouvement saccadé, tenant aux inégalités de la denture, et à la tendance au soulèvement produite par le pignon : pour réduire cet inconvénient, on a quelquefois interposé entre le pignon et la crémaillère une roue dentée de grand diamètre. Un moyen plus radical est l'emploi du second mode de commande, par vis sans fin. La vis règne sur toute la largeur

du banc ; elle donne un mouvement de translation à un écrou fixé sous la table, en tournant dans un sens ou dans l'autre ; elle est commandée en bout par un mécanisme de changement de sens.

Un troisième mode repose sur l'emploi d'une vis sans fin commandant une crémaillère hélicoïdale montée sous le banc ; l'axe de la vis, qui reçoit une rotation alternative, fait un angle aigu avec l'axe de la crémaillère, dont les dents sont inclinées de manière à donner une pression latérale annulant l'effet en sens inverse qui provient du frottement de glissement entre les flancs des dents (Reuleaux, *der Konstrukteur*, 4<sup>e</sup> éd., p. 560). Dans le dernier type de raboteuse exposé par Sellers en 1889, le mouvement alternatif de la table, avec retour très rapide, est produit par un ingénieux mécanisme : deux courroies, marchant en sens contraire et avec des vitesses différentes, passent sur deux poulies qui entraînent alternativement un arbre unique par l'action d'un embrayage à friction ; le mécanisme qui actionne l'embrayage agit avec une grande précision, de sorte que l'arrêt de la table se produit exactement aux points fixés. Cette machine enlève sur la fonte des copeaux de planage d'une grande largeur. Elle a été décrite par G. Richard, dans la *Revue ind.* (2 nov. 1889) et dans le *Portefeuille écon. des machines-outils* (avril 1890, p. 57).

Il est à remarquer que la plupart des raboteuses n'ont qu'une seule vitesse ; le changement de vitesse ne serait utile que pour le travail de métaux différents, et l'on ne rabote guère le bronze sur cette machine. Une grande vitesse, qui pourrait convenir pour un planage mécanique, serait difficile à imprimer à la table avec la pièce en travail, dès que les dimensions sont un peu considérables.

Dans les grandes raboteuses, on installe d'habitude deux chariots porte-outils sur la traverse, et souvent un

sur chacun des montants verticaux, afin de raboter latéralement les pièces posées sur la table. On dispose aussi le chariot porte-outil de manière à ce qu'il puisse recevoir un mouvement de serrage vertical, ou oblique, ou même suivant un gabarit.

Les raboteuses atteignent parfois de grandes dimensions. Citons par exemple une machine construite par Piguet, de Lyon, pour raboter sur 8 mètres de longueur des pièces larges de 3 mètres et hautes de 2<sup>m</sup>,6. Mais ces machines sont très lourdes ; elles occupent une longueur double de la longueur à raboter ; enfin on consomme beaucoup de travail en frottements et en pertes de force vive pour imprimer à la table chargée d'une lourde masse un mouvement alternatif, même avec une vitesse plus faible que ne le permettrait l'outil.

Aussi emploie-t-on souvent pour les grandes pièces la raboteuse à fosse, où la traverse porte-outils est mobile et coulisse sur deux bancs entre lesquels est ménagée une fosse recevant les objets à travailler. Cette machine, où les supports de l'outil reposent sur deux fondations séparées, manque de stabilité et de précision.

Il existe aussi quelques grandes machines où le système de montants avec traverse qui porte les outils est mobile au-dessus d'un marbre fixe (raboteuse de Smith, Beacock et Tannett, au Creusot, avec marbre de 6 mètres sur 3<sup>m</sup>,500, recevant des pièces hautes de 3.600 mètres). Des appareils de même genre portent un support mobile d'outil d'un seul côté du marbre pour raboter latéralement.

Dans la machine de Geo. Richards, la pièce à travailler est, de même, fixe et l'outil mobile : il est porté par un bras saillant solidement relié à un chariot qui reçoit un mouvement de va-et-vient le long d'un banc, par l'action d'une vis directement commandée par poulies. La pièce à travailler est fixée sur des tables montées contre le banc. Cette machine simple travaille bien : elle peut être

aussi longue qu'on le désire, mais la largeur à raboter ne pourrait pas être très grande sans inconvénient, à cause du porte-à-faux de l'outil.

La *machine à chanfreiner* les tôles est un genre spécial de raboteuse, où l'outil est mobile et porté sur un chariot généralement commandé par vis : la longueur à raboter par cette machine peut être grande, mais la largeur est insignifiante. La tôle est posée sur une table et serrée par une série de vis portées par un grand sommier fixé sur la table à ses deux extrémités. Le sommier disparaît dans la machine à chanfreiner les blindages. Il est supprimé également dans la chanfreineuse de Bouhey pour les tôles ordinaires, où deux mâchoires pinçant la tôle près de l'outil le maintiennent toujours à distance convenable.

Dans la machine à rayer les canons, qui rabote des hélices à pas variable, une barre porte-outil se déplace suivant sa longueur et en même temps tourne de l'angle voulu sous l'action d'un galet guidé par un calibre fixe.

Parmi les machines dérivées de la raboteuse, nous citerons la *machine à raboter circulaire*, qui se répand depuis quelques années. Les outils de cette machine sont portés par une traverse et des montants semblables à ceux de la raboteuse, mais la table est circulaire et tourne autour d'un axe vertical. L'appareil est en réalité plutôt un tour vertical ou une aléseuse. La commande, qui doit donner une vitesse variable au plateau, comporte un harnais analogue à celui du tour. Cette machine est commode pour aléser les bandages de locomotives, pour tourner les distributeurs et les couronnes de turbines, les poulies. Le montage de ces pièces sur plateau horizontal est plus facile que sur plateau vertical et on risque moins de les déformer.

Les ateliers de Saint-Chamond possèdent une très grande machine de ce genre, destinée au travail des cou-



poles de blindage : le plateau, dont le mouvement est continu ou alternatif, a 8 mètres de diamètre ; il repose sur une glissière circulaire et sur un piston hydraulique, du diamètre de 755 millimètres, en relation avec un accumulateur à charge variable, qui permet de réduire la pression sur la glissière. La traverse porte-outils peut s'élever à 2<sup>m</sup>,200 au-dessus du plateau.

*Étaux limeurs.* — L'étau limeur ou *limeuse* est une machine mal nommée (car le travail qu'elle fait n'a aucun rapport avec celui de la lime) qui sert à raboter les pièces de petites dimensions, ou transversalement les pièces longues et étroites. Elle comprend un banc en fonte le long duquel peut coulisser une poupée à chariot, portant un coulant porte-outil. Ce coulant reçoit un mouvement rectiligne alternatif, perpendiculairement à l'axe longitudinal du banc, par l'intermédiaire d'un arbre régnant sur toute sa longueur ; la pièce à travailler est fixée sur une table contre le banc. Le serrage est donné par le déplacement de la poupée sur le banc. L'outil est monté comme celui d'une raboteuse, et se soulève de même pendant le retour. Il agit d'ordinaire en s'éloignant du banc.

Pour produire le retour rapide, la bielle qui commande le coulant n'est pas reliée directement à une manivelle ordinaire, mais à un point C d'un balancier oscillant autour d'un point M (*fig. 1*, Pl. XVIII), conduit par le bouton D de manivelle, qui coulisse sur CM. Si D tourne d'un mouvement uniforme, la durée de l'aller de l'outil sera proportionnelle au grand arc D'DD'', et celle du retour au petit arc D''D'. Plus souvent, on place le centre M à l'intérieur de cercle décrit par OD (*fig. 2*) ; l'axe M tourne alors d'un mouvement continu et fait le demi-tour d'aller pendant que D parcourt le grand arc D'DD'' ; cette disposition se prête mieux à la variation de la course de l'outil, le rayon MC étant variable.

Pour obtenir une course plus longue de l'outil, Geo. Richards le commande par une vis de raboteuse ; c'est alors la table porte-pièce qui reçoit le mouvement de serrage.

Comme la limeuse travaille souvent des métaux divers, et comme la vitesse de l'outil varie suivant la course qu'on lui donne, la commande se fait par l'intermédiaire d'un jeu de poulies étagées auxquelles on ajoute parfois le harnais d'engrenages du tour, qui augmente la variation.

Beaucoup d'étaux limeurs peuvent exécuter des cylindres à l'aide d'un axe perpendiculaire à la face verticale du banc, c'est-à-dire parallèle à la trajectoire de l'outil, axe relié au mécanisme de serrage, de manière à tourner d'un petit angle après chaque course double de l'outil. L'outil taille les génératrices d'un cylindre convexe sur la pièce (qui doit être percée d'un trou central) montée sur cet axe. Certaines limeuses donnent des surfaces cylindriques concaves, à l'aide d'une articulation du porte-outil sur son coulant, autour d'un axe horizontal parallèle à la trajectoire ; à chaque course l'outil tourne un peu et trace ainsi les génératrices d'un cylindre sur la pièce immobile.

La limeuse peut servir à raboter les dents de roues d'engrenages, montées sur un plateau diviseur, manœuvré à la main après l'exécution de chaque dent ; elle porte alors un outil de forme appropriée ; pour ce travail, on doit donner à l'outil un mouvement vertical de serrage.

Lorsque le banc est long, il porte d'habitude deux ou trois tables (sur lesquelles on peut poser une longue pièce unique), et deux poupées avec outil. La hauteur des tables se règle à volonté ; souvent elles sont munies d'une partie verticale aux rainures pour recevoir des boulons de montage fixant les pièces à travailler.

On a quelquefois construit des limeuses de très grandes dimensions, notamment celle de Bouhey au Creusot (longueur du banc, 10 mètres ; course de l'outil, 0<sup>m</sup>,900 ; poids, 50.000 kilogrammes).

*Mortaiseuses.* — La mortaiseuse est un genre spécial de machine à raboter, où la trajectoire de l'outil est verticale. Elle comprend un bâti en fonte, ouvert d'un côté, et analogue à celui d'une perceuse ou d'un marteau-pilon à un seul montant. Dans les anciennes machines, ce bâti est renforcé par de fortes nervures extérieures. Aujourd'hui, on évite la saillie des nervures et l'on coule la fonte en solide creux, dont la coupe est un rectangle à angles arrondis ; le métal est mieux distribué et la forme plus agréable. Le bâti porte à sa partie supérieure une coulisse verticale, dans laquelle se déplace le porte-outil, qui est commandé par une bielle et une manivelle à rayon variable. L'arbre de cette manivelle est entraîné par un cône à plusieurs vitesses et par harnais d'engrenages. Souvent on ajoute à la mortaiseuse la disposition pour retour rapide de l'outil. L'outil est fort simple : c'est une barre d'acier verticale, dont l'extrémité inférieure est coupée par un plan oblique formant l'angle tranchant voulu ; en outre, un léger rejet latéral du tranchant donne l'angle d'incidence et empêche la longue face de la barre de frotter contre la pièce. L'outil agit en descendant ; il est fort rigide et ne fléchit guère : il a plutôt tendance à s'engager légèrement qu'à sortir du métal. Aussi remonte-t-il facilement le long du sillon qu'il a tracé en descendant. Néanmoins quelques mortaiseuses ont un mécanisme qui éloigne l'outil de la pièce pendant le retour ; cette disposition est rare. La pièce à travailler est fixée sur un chariot à trois mouvements, porté par un banc boulonné ou fondu avec le bâti. Ces trois mouvements sont deux translations perpendiculaires et une rotation autour d'un axe

vertical ; ils sont actionnés chacun, soit par la main de l'ouvrier, soit automatiquement par un cliquet en relation avec l'arbre qui commande l'outil.

Les éléments principaux d'une mortaiseuse sont la course de l'outil, la distance horizontale entre l'outil et le fond du bâti, la distance verticale entre le plateau supérieur du chariot et le bâti qui surplombe, l'étendue des cheminements longitudinal et transversal du chariot.

Le rayon des pièces que peut donner la rotation du plateau est limité : une disposition ingénieuse permet de mortaiser sur un grand rayon les pièces telles que des coulisses de distribution. On astreint le plateau portant la pièce à se mouvoir de telle sorte que deux de ses points, A et B (*fig. 3*, Pl. XVIII), se meuvent chacun sur une droite, XY et X'Y', dont l'intersection O est la trace de la trajectoire de l'outil. Dans le mouvement du plateau, tous les points reliés à AB qui passent par O se trouvent sur une circonférence capable de l'angle inscrit X'OY. Pour réaliser cette construction géométrique (*fig. 4*), on se sert du mouvement transversal du chariot, qui guide le centre A du plateau porte-pièce suivant XY ; puis on installe une glissière supplémentaire qui guide suivant X'Y' un point B invariablement lié au plateau, rendu libre de tourner autour de son centre. La glissière supplémentaire X'Y' se fixe sur un guide ZZ', qui permet de faire varier à volonté l'angle X'OY.

Comme variantes, nous citerons la *mortaiseuse à tête inclinable*, qui permet d'écarter de la verticale la trajectoire de l'outil ; la *machine à rainer les moyeux de roues*, où le coulant porte-outil et tout son mécanisme sont en dessous de la table ; enfin la *machine à mortaiser les longues tôles*, notamment les paquets de longerons de locomotives. Cette machine comporte une grande table fixe ; une traverse, reposant sur deux montants, supporte l'appareil à mortaiser et peut se déplacer le long de la



table. Ce dispositif présente une certaine analogie avec celui des raboteuses. On installe plusieurs traverses semblables, et elles portent des perceuses, outre les mortaiseuses.

FRAISAGE. — Les machines à raboter et à mortaiser ont encore aujourd'hui de nombreuses applications dans les ateliers; mais on substitue de plus en plus au travail de ces machines celui de la *fraise*. La fraise a été d'abord établie comme outil d'un profil déterminé, tel que celui d'une dent d'engrenage. Exécuter et surtout entretenir le tranchant d'un outil ordinaire est alors fort difficile; prenons ce profil, AMB (*fig. 5*, Pl. XVIII) comme génératrice d'un solide de révolution autour d'un axe XY, facile à débiter sur le tour; puis découpons sur la surface de révolution une série de rainures qui laissent des arêtes suivant des génératrices; nous avons une *fraise de forme*, qui, en tournant autour de XY, pourra tailler, dans l'exemple choisi, le creux des dents sur la roue brute, et conservera longtemps le profil primitif, vu la multiplicité des tranchants. L'angle tranchant de la fraise de forme est d'environ  $90^\circ$ , c'est-à-dire beaucoup trop grand pour un bon travail du fer; aussi l'outil marche lentement et doit être arrosé d'huile.

Si l'on abandonne la question de profil et si l'on cherche à construire des fraises pour des surfaces simples, planes par exemple, on les taillera dans des cylindres; on peut alors tracer les rainures de manière à donner à l'angle tranchant telle valeur que l'on désire,  $51^\circ$  notamment avec un angle d'incidence de  $4^\circ$ , comme on le voit sur la coupe *fig. 6*, Pl. XVIII. Les arêtes étaient primitivement tracées suivant des génératrices; mais on a trouvé grand avantage à les enrouler en hélice autour du cylindre, ce qui les empêche de s'engager brusquement sur toute leur longueur dans le métal à couper.

La *fraise cylindrique hélicoïdale* permet d'enlever rapidement de grandes épaisseurs; on peut la faire tourner vite en lui donnant une avance rapide (dans le sens des flèches de la *fig. 7*, Pl. XVIII). En effet, la fraise ne s'échauffe pas beaucoup, parce que chaque tranchant ne travaille que par courtes périodes; si le diamètre de la fraise est de 50 millimètres, si l'arc AB coupé est un cinquième de la circonférence, et si la fraise fait deux tours par seconde, chaque tranchant travaille pendant un dixième de seconde et est hors du métal pendant 4 dixièmes. Il se refroidit pendant ce temps, d'autant plus qu'on peut l'arroser énergiquement à l'aide d'un jet d'eau de savon. En outre, chaque copeau est de très faible épaisseur. Aussi atteint-on pour le tranchant de la fraise des vitesses linéaires de 300 millim. par seconde dans l'acier.

On trace aisément la portion de métal enlevé par chaque tranchant; la fraise tourne et se déplace par rapport à la pièce, d'un mouvement fort lent si on le compare au mouvement de rotation; chaque tranchant décrit une épicycloïde, très voisine d'un cercle, et enlève la matière comprise entre cette épicycloïde et celle décrite par le tranchant précédent; si  $l$  est la translation pour un tour de la fraise, et  $n$  le nombre de ses tranchants, l'épicycloïde décrite par chaque tranchant est en avance de  $\frac{l}{n}$ , dans le sens de la translation, sur celle du tranchant précédent. Un copeau correspondra donc à la tranche de métal CDC' (*fig. 7*). Avec le diamètre de 50 millimètres, 13 tranchants, et une avance de  $0^{\text{mm}},25$  par tour (en une demi-seconde),  $CC' = \frac{0,25}{13}$ , ou environ  $0^{\text{mm}},02$ . La surface laissée par la fraise ne sera pas rigoureusement plane, mais présentera une série de côtes saillantes telles que D, distantes dans notre exemple de  $0^{\text{mm}},02$  et d'une saillie insensible.

Les règles souvent suivies en France pour ces fraises cylindriques hélicoïdales sont les suivantes : angles tranchants et d'incidence  $51^\circ$  et  $4^\circ$ ; pas de l'hélice formé par les tranchants, 4,5 diamètres; nombre des tranchants, 7 pour le diamètre de 20 millimètres et 1 de plus par 5 millimètres en plus sur le diamètre; maximum de la hauteur à fraiser, 4 diamètres; translation, 20 à 45 millimètres par minute. Le rayon de la fraise doit être autant que possible supérieur à l'épaisseur de la tranche découpée. Il y a intérêt à donner aux fraises un petit diamètre, parce qu'elles coûtent moins cher et tournent plus vite, pour une même vitesse à la circonférence, ce qui soumet la machine qui les conduit à de moindres efforts. En Angleterre, les fraises cylindriques sont généralement beaucoup plus grosses qu'en France, sans avantages apparents.

Outre les fraises de forme et les fraises cylindriques, on emploie encore les *fraises en bout*, variété du premier genre, qui présentent, sur une face plane perpendiculaire à leur axe de rotation, une série de taillants dirigés suivant des rayons (*fig. 8*, Pl. XVIII); ces fraises sont destinées à dresser de grandes surfaces planes; ce sont surtout les arrondis du bord qui coupent le métal, les tranchants de la face plane ne pouvant guère l'attaquer, puisqu'il n'y a pas translation suivant l'axe comme pour un foret.

Les fraises sont taillées dans des solides de révolution à l'aide d'autres petites fraises coniques (*fig. 9*), convenablement guidées; la *fig. 6* représente en ponctués cette opération. Une des parties les plus ingénieuses de la fabrication est le meulage qui donne l'angle d'incidence et permet de rafraîchir les fraises usées, en ramenant les tranchants sur la même surface de révolution, condition indispensable pour qu'ils agissent tous. Ce problème, en apparence difficile, est résolu à l'aide d'une machine des

plus simples (dans le cas de la fraise cylindrique); la fraise, dont le centre est en O (*fig. 10*, Pl. XVIII), se présente devant une meule de rayon CT, dont le centre est en C; CT et OT faisant un angle de  $4^\circ$ , les circonférences de la fraise et de la meule, qui enlève le métal, se couperont sous ce même angle. Un doigt D s'appuie sur le fond de la rainure (régulièrement tracé et non sujet à usure), et amène toujours en T tous les points d'un tranchant, quand on déplace la fraise suivant son axe O, quel que soit la ligne du tranchant sur le cylindre. Ce doigt D amène successivement tous les points des autres tranchants en T. L'affûtage des fraises coniques se fait à peu près de même; on arrive même à affûter régulièrement des fraises à profils variés.

Cet affûtage, souvent répété, finit par réduire le diamètre de la fraise. Pour les fraises de forme, il est important de ne pas altérer le profil; on y réussit en laissant entre les rainures une certaine portion de la surface de révolution primitive, c'est-à-dire en supprimant toute dépouille aux tranchants, qu'on pourra raviver par leur face interne. Les outils ainsi construits coupent naturellement moins vite et doivent être arrosés d'huile.

Certaines fraises de grande dimension sont composées d'un noyau recevant une série de tranchants rapportés; au-dessus d'une certaine grosseur, l'exécution de la fraise en une pièce devient impraticable. La fraise composée au contraire peut être aussi grande qu'on le désire, et l'on arrive à munir ainsi de tranchants des disques de 2 mètres de diamètre, comme dans la machine du Creusot à scier les blindages épais de 700 millimètres.

*Machines à fraiser.* — Peu de machines se présentent avec des formes aussi variées que la machine à fraiser; il faudrait un traité spécial pour les indiquer toutes; nous nous bornerons à citer les plus répandues. Dans un type vertical, qui atteint souvent d'assez grandes dimen-



sions, l'arbre porte-fraise est monté sur un bâti analogue au bâti de la perceuse et de la mortaiseuse. Il reçoit un mouvement de rotation, à vitesse variable, par l'intermédiaire de poulies étagées et d'engrenages, quelquefois par une courroie passant sur des galets de renvoi. L'arbre de quelques fraiseuses est sur un chariot qui peut prendre une translation verticale; ce déplacement peut servir à régler la fraise suivant la pièce à travailler, mais n'est guère utile pour le fraisage; elle permet d'exécuter sur la machine des perçages et des alésages. Comme dans la mortaiseuse, une table à trois mouvements, deux translations perpendiculaires et une rotation, porte la pièce à fraiser. Ces mouvements sont commandés automatiquement; cette commande est plus simple que dans les autres machines outils, car le mouvement est continu. On obtient ainsi avec une fraise cylindrique des plans et des cylindres verticaux. La disposition de M. De-granchamps (*Bulletin des anciens élèves des écoles d'arts et métiers*, 1880, p. 109) permet de fraiser suivant gabarit des profils quelconques; le chariot porte-pièce reçoit automatiquement une translation transversale, et il est libre de glisser perpendiculairement à cette translation, par suite du débrayage de la commande de ce second mouvement; un contrepoids l'appuie constamment contre un gabarit qu'il touche par un galet. Si la fraise a le même diamètre que ce galet, elle découpe une courbesuperposable à celle du gabarit.

La machine exposée par la Société alsacienne de constructions mécaniques offre une certaine analogie d'aspect avec la raboteuse: la table porte-pièces se déplace en long, le chariot porte-fraise en travers. Pour fraiser suivant un profil quelconque, le gabarit est monté sur la table près de la pièce à fraiser, et en contact avec une touche fixée sur le chariot porte-fraise. Citons dans cette machine, pour éviter tout temps perdu par suite de jeu

dans les dentures des engrenages, les roues formées de deux moitiés juxtaposées qu'on peut déplacer l'une par rapport à l'autre.

Dans les fraiseuses verticales, la fraise, montée à l'extrémité de l'arbre, n'est pas maintenue à sa partie inférieure: elle est par suite exposée à fléchir, notamment lorsque l'emmanchement est défectueux. Les fraiseuses horizontales sont au contraire munies le plus souvent d'un bras fixe avec contre-pointe recevant l'extrémité de l'arbre porte-fraise. Ces machines, construites avec de moindres dimensions que les précédentes, ont un chariot à deux mouvements perpendiculaires. Elles portent des fraises cylindriques ou de forme. Tels sont les types exposés par Brown et Sharpe, par Bariquand et par d'autres. Citons le débrayage automatique de ces machines, qui se fait avec une grande précision après un parcours déterminé, à l'aide de buttées portées par le chariot. Sur quelques-unes de ces machines, on peut rapporter une tête avec fraise verticale. On les munit aussi d'appareils à reproduire suivant gabarit. Dans la machine à fraiser dite universelle, on peut obliquer la table et un appareil diviseur permet d'obtenir sur un cylindre des pas d'hélice déterminés: cette machine sert pour la construction des tarauds, des forets.

Viennent ensuite les machines à fraiser consacrées à des fabrications spéciales. Grâce à la fraise, et suivant des méthodes qui ont été imaginées aux États-Unis, on exécute avec précision et économie une foule de pièces fabriquées en répétition. Telles sont les pièces des machines à coudre, des armes portatives: seule la fraise a permis la fabrication si rapide et en si grand nombre des armes de guerre. Avec la fraise de forme dont le profil reste longtemps invariable, avec les machines à gabarit qui lui donnent telle trajectoire qu'on désire, on peut réaliser avec exactitude les formes les plus compliquées et

obtenir des pièces interchangeables, qui s'assemblent sans aucune retouche. Ces machines sont souvent automatiques, s'arrêtant dès que le fraisage d'une pièce est terminé.

La préparation et l'entretien des fraises joue un rôle capital dans un atelier monté pour ces fabrications; on construit des machines automatiques à tailler les fraises, où chaque dent est successivement découpée par une petite fraise conique; la machine s'arrête lorsque la dernière dent est achevée. Le conducteur de ces machines n'a qu'à retirer la fraise achevée et à la remplacer par un nouveau solide à tailler.

La fraise est souvent employée aussi dans les machines à tailler les engrenages des divers genres. Parmi les applications de ce genre les plus nouvelles, citons celle de Swasey (*Engineering*, 1891, 1<sup>er</sup> sem., p. 55, et *Revue gén. de mécanique appliquée*, mars 1891, p. 26); les roues de diamètre quelconque sont exécutées de manière à engrener toutes avec une même crémaillère.

**SCIAGE DES MÉTAUX.** — Depuis quelques années on se sert beaucoup de la scie pour couper à froid les métaux; elle donne des sections bien nettes sur une épaisseur qui peut être considérable. La scie est soit circulaire soit de préférence à ruban. La scie à ruban, d'un usage si fréquent pour le travail du bois, est une lame mince dentée sans fin passant sur deux poulies; la forme des dents, souvent adoptée en France, ne paraît pas des plus satisfaisantes, car l'angle tranchant, augmenté de l'angle d'incidence, est de 83°, soit presque un angle droit; l'angle d'incidence a la valeur peu explicable de 33°. Il faut que les dents aient de la voie ou soient inclinées alternativement à droite et à gauche, pour éviter le frottement de la lame dans l'entaille qu'elle pratique; on obtient aussi la voie en taillant la scie dans des lames à section trapézoï-

dale, les dents du côté le plus épais. L'entretien des lames est assujettissant; aussi convient-il d'employer une machine pour les affûter, soit à l'aide d'une petite meule d'émeri, soit même à l'aide de la lime triangulaire, ou tiers-point, manœuvrée mécaniquement.

La scie est en principe analogue à la fraise; comme dans la fraise, chaque dent ne travaille que pendant un temps très court, ce qui permet une grande vitesse, supérieure même à celle de cet outil et pouvant dépasser 1 mètre par seconde dans le fer. On consultera avec intérêt sur ce sujet le mémoire de M. Laurent, dans la *Revue générale des chemins de fer* (1886, 2<sup>e</sup> sem., p. 259). Dans les grandes machines, un chariot à mouvement automatique continu reçoit la pièce à scier.

La scie circulaire est employée surtout dans les ateliers de chaudronnerie, pour les barres de faible section. Citons à titre de curiosité, le disque d'acier doux sans dents animé d'une rotation rapide qui coupe le métal à froid (*Engineering*, 1878, 1<sup>er</sup> sem., p. 382). Le disque essayé au Creusot pour couper les rails a un diamètre de 850 millimètres, une épaisseur de 6 millimètres et fait 3.600 tours par minute. Il reste froid après l'opération. Cet engin exige une puissance motrice considérable.

**MEULAGE.** — Les machines que nous venons de citer ont pour organe actif un outil en acier. D'autres procédés permettent l'abrasion du métal, en l'usant à l'aide de corps durs tel que le grès, l'émeri: c'est le meulage, dont nous avons indiqué quelques applications à l'affûtage des outils, mais qui a pris une grande importance dans la construction. Ce meulage se pratique de deux manières différentes, soit avec des meules à gros grain pour un travail grossier et rapide, soit avec des meules fines pour obtenir des surfaces plus unies et plus exactes que ne les donne l'outil d'acier, spécialement dans le cas des



métaux trempés que l'acier ne peut entamer. C'est surtout cette seconde manière qu'on emploie de plus en plus.

Le meulage grossier se fait depuis longtemps pour certaines pièces, qu'on peut laisser brutes de forge ou de fonderie, à la condition d'abattre quelques bavures et de blanchir quelques faces à la meule. On emploie à cet effet soit les grandes meules en grès naturel, atteignant le diamètre de 2<sup>m</sup>,500, soit des meules artificielles à grains d'émeri ou de quartz agglomérés. La nature de ciment agglomérant varie beaucoup. Ces meules doivent être maniées avec prudence ; car un excès même faible de vitesse, un défaut de montage, un vice de qualité (fentes dans les grès naturels, agglomération défectueuse dans les produits artificiels) suffisent pour produire un éclatement dont les conséquences sont désastreuses. Une instruction sur les précautions à prendre dans l'emploi des meules a été publiée en 1887 par l'*Association des industriels de France pour préserver les ouvriers des accidents du travail*. (Voir aussi *Bulletin* de cette association pour 1891, p. 47.) M. Pulin a décrit, dans la *Revue gén. des ch. de fer*, 1888, 2<sup>e</sup> sem., p. 103, le montage des meules entre plateaux coniques destinés à retenir les fragments en cas de rupture.

Un autre danger des meules, lorsqu'elles travaillent à sec, est l'absorption par les meuleurs des poussières de grès ou d'émeri, qu'il est difficile de faire disparaître entièrement même avec des enveloppes où s'exerce l'aspiration d'un ventilateur : aussi les meules qui travaillent mouillées sont-elles bien préférables. Pour éviter la projection d'eau, Pedrick et Ayer, de Philadelphie, donnent aux meules une forme conique et les arrosent au sommet : l'eau s'échappe à la base et est recueillie par une enveloppe (*Railroad Gazette*, août 1891, p. 562).

Pour le nettoyage et le polissage des pièces de ma-

chines, on constitue des meules simples en collant de la poudre d'émeri sur les disques en bois recouverts de cuir. A rapprocher de ces appareils, les brosses circulaires animées d'une rotation rapide, qui polissent le métal à l'aide de sable ou d'émeri en pâte.

Les meules ordinaires à affûter les outils, qu'on trouve partout, forment une classe intermédiaire. L'affûtage s'y fait d'ordinaire assez grossièrement, et les formes des outils sont peu régulières. Mais il n'y a aucune raison pour ne pas donner aux divers outils des tours, des raboteuses, des formes précises comme celles des fraises, des tarauds, des forets hélicoïdaux : ils couperont beaucoup mieux le métal, étant affûtés avec précision. Un premier progrès est l'emploi de calibres simples placés près des meules, pour vérifier les angles tranchants ; un second est de réaliser l'affûtage précis, en présentant mécaniquement et dans une position rigoureusement déterminée l'outil sur la meule. Le problème est difficile : il a été résolu par Sellers, qui a exposé en 1889 un bel appareil pour affûter mécaniquement les outils.

Le meulage de précision des pièces de machines permet d'obtenir des pièces admirablement polies et précises, et cela après la trempe qui les a durcies. On n'évite guère pendant cette opération de très légères déformations : le meulage les fait disparaître. C'est ainsi qu'on obtient des boulons d'articulation bien cylindriques, jouant dans des ceils rectifiés de même ; des coulisses de distribution régulières, où l'on fait disparaître les traces d'une usure locale ; des surfaces planes.

Pour le meulage des cylindres, on dispose des tours (qu'il peut y avoir intérêt à construire spécialement à cet effet) où l'outil est remplacé par une petite meule d'émeri animée d'une rotation rapide (grâce à une commande indépendante par un câble sans fin de petit diamètre) ; il faut en outre, pendant que la pièce à meuler tourne, que

la meule ait un mouvement de va-et-vient sur toute la longueur des génératrices de la surface.

Le meulage de la surface interne d'un cylindre est moins commode : on l'exécute soit encore sur le tour pour les pièces courtes, soit avec un appareil analogue à la machine à percer, où la meule reçoit trois mouvements : rotation autour de son axe, révolution autour de l'axe du cylindre à meuler et va-et-vient suivant la génératrice. Pour meuler les surfaces planes, on fait usage d'une machine analogue à une raboteuse : l'outil est remplacé par une meule, avec commande spéciale, agissant de champ, c'est-à-dire par sa surface cylindrique ; cette meule reçoit en outre un mouvement transversal de va-et-vient sur toute la largeur à meuler. Dans d'autres appareils, la meule agit par son plat.

Comme applications diverses du meulage, citons son emploi pour tourner des bandages de roues de chemin de fer (ou des roues en fonte trempée) trop durs pour être attaqués par l'outil ordinaire (*Railroad Gazette*, avril 1887, p. 262) ; pour aléser les coussinets de wagons à l'aide d'un tore animé d'une rotation rapide et d'une translation suivant les génératrices (*Ibid.*, déc. 1878, p. 419).

Une forme curieuse du meulage est l'emploi du sable fin projeté avec une grande vitesse par un jet de vapeur dans l'appareil Tilghman (*Engineering*, 1878, 1<sup>er</sup> sem., p. 515), qui sert à affûter les limes, à décaper la surface des moulages de fonte et de bronze.

MACHINES POUR LE TRAVAIL DE FORGE. — Le matériel de la forge se lie à l'outillage métallurgique, que nous n'étudions pas dans notre revue. Aussi nous contenterons-nous d'indiquer quelques appareils plus spécialement employés dans les ateliers de construction. Ce sont d'abord les marteaux pilons de petite et moyenne dimensions, depuis le poids d'une centaine de kilogrammes jusqu'à celui de

quelques tonnes. Ces marteaux ont un ou deux jambages ; ils sont à simple ou à double effet ; la distribution, commandée à la main, doit être douce à manœuvrer : aussi la fait-on généralement à l'aide d'un tiroir cylindrique ou de soupapes. Ces appareils consomment beaucoup de vapeur, car ils fonctionnent à pleine admission, sans détente, et ils laissent un énorme espace libre à leur fond de course inférieur, correspondant à l'épaisseur de la pièce à forger ; il y a aussi un grand espace libre au fond supérieur dans le pilon à double effet, surtout lorsqu'on marche avec une faible levée. Le pilon à détente successive dans deux cylindres à simple effet, du type Woolf en tandem, décrit dans la *Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, 1890, p. 1386, économise la vapeur : pour soulever le marteau, on admet la vapeur sous le petit piston et on ouvre l'échappement au-dessus du grand ; pendant la chute, la vapeur se détend en passant du petit au grand cylindre.

Pour le martelage rapide, on substitue parfois à la manœuvre de la distribution à la main une commande automatique : souvent aussi on emploie les pilons à transmission mécanique. Tels sont le marteau à ressort Bouhey (Rézal, *Annales des mines*, 7<sup>e</sup> s., t. I, p. 72) ; les marteaux pneumatiques Chenot, Arns, Longworth, etc. (*Engineering*, 1891, 1<sup>er</sup> sem., p. 306 et 399) où un piston commandé transmet le mouvement à un second piston portant le marteau, par l'intermédiaire d'une masse d'air alternativement raréfié et comprimé ; les moutons servant pour les travaux de matricage, où une courroie passant sur une poulie, qui tourne constamment, porte à une extrémité le marteau, à l'autre une poignée sur laquelle il suffit d'appuyer pour produire l'entraînement de la courroie et du marteau par la poulie ; la disposition la plus ingénieuse de cet appareil consiste dans l'emploi de deux poulies voisines séparées par un support à galets, qu'un ressort léger relève quand on n'appuie pas sur la



poignée de manœuvre; les galets soulèvent alors la courroie et évitent qu'elle ne frotte sans cesse sur les poulies. Dans d'autres appareils, c'est l'embrayage d'un galet tournant contre une tige en bois qui soulève le marteau.

On peut rapprocher de ces appareils les presses à vis qui servent à l'étampage et à l'emboutissage à froid des feuilles de métal, à la fabrication des rivets : la vis verticale, qui abaisse et relève la frappe, tourne dans un sens ou dans l'autre par l'action d'un embrayage à friction. Ces appareils ont parfois des dimensions considérables, et le mode de commande varie.

Le gaz d'éclairage fournit la puissance motrice des petit pilons Tangye, Robson (*The Engineer*, 1886, 2<sup>e</sup> sem., p. 206; *Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, 1888, p. 453). Enfin l'air comprimé se substitue aisément à la vapeur dans les pilons ordinaires.

Nous avons déjà cité, dans un chapitre précédent, l'emploi de la presse hydraulique pour remplacer le pilon et pour emboutir les tôles. La *Zeitschrift des Ver. D. Ing.* (1890, p. 1327) donne la description d'une presse américaine à matricer d'un seul coup les essieux de wagons.

On consultera avec fruit, sur les marteaux pilons, les mémoires de MM. Casalonga et Chômiennne, dans le *Bulletin de la Soc. des anc. élèves des écoles d'Arts et Métiers* (1888).

Le matériel mécanique des forges comprend encore des laminaires de divers genres; des machines à forger, telles que la machine Ryder, où des frappes commandées par un arbre à excentrique se meuvent rapidement au-dessus d'enclumes; des presses à souder, serrant l'une contre l'autre les deux pièces chauffées. Citons encore la machine Simonds, qui façonne par roulement des barres rondes d'acier suivant des profils de révolution : l'appareil se compose essentiellement de deux plaques voisines,

à surfaces convenablement profilées, qui se déplacent en sens contraire (*Portefeuille écon. des machines*, 1889, col. 46). On obtient ainsi des broches de filature, des cha-pelets de billes pour boîtes de bicycles.

Un appareil intéressant sert à faire les vis à chaud, par laminage entre des galets cannelés. On exécute économiquement, à l'aide de cette machine, les grosses vis à bois, les tire-fond pour attache de rails à patin.

MACHINES DES ATELIERS DE CHAUDRONNERIE. — L'outillage des ateliers de chaudronnerie comprend des cisailles, des poinçonneuses, pour lesquelles nous avons indiqué les avantages de la transmission hydraulique, qui s'applique également aux riveuses et aux presses à emboutir. Les perceuses y sont aujourd'hui d'un emploi fréquent et sont préférables aux poinçonneuses pour les tôles de chaudière : il est avantageux de percer ensemble les trous qui doivent se correspondre sur les tôles déjà travaillées et assemblées : un type de perceuse bien disposé à cet effet comprend un grand plateau horizontal sur lequel repose le cylindre vertical en tôle; plusieurs perceuses à foret horizontal sont disposées tout autour sur des montants verticaux le long desquelles on peut les déplacer : on peut ainsi percer commodément les rangées de trous longitudinales et circulaires. Un mémoire intéressant de M. S. Hall, dans le *Proc. de l'Inst. of mechanical Engineers* (1878, p. 565), est consacré à cette classe d'appareils.

La *machine à cintrer les tôles* se compose de trois cylindres qu'on peut rapprocher plus ou moins suivant le rayon à obtenir : ces cylindres doivent être très rigides pour ne pas trop fléchir; quelquefois on les bombe légèrement pour compenser l'effet de la flexion (*Engineering*, 1890, 2<sup>e</sup> sem., p. 327). La machine du Creusot, à cylindres de 515 millimètres, peut cintrer des tôles larges de 4<sup>m</sup>,500 et épaisses de 30 millimètres. Une machine amé-

ricaine à cintrer les tôles de blindage, de 6<sup>m</sup>,700 sur 50 millimètres, a quatre cylindres (*Engineering*, 1891, 2<sup>e</sup> s., p. 474).

La *machine à planer* comprend deux groupes de cylindres dont les axes forment deux plans parallèles : la tôle passe entre les deux groupes plus ou moins rapprochés. L'emploi de cette machine réduit beaucoup le travail long et assourdissant du planage à la main ; mais on arrive à des dimensions considérables dès qu'on veut traiter des tôles dont l'épaisseur dépasse quelques millimètres. Le *Génie Civil* (t. XIX, p. 30) donne la vue d'une de ces machines pour tôles épaisses. Dans la machine américaine Britton (*Mechanical progress*, nov. 1885, p. 167), le planage est produit par une forte traction longitudinale.

La construction des navires exige des cornières dont les deux ailes, au lieu de rester rectangulaires, doivent être ouvertes sous des angles variables ; on peut faire ce travail mécaniquement. (*Engineering*, 1890, 1<sup>er</sup> sem., p. 646).

Enfin une série d'appareils à cintrer et à dresser sont en usage dans les chantiers de construction de navires.

ATELIERS DE FONDERIE. — Les appareils mécaniques pour préparer les moules dans les ateliers de fonderie se multiplient depuis quelques années : ce sont des presses commandées, soit à la main, soit par transmission mécanique ou hydraulique. Le principe de ces machines est fort simple, mais quelques précautions sont nécessaires pour que le sable soit également distribué et pour que le moule ne soit pas avarié lors de l'enlèvement du modèle. Les plaques de moulage métalliques, portant en saillie les demi-modèles, sont d'un emploi commode avec des machines de ce genre. Le moulage mécanique est

l'objet de mémoires dans le *Bulletin de la Soc. des anciens élèves des écoles d'Arts et Métiers* (1886, p. 793), et dans la *Publication industrielle d'Armengaud* (t. XXXII, p. 552). Pour la fabrication des tuyaux en fonte, l'outillage mécanique de préparation des moules rend de grands services.

COMPARAISON DES DIVERSES MACHINES-OUTILS. — Beaucoup de travaux d'ajustage peuvent être exécutés sur des machines-outils différentes ; notamment, pour le dressage des surfaces planes, on peut le plus souvent employer soit une raboteuse, soit une fraiseuse ; il est donc utile de déterminer dans chaque cas quelle est la machine la plus avantageuse. La comparaison des diverses machines-outils est encore plus importante quand on veut les acheter : non seulement il faut connaître le genre de machine qui convient le mieux, mais surtout il faut choisir entre les types variés de la même machine offerts par divers constructeurs. On trouvera des tours à fileter ; de même hauteur de pointes et de même longueur, possédant les mêmes mouvements, dont les prix varieront du simple au double ; lequel choisir ? Il faut reconnaître que les éléments d'appréciation font le plus souvent défaut : on se décide d'après l'aspect plus ou moins robuste des pièces essentielles, le fini de l'exécution, la réputation des constructeurs. Le plus souvent ceux-ci indiquent le poids de leurs machines-outils, les plus lourdes pour une même dimension étant réputées les plus puissantes ; mais encore faut-il que le poids soit bien réparti, et une augmentation de l'épaisseur de la fonte des bâtis ne compensera pas la faiblesse des mécanismes essentiels. En somme, on se contente souvent de qualifications vagues, on choisit un tour parce qu'il est d'un type « robuste » ou « moderne. » Il ne serait cependant pas difficile de qualifier un outil par le travail qu'il peut



produire, et il est étonnant que les acheteurs n'aient pas depuis longtemps exigé un renseignement aussi important pour des engins souvent fort chers. Il faudrait distinguer pour cela le dégrossissage et le finissage. Le travail de dégrossissage a pour mesure le poids de métal coupé en une heure; pour l'essai, le métal aurait une qualité déterminée: ce serait par exemple du fer ou de l'acier doux, et la forme de la pièce serait simple pour ne créer aucune difficulté spéciale. Bien entendu le constructeur pourrait employer ou exiger les meilleurs outils et les meilleurs ouvriers; c'est ainsi que dans l'essai d'une machine à vapeur, garantie ne consommer qu'un certain poids de combustible, on fait usage d'une qualité déterminée de houille et la conduite du feu est confiée à de bons chauffeurs. Le travail de finissage est caractérisé par la précision des pièces qu'on veut obtenir: par exemple un cylindre exécuté sur un tour ne devra présenter qu'un écart maximum (d'une fraction de millimètre) entre deux diamètres perpendiculaires et entre les diamètres aux divers points de la longueur.

Si le constructeur garantissait d'une part le poids des copeaux que peut donner à l'heure une machine, et d'autre part le degré d'exactitude des pièces finies, on aurait un élément d'appréciation sérieux et l'on pourrait choisir à bon escient entre les divers types analogues.

Pour qu'un outil coupe beaucoup de métal, ou pour qu'il exécute un travail très précis, il faut du reste à peu près les mêmes dispositions: les organes de la machine doivent être en état de bien résister aux efforts de flexion.

Cette manière rationnelle d'opérer aurait en outre le précieux avantage de faire connaître le rendement normal des divers types de machines-outils; on peut dire, si étrange que cela paraisse, qu'aujourd'hui ce rendement est à peu près inconnu d'une manière générale. On peut

bien déterminer, par observation directe, le travail produit par une machine donnée d'un atelier donné; mais cette observation n'apprend pas si la même machine ne produit pas beaucoup plus dans un autre atelier. Chaque chef d'atelier est disposé à penser qu'il emploie son outillage de la meilleure manière possible; mais les différences considérables qu'on peut remarquer d'un établissement à un autre nous prouvent qu'ils se font souvent illusion à cet égard. Pour les machines à vapeur, tous les ingénieurs savent quelle doit être à peu près la consommation normale d'un moteur de puissance déterminée, installé dans de bonnes conditions, et ils reconnaissent sans peine les cas où la consommation est exagérée; rien au contraire, sauf une étude personnelle longue et minutieuse, ne nous apprend si la production d'une machine-outil est insuffisante. La longue pratique des ateliers donne bien quelques idées à ce sujet, mais ces idées sont trop souvent étroites et routinières.

## CHAPITRE XV

### APPAREILS D'ESSAI ET DE MESURE.

Les machines d'essai des matières employées dans la construction sont d'un usage de plus en plus étendu, soit qu'on soumette à une certaine charge d'épreuve, avant d'en faire usage, les pièces telles que les chaînes, les barres de ponts articulés (aux États-Unis), soit qu'on détermine la résistance et l'allongement d'une éprouvette découpée dans le métal et tirée jusqu'à rupture.

Les machines d'essai à la traction comprennent deux parties bien distinctes, les organes qui produisent la pression et ceux qui la mesurent.

La traction est produite, soit par un train d'engrenages commandés à bras d'hommes ou par transmission,

soit par une presse hydraulique; le piston de la presse peut être en relation avec un accumulateur, un robinet permettant de régler la pression. On emploie aussi avec avantage le *compresseur sterhydraulique* Thomasset, où la descente du piston moteur de la presse est produite par une vis qui lui donne un mouvement lent et sans saccades.

Ce sont les appareils de mesure de la pression qui présentent les dispositions les plus variées; d'après leur nature, on peut distinguer quatre groupes de machines :

1° Celles où la pression motrice est directement mesurée;

2° Celles où la traction de l'éprouvette est mesurée par une romaine;

3° Celles où la traction de l'éprouvette est transmise à un diaphragme en relation avec un manomètre;

4° Enfin les machines à diaphragme en relation avec un appareil à romaine.

Les machines du premier genre sont les plus simples de toutes, puisqu'elles comprennent un simple pot de presse muni d'un manomètre. Elles ont été étudiées par M. G. Marié (*Congrès int. de méc. app.*, t. III, p. 9), qui a montré que l'effet du frottement du cuir embouti de la presse, pourvu qu'il fût convenablement entretenu, était négligeable dans les essais pratiques. Mais le manomètre métallique qui mesure la pression élevée dans le cylindre est souvent mal gradué dès le début et, de plus, se dérange avec le temps. M. Marié indique une méthode pour le vérifier, par l'emploi d'un petit piston sans garniture ou *souape à fuite*.

Il est certain que des machines fort simples, mesurant les efforts à 2 ou 3 p. 100 près, suffiraient pour la plupart des essais non scientifiques; quand on voit les différences considérables de la résistance de deux éprouvettes dé-

coupées côte à côte dans une pièce de métal qui semble parfaitement homogène, on ne peut s'empêcher de trouver exagérée la précision de la plupart des machines d'essai employées dans l'industrie. Un instrument de mesure très précis est inutile quand la quantité à mesurer est par essence peu précise; mesurerait-on au millimètre la hauteur des vagues de la mer?

L'*Engineering* (vol. XLIII, p. 415) donne la description d'une machine de ce genre pouvant exercer une traction de 545 tonnes, à Athens, en Pennsylvanie. Un piston d'une section utile de  $1^m^2,341$  est soumis à une pression atteignant 42 kilogrammes par centimètre carré; il est muni, de même que ses tiges, de garnitures en chanvre. Un effort de 1.400 kilogrammes, produit par l'eau qui s'écoule à travers un orifice en contre-bas, suffit pour ramener le piston.

Les machines du second genre, où la traction est transmise par l'éprouvette à une romaine, sont les plus nombreuses; souvent les romaines sont à plusieurs leviers, pour obtenir une réduction convenable de l'effort sans longueur excessive. M. Mettrier a décrit dans les *Annales* (8° s., t. XVII, p. 151) une machine de ce genre (système Kirkaldy), d'une puissance de 500 tonnes, installée à Malines.

On a construit des machines avec levier à axe d'articulation variable, de manière à réduire à volonté la charge maxima en augmentant la sensibilité (machine Wicksteed de 100 tonnes au laboratoire Walker à Liverpool; *Engineering*, 1891, 2° sem., p. 144).

Comme exemple du troisième genre, nous citerons la machine Thomasset, où la traction de l'éprouvette, déjà réduite par un levier coudé, se transmet à un piston qui presse un liquide; ce piston est assez grand pour donner une pression par centimètre carré facilement mesurable à l'aide d'un manomètre à mercure à air libre. Pour évi-



ter les frottements de ce piston, dont la course est extrêmement faible, on le forme d'une membrane flexible portant un plateau et dont les bords sont fixes. Il convient de déterminer par expérience, en le chargeant d'un poids connu, la pression exercée par un tel piston. Dans la machine du colonel Maillard, le levier réducteur est supprimé. Les machines du troisième genre, ainsi que celles du premier genre, indiquent clairement la réduction d'effort, souvent considérable, qui se produit sur les éprouvettes d'acier doux et autres métaux une fois que la striction a commencé.

Au quatrième genre appartient la machine américaine Emery (*Engineering*, 1888, 1<sup>er</sup> sem., p. 462, 481, 512; 2<sup>e</sup> sem., p. 433 et 440; *Génie civil*, t. XII, p. 5 et 21), où l'emploi des couteaux comme axes d'articulation a été entièrement supprimé. On commence par réduire dans un rapport déterminé l'effort à mesurer, au moyen d'un système de deux diaphragmes de dimensions différentes. Chaque diaphragme se compose d'une sorte de soufflet métallique formé de deux disques minces soudés sur leurs bords. Ces deux disques sont presque au contact, mais présentent une série d'ondulations circulaires et radiales qui assurent la continuité du liquide qui les remplit; le diaphragme est emboîté entre deux blocs métallique, l'un fixe, l'autre recevant la pression et dont la course est inappréciable. Les deux diaphragmes étant en communication par un tuyau, la pression du liquide se transmet de l'un à l'autre et l'effort total est réduit dans le rapport de leurs surfaces. Dans la romaine à plusieurs leviers qui mesure l'effort transmis par le second diaphragme, les articulations sont formées au moyen de lames minces d'acier encastrées sur deux bords parallèles et travaillant de champ; on obtient ainsi une balance à la fois très sensible, très exacte et très robuste. Le dernier levier de la romaine ne porte pas un poids curseur,

mais il reçoit des poids mobiles; l'appareil qui permet la manœuvre rapide de ces poids à l'intérieur d'une cage de verre, et sans l'ouvrir, mérite d'être signalé: les poids sont rangés verticalement en séries de dix égaux sur un support; en abaissant le support à l'aide d'un levier sortant de la cage vitrée, on dépose les poids sur une série de petites saillies portées par une tige reliée au fléau de la balance; mais l'écartement de ces saillies sur cette tige est un peu moindre que sur le support fixe, de sorte qu'en abaissant progressivement ce support, il dépose sur la balance d'abord un, puis deux, puis trois poids et ainsi de suite. Une série de supports semblables, chacun avec son levier de manœuvre, correspond aux diverses unités décimales des poids. La force de la machine Emery, installée à l'arsenal de Watertown (États-Unis), est de 360.000 kilogrammes; elle permet d'essayer avec exactitude les plus petites éprouvettes. Une telle machine est des plus remarquables; toutefois pour la plupart des recherches de grande précision une force de 25 tonnes suffit; et pour les essais pratiques exigeant de très grands efforts, l'extrême précision est inutile.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que d'essais à la traction; la plupart des machines permettent aussi, par le remplacement de quelques pièces d'attache, les essais à la compression et à la flexion. On dispose quelquefois des machines pour des essais à la torsion.

On peut faire usage d'appareils enregistreurs des circonstances de l'essai, portant en ordonnées les charges, et en abscisses les allongements (pour un essai de traction). Ces enregistreurs sont utiles, d'abord en rapportant diverses circonstances peu apparentes de l'essai, et notamment la limite des allongements élastiques, puis en prévenant les erreurs d'observations; on ne saurait trop recommander leur emploi, qui n'est pas assez répandu,

sans doute parce qu'il est difficile d'établir des enregistreurs précis ; mais un appareil de ce genre, même s'il ne donne que des résultats approchés, sera toujours utile en pratique, et rien n'empêche de compléter le diagramme approximatif par l'inscription des charge et allongement de rupture directement mesurés.

L'enregistreur H. Wicksteed (*Engineering*, 1886, 1<sup>er</sup> sem., p. 178) mesure les allongements au moyen d'un fil attaché à un support fixé à l'une des extrémités repérées de l'éprouvette et passant sur une poulie à l'autre extrémité ; ce fil, après des renvois convenables, vient faire tourner un barillet d'indicateur. Les efforts sont donnés par un petit piston soumis à la même pression que la presse motrice de l'appareil, et poussant contre un ressort ; ce piston déplace un crayon suivant une génératrice du barillet. Pour annihiler l'effet du frottement de la garniture du piston, on lui imprime, à l'aide d'une poulie de transmission, une rotation rapide relativement à la translation. Cet indicateur conviendrait bien aux machines du premier genre ; pour celles du second genre auxquelles il a été appliqué, rien ne corrige l'effet du frottement de la garniture du piston tirant sur l'éprouvette.

Si l'on ne recherche pas une grande précision, on obtient la mesure des allongements d'une manière plus simple en enregistrant l'écartement des deux mâchoires qui saisissent l'éprouvette ; on aura soin d'en placer les deux repères près de ces mâchoires. L'appareil pêche par excès d'une faible quantité facile à apprécier.

Un appareil fort simple fondé sur le même principe est monté sur la machine à essayer les ressorts de la Compagnie du Midi (*Revue gén. des chemins de fer*, 1886, 2<sup>e</sup> sem., p. 263) ; cette machine consiste en un cylindre à vapeur dont le piston vient appuyer sur le ressort ; un simple indicateur de Watt, placé sur le cylindre, donne

les aplatissements en abscisses et les efforts en ordonnées.

Les machines à romaine permettent un enregistrement facile des efforts, qui sont à chaque instant proportionnels aux déplacements du poids curseur ; il suffit donc d'enregistrer ces déplacements à une échelle réduite. Le curseur étant manœuvré à l'aide d'une vis qui règne tout le long du levier, il suffira de relier, par des engrenages convenables, le volant de commande de cette vis à un barillet de l'appareil enregistreur. Telle est la disposition simple adoptée par la *Société alsacienne* pour la romaine qu'elle exposait en 1889 (*Portefeuille économique des machines*, 1890, p. 130).

Dans la machine Delaloe (*Génie civil*, t. XIX, p. 25) ce sont les flexions d'un ressort poussé par l'éprouvette qui servent à enregistrer les efforts ; pour donner une butée à ce ressort, on commence par charger la romaine du poids que doit supporter l'éprouvette sans rompre ; l'inscription des circonstances de l'essai n'est, par suite, pas complète.

L'enregistrement exact des allongements est en somme difficile ; aussi M. Unwin s'est-il contenté de l'inscription automatique des charges au moyen du curseur de la romaine, comme nous venons de le dire, en marquant les allongements à la main, au moyen de contacts électriques ; il est vrai que ces allongements sont amplifiés par la projection d'un rayon lumineux à l'aide d'un miroir en relation avec l'éprouvette (*Engineering*, 1888, 2<sup>e</sup> sem., p. 473). Il s'agit là d'un appareil qui convient plutôt pour des recherches scientifiques.

Pour les machines du troisième genre, un manomètre enregistreur en relation avec le diaphragme donnera les charges (Le Châtelier, *Annales des ponts et chaussées*, 1885, 1<sup>er</sup> sem., p. 1032). La machine Martens, à romaine, enregistre aussi les charges à l'aide d'un manomètre (*Zeitschrift des Ver. D. Ing.*, 1890, p. 1003).



On consultera, avec intérêt, sur les machines d'essai, l'ouvrage de M. Lebasteur, *Les métaux à l'Exposition universelle de 1878*, et un article de M. Brunet, dans la *Revue générale des machines-outils*, juin 1888.

L'essai au choc est souvent utile pour reconnaître si des métaux ne sont pas fragiles; il s'agit là d'une qualité pour laquelle on ne possède pas de mesure précise, mais qui est fort importante en pratique. L'essai peut porter sur des barrettes découpées dans le métal, ou sur des pièces entières, telles que rails, essieux, bandages. On emploie pour ces essais le *mouton*, dont le poids et la hauteur de chute sont fixés empiriquement.

Certaines machines servent à l'essai des huiles de graissage: elles permettent l'étude du frottement de divers alliages sous des charges variables, et avec divers lubrifiants. M. Séguéla a publié une étude sur ces appareils dans le *Portefeuille écon. des machines*, août 1890.

INSTRUMENTS DE MESURE. — La mesure des pièces forme l'une des branches les plus intéressantes du travail des ateliers, car on exige aujourd'hui pour certaines constructions mécaniques une extrême précision, et même pour les machines les plus communes on tient à ce que les cotes des dessins soient exactement observées. Pour toutes les classes de produits, depuis les plus ordinaires, jusqu'aux instruments de précision, on cherche sans cesse le progrès sous ce rapport et l'on réduit la marge d'erreur tolérée, si bien que pour certaines pièces cette erreur ne doit pas dépasser un dixième de millimètre, pour d'autres quelques centièmes à peine.

Le mesurage dans les ateliers repose sur l'emploi de *calibres* et *gabarits* de dimensions et de formes déterminées qui s'appliquent sur la pièce à mesurer: ces calibres servent à guider dans l'exécution des pièces, et aussi à les vérifier après exécution. On peut les classer en deux

grandes catégories, calibres d'une application générale et calibres spéciaux. Dans la première catégorie, nous rangeons ceux qui donnent des séries de longueurs, de diamètres, de filetages. Pour les longueurs, on fait usage de jauges, de barrettes pleines ou entaillées, de calibres en fer-à-cheval, qui peuvent servir à vérifier le diamètre d'un cylindre; des jauges ou des calibres différents donnent chaque mesure nécessaire, et forment souvent des séries de millimètre en millimètre. Autant que possible, on proscriit dans les ateliers l'emploi de la règle divisée et même du pied à coulisse pour la mesure directe des pièces en fabrication. Pour la vérification des cylindres, pleins et creux, on emploie des calibres d'acier trempé et rectifié à la meule formés d'un bouchon et d'une bague d'un diamètre déterminé, également en séries millimétriques. Pour le filetage, le calibre est une vis et un écrou aussi bien exécutés que possible et sans jeu appréciable l'un sur l'autre: mais si l'exécution d'un calibre cylindrique simple exact à un centième de millimètre près est déjà extrêmement difficile, le calibre hélicoïdal sera nécessairement moins précis.

Les calibres de grande précision ne peuvent être mis entre les mains des ouvriers, ni même servir à la vérification des pièces terminées: mais on les conserve avec soin dans un magasin spécial, et ils ne servent qu'à vérifier d'autres calibres d'un usage courant, sujets par conséquent à usure et devant être réformés en temps utile.

Les calibres spéciaux, qui forment une seconde catégorie, varient à l'infini suivant les pièces à produire; souvent, pour les parties d'une même pièce, on est conduit à établir toute une série de jauges et gabarits divers, donnant les distances de divers points entre eux, les profils, les épaisseurs, diamètres, etc. On peut dire que jamais on ne se sert trop de calibres dans un atelier: il

fant toutefois qu'ils soient bien établis et fréquemment vérifiés.

Dans certains cas, les calibres sont établis de manière à guider directement l'outil qui travaille, ce qui évite un traçage préalable : tels sont les gabarits de perçage, composés d'une tôle portant une série de bagues d'acier que traverse le foret ; nous avons cité plus haut l'emploi de gabarits de ce genre dans les tours et dans les machines à fraiser.

La construction des calibres de grande précision est une opération délicate et des plus importantes. Si des instruments comme la vis micrométrique Palmer, le cathétomètre, permettent de comparer des longueurs avec une grande exactitude, on n'en est pas moins ramené, en dernière analyse, à prendre la dimension qu'on veut obtenir sur une règle graduée ou à la déterminer à l'aide de la machine à diviser, composée essentiellement d'une vis aussi précise que possible. Cette opération est moins exacte que la comparaison des longueurs. On peut bien se procurer, avec une précision aussi grande qu'il est utile pour la pratique la plus raffinée, une règle longue d'un mètre. Mais on trouvera souvent des écarts relativement importants dans la division millimétrique de cette même règle. C'est donc à l'origine même de l'opération que se trouve la plus forte erreur, dans l'établissement d'une jauge d'une longueur donnée. On consultera avec intérêt sur cette question un travail de M. G. Bond, dans les mémoires du *Franklin institute* (1884, 1<sup>er</sup> sem., p. 87, 281, 357 et 368), reproduit par l'*Engineering* (1885, 2<sup>e</sup> sem., p. 579 et 624).

La construction moderne est remarquable par l'exactitude dans l'exécution des pièces de machines, et les procédés précis se répandent de plus en plus, en s'appliquant chaque jour à des constructions plus importantes. Ce ne sont plus seulement les pièces de machines à

coudre et de fusils qui sont fabriquées de manière à être interchangeables : mais les moteurs à vapeur, les locomotives et d'autres grands appareils sont exécutés d'après le même principe. On se contente de moins en moins, même pour les grandes machines, de l'*exactitude relative* obtenue par l'ajustage soigné des parties en contact ; on veut aussi l'*exactitude absolue*, c'est-à-dire la rigoureuse conformité de l'exécution aux dessins, qui doivent coter même les jeux des articulations.

Il est remarquable que la grande précision de toutes les pièces conduit finalement à l'économie dans la construction des appareils, en supprimant ou réduisant beaucoup le travail d'ajustage individuel de chaque pièce et les retouches ; si l'outillage nécessaire pour le travail des pièces est plus coûteux à établir, il permet souvent, en compensation, une exécution plus rapide.

Arrivés au terme de notre revue déjà longue, bien que limitée autant que possible aux appareils d'un emploi général, si nous cherchons quel est le caractère le plus saillant des constructions mécaniques actuelles, nous remarquons surtout la trace des méthodes scientifiques. Les machines, dont une si riche collection avait été réunie en 1889, ne différaient pas de ce que nous avaient montré les expositions précédentes tant par la nouveauté des dispositions principales, que par le soin apporté à toutes leurs parties. On ne limite plus le rôle de la théorie à l'étude de quelques traits généraux, laissant à la pratique des ateliers le soin de déterminer presque toutes les dispositions de détail, souvent les plus essentielles à la bonne marche des appareils ; mais cette pratique des ateliers, on la discute, on la précise, on extrait d'un chaos de règles informes, transmises par la tradition, variant d'un établissement à un autre, des lois précises et scientifiques. On observe pour toutes les pièces des



machines les lois de la résistance des matériaux, celles encore insuffisamment connues du frottement ; beaucoup de recherches importantes, d'un intérêt théorique réel, prennent naissance à l'occasion des constructions mécaniques. En un mot, nous trouvons dans les machines une application chaque jour plus importante des principes de la science, qui seule peut en permettre le progrès et nous donner ainsi les moyens d'augmenter sans cesse l'effet utile du travail de l'homme.

Nous voyons une autre application des méthodes scientifiques dans la recherche qu'on commence à faire de la puissance mécanique qui serait nécessaire pour maintenir en l'air des corps pesants ; recherches bien intéressantes, car seules elles nous apprendront si le problème de l'aviation peut être résolu avec les ressources qui sont actuellement à notre disposition. Tant que nous ignorons quelle doit être la puissance d'une machine capable de maintenir suspendu dans l'air un poids donné, nous ne pourrions songer à construire une telle machine. D'après quelques expériences récentes, il semblerait que l'effort horizontal nécessaire pour soutenir un plan pesant légèrement incliné sur l'horizon n'est pas aussi grand qu'on est parfois tenté de le croire, et cette vue concorde avec l'impression que nous donne l'aisance du vol des oiseaux grands voiliers. Peut-être dans une prochaine revue des machines verra-t-on figurer un chapitre consacré aux machines volantes.

---

RECTIFICATIONS. — A la fin du chapitre IV, dans le paragraphe relatif au démarrage des machines compound, la disposition Lindner a été citée à tort parmi celles où une valve sépare le *receiver* du cylindre à haute pression, tandis qu'elle consiste simplement en petites ouvertures ménagées dans le tiroir de ce système, de manière

à établir une pression égale sur les deux faces de son piston, lorsqu'il n'est pas moteur.

Les expériences sur les foyers de locomotives à parois de briques, citées chap. VIII, p. 487 (t. XVIII), ligne 14, ont été exécutées sous la direction de M. Almgren.

La surchauffe de la vapeur paraît ne plus être délaissée comme nous le disions au chap. III, mais des appareils surchauffeurs sont appliqués avec un plein succès et sans difficultés pratiques. Les rapports de M. Walther-Meunier dans le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse* pour juin et pour octobre-novembre 1891 donnent d'intéressantes informations à ce sujet. Le surchauffeur Uhler est une sorte de chaudière Field, chauffée par une grille spéciale, ce qui permet de l'installer après coup à la suite d'une batterie de chaudières ou auprès d'une machine alimentée par une longue conduite. Dans un essai avec et sans surchauffe, les consommations d'une machine de 300 chevaux ont été de 6<sup>kg</sup>,7 et de 8<sup>kg</sup>,3 de vapeur par cheval-heure indiqué ; on brûlait 0<sup>kg</sup>,78 et 0<sup>kg</sup>,93 de houille. Le surchauffeur Gehre est un corps tubulaire installé dans les carneaux, avec soupapes l'isolant par moments de la chaudière. Le surchauffeur Schwœrer est formé de tubes à ailettes extérieures dans lesquelles circule la vapeur. Divers essais ont donné des économies du quart environ du charbon précédemment employé ; aucun inconvénient ne paraît résulter pour les machines de l'emploi de vapeur surchauffée.

ANALYSE  
DES RAPPORTS OFFICIELS  
SUR LES ACCIDENTS DE GRISOU  
SURVENUS EN FRANCE  
PENDANT LES ANNÉES 1888 A 1890

Dressée par M. E. DE BILLY, Ingénieur des mines.

Nous avons résumé dans les tableaux qui suivent les circonstances et les causes présumées des accidents de grisou d'après les rapports officiels de l'enquête administrative (\*). Mais, en dehors de ces accidents, il en est d'autres qui, sans être dus au grisou, ont avec les premiers certaines ressemblances : les coups de poussières et les accidents dus aux gaz autres que le grisou, inflammables ou délétères. Il nous a semblé nécessaire de les signaler ici sans les faire figurer dans les tableaux ci-joints.

*Accidents dus aux gaz produits par les incendies.* — Ces accidents ont malheureusement été assez fréquents. Il ont été au nombre de 6 et ont causé la mort de 20 personnes.

(\*) Voir *Annales des mines*, 8<sup>e</sup> série, t. VIII, p. 433, et t. XVII, p. 253.

Le 23 juillet 1888, au puits Magny des houillères de Blanzy (Saône-et-Loire), un incendie se déclara dans un plan incliné, qu'un incendie antérieur avait obligé de barrer à la tête et au pied, et qu'on venait de rouvrir. L'arrêt d'un ventilateur ayant déterminé un renversement de l'aérage, les gaz délétères envahirent divers chantiers, causant la mort par asphyxie de 7 ouvriers.

Le 4 juillet 1888, à la mine de Soulanou (Gard), 2 ouvriers ont été asphyxiés au pied d'une remontée d'aérage : Un incendie s'était déclaré dans la mine quelques temps auparavant, et on avait fait des travaux considérables pour s'en rendre maître ; lorsque toute fumée eut disparu, on crut pouvoir reprendre l'entretien de la remontée. Une bouffée de gaz délétères, due à une cause inconnue, se produisit inopinément et causa la mort des deux hommes.

Le 15 mars 1890, au puits Marguerite, des houillères de Decize (Nièvre), le feu prit à un galandage, dans une recoupe, sans doute du fait d'une lampe à feu nu, accrochée contre le galandage. Cet incendie prit certaines proportions à cause de l'affolement des ouvriers qui s'enfuirent au lieu de chercher à l'éteindre immédiatement, et causa la mort de 3 ouvriers par asphyxie.

Le 23 mai 1890, à la fendue Pichon, concession de Dourdel et Montsalson (Loire), dans une galerie où l'aérage était insuffisant, 1 ouvrier périt asphyxié par un dégagement de gaz provenant de feux en troisième couche dans un quartier voisin des travaux Pichon.

Le 21 septembre 1890, à la mine de Firmy (Aveyron), un incendie, qui s'était déclaré dans les travaux les plus profonds, causa la mort de 1 ouvrier par asphyxie. L'incendie durait depuis quelque temps ; on avait construit des barrages qui, le matin même, avaient été visités et avaient semblé en bon état. Une circonstance fortuite déterminait une fuite de gaz, qui atteignit 2 ouvriers, dont l'un mortellement. La mine était insuffisamment aérée.



Enfin, le 28 septembre 1890, aux mines de Psychagnard (Isère), 2 jeunes gens, appartenant au personnel de la mine, eurent l'imprudence de pénétrer, accompagnés de 4 jeunes filles, malgré les observations des mineurs, dans la galerie de roulage qui débouchait au jour. La mine était dangereuse, car il s'y était déclaré des incendies. A ce moment (c'était un dimanche après midi), personne n'y travaillait et on avait arrêté le ventilateur pour les réparations hebdomadaires. Les 6 promeneurs furent victimes de leur imprudence.

*Accidents produits par des gaz dus à des causes diverses.* — On peut réunir sous cette rubrique 6 accidents qui ont causé la mort de 5 personnes.

Le 17 septembre 1888, à la mine de Méjanel (Aveyron), 2 ouvriers ont été brûlés sans gravité par une explosion de gaz. Jamais le grisou n'avait été signalé dans la mine; au haut d'un montage en cul-de-sac, au voisinage de vieux travaux, il s'était produit un fort dégagement d'un gaz d'odeur fétide. Les ouvriers commirent l'imprudence de pénétrer dans le montage avec leurs lampes à feu nu et déterminèrent ainsi l'explosion.

Le 8 août 1889, à la fosse Soult, de la concession de houille d'Escaupont (Nord), une fuite d'eau à travers le cuvelage du puits détermina un renversement temporaire du courant d'air. Les gaz du foyer d'aérage, installé au fond du puits, envahirent les travaux et déterminèrent la mort de 1 ouvrier par asphyxie. A la suite de cet accident, le cuvelage a été revêtu à l'intérieur d'une chemise métallique.

Le 12 avril 1890, à la fendue de Montchaud, concession houillère de Villars (Loire), 2 ouvriers périrent asphyxiés. La fendue avait été longtemps abandonnée; on venait de la reprendre, et on avait installé un ventilateur aspirant, avec conduite établie à la sole, pour assainir les travaux;

l'accident même prouve que les dispositions prises étaient insuffisantes.

Le 28 août 1890, au puits Chatelus n° 2, de la concession de Beaubrun (Loire), 1 ouvrier périt asphyxié, dans un quartier qu'on était en train de remblayer, en pénétrant dans un passage ménagé au milieu des remblais. La mine n'était pas grisouteuse; il n'y avait pas de feux dans le voisinage; ici, comme dans le cas précédent, c'est l'air confiné, rendu délétère par son contact avec des matières oxydables, qui a été la cause de l'asphyxie.

Le 18 novembre 1890, à la fosse n° 7 de la concession houillère de Bully-Grenay (Pas-de-Calais), 1 ouvrier périt asphyxié par les gaz d'un coup de mine, chargé à la dynamite, et qui, sans doute mal bourré, a fait canon.

Nous avons joint à ces derniers accidents celui qui s'est produit dans la mine de lignite de Trets (Bouches-du-Rhône), le 8 février 1888, et qui a occasionné des blessures par contusion à 5 ouvriers. Pendant l'attaque d'un pilier, dans de vieux travaux, il se produisit une véritable explosion, qui éteignit les lampes, renversa les hommes et projeta dans le chantier un volume considérable de charbon réduit à l'état de poussier menu; à la suite de cette explosion, on constata à la surface des tas de charbon ainsi formés, la présence d'un gaz qui brûlait tranquillement avec une flamme bleue. Les ingénieurs n'ont pas été d'accord sur la cause de cet accident, qu'ils attribuent soit à un affaissement du toit, soit à la présence d'un hydrocarbure renfermé à haute pression dans la houille.

*Dégagement d'acide carbonique de Rochebelle.* — La concession de Rochebelle et Cendras (Gard) est sujette à des dégagements instantanés d'acide carbonique. Le 29 août 1889, il s'en produisit un dans un chantier où travaillaient 3 ouvriers. Les lampes furent éteintes et les

ouvriers s'enfuirent à tâtons. L'un d'eux tomba dans sa fuite et périt asphyxié.

*Coup de poussières de La Machine.* — Le 18 février 1890, il s'est produit, au puits Marguerite de la concession houillère de Decize (Nièvre), un coup de poussières qui a dépassé par son intensité tout ce qui avait été constaté jusqu'alors et tout ce que les expériences antérieures permettaient de prévoir : des ouvriers sont tombés mortellement brûlés à 110 mètres du point d'origine de l'inflammation ; d'autres ont péri, plus légèrement brûlés, mais asphyxiés, à 250 mètres de ce point ; les ravages des gaz délétères se sont étendus à 700 mètres de distance. On a eu à déplorer en tout la mort de 43 ouvriers, sans compter un contre-maître, asphyxié pendant le sauvetage.

La mine occupait alors 779 ouvriers ; sa production, en 1890, s'est élevée à 147.089 tonnes. Elle était poussiéreuse, mais non grisouteuse ; on y travaillait avec des lampes à feu nu ; le grisou n'avait jamais été signalé, et des analyses de gaz, sur des prises faites au chantier après l'accident, n'ont pas décelé de teneur appréciable de grisou. Ce gaz n'a donc eu aucune part dans la catastrophe.

L'inflammation a été déterminée par deux coups de mine, chargés à la poudre noire, qui ont débouffé.

Cet accident a donné lieu d'ailleurs, de la part de M. l'ingénieur Laurent, à une étude détaillée qui a été insérée ici même (\*).

L'exploitant, à la suite de cet accident, a modifié la méthode d'exploitation et perfectionné l'aérage. L'application du règlement proposé par la commission d'étude de l'emploi des explosifs a été étendue aux mines à pou-

(\*) *Annales des mines*, 2<sup>e</sup> volume de 1891, p. 396.

sières inflammables, mises ainsi sur le pied des mines à grisou. (Circulaire ministérielle du 1<sup>er</sup> août 1890).

*Inflammations de gaz dans des carrières souterraines.* — Ces accidents, au nombre de deux dans la période qui nous occupe, ont occasionné des brûlures graves à 2 ouvriers.

Le 9 avril 1890, dans une glaisière souterraine, à Vanves (Seine), 1 ouvrier, pénétrant après trois jours de chômage dans son chantier, y détermina une explosion qui le brûla grièvement. Les dégagements de gaz, dus probablement à la présence d'une couche de lignite pyriteux intercalée au milieu des argiles, sont fréquents dans les glaisières de la plaine de Vanves.

Le 4 octobre 1890, dans une carrière d'argile réfractaire des environs de Bollène (Vaucluse), 1 ouvrier a été grièvement brûlé par suite de son imprudence : les dégagements de gaz inflammables sont fréquents dans ces carrières, dans le voisinage d'anciens travaux ; et l'ouvrier, qui la veille au soir avait constaté la présence du gaz, était descendu avec une lampe de sûreté non allumée, qu'il se mit en devoir d'allumer au fond du puits.

ACCIDENTS DUS AU GRISOU. — On a eu à déplorer, durant les trois années qui nous occupent, 29 accidents de grisou, qui se répartissent ainsi qu'il suit :

ANNÉES	NOMBRE des accidents	TUÉS	BLESSÉS
1888	15	54	24
1889	6	225	13
1890	8	117	47
Total . . . . .	29	396	84

Relativement à la cause déterminante des accidents, on peut les classer de la manière suivante :



	NOMBRE des accidents	TUÉS	BLESSÉS
I. Explosions de grisou produites par :			
1° Explosion ou allumage des coups de mine . . . . .	4	0	6
2° Lampes à feu nu . . . . .	15	2	21
3° Lampes de sûreté ouvertes . . . . .	2	1	4
4° Causes diverses . . . . .	3	53	6
5° Cause indéterminée . . . . .	3	337	47
II. Autres accidents dus au grisou :			
1° Asphyxie . . . . .	2	3	0
Total . . . . .	29	396	84

Si l'on compare ces résultats à ceux de la période précédente, on voit que le nombre des explosions a sensiblement diminué. Et sans les catastrophes de Campagnac, du puits Péliissier et du puits Verpilleux, on aurait eu moins de victimes à déplorer. On remarquera notamment la diminution des accidents dus à l'explosion ou à l'allumage des coups de mine, qui dans la période précédente avaient fait tant de victimes. L'emploi des lampes à feu nu dans des quartiers où on ne soupçonnait pas la présence du grisou a causé le plus grand nombre d'accidents; heureusement, ils ont été pour la plupart sans gravité.

Quant aux quatre catastrophes qui ont porté à un chiffre si considérable le nombre des victimes du grisou pendant la période qui nous occupe, et dont la cause déterminante — pour les deux plus graves au moins — n'a pu être reconnue avec exactitude, elles ont été la conséquence, pour les deux moins importantes, de dégagements subits de grisou, qui ont envahi les chantiers, et pour les deux autres, de l'insuffisance de l'aérage. Il est à espérer que les mesures énergiques prises par les compagnies, d'accord avec l'administration, pour assurer l'aérage des quartiers grisouteux, et, d'une façon générale, l'obser-

vation de toutes les mesures de sûreté, rendront ces terribles catastrophes moins fréquentes.

Il existe une certaine contradiction entre les tableaux qui précèdent et ceux qui sont fournis par la statistique de l'industrie minière :

1° Les deux accidents de Soulanou (17 septembre 1888) et de Méjanel (4 juillet 1888), comptés dans la statistique de l'industrie minière, ne sont pas dus au grisou. Nous en avons fait mention à part.

2° Dans l'accident de Portes et Sénéchas (15 mars 1889), la statistique de l'industrie minière compte 3 blessés au lieu de 4.

## STATISTIQUE DES ACCIDENTS DE GRISOU

en 1888, 1889 et 1890.

## BASSIN DE VALENCIENNES. — I. — DÉPARTEMENT DU NORD.

## 1. — Concession de Vicoigne.

(Instituée par ordonnance royale du 12 septembre 1841.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODU- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumu- lation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2 oct. 1888.	Fosse n° 2.	»	3 légère- ment brûlés.	410	151.361 tonnes.	Chautier en cul-de-sac.	Allumage de l'extrémité de la mèche de sûreté d'un coup de mine.	Inexpérience des ouvriers, qui n'étaient pas ha- bitués aux cou- ches grisouté- uses; imprudence du surveillant qui avait reconnu le grisou, et n'a- vait pas pris les précautions né- cessaires.	Le chantier était aéré par un canard. Des dégagements de grisou s'y étaient déjà manifestés à plu- sieurs reprises; et les ouvriers avaient été munis de lampes de sûreté. Le matin de l'accident, le sur- veillant avait reconnu le grisou; néanmoins c'est un des ouvriers qui mit le feu à la mèche, sans se servir du briquet pour allumer l'amadou. Le règlement sur les fosses à grisou a été aussitôt appliqué à la fosse n° 2 et aux fosses n° 1 et 4, des flambées avaient eu lieu en 1886 et 1887. Dans ces fosses, on a prescrit l'emploi exclusif des lampes de sûreté, et l'organisation de jaugeages anémométriques.
BASSIN DE VALENCIENNES. — II. — DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.										
1. — Concession de Ferfay.										
(Instituée par décrets des 20 décembre 1883 et 26 février 1883.)										
2	28 oct. 1888.	Fosse n° 2.	2 asphy- xiés.	»	670	176.717 tonnes.	»	»	»	Les deux victimes se sont égarées dans la mine, et ont été asphyxiées dans le maillage d'une taille dont l'abatage était interrompu depuis un mois environ. Ce maillage formait point haut, mais des obser- vations grisométriques, faites peu de jours avant l'accident, n'avaient pas fait prévoir de danger pour le chantier, qu'on se proposait de reprendre incessamment.



## BASSIN DE VALENCIENNES. — DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

## 2. — Concession de Nœux.

(Instituée par décrets des 15 janvier 1853 et 30 décembre 1857.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODU- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumu- lation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	1 <sup>er</sup> mai 1889.	Fosse n° 1.	1 asphy- xié.	»	2.339	920.274 tonnes.	»	»	Fortuite.	Un ouvrier, pénétrant dans un montage dont l'entrée avait été interdite, y trouva la mort par asphyxie.

## 3. — Concession de Meurchin.

(Instituée par décrets des 19 décembre 1860 et 18 mars 1863.)

4	4 avril 1889.	Fosse n° 3	»	1 lége- rement brûlé.	781	238.207 tonnes.	»	Lampe à feu nu.	Fortuite.	Le grisou n'avait jamais été décélé dans le quartier où s'est produite la flambée. La Compagnie a été invitée à appliquer au quartier où s'est produit l'accident le règlement général sur les fosses grisouteuses, à en interdire l'accès à tout ouvrier porteur d'une lampe à feu nu, et à l'aérer par une dérivation spéciale du courant d'air.
---	------------------	---------------	---	--------------------------------	-----	--------------------	---	--------------------	-----------	--

## 4. — Concession de Carvin.

(Instituée par décret du 1<sup>er</sup> décembre 1860.)

5	28 mars 1889.	Fosse n° 3	»	1 lége- rement brûlé.	780	200.192 tonnes.	Montage en cul- de-sac.	Lampe à feu nu.	»	Le montage devait réunir un carnet d'aérage au maillage d'une taille en préparation. Le dégagement de grisou, purement local et passager, s'explique par le voisinage d'un serrage. La mine est considérée comme non grisouteuse. L'exploitant a fait remblayer la voie de fond dans toute la partie qui traverse la veine, et se proposait de reprendre ce qui reste de charbon ultérieurement, avec un courant d'air spécial.
---	------------------	---------------	---	--------------------------------	-----	--------------------	----------------------------	--------------------	---	---

## BASSIN DU BOULONNAIS. — DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS.

## 1. — Concession de Hardinghen.

(Instituée par décret du 1<sup>er</sup> janvier 1861.)

6	16 juin 1890.	Fosse La Gla- neuse.	»	2 lége- rement brûlés.	42	3.277 tonnes.	Montage en cul- de-sac.	Lampes à feu nu.	Fortuite.	La flambée s'est produite au moment où deux ouvriers, qui parcouraient la mine pour mesurer l'avancement de la quinzaine précédente, pénétraient dans le montage. Ce montage avait été arrêté à la rencontre d'un serrage; de plus il y avait dans la mine une certaine quantité de houille abattue, et non encore extraite. Ces deux circonstances, et le fait que la houille de Hardinghen s'échauffe rapidement, expliquent le dégagement de gaz combustible. La mine n'est d'ailleurs pas considérée comme grisouteuse. L'aérage a été amélioré; et on a prescrit l'emploi de lampes de sûreté dans le voisinage des vieux travaux, et dans les chantiers en dehors du trajet direct du courant d'air.
---	------------------	----------------------------	---	---------------------------------	----	------------------	----------------------------	---------------------	-----------	--

## BASSIN DE SAINT-ÉTIENNE — DÉPARTEMENT DE LA LOIRE.

## 1. — Concession de Villebœuf.

(Instituée par ordonnance royale du 4 novembre 1824.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumu- lation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	29 juil. 1890.	Puits Pélissier.	113	39	363	99.884 tonnes.	Défaut d'aérage.	"	Imprudence infractions et règlements.	L'accident s'est produit pendant la descente du poste de nuit, lorsque le travail n'avait pas encore repris. Les effets dynamiques ont été faibles; mais le désastre a été aggravé par l'inflammation des poussières et par la production de gaz délétères qui en a été la conséquence. Après l'explosion, la mine était accessible, le courant d'air avait repris; le lendemain matin, toutes les victimes étaient remontées au jour. Quant aux causes déterminantes de l'explosion, elles n'ont pu être établies avec certitude. Le fait que dans le chantier d'où l'inflammation est partie, un éboulement s'était produit avant la catastrophe, et la découverte, à quelque distance de là, d'une lampe ouverte, en bon état, ont fait supposer qu'un ouvrier, en faisant son sac de charbon, avait dû déterminer un éboulement, et qu'il en était résulté une masse de gaz, qui vint s'enflammer sur sa lampe ouverte. Quant aux causes essentielles de la catastrophe, elles sont indiscutables: par suite d'un renversement du courant d'air dans le puits Pélissier, l'aérage de la mine était devenu insuffisant. La distribution du courant d'air était d'ailleurs défectueuse: le chantier d'où est partie l'explosion n'était pas aéré directement. Le chantier était d'ailleurs grisouteux, et, par suite d'un vide de 1 <sup>m</sup> ,50 qui s'était produit au-dessus des chapeaux, il formait cloche. A la suite de la catastrophe, l'aérage a été amélioré: un ventilateur a été installé au puits Pélissier.
8	4 août 1890.	Puits Pélissier.	3	1	363	99.884 tonnes.	Montage en cul-de-sac.	Le mélange explosif s'est enflammé à un barrage.	Imprudence.	A la suite d'un éboulement antérieur à la catastrophe du 29 juillet, un incendie s'était déclaré. On avait construit deux barrages, et, pour aller attaquer l'incendie par une autre galerie, on avait commencé un montage non loin de l'un des barrages. Voulant, au cours des travaux de remise en état consécutifs à l'accident du 29 juillet, remblayer ce montage, au sommet duquel le grisou avait commencé à marquer, on s'est servi, pour l'assainir au préalable, d'un ventilateur soufflant, sans prendre de précautions pour empêcher le mélange grisouteux d'arriver au contact du barrage. Une première explosion survint, qui fit 4 victimes. La même manœuvre fut ensuite reprise, sans plus de précautions, et détermina une seconde flambée, qui ne fit point de victimes. Le montage fut alors barré.
2. — Concession de Méons.										
(Instituée par ordonnance royale du 4 novembre 1824.)										
9	3 juil. 1889.	Puits Verpilleux.	207	6	956 (pour les 4 mines de la société).	63.100 tonnes (pour Méons). 375.200 tonnes (pour les 4 mines).	Réunion, dans le voisinage im- médiate d'une fail- le, de chantiers à production in- tensive, présen- tant des culs-de- sac non rem- blayés et insuffi- samment aérés.	"		L'aérage du quartier Verpilleux laissait à désirer comme disposition, le courant d'air devant se diviser de lui-même suivant les facilités que lui offraient les voies ouvertes devant lui; il ne devait, notamment, passer aux tailles où a eu lieu l'explosion, qu'une faible fraction de ce courant. Ces tailles se trouvant alignées le long du mur d'une faille, le grisou qui se dégageait, du côté du toit, de la deuxième tranchée non encore exploitée, tendait à venir s'y déverser; les avancements en cul-de-sac de deux d'entre elles avaient dû être momentanément abandonnés à cause de la présence du grisou. La cause de l'inflammation du mélange explosif est restée indéterminée. Il y a eu à la fois explosion du mélange gazeux et inflammation de poussières. Cette explosion s'est étendue non seulement dans tout le quartier de Verpilleux, mais a ravagé aussi le quartier contigu du puits Saint-Louis, dans lequel l'extraction était à ce moment suspendue, et où ne se trouvant qu'un nombre relativement faible d'ouvriers. Elle a déterminé de nombreux éboulements et allumé quatre incendies. L'Administration a prescrit, à la suite de cet accident, l'application dans tout le bassin de Saint-Étienne du principe de la division des champs d'exploitation en quartiers indépendants et de l'interdiction de tout travail d'exploitation en présence du grisou, ainsi que diverses mesures tendant à l'amélioration de l'aérage.



## BASSIN DE SAINT-ÉTIENNE

## 3. — Concession

(Instituée par ordonnance

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUCC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes
							de l'accumu- lation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	7 avril 1888.	Puits Dyèvre, 3 <sup>e</sup> Brû- lanta.	»	1 légère- ment brûlé.	876	298.551 tonnes.	Chantier en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	»

## 4. — Concession de

(Instituée par ordonnances royales des 11 juin

11	8 sept. 1890.	Puits Chapelon.	1 des suites de ses brû- lures	3 griève- ment brûlés.	2.107	685.122 tonnes.	Chantiers aban- donnés à cause de la présence du grisou.	Inflamma- tion au jour, aux feux des chaudières du ventilateur.	Imprudence.
----	------------------	--------------------	--	---------------------------------	-------	--------------------	---	---	-------------

## 5. — Concession de

(Instituée par ordonnance

12	30 janv. 1888.	Petite couche Darnon. Puits Ri- gaudin.	»	1 légère- ment brûlé.	126	27.904 tonnes.	Dégagement de grisou dans un montage en cul- de-sac.	Lampes à feu nu.	»
----	----------------------	---	---	--------------------------------	-----	-------------------	---	---------------------	---

DÉPARTEMENT DE LA LOIRE.

## de la Béraudière.

(Instituée par ordonnance royale du 4 novembre 1824.)

## OBSERVATIONS

11

La couche n'est pas grisouteuse : dans le champ d'exploitation, le grisou est apparu, à rares inter-  
valles, en très petites quantités, et les dégagements ont été de courte durée. Au lieu de l'accident, quel-  
ques heures auparavant, un sous-gouverneur n'avait rien trouvé de suspect.

On a prescrit l'emploi des lampes de sûreté dans les chantiers en cul-de-sac, et la visite quotidienne  
de ces chantiers à la lampe de sûreté avant l'arrivée des ouvriers.

## Roche-la-Molière et Firminy.

(Instituée par ordonnances royales des 11 juin 1827, 18 octobre 1814 et 30 août 1820.)

Les chantiers étaient constitués par deux galeries jumelles, branchées sur une galerie de niveau. A la  
suite d'une chute d'eau abondante dans le puits Chapelon, qui contrariait l'action du ventilateur, le  
grisou avait marqué aux avancements d'une façon dangereuse, et on avait évacué et barré les chantiers.  
La reprise s'étant effectuée avec trop peu de précautions, en faisant passer tout le courant d'air dans les  
galeries contaminées, le mélange explosif aspiré par le ventilateur et rejeté hors de la mine est allé  
s'enflammer aux chaudières, trop rapprochées du puits ; la flamme est rentrée dans le puits, et l'explosi-  
on occasionna des dégâts importants, non seulement dans la galerie de roulage conduisant aux travaux  
où venait le grisou, mais encore dans un autre quartier de la mine (galerie Adrienne), qui communi-  
quait avec le puits Chapelon par un travers-banc fermé par deux portes.

L'Administration a prescrit de rendre les deux quartiers indépendants, au moyen d'un barrage en  
terre dans le travers-bancs.

## de Saint-Chamond.

(Instituée par ordonnance royale du 10 mai 1838.)

Le grisou n'avait jamais été constaté dans la petite couche Darnon ; on se servait de lampes à feu nu.  
L'inflammation se produisit au moment où deux ouvriers arrivaient à leur chantier, après 40 heures  
d'interruption de travail. Après l'accident, on constata la présence du grisou dans le chantier où s'était  
produite l'inflammation, et dans plusieurs chantiers voisins du même quartier.

L'usage des lampes de sûreté a été imposé pour tous les travaux en cul-de-sac. L'exploitant a été  
invité à réduire la distance entre les galeries de niveau, à les réunir par des traverses plus rapprochées,  
et à éviter autant que possible les percements en renonste.

## BASSIN DE SAINT-ÉTIENNE

## 6. — Concession

(Instituée par ordonnance

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumu- lation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
13	6 sept. 1888.	Bas-fond de la Grande- Couche.	»	1 légère- ment brûlé.	410	110.650 tonnes.	Remonte en cul-de-sac aban- donnée et barrée depuis quelque temps.	Lampes à feu nu.	»	
7. — Concession										
(Instituée par ordonnance royale)										
14	25 mars 1888.	Puits Ram- baud.	»	2 griève- ment brûlés.	80	25.974 tonnes.	Couche légèrement grisouteuse.	Lampe à feu nu.	Imprudence d'usage des victimes.	
BASSIN D'ALAIS.										
1. — Concession de Saint										
(Instituée par décret)										
15	21 sept. 1888.	Mine de St-Jean de Va- lériscle.	»	4 dont 2 griève- ment.	132	37.829 tonnes	»	Imprudence du chef de chantier, qui avait ouvert sa lampe.	»	
2. — Concession										
(Instituée par ordonnances royales)										
16	15 mars 1889.	Puits Central.	17 dont 3 des suites de leurs bles- sures.	4 dont 3 légère- ment.	694	152.187 tonnes.	Envahissement subit de la mine par le grisou.	»	»	

DÉPARTEMENT DE LA LOIRE.

## de la Péronnière.

(Instituée par ordonnance royale du 13 janvier 1842.)

## OBSERVATIONS

11

Le gaz s'est enflammé dans une galerie de niveau, au pied de la remonte barrée. L'inflammation ne s'est pas propagée.  
La remonte a été immédiatement ventilée et purgée de mauvais air.

## du Cluzel.

(Instituée par ordonnance royale du 27 novembre 1824.)

L'accident s'est produit dans une taille où le travail avait été suspendu durant cinq heures. On avait recommandé aux ouvriers de sonder la taille à la lampe de sûreté avant d'y pénétrer avec leurs lampes à feu nu. L'ouvrier qui procédait à cette opération laissa éteindre sa lampe ; il descendit et remonta avec sa lampe à feu nu, qui détermina l'explosion.

DÉPARTEMENT DU GARD.

## de Saint-Jean-de-Valériscle.

(Instituée par décret du 12 novembre 1809.)

Par suite d'une cassure de la houille, le front de taille n'était pas rectiligne : il formait deux gradins, dont l'un était en avance de 2 mètres sur l'autre. Cette disposition a dû favoriser l'accumulation du gaz.

## de Cortes et Sénéchas.

(Instituée par ordonnances royales des 19 octobre 1784 et 3 juillet 1822.)

La mine était grisouteuse : les mineurs étaient munis de la lampe Marsaut, mais jamais on n'avait constaté de fortes proportions de grisou. L'aérage était d'ailleurs bon, assuré par un ventilateur Guibal. L'explosion s'est produite au moment de la descente des ouvriers, à cinq heures du matin. Le dégagement de grisou a dû être subit, et n'a pas duré. La quantité totale de gaz dégagé n'a pas dû dépasser 50 mètres cubes. L'arrêt momentané du ventilateur, pour le graissage, a malheureusement coïncidé avec la descente des ouvriers, et le ralentissement du courant d'air a sans doute contribué à augmenter la teneur en grisou de l'atmosphère de la mine.  
Quant à la cause de l'inflammation, elle n'a pu être déterminée. Mais le fait que nombre de lampes étaient pas fermées à clef, et la présence de clefs dans les poches de quelques-unes des victimes, font croire à une imprudence.  
Diverses mesures de prudence ont été prescrites ; la Compagnie a été invitée à veiller à l'observation des règlements avec plus de rigueur encore que par le passé.



## BASSIN D'ALAIS. — DÉPARTEMENT DU GARD.

## 3. — Concession de Rbbiac et Meyrannes.

(Instituée par décret du 12 novembre 1809.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumu- lation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
17	15 sept. 1888.	Mine de Molières.	1 de ses brû- lures.	"	361	90.986 tonnes.	Forme du chan- tier, qui faisait cloche; peut-être aussi voisinage d'une faille.	Très proba- blement, lan- pe ouverte par la vic- time.	Négligence du chef de chantier qui n'a pas vérifié l'état du chantier à la reprise du travail, et n'a tenu compte de l'observation de l'ouvrier, qui demandait la bonne chauffer.	L'inflammation s'est produite au moment de la reprise des travaux après le repos de midi. L'ouvrier blessé a prétendu qu'il avait cassé le verre de sa lampe d'un coup de pic. Diverses circon- stances tendent à prouver qu'il l'avait ouverte. Peu de temps avant le repas, le maître mineur dans sa visite n'avait reconnu aucune trace de grisou. L'aérage de la mine était satisfaisant.
BASSIN D'AUBIN. — DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON.										
1. — Concession de Lavergne.										
(Instituée par ordonnance royale du 28 février 1831.)										
18	3 mai 1888.	Mine de Campa- gnac.	"	1 légère- ment brûlé.	541	180.469 tonnes.	Chantier en cul-de-sac.	Allumage d'un coup de mine.	"	Dans la matinée de l'accident, le maître mineur et le chef de poste n'avaient pas trouvé de grisou à l'avancement. Mais l'ouvrier avait chargé et tiré le coup de mine sans demander l'autorisation du maître mineur. La Compagnie a été invitée à préparer un règlement sur l'emploi de la poudre et le tirage des coups de mine. Ce règlement a été homologué.
19	2 nov 1888.	Mine de Campa- gnac.	49	2	"	"	Dégagement subit d'une quan- tité énorme de grisou, par un soufflard d'une force extraordi- naire.	Attribuée à l'insuffisance de la lampe Cossot-Du- brulle dans le cas d'un cou- rant d'air aus- si violent.	"	La mine était grisouteuse; l'abondance du gaz dans les traçages des nouveaux étages du fond avait fait abandonner l'aérage naturel, et on avait installé un ventilateur soufflant en 1886. Depuis lors, l'ex- ploitation avait été conduite avec prudence; au moment de la catastrophe, on était près d'achever des travaux entrepris pour opérer la division du courant d'air dans les deux étages grisouteux. Les chan- tiers de ces étages étaient aérés au moyen de gaines, et la totalité du courant passait sur tous les fronts de taille: dans les gaines, la vitesse du courant d'air pouvait dépasser 3 mètres. L'accident se produisit à minuit dans la nuit du 2 au 3 novembre. Dans la journée, les chefs de poste n'avaient rien constaté de suspect. Un soufflard, qui trois mois après la catastrophe donnait encore 18 litres de grisou par seconde, avait dû se déclarer subitement. Le gaz, suivant le courant d'air, a dû s'allumer dans un chantier situé en aval sur une lampe suspendue en face de l'orifice de la gaine, la vivacité du courant ayant dû déterminer la sortie de la flamme à l'extérieur. A ce moment la quantité de grisou répandue dans la mine était considérable: ce qui explique la violence des effets dynamiques, et la quantité de gaz délétères produite. La flamme a dû parcourir 1.700 mètres de galerie. Il a été prescrit, à la suite de l'accident, d'opérer tous les traçages au moyen de galeries jumelles, et d'arrêter les travaux dans les chantiers où la teneur de grisou atteindrait 1 1/2 p. 100. La lampe Mar- saut à rivet de plomb a été adoptée. L'Administration a rappelé aux ingénieurs les inconvénients des lampes Mueseler bâtarde, dont l'usage a, d'ailleurs, été immédiatement abandonné par les exploitants.

## BASSIN D'AUBIN. DÉPARTEMENT DE L'AVEYRON.

## 2. — Concession des Issards.

(Instituée par décret du 11 février 1854)

NOMEROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS	
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes		
							de l'accumu- lation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
20	10 juillet 1888.	Mine des Issards.	"	1 légèrement brûlé.	140	52.343 tonnes.	Montage en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	"	"	À la suite de l'inflammation, la Compagnie décida de remplacer les lampes à feu nu par des lampes Besseler, type réglementaire belge.
21	4 sept. 1888.	Mine des Issards.	"	1 légèrement brûlé.	140	52.343 tonnes.	Chantier en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	"	"	L'approvisionnement de lampes, l'organisation de la lampisterie avaient duré un certain temps; le changement du mode d'éclairage était à la veille d'être accompli quand la seconde flambée se produisit, au voisinage du point où la première s'était produite. Le montage avait été poussé jusqu'à une galerie de niveau afin d'établir l'aérage. Mais entre cette galerie et le mur de la couche, incliné à 35°, restait un coin de charbon, dont on avait organisé l'abatage, par un chantier en cul-de-sac. Durant le travail, le grisou ne s'était pas manifesté. La flambée se produisit pendant qu'on mesurait le cube abattu. Dès le lendemain de l'accident, les lampes de sûreté furent distribuées; un nouveau règlement intérieur fut élaboré; et, en attendant l'installation d'un ventilateur, le foyer d'aérage fut remplacé par un ventilateur à force centrifuge mû par une locomobile.
3. — Concession de Cransac.											
(Instituée par ordonnance royale du 1 <sup>er</sup> février 1831.)											
22	30 août 1889.	Puits n° 1.	"	1 assez grièvement brûlé.	550	190.500 tonnes.	Dégagement de gaz dans un puits en fonçage.	Allumage d'un coup de mine.	Fortuite.	"	Au cours du fonçage, il y avait déjà eu un léger dégagement de grisou, qui avait donné lieu à une flambée, sans accident. Depuis lors, on travaillait à la lampe de sûreté. On décida d'opérer dorénavant le tirage des coups des mines de la surface, au moyen d'une machine à trique.
4. — Concession de Guignès et Cahuac.											
(Instituée par ordonnances royales des 2 janvier 1832 et 8 juillet 1835, et décrets des 14 décembre 1863 et 31 décembre 1878.)											
23	14 août 1888.	de Farcyrès.	"	3 légèrement brûlés.	81	23.427 tonnes.	Montage en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	"	"	Le bas du montage était obstrué par des débris, et le travail avait été abandonné quelques jours. L'explosion se produisit au moment de la reprise, lorsqu'on pénétra de nouveau dans le montage. L'Administration prescrivit diverses mesures de sûreté et la Compagnie fut invitée à préparer un nouveau règlement intérieur pour les quartiers grisouteux de la mine.



## BASSIN DE GRAISSESSAC. DÉPARTEMENT DE L'HÉRAULT.

## 1. — Concession de Boussagues.

(Instituée par ordonnance royale du 4 novembre 1869 et décret du 7 fructidor an XII.)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT			OBSERVATIONS
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes	
							de l'accumu- lation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	18 janv. 1890.	Mine Verrière.	»	1 griève- ment brûlé.	458	72.611 tonnes.	Montage en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	Forçage	Les travaux, entrepris en 1884 et interrompus depuis, avaient été repris à la fin de 1889. L'aérage était naturel. Le chantier où s'est produite la flambée était aéré par diffusion. La mine n'était pas considérée comme grisouteuse. C'est au moment de la reprise du travail, après le repas, que la flambée s'est produite. Les lampes de sûreté ont été substituées aux lampes à feu nu. L'aérage a été amélioré.

## BASSIN DE BRASSAC. DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-LOIRE.

## 1. — Concession de la Taupe.

(Instituée par ordonnance royale du 27 septembre 1870 et décret du 12 mars 1870.)

25	24 sept. 1890.	Mine de la Taupe.	»	1 légière- ment brûlé.	256	87.467 tonnes.	Insuffisance de l'aérage.	Allumage d'un coup de mine.		L'explosion s'est produite dans un travers-bancs en percement, aéré par une simple conduite en tôle, qui avait recoupé le matin même une nouvelle couche charbonneuse. Le chantier a été barré et le travail interrompu, jusqu'à ce qu'on possédât des moyens d'action d'aérage plus énergiques.
----	----------------------	-------------------------	---	---------------------------------	-----	-------------------	------------------------------	-----------------------------------	--	--

## BASSIN D'AHUN. DÉPARTEMENT DE LA CREUSE.

## 1. — Concession d'Ahun-Nord.

(Instituée par ordonnances royales des 19 novembre 1847 et 21 octobre 1848, et décret du 22 février 1854.)

26	7 sept. 1888.	Puits Bourlat.	»	3 brûlés très légè- rement.	643	15.247 tonnes.	Montage en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	Imprudence du chef de poste n'avait pas le chantier lampe de sû- reté	La mine était considérée comme suspecte; le grisou y avait été signalé plusieurs fois, jamais d'une manière continue. Le chantier où s'est produit l'accident était amorcé sur la voie de fond de l'étage de 110 mètres (couche n° 2). Le travail y était interrompu depuis trois jours; c'est au moment de la reprise qu'a eu lieu la flambée. La Compagnie a été invitée à préparer un nouveau règlement, prescrivant des mesures à prendre contre le grisou.
----	------------------	-------------------	---	--------------------------------------	-----	-------------------	---------------------------	--------------------	--	---

## BASSIN DE LA BASSE-LOIRE

## 1. — Concessions

(Instituée par ordonnance royale)

NUMÉROS d'ordre	DATE de l'acci- dent	LIEU de l'acci- dent	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond	PRODUC- TION de l'année	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			tués	blessés			Causes directes		Causes indirectes
							de l'accumu- lation des gaz	de l'inflamma- tion des gaz	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27	12 mars 1888.	Veine Vouzau- Sud. Étage 270.	2	1	110	14.338 tonnes.	Avancement en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	Imprudence de l'une des victimes

## BASSIN DE VOUVANT ET CHANTONNAIS

## 1. — Concessions

(Instituée par ordonnances royales)

28	11 févr. 1890.	Mine du Gouteau.	1	1 griève- ment brûlé.	166	24.520 tonnes.	Région légèrement grisouteuse.	Lampe à feu nu.	Imprudence
----	----------------------	------------------------	---	--------------------------------	-----	-------------------	--------------------------------------	--------------------	------------

## BASSIN D'AUTUN.

## 1. — Concessions

(Instituée par décret)

29	18 janv. 1890.	Mine d'Igor- nay.	4	1 brûlé assez griève- ment.	15	34.440 tonnes.	"	Lampe à feu nu.	Fortuite.
----	----------------------	-------------------------	---	---	----	-------------------	---	--------------------	-----------

## DÉPARTEMENT DE MAINE-ET-LOIRE.

## Désert.

(11 septembre 1842.)

## OBSERVATIONS

11

La veine est légèrement grisouteuse. Une galerie de direction de l'étage 270 avait été poussée en cul-de-sac sur une longueur de 160 mètres. L'aérage, assuré au moyen d'une conduite métallique de 0<sup>m</sup>,35 de diamètre placée en couronne, s'étant trouvé insuffisant, l'avancement avait été suspendu; et on avait repris le fonçage d'une nouvelle cheminée d'aérage vers l'entrée de la galerie. En ce point, l'aérage était bon, et on travaillait à feu nu. Mais un des ouvriers, voulant se servir de quelques planches adossées à l'avancement, s'en fut les chercher sans prendre de lampe de sûreté, malgré l'avis d'un de ses camarades, et détermina l'explosion.

## A. — DÉPARTEMENT DE LA VENDÉE.

## Faymoreau.

(16 février 1831 et 16 janvier 1840.)

Le grisou s'étant déclaré dans un chantier où l'aérage était insuffisant, on l'avait évacué, et on en avait interdit l'accès aux ouvriers. L'un d'eux y pénétra malgré la défense, et détermina l'inflammation du grisou. Les exploitants ont été invités à veiller avec plus de soin à l'observation des règlements intérieurs.

## DÉPARTEMENT DE SAÛNE-ET-LOIRE.

## Champsigny.

(12 décembre 1864.)

La présence du grisou n'avait encore jamais été signalée dans les mines de schistes bitumineux d'Autun. Une légère flambée, produite en 1887, avait été attribuée à l'infiltration d'eaux ammoniacales. Le voisinage de nombreuses failles peut avoir concouru au dégagement du gaz, qu'un ouvrier a allumé en explorant la couronne d'un travers-bancs. L'usage de lampes de sûreté a été prescrit à la suite de l'accident.



**BULLETIN**  
**DES ACCIDENTS ARRIVÉS DANS L'EMPLOI DES APPAREILS A VAPEUR**  
 PENDANT L'ANNÉE 1890. — (Résumé résultant de l'étude des dossiers administratifs.)

614 BULLETIN DES ACCIDENTS ARRIVÉS DANS L'EMPLOI

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
11 janv.	Tramways (Dépôt), à Maisons-Neuves commune de Lyon (Rhône).	Récipient d'eau et de vapeur d'une locomotive sans foyer, système Franco, corps cylindrique en fer de 1 <sup>m</sup> ,22 de diamètre intérieur, 1 <sup>m</sup> ,92 de long (tôle de 14 <sup>mm</sup> ) terminé par 2 fonds emboutis sous une flèche de 0 <sup>m</sup> ,165 (épaisseur des tôles: avant 20 <sup>mm</sup> ; arrière 16 <sup>mm</sup> ). Aucune rivure: le corps cylindrique est soudé suivant une génératrice; les fonds soudés à ce corps, la surface de soudure se confondant à très peu près avec le prolongement de la surface intérieure du corps cylindrique. Capacité 2.686 litres. Timbre 17 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 285. Construit en 1888. Epreuve légale le 17 déc. 1888. Mise en service de la locomotive autorisée, le 26 avril 1889. Pas de soupapes; muni seulement d'un manomètre et de 3 robinets de jauge. Les chaudières qui l'alimentaient étaient également timbrées à 17 <sup>ks</sup> .	L'explosion s'est produite pendant que l'appareil était en chargement, sous une pression de 12 à 13 <sup>ks</sup> . Le fond d'arrière s'est séparé du corps en un seul morceau, par une déchirure circulaire très nette, dirigée suivant le raccordement angulaire du corps cylindrique et du fond, parfois en plein tôle; le corps cylindrique et le fond d'avant ont été projetés à 50 mètres. Effets dynamiques considérables.	Deux personnes tuées quatre blessées légèrement. Dégâts matériels importants.	Système de soudage entre la virole et le fond du récipient, qui était défectueux pour l'application à l'espèce dont il s'agit. Ce système avait eu pour effet de créer, à la jonction de ces pièces, à l'intérieur, un angle rentrant vif correspondant à la soudure, et dans lequel cette dernière était incomplète. Les effets de ce défaut de construction se sont naturellement aggravés peu à peu, par suite du mouvement de soufflet des fonds, et ont déterminé, à la longue, la séparation de la virole et de l'un de ces fonds.
15 févr.	Fabrique de caoutchouc, à Marseille (Bouches-du-Rhône).	Récipient servant à vulcaniser le caoutchouc: cylindre horizontal en tôle de fer de 1 <sup>m</sup> ,50 de diamètre, terminé par deux cornières, auxquelles étaient assemblés, à l'arrière un fond plat, à l'avant un court anneau en fonte, terminé par un rebord circulaire plat de 1 <sup>m</sup> ,72 de diamètre extérieur contre lequel venait s'appliquer un couvercle de même diamètre, constitué par une tôle de 18 <sup>mm</sup> d'épaisseur, plane sur son pourtour, et emboutie dans sa partie centrale sous	Le 11 février, une fuite s'était déclarée au joint, sous la pression de 3 <sup>ks</sup> ,5. Pendant qu'on construisait un autre couvercle de 20 <sup>mm</sup> d'épaisseur, l'ancien couvercle, redressé, avait été remis en service. Par suite d'une nouvelle déformation, qui a porté sa flèche de 50 à 138 <sup>mm</sup> suivant son diamètre vertical, il a glissé sur le rebord en fonte et sous les écrous de serrage; trois boulons en haut et trois boulons en bas ont été	Un ouvrier tué; cinq personnes blessées dont une grièvement.	1° Rigidité insuffisante du couvercle; 2° insuffisance des boulons d'attache, comme nombre et dimensions.
16 févr.	Fabrique de bonneterie, à Troyes (Aube).	Chaudière type Collet, comprenant cinq éléments de chacun deux files verticales de 7 tubes vaporisateurs ayant 2 <sup>m</sup> ,50 de long et 100 <sup>mm</sup> de diamètre extérieur. Capacité 2 300 litres. Timbre 12 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 309. Construite en mai 1889. Epreuve légale le 11 juin suivant. Montée dans l'établissement peu de temps après.	Après une journée de chômage (démancle), employée à nettoyer quelques tubes, on venait de remettre en feu, lorsque le chauffeur remarqua des fuites de vapeur à l'avant, au second tube à partir du haut de la seconde file verticale à partir de la droite. Il voulut les arrêter en serrant à chaud les écrous du long boulon de ce tube, et il pratiqua cette opération, assisté par le mécanicien et son aide. De plus, il frappa l'extrémité du tirant avec le dos de sa clef. Le boulon se rompit à l'arrière dans sa partie fileté, et le bouchon, que maintenait l'écrou, fut projeté avec violence. Le boulon avait subi, de longue date, de violents efforts de torsion; les mises, mal soudées au laminoir, avaient joué l'une par rapport à l'autre; il en résultait un chevauchement des filets de vis. La surface de rupture se composait de deux sections transversales réunies par un plan parallèle aux fibres. Le métal était de qualité satisfaisante. Epreuve de 177 <sup>mm</sup> . Charge de rupture 36 <sup>ks</sup> par millim. carré. Allongement 25 p. 100.	Le chauffeur, le mécanicien et son aide, mortellement brûlés. Dégâts matériels peu importants.	Imprudence des victimes, qui ont eu le tort, contrairement à une instruction affichée dans la chambre de chauffe, de serrer violemment à chaud le long boulon qui s'est rompu. La rupture a été favorisée par la soudure imparfaite des mises.

DES APPAREILS A VAPEUR PENDANT L'ANNÉE 1890. 615

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
20 févr.	Fabrique d'articles de cave, à Saumur (Maine-et-Loire).	Chaudière cylindrique horizontale, avec dôme de vapeur, et deux bouilleurs inférieurs, reliés au corps principal par quatre communications hautes. Capacité 2.201 litres. Timbre 6 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 141. Epreuve légale, le 8 septembre 1883. Achetée par le propriétaire actuel, en 1887 : le propriétaire précédent ne s'en était pas servi.	La pression s'étant abaissée à 2 <sup>ks</sup> à la suite d'alimentation à l'eau froide, le chauffeur arrêta la machine. La pression étant remontée à 3 <sup>ks</sup> , le chauffeur allait remettre en route lorsque l'explosion s'est produite à la tôle de coup de feu du bouilleur de gauche. Rupture suivant la génératrice inférieure, sur une longueur de 0 <sup>m</sup> ,80; bûillement maximum 0 <sup>m</sup> ,12. La déchirure commençait à 0 <sup>m</sup> ,16 de la rivure antérieure. Combustible enflammé projeté dans l'atelier. Massif démoli en partie. Commencement d'incendie rapidement éteint. La tôle, dont l'épaisseur initiale était de 8 <sup>mm</sup> , était amincie à 5 <sup>mm</sup> sur les lèvres de la déchirure. Son grain paraissait grossier. Elle ne présentait aucune teinte dénotant une surchauffe.	Le chauffeur et trois tourneurs de bonnets légèrement brûlés.	L'enquête n'a pu déterminer avec certitude la cause de cet accident. L'hypothèse la plus probable est qu'il s'était formé au coup de feu du bouilleur de gauche, et à son intérieur, une fissure qui s'est propagée peu à peu et a fini par déterminer la rupture. La qualité de la tôle n'a peut-être pas été étrangère à la production de cette fissure, et son amincissement a également favorisé l'accident.
20 mars.	Fabrique de boutons et boucles, à Paris.	Chaudière cylindrique horizontale, avec dôme de vapeur, et deux bouilleurs inférieurs de 0 <sup>m</sup> ,50 de diamètre et 10 <sup>mm</sup> d'épaisseur, reliés au corps principal par quatre communications hautes. Capacité 2.974 litres. Timbre 5 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 172. Construite en 1871. Dernière épreuve le 27 novembre 1882. Le dôme de vapeur remplacé en 1885.	Une déchirure s'est produite au bouilleur de gauche, dans la région du coup de feu, sur 0 <sup>m</sup> ,75 de longueur. Bûillement maximum 0 <sup>m</sup> ,15. Bruit peu intense. Presque pas d'effets dynamiques. Les tôles présentaient des traces de surchauffe : sur le bouilleur de gauche tout entier, sur la partie supérieure du bouilleur de droite, et sur le corps cylindrique, dans le premier carneau de retour de flammes situé à gauche, entre le fond postérieur et le cuisard le plus voisin.	Chauffeur très légèrement brûlé. Dégâts matériels presque nuls.	Surchauffe résultant d'un défaut prolongé d'alimentation.
21 avril.	Équarrissage, à Saires-la-Verrerie (Orne).	Chaudière cylindrique horizontale, avec dôme de vapeur, et deux bouilleurs inférieurs de 0 <sup>m</sup> ,50 de diamètre. Chaque bouilleur était relié au corps principal par une communication haute. Capacité 3.621 litres. Timbre 5 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 185. Epreuve légale en 1869. Provenance inconnue.	La tôle de coup de feu du bouilleur de gauche s'est divisée, dans sa partie inférieure, en plusieurs fragments. Ce bouilleur a d'ailleurs cassé en deux vers la gauche, et a été projeté vers la gauche, tandis que le corps cylindrique et le bouilleur de droite étaient projetés vers la droite. Effets dynamiques importants. Les cassures des tôles avaient un aspect cristallin. Le métal, d'une épaisseur primitive de 10 <sup>mm</sup> , avait subi un amincissement général qui avait réduit son épaisseur à 3 <sup>mm</sup> et même moins.	Chauffeur tué. Dégâts matériels considérables.	État très défectueux de l'appareil, dont les bouilleurs étaient amincis à l'intérieur sur une grande partie de leurs tôles de coup de feu.



DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
23 avril.	Fabrique d'essieux, à Bachant (Nord).	Chaudière cylindrique verticale avec foyer intérieur de même forme, traversé par trois bouilleurs horizontaux disposés à 90° l'un au-dessus de l'autre, et surmonté d'une cheminée disposée dans l'axe de l'appareil. Un mince revêtement en briques servait de calorifuge. Capacité 2.635 litres. Timbre 6 <sup>es</sup> . Produit caractéristique 170. Date de la construction inconnue. Dernière épreuve le 12 avril 1880.	La consommation de vapeur avait été réduite depuis dix minutes, et avait cessé depuis cinq minutes, lorsque la chaudière a été projetée en l'air, à 20 <sup>m</sup> de hauteur, pour retomber à une distance horizontale de 16 <sup>m</sup> de son emplacement primitif, après avoir détruit la toiture et trois des murs du bâtiment où elle se trouvait. Dans toute sa partie inférieure, la tôle du foyer était fortement rongée par la rouille sur sa face non baignée par l'eau; sur une des rivures verticales l'épaisseur était réduite à 1 <sup>mm</sup> ,5. Ce point a été l'origine de trois lignes de rupture, dont l'une s'est développée le long de la rivure verticale et les deux autres dans des directions obliques, pour se propager ensuite suivant des génératrices.	Un ouvrier légèrement blessé. Dégâts matériels assez importants.	Mauvais état de l'appareil. Défaut d'entretien.
6 mai.	Fabrique de vermicelle, à Toulouse (Haute-Garonne).	Chaudière tubulaire, cylindrique, horizontale, à foyer amovible, surmontée d'un dôme de vapeur. Capacité 593 litres. Timbre 6 <sup>es</sup> . Produit caractéristique 38. Construite en 1871, avec tube-foyer traversant complètement la chaudière, venant s'assembler au fond postérieur par des boulons, et avec retour de flammes par 10 tubes raccordés au tube-foyer au moyen de coudes dans le voisinage du fond d'arrière. Transformée, en 1879, par adjonction d'une boîte à feu et fermeture du trou par lequel le tube-foyer débouchait dans le fond arrière, ainsi que d'une ouverture servant à nettoyer les tubes, au moyen de deux plaques rivées, l'une à l'extérieur, l'autre à l'intérieur. Epreuve légale, le	On venait d'alimenter, le niveau était à mi-hauteur du tube de verre et la pression était de 3 <sup>es</sup> , lorsque le fond d'arrière se détacha avec une détonation comparable à un coup de canon. Ce fond fut projeté dans les ateliers; la chaudière et la machine furent lancées dans la direction opposée, d'où, déplacement du matériel, portes arrachées, etc.	Trois personnes blessées ou brûlées, dont une grièvement. Dégâts matériels considérables.	L'explosion est due à l'existence d'un sillon profond de corrosion, qui avait pris naissance dans le congé circulaire du fond plat d'arrière, et s'était développé de manière à ne plus laisser à la tôle, sur une assez grande longueur, qu'une épaisseur d'environ 1 <sup>mm</sup> , et même moins. La formation et l'extension de ce sillon ont été la conséquence de la disposition vicieuse du fond plat qui, à la suite de la réparation de 1879, ne s'est plus trouvé entretoisé, et dont l'épaisseur primitive, beaucoup trop faible (8 <sup>mm</sup> pour un diamètre de 0 <sup>m</sup> ,75), se prêtait à des mouvements de soulèvement qui devaient, à la lon-
14 mai.	Distillerie, à Remy (Oise).	4 août 1879. Remplacement de la plaque tubulaire d'avant, 22 décembre 1881. Pose de tubes neufs en fer, 23 mai 1882. Pas d'épreuve nouvelle. Récipient, système Kruger, affecté à la cuisson du maïs sous pression, au contact de l'acide chlorhydrique étendu. Corps cylindrique vertical en cuivre rouge, formé de deux tôles rivées, de 2 <sup>m</sup> de haut et 1 <sup>m</sup> ,05 de diamètre, assemblé par des rivures à deux fonds de même métal, emboutis sous des fleches de 0 <sup>m</sup> ,08 avec rayons de raccordement de 0 <sup>m</sup> ,03. Epaisseur des tôles de cuivre 0 <sup>m</sup> ,007. Capacité de l'appareil 1.753 litres. Timbre 4 <sup>es</sup> ,5. Dimensions constitutives des rivures: diamètre des rivets 20 <sup>mm</sup> ; espacement d'axe en axe 45 <sup>mm</sup> ; demi-recouvrement 38 <sup>mm</sup> . Cet appareil était en relation avec la conduite de vapeur venant des chaudières par un branchement pourvu d'un robinet, qu'on manœuvrait d'un plancher supérieur à l'aide d'une tige verticale terminée par un levier. Il était muni d'un robinet de vidange, d'un robinet d'air, d'une soupape de sûreté et d'un manomètre. Date de la construction inconnue.	Deux appareils identiques, branchés sur la même conduite de vapeur, fonctionnaient alternativement. L'appareil crevé était en pression depuis quinze minutes, son robinet d'air étant fermé, le robinet de vapeur de l'autre appareil étant aussi fermé. L'explosion a été précédée d'un sifflement qui a duré quelques secondes. Rupture du fond inférieur suivant la rivure circulaire qui le réunissait au corps principal. Rupture du fond supérieur en pleine tôle, dans le congé formé par l'emboutissage. Rupture de la virole suivant une ligne sinuëuse en dehors des rivures. Le fond supérieur, projeté en l'air, a tué un ouvrier et démolit le plancher de manœuvre. La tôle était saine le long des cassures.	Un ouvrier tué, un autre grièvement brûlé. Dégâts matériels considérables.	La cause n'a pas pu être déterminée exactement. Toutefois cet appareil était faiblement constitué en considération des efforts auxquels il était soumis; notamment, ses fonds étaient trop plats, eu égard à leur diamètre et à leur épaisseur; leur congé était de rayon trop faible; et dans ces conditions l'appareil a bien pu se rompre en marche normale, par suite de défaut de solidité.
17 mai.	Bateau à vapeur, à Marseille (Bouches-du-Rhône).	Chaudière cylindrique de 1 <sup>m</sup> ,80 de diamètre, horizontale, avec tube-foyer intérieur, boîte à feu et retour de flammes tubulaire; surmontée d'un réservoir de vapeur ayant la forme d'un cylindre vertical, terminé par deux fonds emboutis. Capacité totale 3.750 litres. Timbre 4 <sup>es</sup> ,250. Desservait les treuils. Alimentée par un petit-cheval, installé dans la chaufferie. Construite en 1880. Epreuves légales, le 9 novembre 1880 et en dernier lieu le 22 mai 1889.	Pendant un arrêt du treuil, ordonné par le second mécanicien parce que la pompe alimentaire ne fonctionnait pas, l'explosion s'est produite, très violente. Rupture de l'enveloppe en un grand nombre de fragments, projetés à plus de 100 mètres. La tôle présentait à l'intérieur des corrosions qui, en certains points, avaient réduit l'épaisseur, primitivement de 13 <sup>mm</sup> , à 5 <sup>mm</sup> et même 3 <sup>mm</sup> ,7. Le tube-foyer et la boîte à feu n'ont subi aucune avarie ni déformation. Des essais à la traction ont donné: rupture 20 <sup>kg</sup> ,5 et 37 <sup>kg</sup> ,7 en long, 30 <sup>kg</sup> et 23 <sup>kg</sup> ,4 en travers; allongement 3 1/4 et 2 p. 100 en long, 3 1/4 et 2 3/4 p. 100 en travers (sur 0 <sup>m</sup> ,20 de longueur utile).	Huit ouvriers blessés dont trois mortellement. Dégâts matériels assez considérables.	État défectueux de l'enveloppe: les tôles étaient fatiguées, de nature aigre, et fortement amincies à certaines places par des corrosions locales; ce qui explique qu'elles aient cédé lorsque la pression s'est élevée accidentellement dans la chaudière, tout en restant notablement au-dessous de la limite fixée par le timbre.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSEQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
31 mai.	Manufacture de feutres et chapeaux, à Paris.	Chaudière horizontale à deux bouilleurs de 0 <sup>m</sup> ,65 de diamètre, réunis au corps principal par quatre communications. Capacité 14 <sup>m</sup> 3. Timbre 6 <sup>e</sup> s. Produit caractéristique 896. Deux indicateurs de niveau consistant en un flotteur avec sifflet d'alarme, et une clarinette portant un tube de verre et deux robinets étagés. Déclarée en 1889. Pas de répreuve depuis lors.	Explosion survenue le matin, une heure après la mise en activité des feux, couverts la veille au soir: le bouilleur de droite, épais de 9 <sup>m</sup> ,5, s'est ouvert en pleine tête de coup de feu sur une longueur de 1 <sup>m</sup> ,20. La déchirure, commençant à 1 <sup>m</sup> ,50 de la tête, avec bûillement maximum de 120 <sup>mm</sup> , était dirigée suivant une génératrice dans la partie basse du bouilleur, un peu sur la gauche. Pas d'effets dynamiques: léger affouillement de la maçonrie. La pompe ne fonctionnait pas. La vanne de la conduite alimentaire de l'injecteur était fermée. Dans le bouilleur intact, la branche de la fourche d'alimentation était émergée. Sous la tôle crevée, trace d'un coup de feu: sur les lèvres de la déchirure, étirage du métal; dans la partie altérée, criques. Vers la génératrice inférieure, paille normale aux génératrices, sur la face inférieure.	Chauffeur mortellement brûlé. Dégâts matériels très peu importants.	Coup de feu résultant d'un manque d'eau. L'état du bouilleur crevé, et notamment la paille qu'il présentait à sa partie inférieure, permettent de penser que ce manque d'eau a peut-être été lui-même la conséquence d'une fuite prolongée par une blessure de la tôle, dont l'agrandissement aurait occasionné l'explosion.
31 mai.	Minoterie, à Baillou (Nord).	Chaudière cylindrique horizontale, à deux bouilleurs inférieurs. Capacité 9,245 litres. Timbre 5 <sup>e</sup> s. Produit caractéristique 536. Construite en 1852. Installée dans la minoterie en 1880. Dernière épreuve, le 25 juin 1880.	On avait marché à niveau bas pendant plusieurs jours, puis on avait procédé, deux jours avant l'explosion, à une réparation de la pompe alimentaire. Néanmoins, le niveau de l'eau dans le tube de verre était resté invisible. La rupture s'est produite à la tôle de coup de feu du bouilleur de gauche, le long de la génératrice inférieure sur 1 <sup>m</sup> ,60 de long avec bûillement maximum de 5 <sup>m</sup> ,40. Autour de la déchirure, la tôle	Chauffeur grièvement brûlé et blessé. Dégâts matériels assez importants.	Surchauffe de la tôle de coup de feu du bouilleur de gauche. Cette surchauffe a été la conséquence d'une accumulation exceptionnelle de boues résultant de leur concentration dans les bouilleurs, par suite de la baisse du niveau de l'eau antérieurement à l'accident; lors du dernier nettoyage, on avait introduit comme désincrustant 100 kilogr. de pommes de terre et de betteraves.
31 mai.	Fabrique de cartons, à Jallieu (Isère).	Réchauffeur installé au-dessus d'un autre appareil de même nature entre deux chaudières, auxquelles ce système commun était relié par des tuyaux pourvus de robinets. Le réchauffeur supérieur se composait de quatre viroles d'une seule tôle chacune, assemblées entre elles ainsi qu'à deux têtes en fonte. Longueur 7 <sup>m</sup> ,55. Diamètre intérieur 0 <sup>m</sup> ,59. Épaisseur primitive des tôles 10 <sup>mm</sup> . Capacité 2,134 litres. Timbre 5 <sup>e</sup> s, 500. Construit en 1865 ou 1866. Pas de réparations depuis lors. Épreuve à l'origine pour le timbre de 5 <sup>e</sup> s; réépreuves sur place, pour le timbre de 5 <sup>e</sup> s, 500, les 3 novembre 1880 et 17 mai 1890.	Le travail ayant été interrompu à huit heures du matin, on avait baissé le registre, couvert le feu des deux chaudières, et fermé leurs robinets de communication avec les réchauffeurs. A deux heures, au moment de la remise en marche, le chauffeur remit la pompe alimentaire en train, en oubliant d'ouvrir l'un de ces robinets. La déchirure se produisit à la troisième virole sur une longueur de 0 <sup>m</sup> ,35, suivant une génératrice, au-dessus de la rivure longitudinale et à peu de distance, et se propagea en haut et en bas dans une direction perpendiculaire à cette rivure. L'aspect de la cassure était sain. La région où elle s'est propagée présentait à l'extérieur des corrosions profondes, qui avaient réduit l'épaisseur de la tôle à 1 <sup>mm</sup> ,5; pourtant l'appareil avait résisté, 14 jours auparavant, à l'épreuve sous la pression de 11 <sup>e</sup> s.	Dégâts matériels insignifiants.	Fonctionnement de la pompe d'alimentation alors que les robinets de communication des réchauffeurs avec les chaudières étaient fermés. Cette fermeture a transformé les réchauffeurs en un véritable vase clos dans lequel le jeu de la pompe a donné lieu à une pression de plus en plus élevée et qui a d'autant plus rapidement atteint la limite de résistance de l'une des tôles qu'elle était considérablement amincie par des corrosions extérieures.
16 jui II.	Fabrique de bonneterie, à Troyes (Aube).	Réchauffeur, commun ainsi qu'un autre appareil de même nature, à deux chaudières à bouilleurs. La pompe d'alimentation refoule l'eau dans le premier réchauffeur en soulevant un clapet de retenue, de là dans le deuxième réchauffeur établi au-dessus; de là enfin dans un tuyau qui se divise en deux branches horizontales correspondant aux deux chaudières: sur chacune de ces branches se trouve une soupape qui peut fonctionner comme clapet battant, et qu'on peut aussi fermer au moyen d'une vis. Timbre des chaudières et des réchauffeurs 5 <sup>e</sup> s. Dernière épreuve le 22 novembre 1881.	La chaudière de gauche était seule en feu. La veille on avait profité d'un chômage pour nettoyer les réchauffeurs, et le chauffeur avait oublié d'ouvrir, au moment de l'allumage, la soupape qu'il avait fermée au moyen de sa vis, pendant le nettoyage. Le réchauffeur inférieur s'est rompu suivant la rivure longitudinale de sa quatrième virole, sur une longueur de 0 <sup>m</sup> ,90, et la vapeur s'est répandue dans une pièce de débarras.	Avarie à l'appareil.	1 <sup>o</sup> Interception intempestive du tuyau reliant le réchauffeur supérieur au corps principal de la chaudière en activité; 2 <sup>o</sup> élévation de pression produite dans le vase clos complètement rempli d'eau ainsi constitué, soit par le jeu de la pompe d'alimentation, soit même seulement par la dilatation du liquide qui y était contenu sous l'action de la chaleur. L'accident eût été évité par l'existence d'une soupape de sûreté sur les réchauffeurs.



DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
21 juill.	Scierie mécanique, à Saint-Onon (Seine).	Chaudière cylindrique verticale, type Rikkers : foyer cylindrique vertical, terminé par une plaque tubulaire au centre de laquelle s'élève une cheminée, et d'où pendent 24 tubes bouillants en U, orientés suivant des plans verticaux passant par l'axe et présentant un diamètre décroissant de 84 <sup>mm</sup> (extrémité la plus éloignée de l'axe) à 50 <sup>mm</sup> (extrémité la plus voisine). Douze tubes ont des branches rectilignes, les douze autres ont une forme renflée du côté de la branche intérieure. Ces tubes, en tôle de cuivre repliée et brasée sur elle-même, constituent un faisceau propre à chicaner les gaz. Capacité 1 <sup>m</sup> 3,370. Timbre 6 <sup>ts</sup> . Produit caractéristique 88. Construite en 1882. En 1886, réparation à la suite d'un coup de feu (pièces de cuivre posées par brasure à plusieurs tubes), suivie d'une épreuve légale le 9 septembre 1886.	Un des tubes en U de forme renflée, qui avait été réparé, et portait quatre pièces chevauchant les uns sur les autres, s'est crevassé sur une longueur de 115 <sup>mm</sup> à l'origine du coude, dans la branche la plus rapprochée de l'axe de la chaudière, suivant une ligne qui paraît correspondre à la fois à la soudure primitive et à la région d'encollage de l'un des bords d'une des pièces ci-dessus. A partir des deux extrémités de cette crevasse, le métal s'est déchiré suivant deux sections droites sur 60 <sup>mm</sup> de développement, formant ainsi une enlure de 115 <sup>mm</sup> sur 60 <sup>mm</sup> , qui s'est rabattue vers l'extérieur. Cette partie portait une bosse présentant trois crevasses, probablement antérieures à la rupture. De part et d'autre de ce tube, des traces de brûlure ont été découvertes sur quatre tubes de chaque côté.	Deux ouvriers grièvement brûlés. Pas de dégâts matériels.	Surchauffe par manque d'eau, résultant d'un défaut d'alimentation.
31 juill.	Bateau à vapeur, à Toulon (Var).	Chaudière système Terme et Déharbe, composée de trois faisceaux de 23 tubes chacun, correspondant à un même nombre d'éléments verticaux. Les collecteurs, situés en avant, communiquent par le haut avec un réservoir où se trouve le niveau normal de l'eau. En arrière, des boîtes réunissent trois par trois les tubes inclinés en sens inverses, sauf deux tubes de coup de feu qui sont réunis par un collecteur qui fait communiquer les collecteurs avec le distributeur d'alimentation. Celui-ci est relié au réservoir par un tuyau vertical de retour d'eau. Les tubes sont en fer (0 <sup>m</sup> ,10 de diamètre extérieur, 4 <sup>mm</sup> d'épaisseur). Ils se terminent par des renforts coniques servant à faire les joints. Pour cela, ils présentent à chaque extrémité deux oreilles opposées, percées chacune d'un trou, où s'accroche l'ancre d'un boulon qui maintient à la fois le joint du tube avec la boîte de raccord ou le collecteur correspondant, et celui du tampon de nettoyage, sur lequel appuie l'écrou, avec la même boîte ou le même collecteur. Timbre 10 <sup>ts</sup> . Dernière épreuve, le 24 avril 1890.	Des fuites d'eau s'étant déclarées au tampon d'un tube de la rangée inférieure, peu de temps après l'allumage des feux, le mécanicien avait essayé sans succès de les arrêter en serrant le boulon à ancre qui maintenait ce tampon. Peu de temps après, le boulon s'étant rompu, le tampon fut légèrement déplacé en avant. Le manomètre ne marquait que 1 <sup>ts</sup> .	Deux mécaniciens grièvement brûlés.	L'enquête n'a pu déterminer avec certitude la cause de l'accident ; le bateau n'étant pas encore livré au service, la Compagnie n'avait pas cru devoir prévenir immédiatement la commission de surveillance, et celle-ci n'a, dès lors, procédé à l'enquête que longtemps après. L'explosion peut, toutefois, être attribuée, soit au serrage à chaud,
4 août.	Teinturerie, à Mouy (Oise).	Chaudière cylindrique horizontale, avec deux bouilliers inférieurs et dôme de vapeur. Capacité 13 <sup>m</sup> 3,200. Timbre 6 <sup>ts</sup> . Produit caractéristique 844. Date de la construction et origine inconnues. Dernière épreuve le 9 juin 1883.	Le lendemain d'un nettoyage, le bouillier de droite s'est rompu au coup de feu, suivant une crevasse, au milieu d'une ampoule de 0 <sup>m</sup> ,45 de long sur 0 <sup>m</sup> ,22 de large, avec bombement de 0 <sup>m</sup> ,035. Par suite de la perte d'une goupille intérieure, l'enclenchement du sifflet d'alarme était démonté.	Avarie à l'appareil.	Manque d'eau occasionné par une vidange de la chaudière. Accident imputable à la négligence du chauffeur, qui avait oublié de bien fermer le robinet de vidange, et au défaut de fonctionnement du sifflet d'alarme.
6 août.	Filature de bourre de soie, à La Croix-aux-Mines (Vosges).	Chaudière Babcock et Wilcox, comprenant deux corps cylindriques supérieurs horizontaux (longueur 0 <sup>m</sup> ,24 ; diamètre intérieur 0 <sup>m</sup> ,914 ; épaisseur 16 <sup>mm</sup> ), et 96 tubes inclinés vers l'arrière (longueur entre boîtes 4 <sup>m</sup> ,88 ; diamètre intérieur 0 <sup>m</sup> ,094 ; épaisseur 4 <sup>mm</sup> ), disposés en quinconce, et assemblés, en 12 éléments verticaux, à deux séries de 12 boîtes de communication de forme ondulée. Les 12 boîtes d'avant sont fermées par le bas, et réunies aux cylindres supérieurs, par groupes de 6, au moyen de 12 tubes courts. Les 12 boîtes d'arrière sont réunies aux mêmes cylindres par 12 tubes longs, et par leur partie inférieure, à un collecteur de dépôts, cylindrique, transversal (longueur 2 <sup>m</sup> ,13 ; diamètre intérieur 0 <sup>m</sup> ,445 ; épaisseur 40 <sup>mm</sup> ), au moyen de 12 tubes courts. Diamètre intérieur des	Pendant les essais à chaud qui ont suivi le montage, la pression étant de 14 <sup>ts</sup> , le collecteur a glissé sur les tubes de raccord auxquels il était suspendu, et la chaudière s'est vidée violemment. Les petits tubes étaient intacts. Ils portaient extérieurement l'empreinte des bords supérieurs des ouvertures du collecteur. A l'intérieur, l'empreinte des bords supérieurs des galets du Dudgeon était visible sur tous les tubes, l'empreinte des bords inférieurs était visible pour six tubes, contre lesquels les bords inférieurs des galets étaient restés, pendant le mandrinage, au-des-	Un chauffeur, un contremaître et un monteur mortellement brûlés. Dégâts matériels peu considérables.	En premier lieu, vice de construction consistant dans la conicité ouverte vers l'extérieur des parois en fonte alésées des ouvertures du collecteur, disposition qui était d'autant plus dangereuse, en l'absence de tout moyen spécial de consolidation des joints de cette pièce, que la nature peu malléable du métal constituant ce collecteur n'était pas favorable à la solidité des joints opérés sur lui. En second lieu, défaut de montage ayant consisté dans un réglage défectueux de l'appareil Dudgeon pour le mandrinage de plusieurs tubes de raccord sur le collecteur de dépôts. De plus, la sécurité a été diminuée par

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
6 août. (suite).	Filature de bourre de soie. (Suite.)	tubes de raccord 0 <sup>m</sup> ,094; épaisseur 4 <sup>mm</sup> . Une murette perpendiculaire au faisceau, et traversée par les tubes, oblige les flammes à décrire une course sinueuse; le collecteur est protégé par une seconde murette. Toutes ces pièces sont en acier doux d'Ecosse, sauf le collecteur qui est en fonte. Tous les assemblages ont été faits au moyen d'un appareil Dudgeon à trois galets cylindriques à bords arrondis de 31 <sup>mm</sup> ,5 de diamètre et 27 <sup>mm</sup> de hauteur, dont 24 <sup>mm</sup> pour la partie droite. Des étriers soutenus par des traversés et des montants en fer servent de supports aux cylindres supérieurs auxquels tout le reste de la chaudière est suspendu. Le montage commence par le collecteur de dépôts. Capacité 12 <sup>m</sup> 3,584. Surface de chauffe 172 <sup>m</sup> 2. Timbre 16 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 1,296. Construite en 1890. Déclarée le 8 juillet 1890 après épreuve légale du 7 juillet, sous pression de 22 <sup>ks</sup> ; le collecteur étant encore supporté par les cales en bois disposées pour le montage.	sus des bords inférieurs des parois en fonte contre lesquelles devait se faire l'expansion.		le fait du calage du collecteur pendant l'épreuve, dont les résultats ont été faussés pour ce motif.
22 août.	Battage de grains, à Azay-sur-Thouet (Deux-Sèvres).	Chaudière de locomobile, système Renault, composée d'un corps cylindrique horizontal, avec tube-foyer intérieur et 4 tubes de retour de flamme en cuivre. Du côté opposé à la cheminée, dôme cylindrique vertical, contenant le piston, le cylindre à vapeur et sa plaque de fondation. Ce dôme est fermé à sa partie supérieure par un plateau en fonte de 30 <sup>mm</sup> d'épaisseur, traversé par la tige du piston et fixé sur une collerette en fonte rivée à la virole du dôme au moyen de 11 prisonniers de 18 <sup>mm</sup> de diamètre: serrage du joint au moyen d'écrous qui s'appuient sur la face supérieure du plateau. Capacité totale 424 litres. Timbre 16 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 27. Construite en 1863. Dernière épreuve, le 12 juillet 1887. Changement de propriétaire en 1887. Réparation du piston à vapeur, ayant nécessité le démontage et le remontage du joint supérieur du dôme, le 18 ou 19 août 1890.	Le plateau supérieur du dôme a été lancé en l'air, avec le piston, le cylindre et ses accessoires, tandis que l'arbre et les volants étaient projetés en arrière de l'appareil: la machine tournait à faible vitesse depuis 10 à 15 minutes. Le joint du plateau sur la collerette supérieure avait cédé; sur les onze prisonniers, huit ont été cassés transversalement; deux autres ont eu leurs écrous rompus, et sont restés adhérents à la chaudière, le dôme n'ayant été détaché que par arrachement du plateau.	Chauffeur mortellement brûlé. Avaries importantes à l'appareil.	Serrage excessif des boulons servant à maintenir le plateau supérieur du dôme de vapeur; ce serrage, faisant travailler ces boulons au delà de leur limite d'élasticité, a été la cause de leur rupture sous l'action de la pression de la vapeur.
7 sept.	Bateau à vapeur, à Toulon (Var).	Chaudière, système Terme et Déharbe. (Voir ci-dessus l'accident du 31 juillet survenu au même appareil.)	A l'assemblage placé à la partie la plus basse du collecteur du milieu dans le plan vertical médian de la chaudière, une des oreilles de tube a été arrachée sous l'action de l'une des extrémités de l'ancre du boulon de serrage. Le tampon de nettoyage, rendu libre, a été projeté en avant; et l'eau et la vapeur, ne trouvant pas une issue suffisante vers la cheminée, se sont répandues dans la chambre de chauffe.	Deux ouvriers mortellement brûlés.	Excès de serrage du boulon, à cause de la difficulté d'obtenir un joint complètement étanche; il s'est ainsi produit, de chaque côté du portage de l'extrémité de l'ancre, des fissures qui, s'étant aggravées avec le temps, ont fini par déterminer la rupture complète.
14 sept.	Manège forain, au Vigan (Gard).	Chaudière d'une petite locomotive, composée de deux caisses plates faisant office de bouilleurs, disposées l'une au-dessus de l'autre et réunies par 4 tubes de 28 <sup>mm</sup> de diamètre. Dimensions de la caisse inférieure: longueur 0 <sup>m</sup> ,76; largeur 0 <sup>m</sup> ,445; hauteur 0 <sup>m</sup> ,028. Epaisseur de la tôle 4 <sup>mm</sup> . Dimensions de la caisse supérieure: longueur 0 <sup>m</sup> ,44; largeur 0 <sup>m</sup> ,30; hauteur 0 <sup>m</sup> ,028. Epaisseur de la tôle 3 <sup>mm</sup> . La caisse supérieure portait un corps cylindrique vertical on affleurait le niveau de l'eau (diamètre 0 <sup>m</sup> ,25; hauteur 0 <sup>m</sup> ,50). Les angles étaient assemblés à 90° sur des cornières au moyen de rivets de 5 <sup>mm</sup> de diamètre, espacés de 10 à 12 <sup>mm</sup> d'axe en axe. Pas d'entretoises. Le foyer était à 0 <sup>m</sup> ,15 au-dessous de la caisse inférieure. Dimensions: 0 <sup>m</sup> ,23 x 0 <sup>m</sup> ,32. Les flammes revenaient entre les deux caisses, et passaient enfin dans un tube de 0 <sup>m</sup> ,09 de diamètre qui traversait le bouilleur supérieur et le corps cylindrique. Capacité 30 litres. Surface de chauffe 65 <sup>m</sup> 2. Timbre 5 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 1,7. Construite en 1879. Non éprouvée. Timbre non poinçonné. Réparation récente à la tôle de coup de feu, par une pièce de 0 <sup>m</sup> ,06 sur 0 <sup>m</sup> ,11, fixée au moyen de 4 boulons.	Le niveau de l'eau s'étant abaissé, le chauffeur était en train d'alimenter au moyen d'une pompe à bras, lorsque la face plané de la caisse supérieure se détacha brusquement suivant ses quatre lignes de rivure, mais en s'arrachant en pleine tôle dans un de ses angles, entraînant avec elle le corps cylindrique et le tube intérieur.	Six personnes blessées, dont une assez gravement. Aucuns dégâts matériels en dehors de l'appareil.	Vice de construction de l'appareil, établi contrairement à toutes les règles de l'art; l'explosion a pu, d'ailleurs, être favorisée par un manque d'eau et par une alimentation sur des tôles portées au rouge.



DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSEQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
14 sept.	Battage de grains, à Marolles (Seine-et-Oise).	Chaudière de locomobile, tubulaire, du type dit à T. Capacité 858 litres. Timbre 6 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 55. Construite en 1875. Non déclarée. Réparée deux fois. La seconde réparation (remplacement du foyer et rabouillage des tubes) a été suivie d'une épreuve en 1882. Fonctionnait d'une manière intermittente.	L'explosion est survenue pendant le repas des ouvriers. La rupture s'est produite sur tout le pourtour de la tôle emboutie de 0 <sup>m</sup> ,73 de diamètre qui constituait le fond supérieur de l'enveloppe du foyer. La tôle s'est arrachée dans le congé de l'emboutissage, à l'intérieur de sa ligne circulaire de rivure qui est restée intacte, et elle s'est divisée en plusieurs fragments, qui ont été projetés à 150 <sup>m</sup> . La machine a été presque complètement détruite.	Dégâts matériels peu importants.	Excès de pression, résultant d'un calage des soupapes. L'accident a, en outre, été favorisé par la mauvaise qualité de la tôle qui s'est rompue.
14 sept.	Usine élévatrice, à Saint-Marc (Finistère).	Chaudière horizontale, composée d'un corps cylindrique avec dôme de vapeur, relié par quatre communications à 2 bouilleurs inférieurs de 0 <sup>m</sup> ,50 de diamètre. Capacité 4 <sup>m</sup> 3,200. Timbre 6 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 267. Construite en 1874. Epreuves légales les 3 septembre 1874, 6 novembre 1884 et 10 février 1890. Aucune réparation notable depuis l'origine.	Une ouverture sensiblement circulaire, de 0 <sup>m</sup> ,02 de diamètre, s'étant déclarée en pleine tôle sur la génératrice inférieure du bouilleur de droite, à 0 <sup>m</sup> ,55 en arrière de l'autel, la chaudière s'est vidée dans la chaudière. Les bords écailleux de l'ouverture n'avaient plus que 1 <sup>m</sup> ,5 d'épaisseur. Tout autour, la tôle présentait à l'extérieur de nombreuses cavités garnies de sesquioxyde de fer. En dedans, jusqu'à une faible distance, elle était rugueuse et son épaisseur sensiblement réduite par endroits. A 0 <sup>m</sup> ,20 de l'ouverture, la tôle était intacte.	Chaudière assez grièvement brûlée. Pas de dégâts matériels.	Coexistence, à l'endroit où la tôle du bouilleur a été percée, de deux sortes de corrosions: les unes intérieures, occasionnées sans doute par la nature des eaux alimentaires chargées d'une assez forte proportion de chlorures alcalins, et par la disposition du tuyau d'alimentation qui débouchait au voisinage de la tôle, à proximité et en avant de la zone avariée; les autres extérieures, provenant de l'action de suies acides, sous l'influence de l'humidité.
22 sept.	Battage de grains, à Marigny (Sablons-et-Loire).	Chaudière de locomobile du type dit à T. Foyer cylindrique vertical en fer de 0 <sup>m</sup> ,56 de diamètre et 0 <sup>m</sup> ,60 de hauteur, dont le ciel était constitué par une tôle, épaisse à l'origine de 11 <sup>mm</sup> ,5, réduite par l'usure à 8 <sup>mm</sup> ,5, placée sur son bord, emboutie dans sa partie centrale sous une flèche de 0 <sup>m</sup> ,03, rivée à des rebords de la paroi cylindrique du foyer et de la pla-	La pompe alimentaire venait d'être remise en marche, après un arrêt d'une demi-heure, causé par l'introduction d'un chiffon sous son clapet d'admission par le tuyau d'aspiration dont la crépine était dessoudée. Le ciel du foyer s'est écarté en prenant une teinte inverse de 0 <sup>m</sup> ,06 et s'est déchiré sur tout son pourtour à l'inté-	Dégâts matériels sans gravité.	Cette explosion, qui ne se serait peut-être pas produite si le ciel du foyer avait été suffisamment épais au moment de l'accident, paraît avoir été la conséquence d'un manque d'eau ayant permis à ce ciel, porté à une haute température, de sécher et de se détacher sous l'influence de
24 sept.	Fabrique d'indiennes, à Auzouville-la-Mivoie (Seine-Inférieure).	Récipient, dit « boîte à vaporiser ou à fixer » : Capacité parallélépipédique à arêtes horizontales, et section droite rectangulaire, surmontée d'un faite. Longueur 4 <sup>m</sup> ; largeur 1 <sup>m</sup> ,44; hauteur de la partie droite 1 <sup>m</sup> ,77; hauteur sous faite 2 <sup>m</sup> ,15. A sa partie antérieure est une ouverture rectangulaire de 1 <sup>m</sup> ,44 x 1 <sup>m</sup> ,77, fermée par une porte mobile, suspendue à un galet qui roule sur un double rail; cette porte, simple feuille de tôle de 9 <sup>mm</sup> d'épaisseur, renforcée par deux fers à T horizontaux, est entourée par une cornière qui s'enfonce dans une rainure garnie d'une bande de caoutchouc et entourant l'orifice rectangulaire de l'appareil. Le joint est serré par 18 boulons à charnière (oreillons) qui s'engagent dans des échancrures ménagées sur le pourtour de la porte. La vapeur, produite par un générateur timbré à 4 <sup>ks</sup> ,800, passe dans un réservoir de détente timbré à 5 <sup>ks</sup> et muni d'un manomètre avec flèche de repère correspondant à la pression de 4 <sup>ks</sup> ,250, puis dans la boîte à vaporiser par un tuyau en cuivre de 30 <sup>mm</sup> qui se divise, à l'intérieur de l'appareil, en deux branches percées de trous. Échappement par une tubulure de 105 <sup>mm</sup> de diamètre, disposée à la partie supérieure de la boîte. Trois robinets: l'un avant, l'autre après la boîte de détente, le troisième à la tubulure. Cet appareil était en tôle de fer, renforcée par une double armature extérieure de fer. Capacité 11.290 litres. Construit en 1878. Ni déclaré, ni éprouvé. Pas de soupape de sûreté.	Une fuite venait de se déclarer au joint de la porte, et on venait de serrer l'érou d'un des oreillons, lorsque la porte a été violemment arrachée, et projetée à une distance de 6 <sup>m</sup> ,50. Les érous n'ont pas été endommagés: ils ont simplement été rejetés en arrière, en tournant autour de leurs charnières. La tôle de la porte s'était faussée, et la cornière constituant son rebord s'était rompue en son angle sur presque toute la longueur de son côté droit.	Un contremaître tué, deux ouvriers légèrement blessés. Dégâts matériels insignifiants.	Fermeture partielle ou totale du robinet d'échappement, qui a déterminé à l'intérieur de l'appareil une pression notable à laquelle sa porte était incapable de résister. Cet accident aurait été évité si on avait rempli les formalités et mesures prescrites par le titre V du décret du 30 avril 1880.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
26 sept.	Teinturerie, à Thizy (Rhône).	Récipient cylindrique vertical en tôle de fer de 1 <sup>m</sup> de diamètre intérieur, fermé dans le bas par un fond embouti, et à la partie supérieure par un couvercle mobile. Ce couvercle se compose d'une tôle de 12 <sup>mm</sup> d'épaisseur, plane sur son pourtour, bombée au centre sous une flèche de 0 <sup>m</sup> ,14, et renforcée sur son bord, par le dessous, au moyen d'une cornière de 12 <sup>mm</sup> d'épaisseur, à laquelle elle est rivée. Le gueulard du récipient porte une seconde cornière sur laquelle est rivée une rondelle qui sert à créer une gorge pour faire le joint. La joue verticale de la cornière du couvercle pénètre dans la rainure ainsi formée et presse sur des tresses de coton. Le serrage s'obtient par 8 vis dont les écrous sont portés par des tiges coudées en fer forgé de dimensions inégales (45 à 47 <sup>mm</sup> × 17 à 20 <sup>mm</sup> ), faisant corps avec eux, et adaptées à charnière sur le bord de la cuve. La vapeur pénètre au centre du fond inférieur, par un tube d'abord en spirale, puis vertical, qui se termine en pomme d'arrosoir. Soupape de sûreté dont l'orifice avait 37 <sup>mm</sup> de diamètre, probablement chargée pour 3 <sup>ks</sup> de pression. Capacité 980 litres. Construit en 1866. Ni déclaration, ni épreuve.	Le couvercle a été projeté en l'air, démolissant la toiture métallique, et brisant toute la tuyauterie. Six tiges coudées s'étaient rompues, tantôt dans la partie droite de la tige, tantôt dans l'angle supérieur; les cassures présentaient un grain cristallin à larges facettes. Une septième tige s'était faussée. Une seule était restée intacte. Point de déformation au couvercle.	Un ouvrier brûlé sans gravité. Un autre légèrement blessé. Quelques dégâts matériels.	Insuffisance, comme nombre ou dimensions, des attaches qui servaient à maintenir le couvercle de l'appareil. La rupture de ces attaches paraît avoir été déterminée par un serrage inégal des vis de pression qui arrissaient sur le bord du couvercle, et par la formation de fissures anciennes dans le métal fatigué qui les constituait.
2 octob.	Moulin, à Pont-Château (Loire-Inférieure).	Chaudière prismatique surmontée d'un bécreau demi-cylindrique, avec foyer intérieur, ouvert par le bas. Cette section se composait des deux tiers d'une circonférence et de deux quarts de cercle. Le fond possédait quatre entrées, composées de 7 tubes en fer de 0 <sup>m</sup> ,055 de diamètre intérieur. Cet appareil était consolidé par 3 tirants longitudinaux parallèles aux tubes, 4 tirants transversaux dans un même plan horizontal au-dessus du faisceau tubulaire, et 3 tirants transversaux dans un même plan au-dessous de ce faisceau; enfin par 20 entretoises de 23 <sup>mm</sup> de diamètre, dont 6 entre la face arrière et le fond de la boîte à feu, 6 entre les faces latérales de la chaudière et celles de cette boîte, et 8 entre les faces latérales de la chaudière et la paroi cylindrique du foyer. La chaudière était surmontée d'un dôme de vapeur. Capacité 1.100 litres. Timbre 4 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 56. Date de la construction inconnue. Ni déclarée, ni éprouvée depuis longtemps. En 1889, quelques suintements ayant été signalés aux tubes, on aveugla une fuite reconnue, dans le foyer, autour de la troisième entretoise (à partir de l'avant) du côté gauche, par une pièce carrée de 0 <sup>m</sup> ,12 de côté, légèrement bombée au centre et fixée à la tôle par 4 boulons.	L'explosion s'est produite sous une pression de 2 <sup>ks</sup> . La paroi extérieure de gauche était bombée vers l'extérieur depuis la ligne inférieure des tirants; flèche de 0 <sup>m</sup> ,40. Le reste de la chaudière intact. La pièce rapportée en 1889 ayant été enlevée, on constata une fêlure ancienne, en prolongement d'un diamètre du trou. Toute trace de tête rivée et du filetage de l'entretoise correspondante faisait défaut sous cette pièce.	Chaufeur grièvement brûlé. Quatre personnes mortes des suites de leurs brûlures. Dégâts matériels.	Altération, résultant d'une fuite ancienne, convertie par une pièce rapportée, du filetage et de la tête d'une des entretoises servant à relier la paroi latérale de la chaudière à la paroi intérieure. En outre, et en ne tenant compte, la déformation et la vidange de la chaudière.
15 octob.	Sucrerie, à Francières (Oise).	Ballon d'alimentation cylindrique vertical, formé de tôle de fer avec fond supérieur embouti, de 1 <sup>m</sup> ,25 de diamètre et 1 <sup>m</sup> ,78 de hauteur, relié au moyen de 40 boulons, par l'intermédiaire d'une cornière circulaire, à une plaque de fonte épaisse de 37 <sup>mm</sup> et renforcée par des nervures, qui le fermait par le bas. Capacité 2.068 litres. Timbre 5 <sup>ks</sup> . Date de la construction inconnue. Épreuve légale, le 30 août 1886. L'usine possède deux chaudières Babcock et Wilcox timbrées à 10 <sup>ks</sup> , et trois chaudières tubulaires timbrées à 5 <sup>ks</sup> . Un tube collecteur reçoit la vapeur des trois dernières, et celle des deux premières après qu'elle a	Le chauffeur voulut employer curremment, pour alimenter les chaudières tubulaires, le petit-cheval et le ballon. Il laissa fermé le robinet de prise de vapeur sur le collecteur, entrouvrit celui qui était en relation avec les chaudières Babcock, et se servit pour alimenter d'un des branchements grossis sur le tuyau de vidange. À la suite de cette manœuvre, le ballon s'est séparé de son fond inférieur, et a été lancé en l'air pour retomber presque sur place. Sur les trois quarts de sa circonférence, la plaque en fonte s'est rompue circulairement au droit de la cornière. Sur l'autre quart,	Trois ouvriers blessés, dont un mortellement. Dégâts matériels peu considérables.	Excès de pression, provenant de la mise en communication inattendue du ballon d'alimentation, dépourvu de soupape de sûreté, avec des chaudières qui fonctionnaient à une pression supérieure à celle indiquée par son timbre. La tuyauterie n'aurait pas dû être disposée de manière à permettre l'alimentation au moyen de tuyaux non pourvus de clapets de retenue à l'intersection des chaudières; ce fait a aggravé les conséquences de l'explosion.



DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
15 octob. (Suite.)	Sucrerie, à Francières (Oise). (Suite.)	passé par un détendeur. Le ballon est destiné à alimenter les chaudières tubulaires, en cas d'arrêt d'un petit-cheval. Ces deux appareils d'alimentation reçoivent la vapeur par un tuyau qui communique à volonté avec le tube collecteur ou avec les chaudières Babcock et Wilcox. Le tuyau d'alimentation qui part du petit-cheval porte 5 clapets de retenue, correspondant aux cinq chaudières. Celui qui part du ballon communique avec le précédent au moyen d'un raccordement muni d'un robinet. Il sert aussi à la vidange des trois chaudières tubulaires, avec lesquelles il communique par des tuyaux plongeurs.	les boulons se sont rompus. La plaque a été fendue suivant un diamètre.		
16 octob.	Bateau à vapeur, à Chantenay (Loire-Inférieure).	Chaudière, système Bouron, comprenant quatre lames d'eau entourant un foyer prismatique par le dessus, l'arrière et les deux faces latérales. 41 tubes, traversant la lame supérieure, relient le foyer à la cheminée. A l'intérieur du foyer est un jeu de 125 doubles tubes en fer, inclinés vers l'avant avec une pente de 1/12, et formés d'un tube extérieur de 0 <sup>m</sup> ,06 de diamètre intérieur, et d'un tube intérieur (tube tirant) de 0 <sup>m</sup> ,04 de diamètre extérieur, et 5 <sup>mm</sup> d'épaisseur. L'extrémité d'arrière du tube tirant traverse la face postérieure de la chaudière et y est fixée par un écrou; le tube extérieur est emboîté dans la tôle de fond du foyer, et maintenu en place par l'effort du tube intérieur, s'écartant à son extrémité d'avant par l'interme-	Une énorme fuite de vapeur s'est produite dans le foyer de la chaudière, par suite de la rupture de l'un des tubes tirants de la rangée inférieure, produite suivant une section droite passant par l'axe des deux trous antérieurs de circulation d'eau, près du bouchon fileté antérieur. Le tube extérieur s'est alors déboîté. La tôle servant de porte au cendrier s'étant rabattue, l'eau et la vapeur ont envahi la chambre de chauffe.	Chauffeur mortellement brûlé. Brûlures légères au mécanicien. Dégâts matériels nuls.	Système défectueux des doubles tubes système Bouron. La rupture a été d'ailleurs favorisée par l'affaiblissement résultant, dans le tube rompu, de l'extension inutile de son filetage antérieur jusqu'au delà des premiers trous de circulation. Ce type a été abandonné par le constructeur et remplacé par un autre qui ne présente plus le même défaut.
20 octob.	Station centrale d'électricité, à Paris.	Chaudière, type Belleville, faisant partie d'une série de cinq générateurs, et chauffée, ainsi que deux autres chaudières consécutives, par un foyer Hermann et Cohen. Se compose de cinq éléments doubles, formés chacun de 18 tubes bouilliers de 125 <sup>mm</sup> de diamètre extérieur, 5 <sup>mm</sup> d'épaisseur et 2 <sup>m</sup> ,40 de long, y compris les boîtes de raccordement. Capacité 2.635 litres. Timbre 15 <sup>kg</sup> . Produit caractéristique 263. Construite en 1888. Déclarée le 12 janvier 1888. Dernière visite du service des mines dans le deuxième trimestre de 1890.	A la suite d'un bruit sourd, la chambre de chauffe s'est remplie de fumée et de suie, sans projection d'eau. Le second tube (à partir d'en bas) de la file de droite de l'élément médian s'était rompu suivant une ouverture orientée vers la gauche, longue de 0 <sup>m</sup> ,54, avec ballement maximum de 0 <sup>m</sup> ,19. Traces d'un coup de feu sur ce tube et sur les tubes voisins, jusqu'à la sixième rangée à partir d'en bas des trois éléments de gauche. Le robinet gradué du tuyau d'alimentaire était entièrement fermé.	Deux ouvriers mortellement brûlés et asphyxiés par l'oxyde de carbone. Dégâts matériels insignifiants.	Surchauffe produite par un manque d'eau, lequel doit être attribué à la fermeture intempestive et prolongée du robinet gradué d'alimentation de la chaudière.
31 octob.	Bateau-pompe, à Marseille (Bouches-du-Rhône).	Chaudière, type Belleville, comprenant six éléments de chacun 16 tubes, sans réservoir spécial de vapeur. Dimensions des tubes: longueur 2 <sup>m</sup> ; diamètre extérieur 0 <sup>m</sup> ,10; épaisseur 4 <sup>mm</sup> . Dans les cinq rangées inférieures sont des tubes de 0 <sup>m</sup> ,05 de diamètre extérieur et 5 <sup>mm</sup> d'épaisseur, destinés à établir une circulation de retour. Niveau normal de l'eau à la cinquième rangée à partir du haut. Capacité 154 litres. Timbre 10 <sup>kg</sup> . Première épreuve réglementaire en 1874. Répreuves annuelles. Dernière épreuve le 23 janvier 1890.	L'explosion est survenue lorsque la machine était arrêtée depuis un quart d'heure, par suite de la rupture du septième tube, à partir de la gauche, de la rangée supérieure, à l'aplomb de la cheminée du générateur. Déchirure suivant la génératrice supérieure de ce tube, longue de 0 <sup>m</sup> ,20, à contours très irréguliers.	Mécanicien mortellement brûlé. Dégâts matériels nuls.	Corrosions extérieures profondes, déterminées par l'eau provenant de la condensation de la vapeur d'échappement dans la cheminée. Ces corrosions avaient réduit à 1 <sup>mm</sup> l'épaisseur du métal, sur les tubes des trois rangées supérieures, au-dessous de la cheminée.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement ou l'appareil était placé	NATURE — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSEQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
14 nov.	Fabrique d'huile, à Montfleur (Calvados).	Chaudière semi-tubulaire, à deux bouilliers et dôme de vapeur, venant, dans son corps supérieur, 24 tubes en laiton de 0 <sup>m</sup> ,11 de diamètre extérieur, et de 2 <sup>m</sup> ,07 d'épaisseur (à l'origine). Capacité 8.546 litres. Timbre 6 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 5/6. Des épreuves en juin et juillet 1881 avaient nécessité des réparations à trois tubes. Épreuve satisfaisante, le 27 août 1881.	Rupture du troisième tube, à partir de la droite, de la deuxième rangée horizontale à partir du haut, à proximité de la plaque tubulaire d'arrière, sur 0 <sup>m</sup> ,54 de long et sur le côté droit. De plus, deux petites fissures transversales accompagnaient l'ouverture principale. Pas de déformation du tube. Sur le pourtour de la plaque, amincissement du métal à 2 <sup>mm</sup> , et même à 1 <sup>mm</sup> 6. Pendant une épreuve hydraulique subséquente, à 10 <sup>ks</sup> , 5, rupture d'un autre tube à gauche et premier.	Chaudfleur monocellulaire. Dégâts matériels presque nuls.	La cause, qui n'a pu être déterminée avec certitude, paraît être le manque de solidité du tube, résultant de son épaisseur d'origine trop faible ainsi que de son amincissement et de l'altération qu'il a pu subir par suite d'un long usage.
15 nov.	Mine de houille, à Villars (Loire).	Chaudière cylindrique horizontale, à fonds emboutis. Longueur 12 <sup>m</sup> ,50; diamètre 1 <sup>m</sup> ,20; épaisseur primitive des tôles 13 <sup>mm</sup> ,3. Capacité 750. Timbre 5 <sup>ks</sup> . Produit caractéristique 7/8. Construite en 1863. Épreuve légale, le 15 novembre 1883. Dernière épreuve en janvier 1884. Depuis l'origine, 11 pièces avaient été rajoutées, dont plusieurs assez importantes, à des dates inconnues.	La veille de l'accident, une fuite avait été signalée au-dessus et en arrière de l'autot. L'explosion s'est produite avec une violence extrême, dix minutes après l'arrêt de la machine d'extraction. Le fond antérieur séparé le long de la ligne de rivure, a été projeté vers l'avant à 237 <sup>m</sup> , la partie arrière de la chaudière, du côté opposé à 70 <sup>m</sup> , en fin la partie intermédiaire s'est déformée et a été retrouvée divisée en trois fragments. Les maçonneries des chaudières voisines ont été ébranlées et disloquées. Deux cages d'extraction ont été renversées et endommagées.	Simple dégâts matériels.	État défectueux de la chaudière, dont les tôles étaient originellement de nature très aigre et qui, fatiguée par 27 ans d'usage et ayant dû subir de nombreuses réparations, ne présentait plus une solidité suffisante.

## RÉSUMÉ

### RÉPARTITION DES ACCIDENTS

	NOMBRE	TUÉS	BLESSÉS (*)
<b>I. — Par nature d'établissements :</b>			
Bateaux . . . . .	5	7	7
Battages de grains . . . . .	3	1	1
Distillerie . . . . .	1	1	1
Equarrissage . . . . .	1	1	1
Fabrique d'articles de cave . . . . .	1	1	1
— de bonneterie . . . . .	2	3	1
— de boutons et boucles . . . . .	1	1	1
— de caoutchouc . . . . .	1	1	1
— de cartons . . . . .	1	1	1
— de chapeaux . . . . .	2	1	1
— d'essieux . . . . .	1	1	1
— d'huile . . . . .	1	1	1
— d'indiennes . . . . .	1	1	1
— de vermicelle . . . . .	1	1	1
Filature de bourre de soie . . . . .	1	3	1
Manège forain . . . . .	1	1	1
Mines . . . . .	1	1	1
Minoteries . . . . .	2	4	2
Scierie mécanique . . . . .	1	1	1
Sucrierie . . . . .	1	1	1
Teinturerie . . . . .	2	1	1
Tramways (Dépôt) . . . . .	1	2	1
Usine d'éclairage électrique . . . . .	1	2	1
Usine élévatoire . . . . .	1	1	1
<b>Totaux . . . . .</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>16</b>
<b>II. — Par espèces d'appareils :</b>			
1. Chaudières chauffées en tout ou en partie à l'extérieur :			
A. Horizontales non tubulaires { à foyer extérieur . . . . .	9	9	9
{ — intérieur . . . . .	1	1	1
B. Horizontales plus ou moins tubulaires { à foyer extérieur . . . . .	1	1	1
{ — intérieur . . . . .	2	7	6
C. Verticales . . . . .	1	1	1
D. A petits tubes bouilleurs . . . . .	7	12	2
E. Diverses . . . . .	1	1	1
2. Chaudières non chauffées à l'extérieur :			
A. Locomobiles . . . . .	3	1	1
B. Locomotives . . . . .	1	1	1
C. Établies à demeure . . . . . { Horizontales . . . . .	1	1	1
{ Verticales . . . . .	2	1	2
D. Diverses . . . . .	1	1	1
3. Annexes des chaudières :			
A. Réchauffeurs . . . . .	2	1	1
B. Surchauffeurs ou sècheurs de vapeur . . . . .	1	1	1
C. Divers . . . . .	1	1	1
4. Récipients et appareils assimilables . . . . .	6	6	2
5. Divers . . . . .	1	1	1
<b>Totaux . . . . .</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>16</b>

(\*) On a inscrit dans cette colonne du résumé, non pas uniquement les personnes qui ont reçu des blessures graves, mais tous les blessés qui ont eu plus de vingt jours d'incapacité de travail; le bulletin détaillé comporte au contraire tous les blessés signalés par l'enquête administrative.



III. — D'après les causes présumées résultant de l'étude des dossiers administratifs (\*).

1° Conditions défectueuses d'établissement :

Construction, disposition, installation, pièces ou matières défectueuses. . . . . 13

2° Conditions défectueuses d'entretien :

Usure, fatigue ou amincissement du métal. Fatigue par surchauffe sans manque d'eau. 12  
Réparations (pour d'autres causes) non faites ou défectueuses. . . . . 1

3° Mauvais emploi des appareils :

Manque d'eau (suivi ou non d'alimentation intempestive). . . . . 6  
Excès de pression . . . . . 3  
Autres imprudences ou négligences . . . . . 4

4° Causes restées inconnues . . . . . 2

(\* Le nombre total des causes présumées est supérieur à celui des accidents, parce que le même accident a quelquefois été attribué à plusieurs causes réunies.

BULLETIN.

ACTES DE COURAGE ET DE DÉVOUEMENT.

ACCIDENTS ARRIVÉS DANS LES MINES ET CARRIÈRES.

Extrait des rapports du ministre de l'intérieur, approuvés par le Président de la République en 1891 (\*).

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées.	
			MÉDAILLES	MENTIONS honorables.
			en or. en argent.	
30 juin 1891.				
SEINE-ET-OISE.				
DUVILLIER, contrôleur des mines, à Versailles.	1873-1888.	S'est dévoué, à plusieurs reprises, pour sauver des ouvriers surpris par des éboulements.	2 <sup>e</sup>	
41 juillet 1891.				
PAS-DE-CALAIS.				
FIÉVET, ouvrier mineur à la concession de Bully-Grenay.	Mines de houille de Bully-Grenay. 1884-1890.	S'est dévoué, à plusieurs reprises, pour porter secours à des ouvriers en danger de périr asphyxiés dans la mine.	2 <sup>e</sup>	
DUPÉAGE, même profession et domicile.	18 novembre 1890.	A coopéré à l'un des sauvetages accomplis par le sieur Fiévet.		Mention honorable.

(\* Cet état fait suite à celui qui a été publié dans le 2<sup>e</sup> volume de 1890, p. 714.

NOMS, prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées.		
			MÉDAILLES		MENTIONS honorables.
			en or.	en argent.	
19 août 1891.					
LOIRE.					
			classes.		
PAGÈS, sous-gouverneur à Villebœuf.			2 <sup>e</sup>		
COURBON, id.			2 <sup>e</sup>		
ANDRÉ (Jean-Baptiste), ouvrier des mines de Montlicieux.			2 <sup>e</sup>		
TOLLIN, sous-gouverneur à Villebœuf.			2 <sup>e</sup>		
BOURNAT, ouvrier mineur à Villebœuf.	Mines de houille de Villebœuf.		2 <sup>e</sup>		
TESSIER, lampiste à Villebœuf.	Accidents des 29 juillet et 4 août 1890.	Ont rivalisé de zèle et de dévouement pour porter secours aux victimes de ces deux explosions de grisou.	2 <sup>e</sup>		
GAUCHER, sous-gouverneur au puits Verpillieux.	des 29 juillet et 4 août 1890.			Mention honorable.	
LÉONARD, ouvrier mineur au puits de la Manufacture.	(Explosions de grisou.)			Id.	
BONNEFOY, ouvrier mineur à Villebœuf.				Id.	
ENJOLRAS, id.				Id.	
CHALAYÉ, id.				Id.	
COULAUD (François), ouvrier boiseur au puits Verpillieux.				Id.	
DÉRAIL (Jean), ouvrier mineur à Patroa.				Id.	
22 décembre 1891.					
SAÔNE-ET-LOIRE.					
TROCHET (Jean), ouvrier mineur à Montchanin.	Mines de houille de Montchanin.	Se sont dévoués pour porter secours à deux de leurs camarades surpris dans la mine par un éboulement.	2 <sup>e</sup>		
PERRET (Jean-Marie), ouvrier mineur au même lieu.	15 juin 1891.			Mention honorable.	
SEINE - ET - MARNE.					
TAUPIN (Albert), ouvrier plâtrier à Vendrest.	Carrière souterraine de Vendrest.	S'est exposé à de sérieux dangers pour retirer de cette carrière le corps d'un de ses camarades.	2 <sup>e</sup>		
	18 févr. 1891.				

## TABLE DES MATIÈRES

DU TOME VINGTIÈME.

## MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

	Pages.
État actuel de la préparation mécanique des minerais dans la Saxe, le Hartz et la Prusse rhénane; par M. <i>Maurice Bellom</i> . . . . .	5
Forces d'inertie dues aux bielles motrices dans les machines à vapeur; par M. A. <i>Nillus</i> . . . . .	187
Note sur l'explosion de grisou du puits Verpillieux . . . . .	389
Revue de l'état actuel de la construction des machines; par M. <i>Ed. Sauvage (Suite et fin)</i> . . . . .	409
Analyse des rapports officiels sur les accidents de grisou survenus en France pendant les années 1888 à 1890; par M. <i>E. de Billy</i> . . . . .	588

## OBJETS DIVERS.

Mémoire sur le service du matériel et de la traction des chemins du Sud de l'Autriche et du réseau autrichien de la Société autrichienne-hongroise privilégiée des chemins de fer de l'État; par M. <i>Maurice Bellom</i> . . . . .	221
Bulletin des accidents arrivés dans l'emploi des appareils à vapeur pendant l'année 1890. . . . .	614

## BULLETIN.

Actes de courage et de dévouement: Accidents arrivés dans les mines et carrières. . . . .	635
---	-----



## EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME VINGTIÈME.

- 
- Pl. I à V. — Préparation mécanique des minerais dans la Saxe, le Hartz et la Prusse rhénane.
- Pl. VI à VII. — Détermination des forces d'inertie dues aux bielles motrices dans les machines à vapeur.
- Pl. IX à XIII. — Service du matériel et de la traction des chemins de fer autrichiens.
- Pl. XIV. — Explosion de grisou du puits Verpilleux.
- Pl. XV à XVIII. — Revue de l'état actuel de la construction des machines.
- 

## ERRATUM

AU TOME DIX-NEUVIÈME.

Page 350, ligne 19, *au lieu de* : « par mètre cube », *lire* : « par millimètre carré ».

Fig. 1 a (Echelle 1/200)

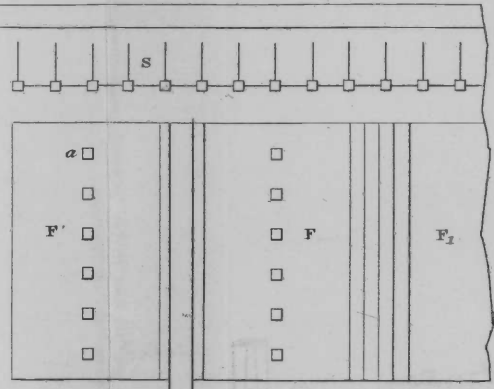


Fig. 1 b (Echelle 1/200)



Fig. 2 (Echelle 1/160)

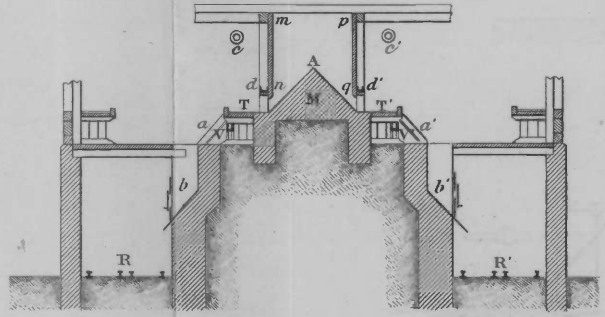


Fig. 9 (Echelle 1/50)

Fig. 10 (Echelle 1/50)

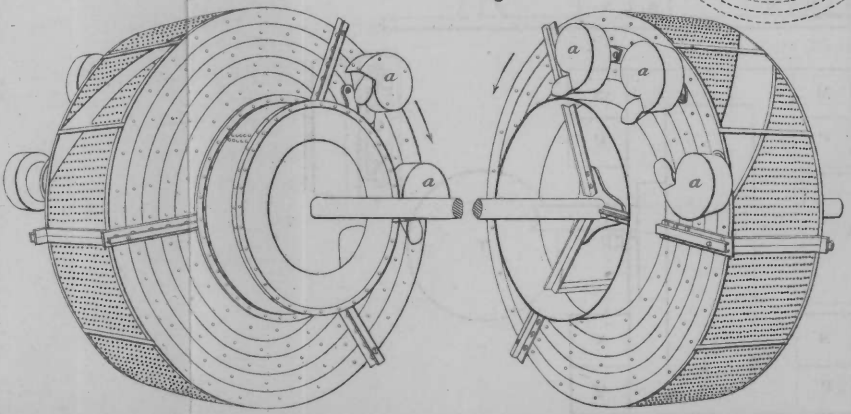


Fig. 3

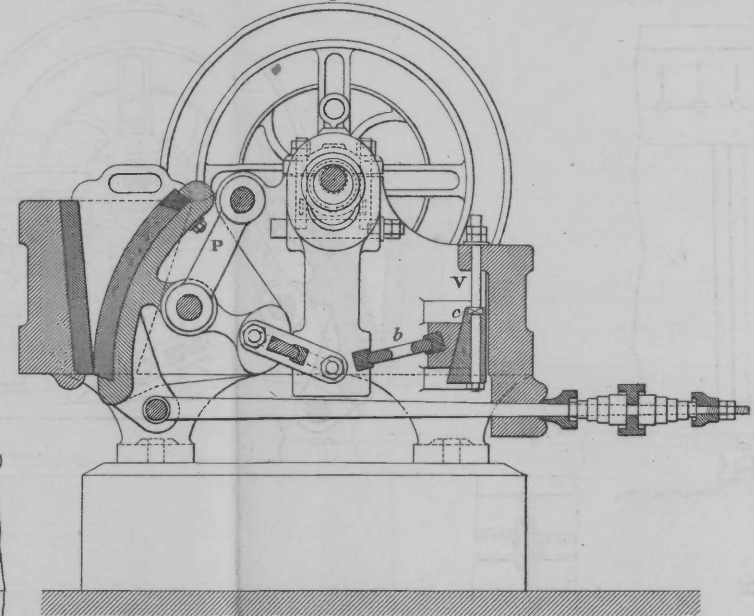


Fig. 11 (Echelle 1/40)

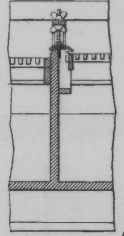


Fig. 7 (Echelle 1/50)

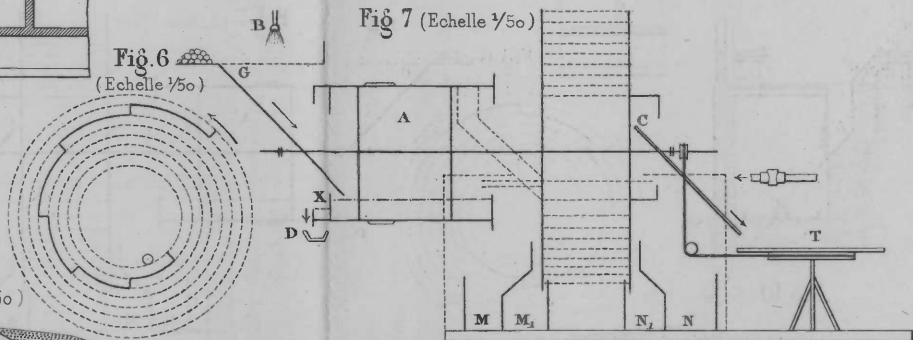


Fig. 6 (Echelle 1/50)

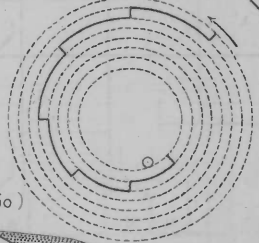


Fig. 8 (Echelle 1/50)

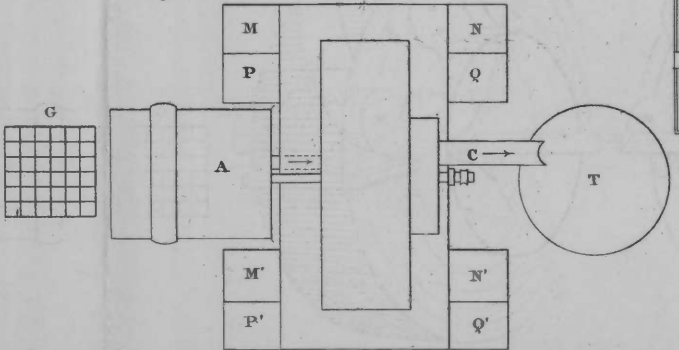


Fig. 4 (Echelle 1/40)

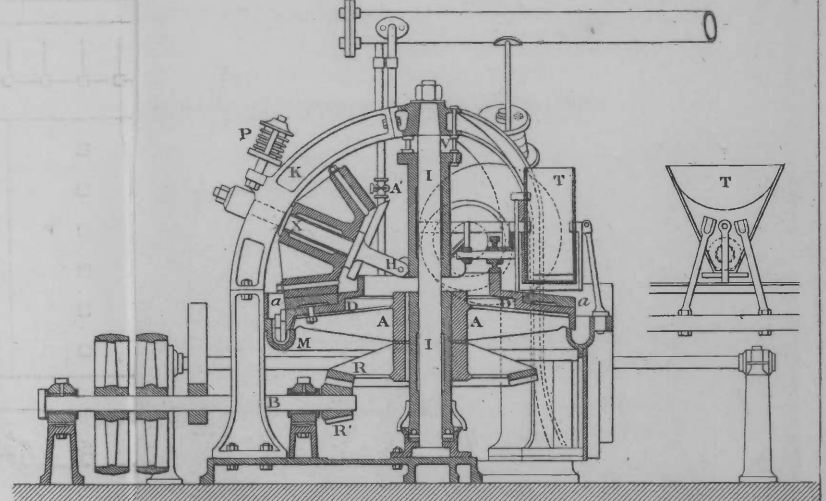


Fig. 5 (Echelle 1/40)

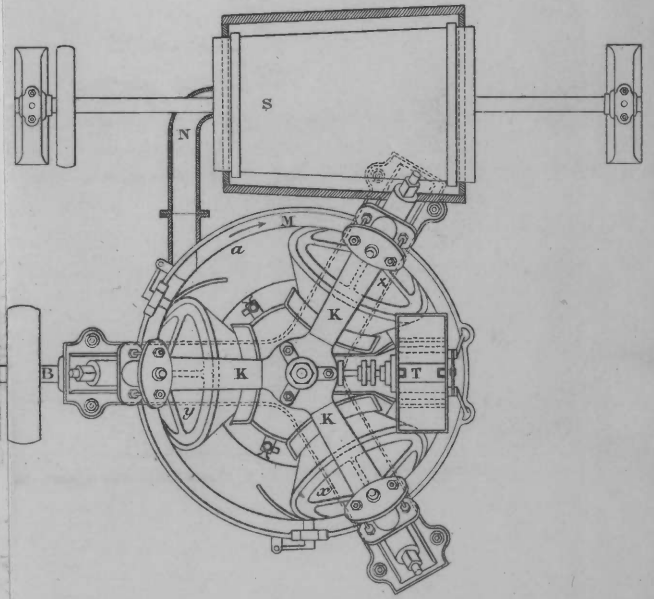




Fig. 1 (Echelle 1/200)

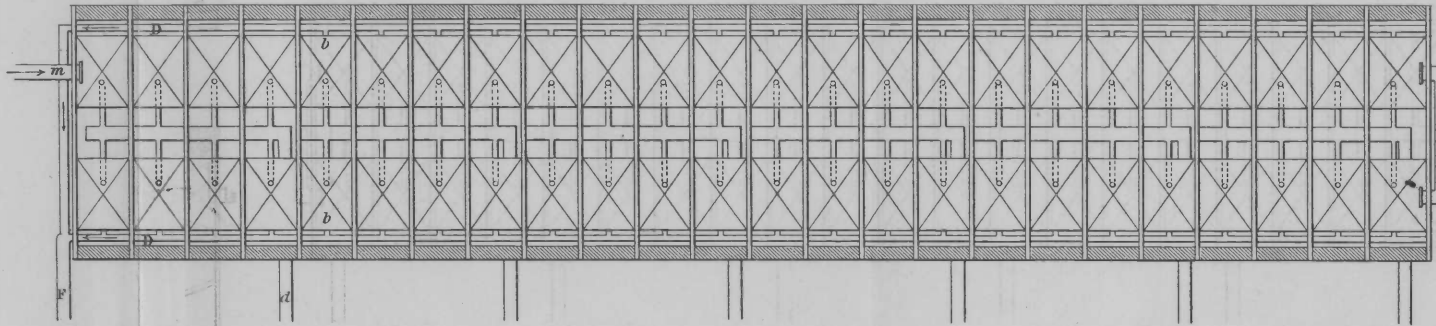


Fig. 2 (Echelle 1/200)

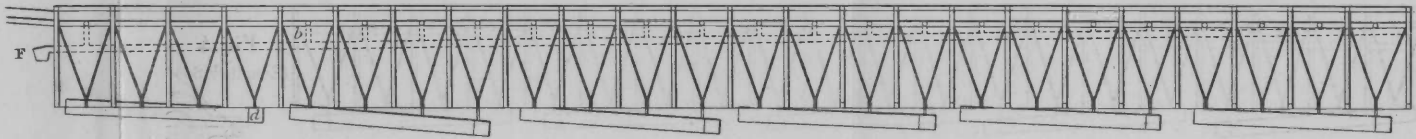


Fig. 6 (Echelle 1/100)

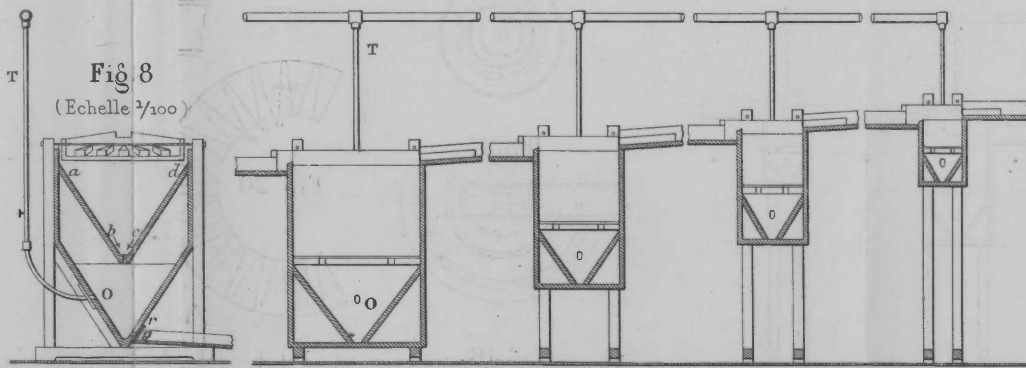


Fig. 7 (Echelle 1/100)

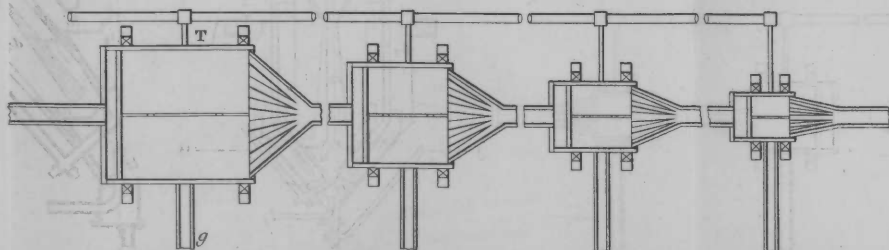


Fig. 18  
Coupe III de la fig. 16

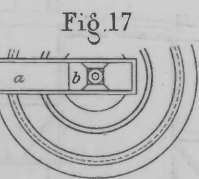
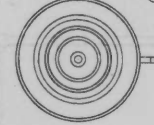


Fig. 16

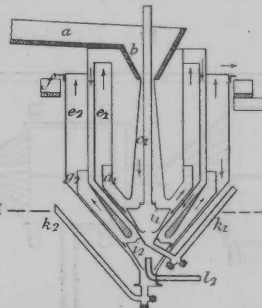


Fig. 19

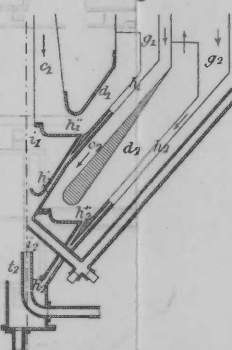


Fig. 3 (Echelle 1/200)

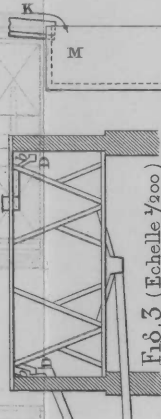


Fig. 9

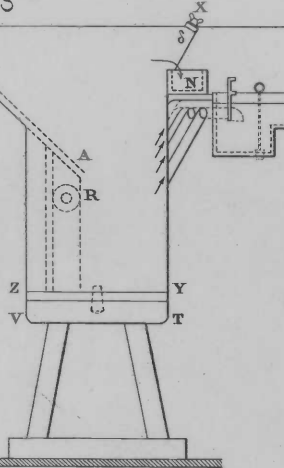


Fig. 10

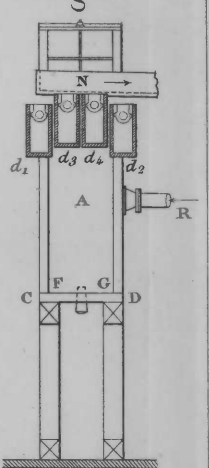


Fig. 4  
(Echelle 1/160)

Fig. 5 (Echelle 1/160)



Fig. 11

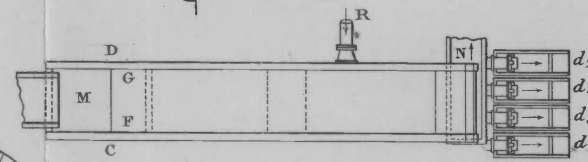


Fig. 12

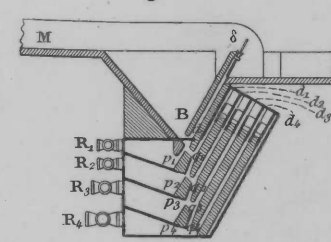


Fig. 13

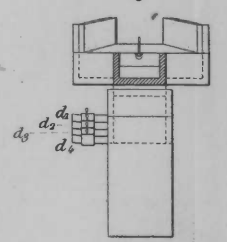


Fig. 14

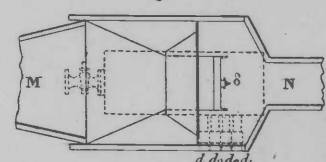


Fig. 3

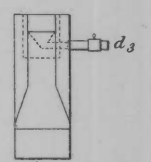


Fig. 1 (Echelle 1/40)

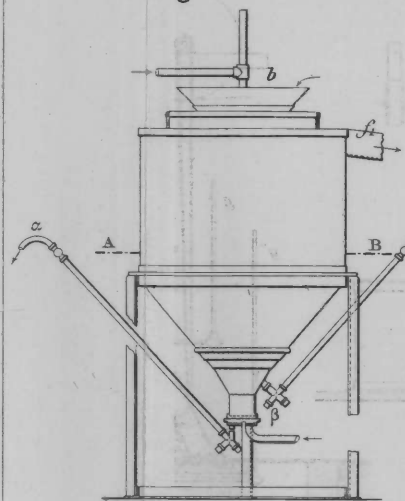


Fig. 6

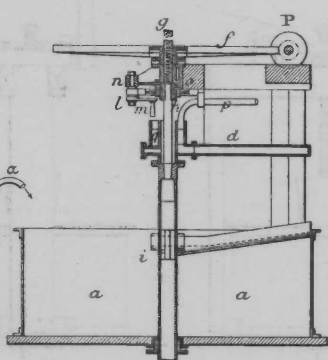


Fig. 8



Fig. 3

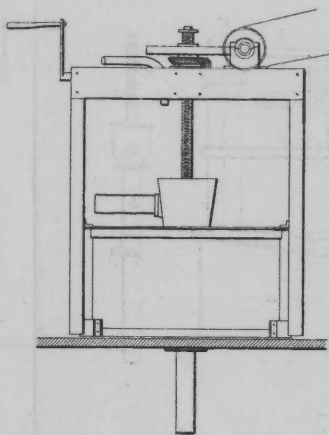


Fig. 4

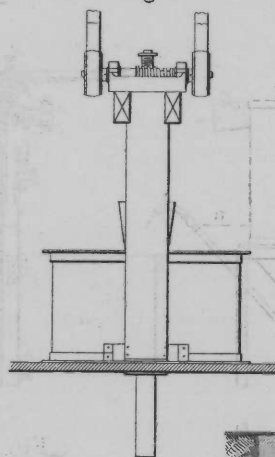


Fig. 13 (Echelle 1/100)

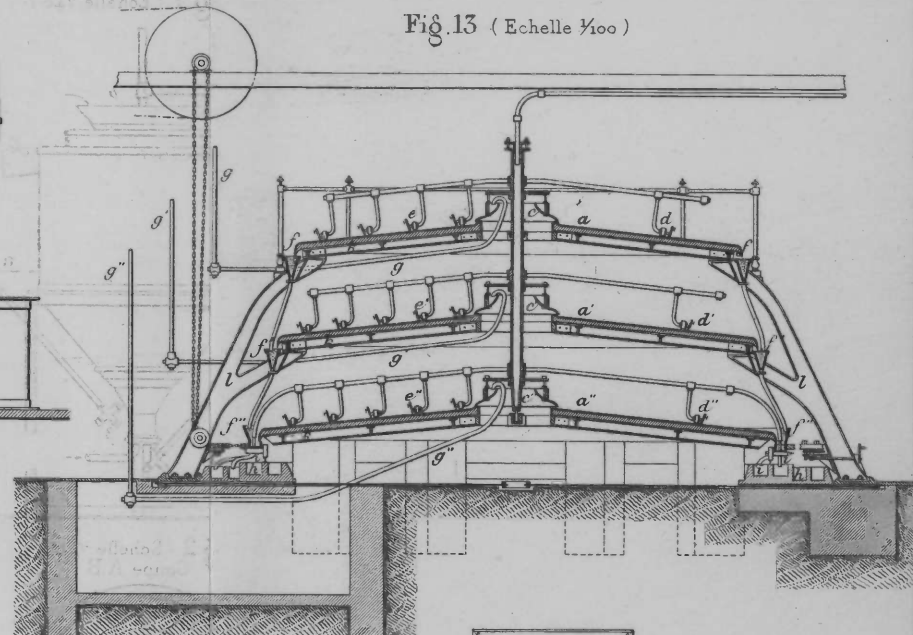


Fig. 2 (Echelle 1/40)  
Coupe A.B

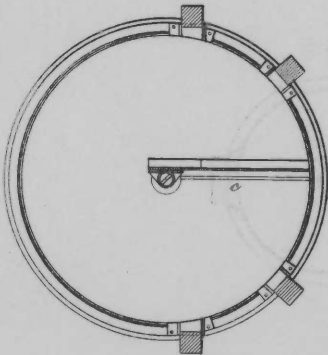
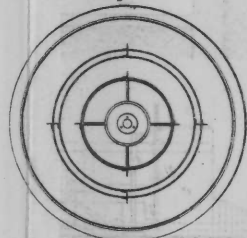


Fig. 5

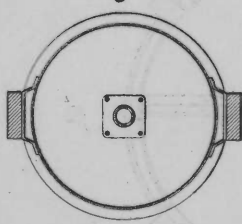


Fig. 9

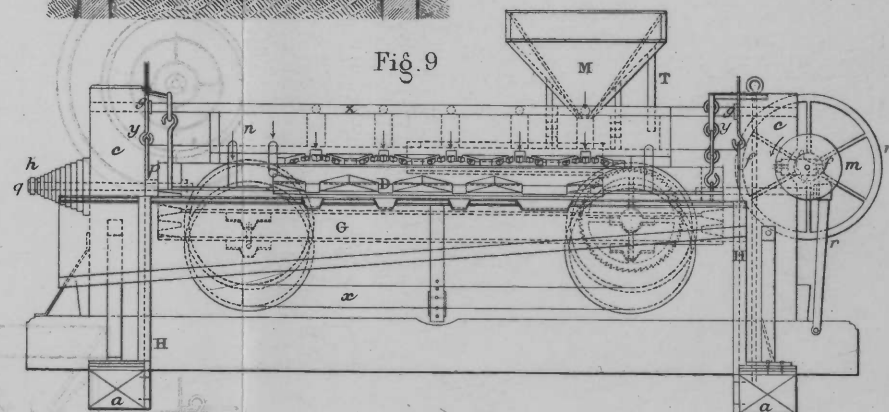


Fig. 10

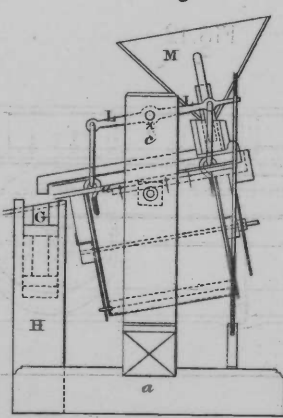


Fig. 11

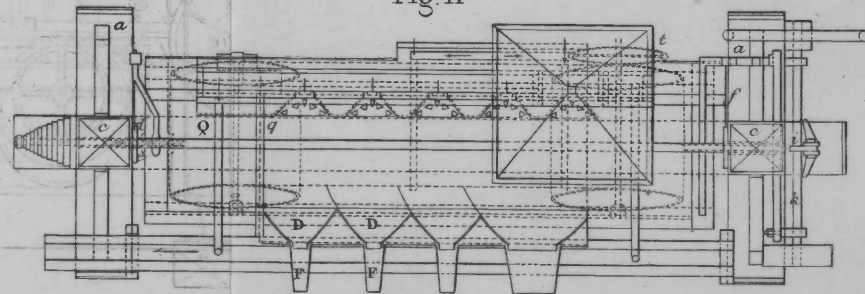
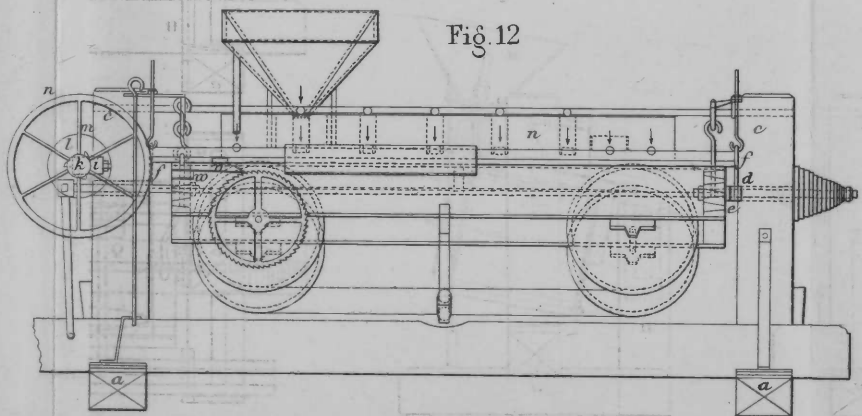


Fig. 12





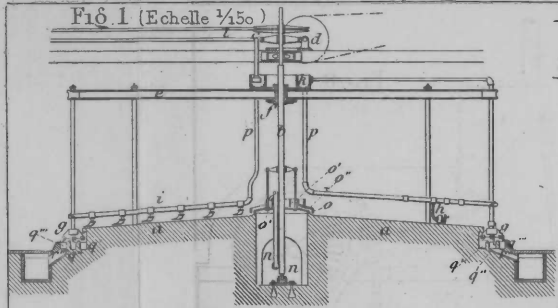


Fig. 1 (Echelle 1/150)

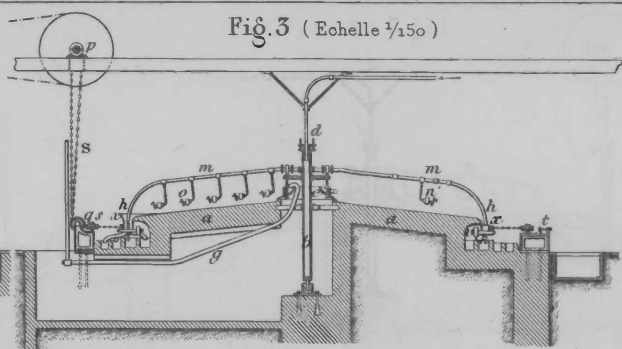


Fig. 3 (Echelle 1/150)

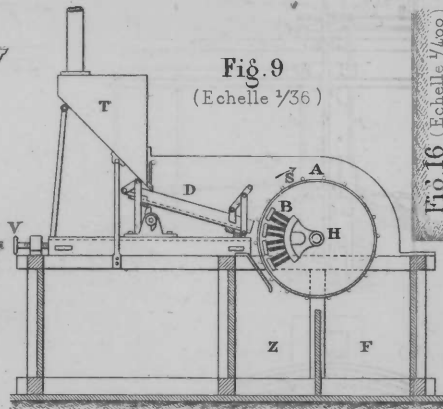


Fig. 9 (Echelle 1/36)

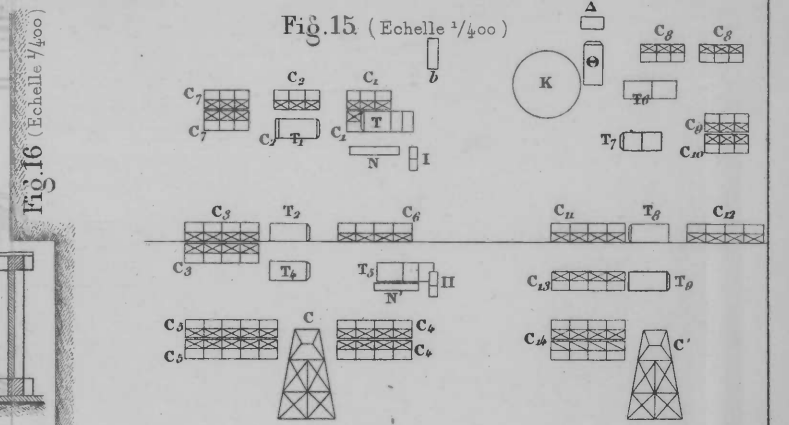


Fig. 15 (Echelle 1/400)

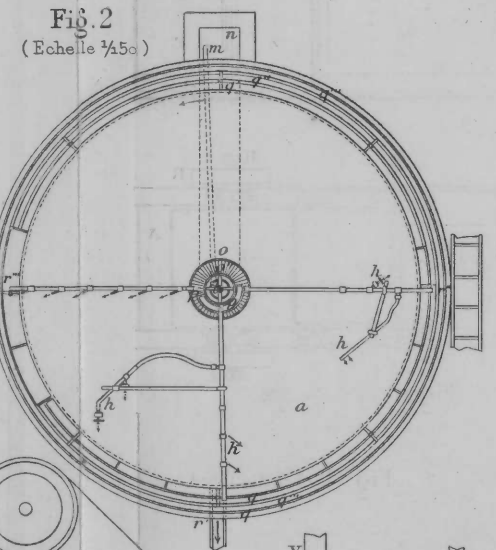


Fig. 2 (Echelle 1/450)

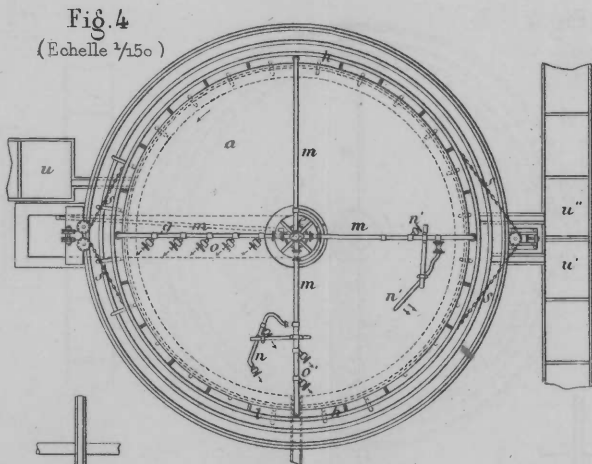


Fig. 4 (Echelle 1/450)

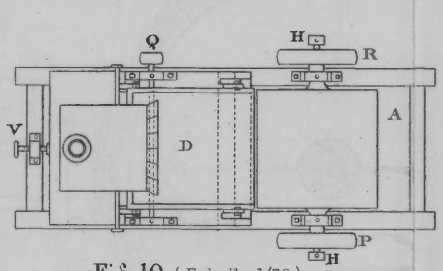


Fig. 10 (Echelle 1/36)

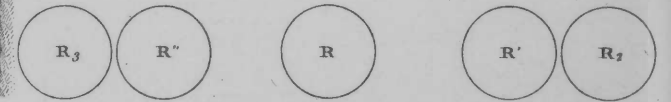


Fig. 16 (Echelle 1/400)

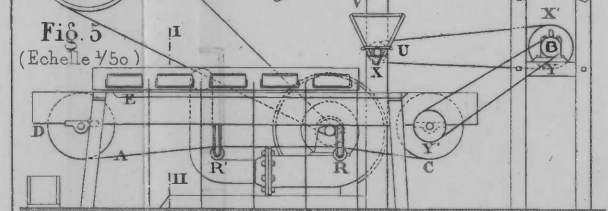


Fig. 5 (Echelle 1/50)

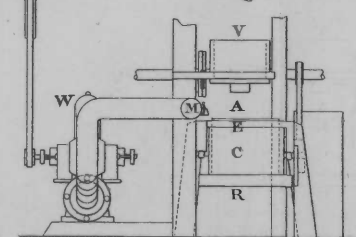


Fig. 7 Coupe III (Echelle 1/50)

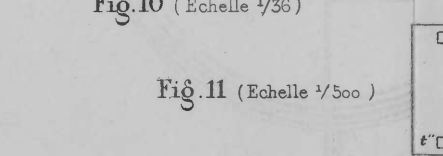


Fig. 11 (Echelle 1/500)

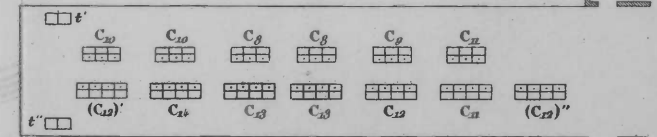


Fig. 12 (Echelle 1/500)

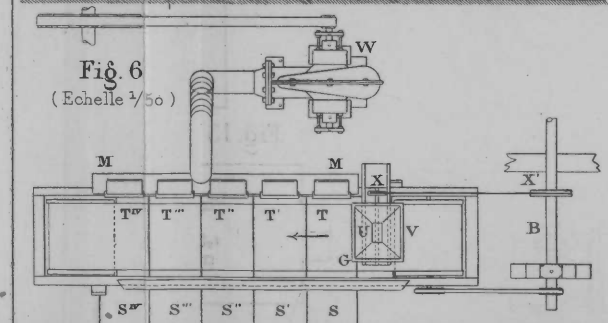


Fig. 6 (Echelle 1/50)

Fig. 7 Coupe III, IV (Echelle 1/25)

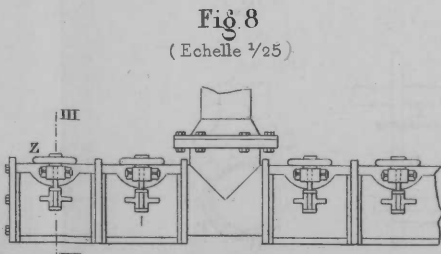


Fig. 8 (Echelle 1/25)

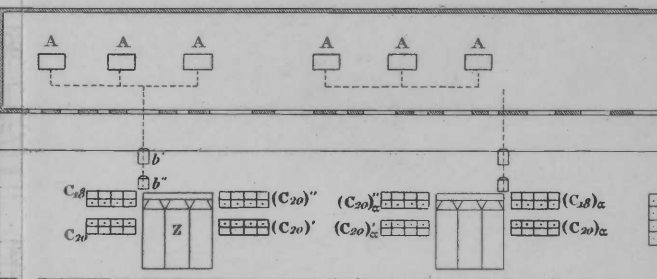


Fig. 13 (Echelle 1/500)

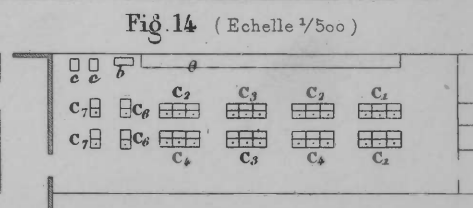


Fig. 14 (Echelle 1/500)

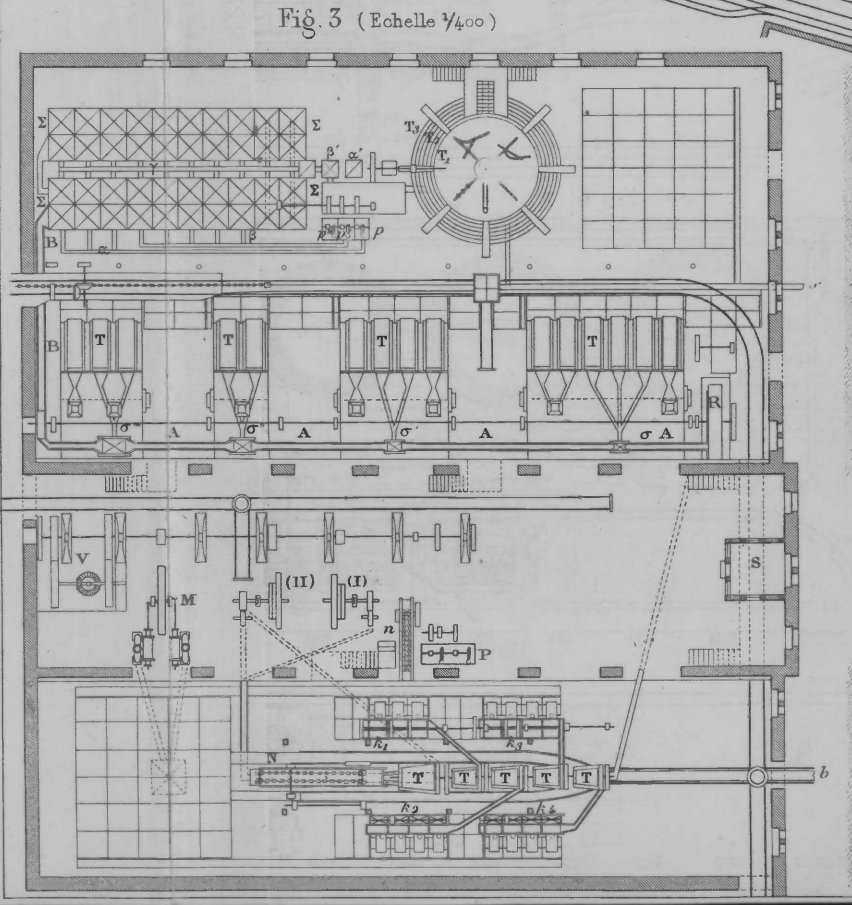
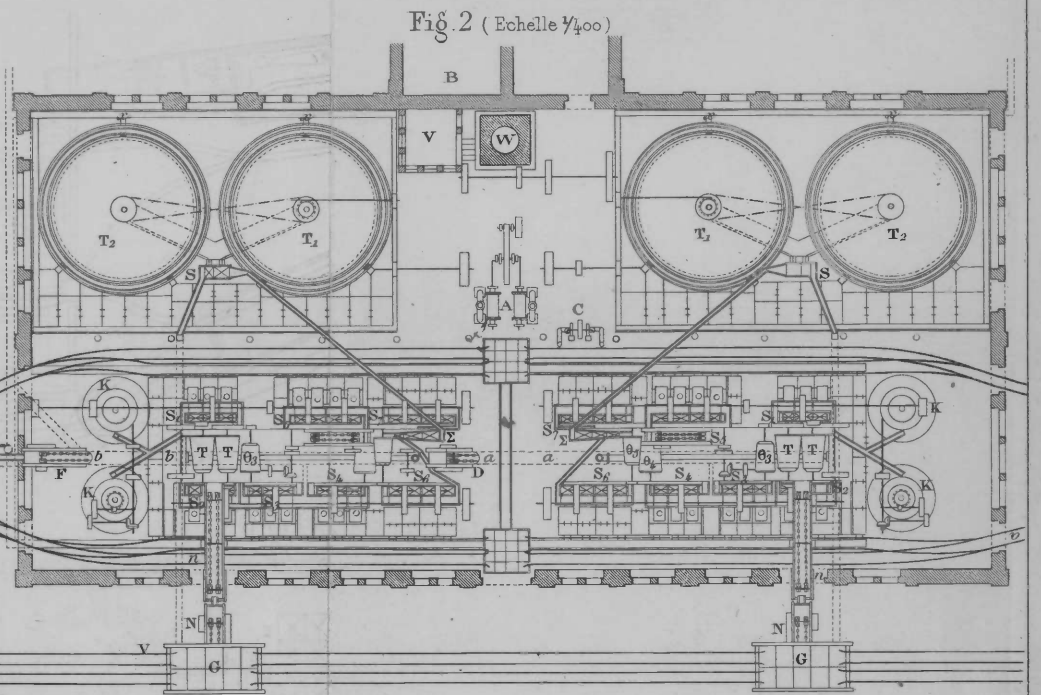
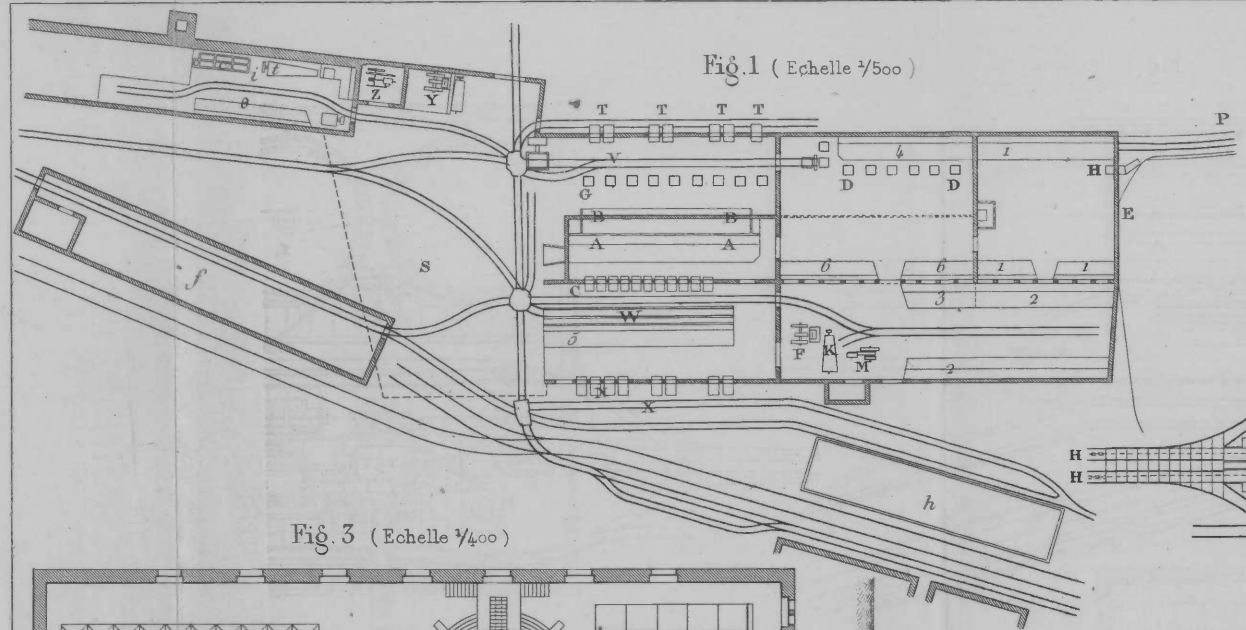


Fig. 4 (Echelle 1/400)

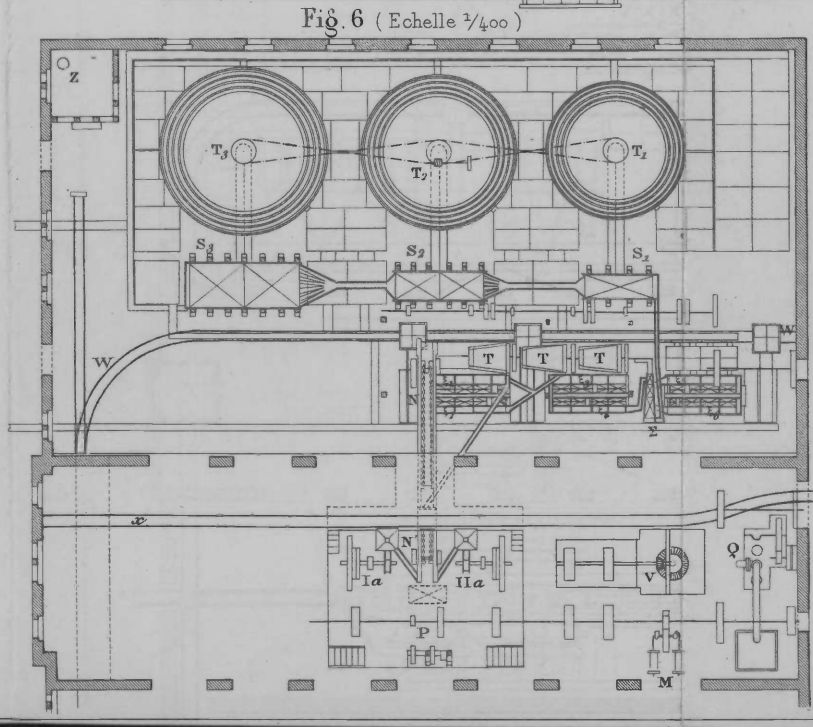


Fig. 5 (Echelle 1/400)

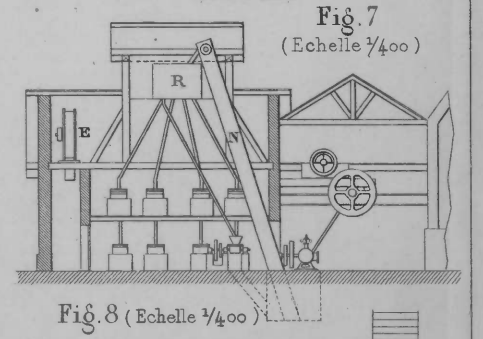
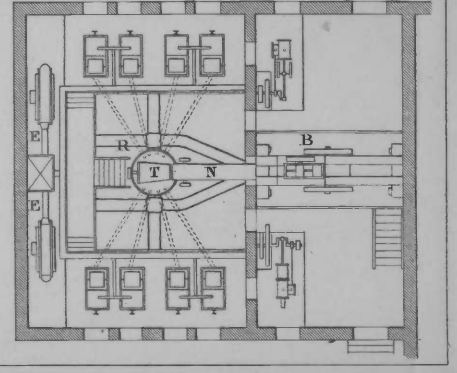


Fig. 8 (Echelle 1/400)





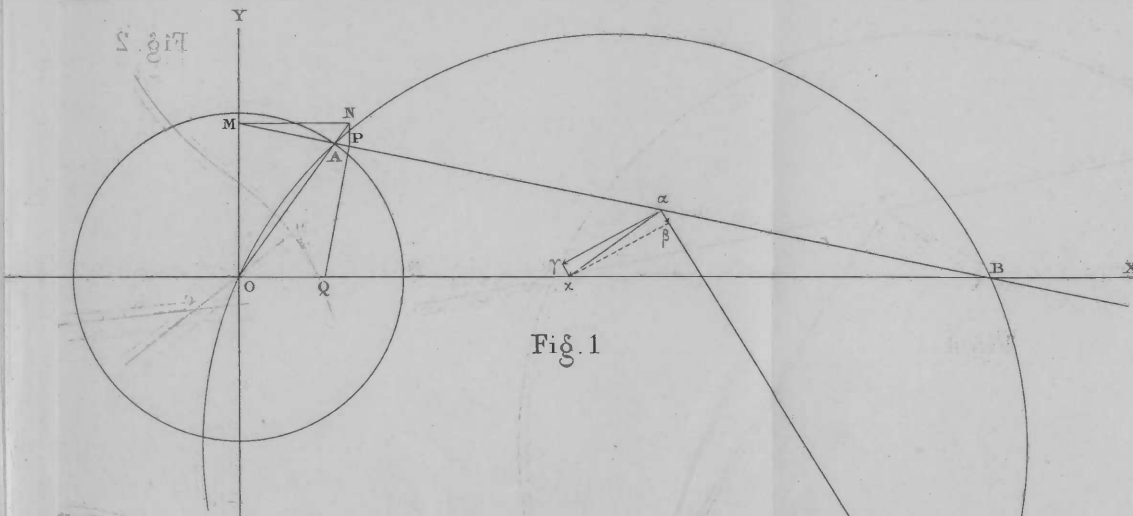


Fig. 1

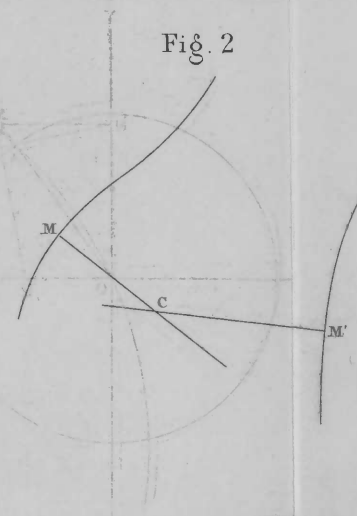


Fig. 2

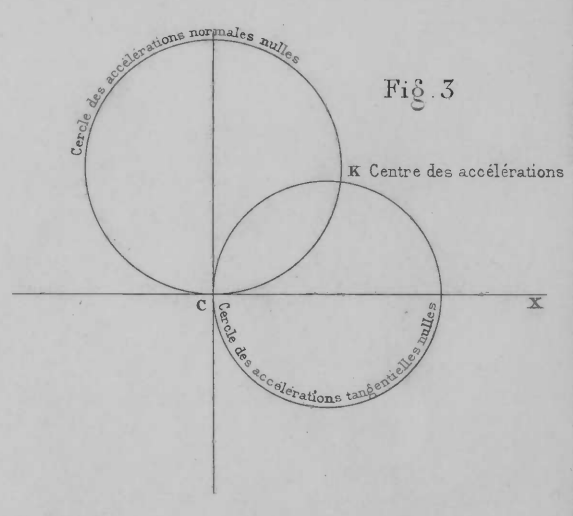


Fig. 3

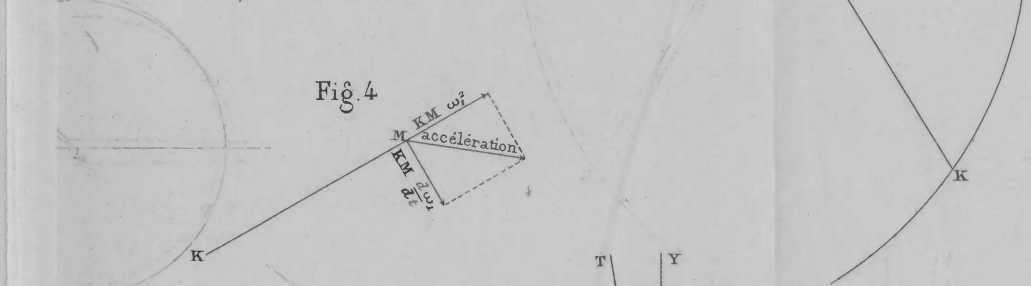


Fig. 4

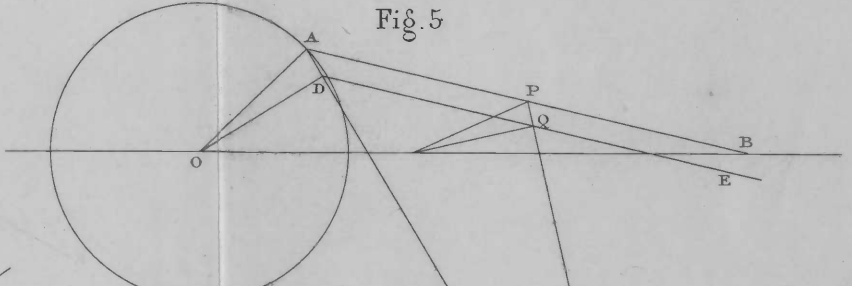


Fig. 5

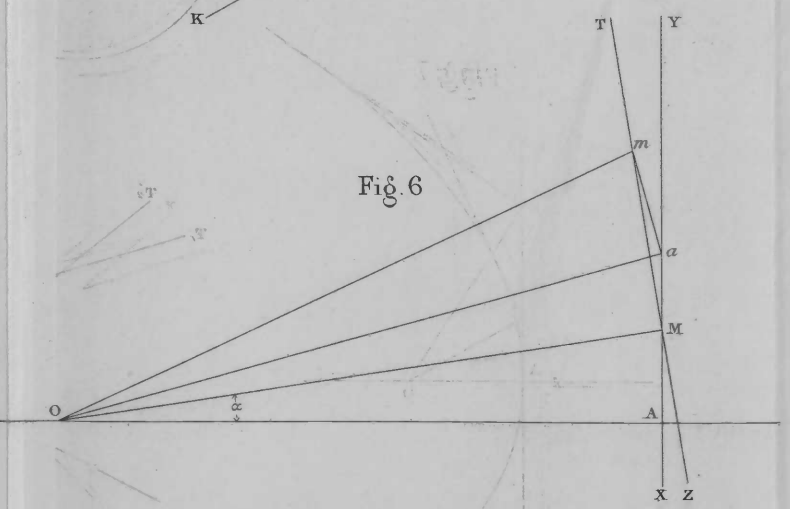


Fig. 6

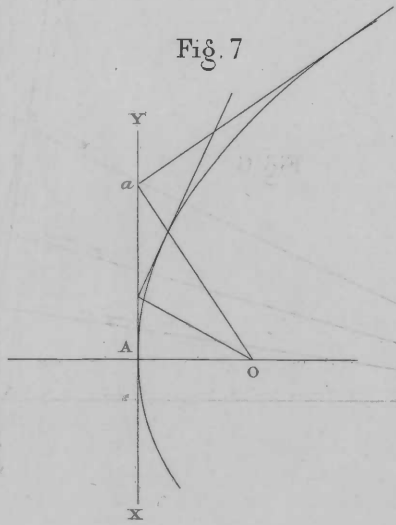


Fig. 7

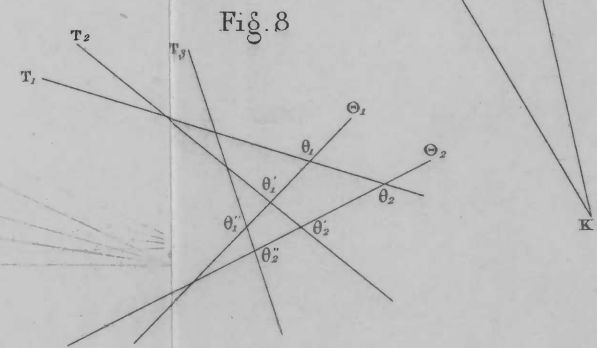


Fig. 8

Fig. 1

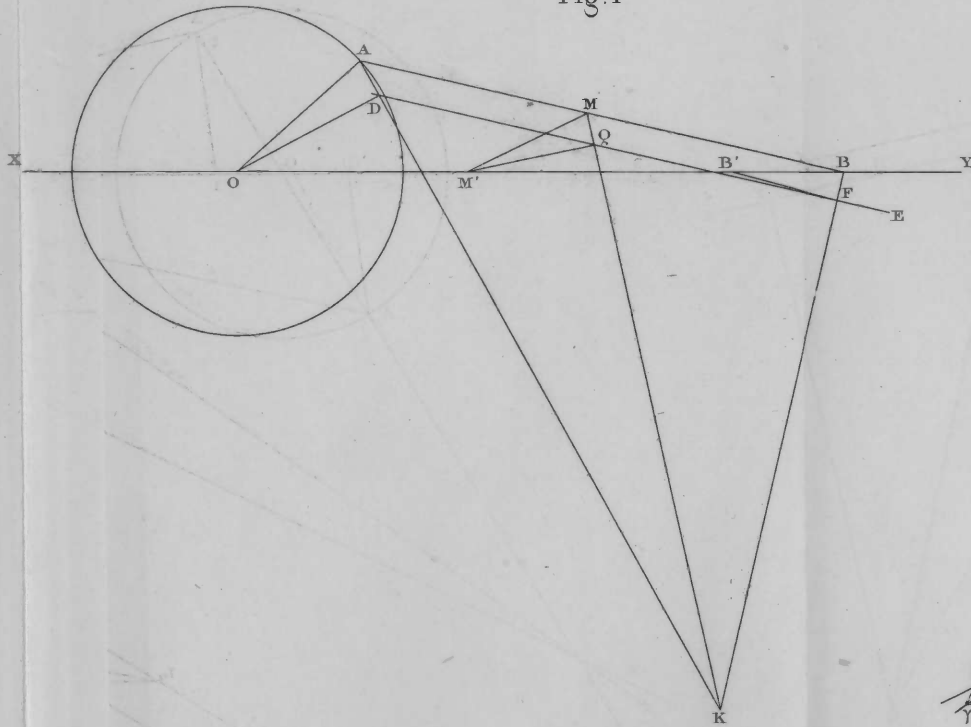


Fig. 2

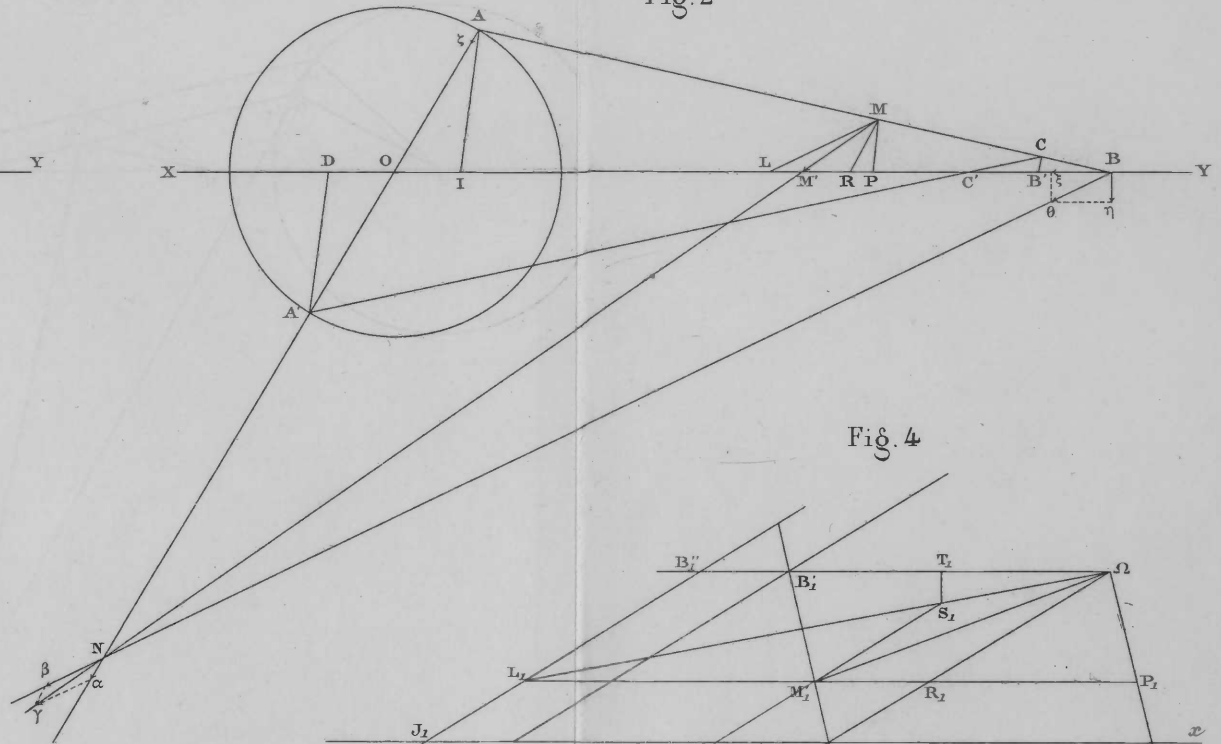


Fig. 4

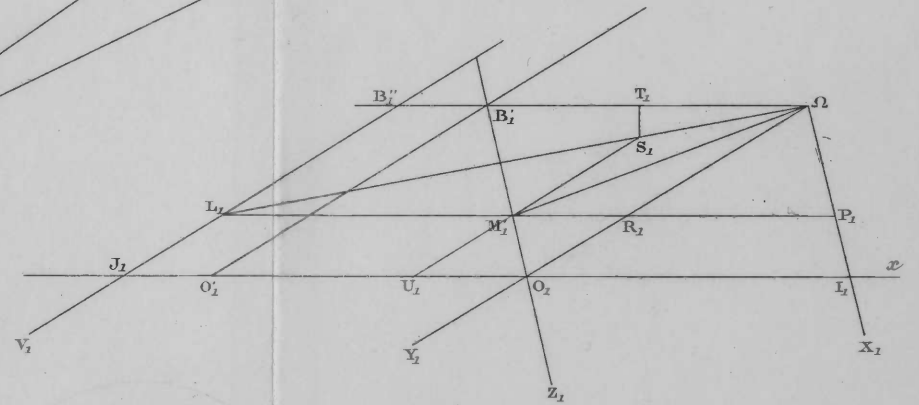


Fig. 3

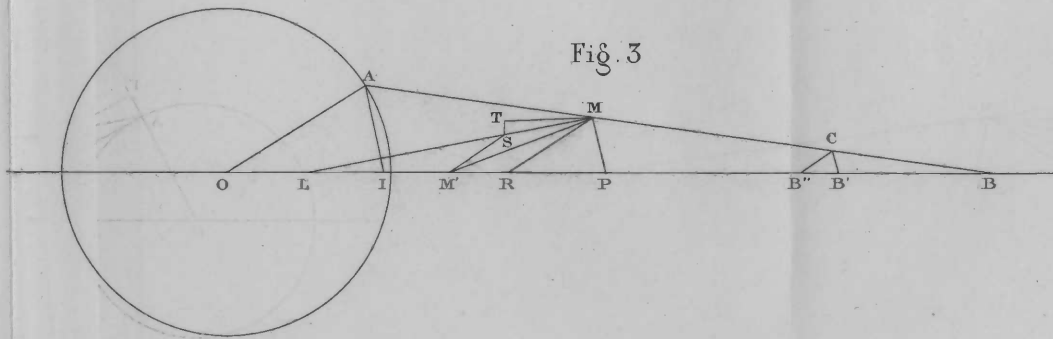
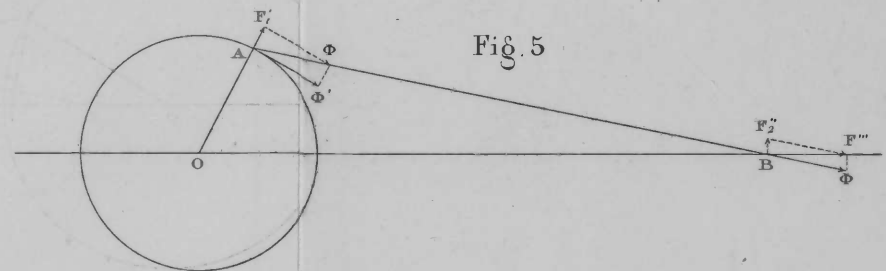


Fig. 5





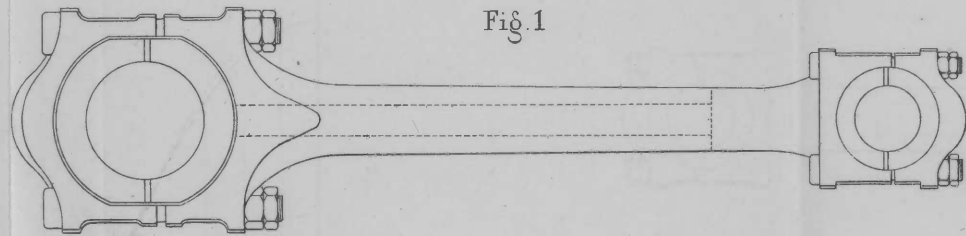


Fig. 1

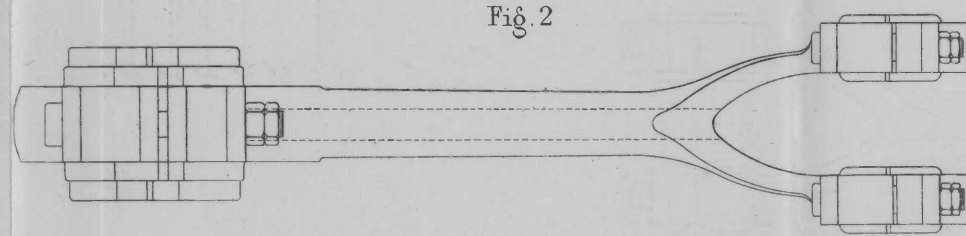


Fig. 2

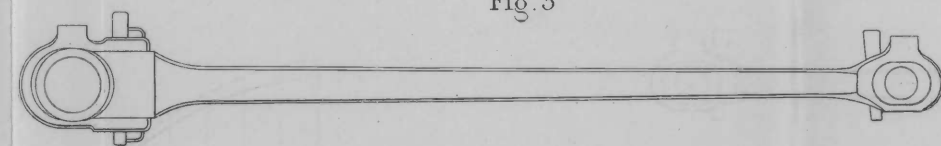


Fig. 3

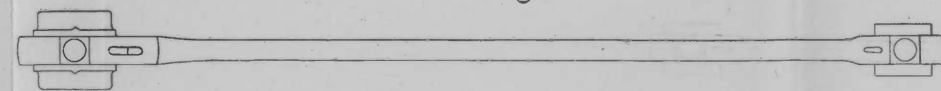
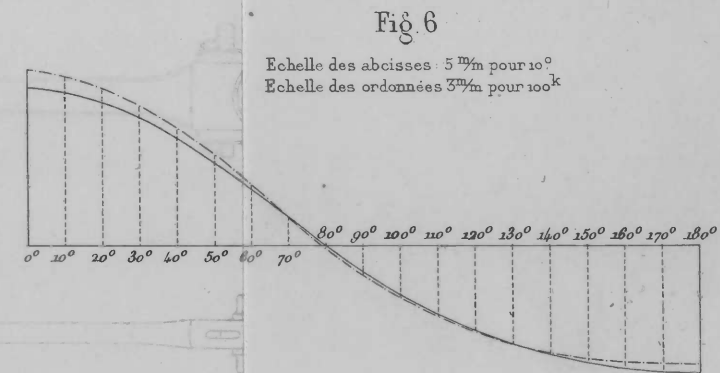
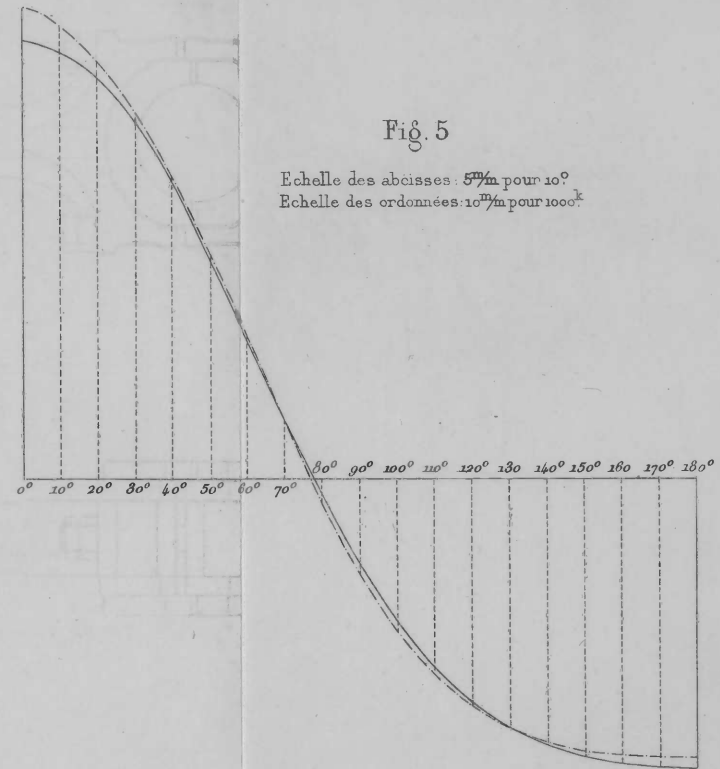
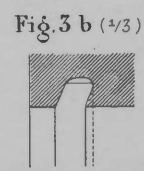
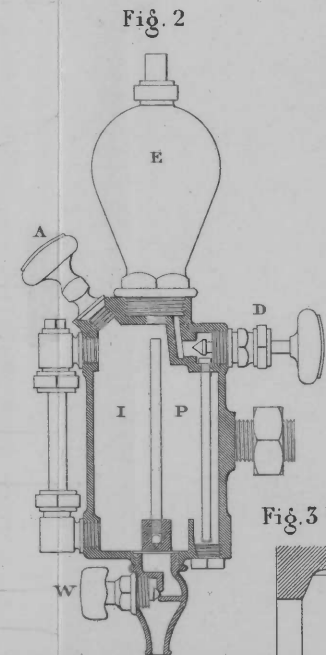
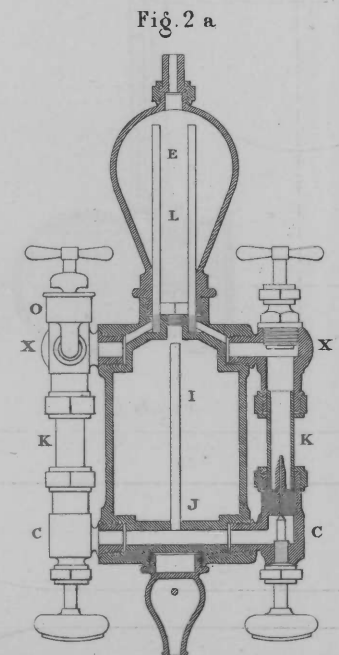
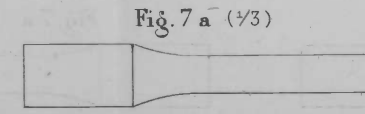
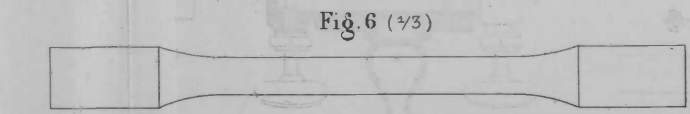
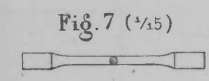
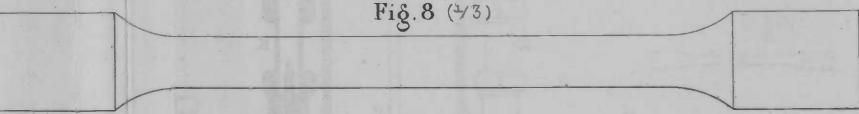
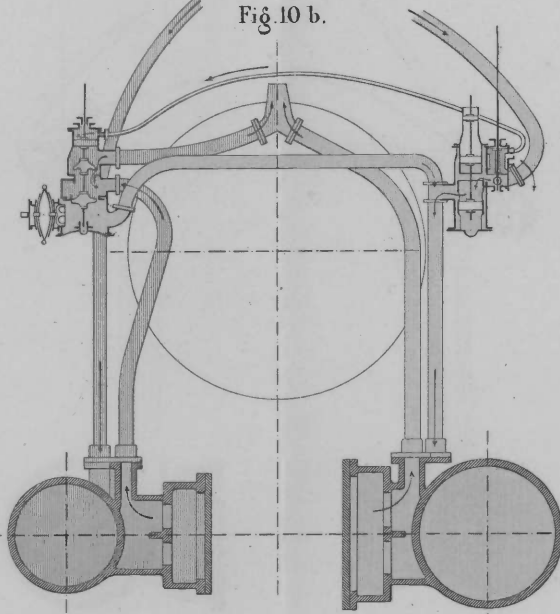
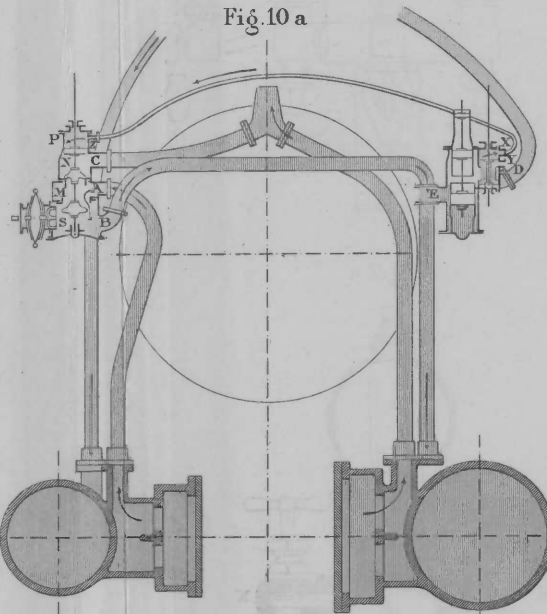
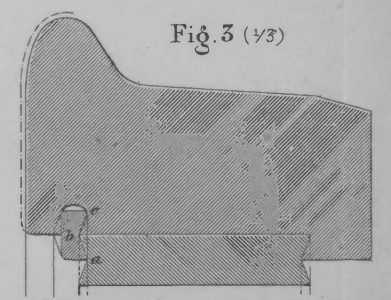
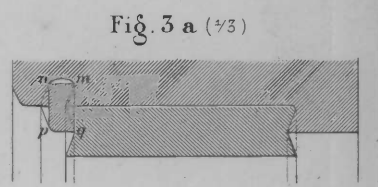
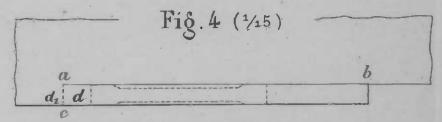
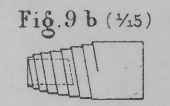
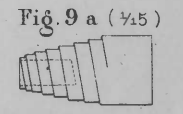
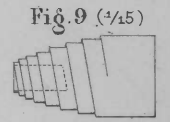
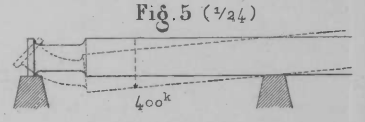
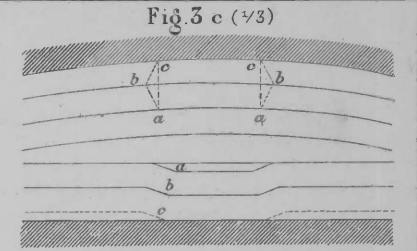
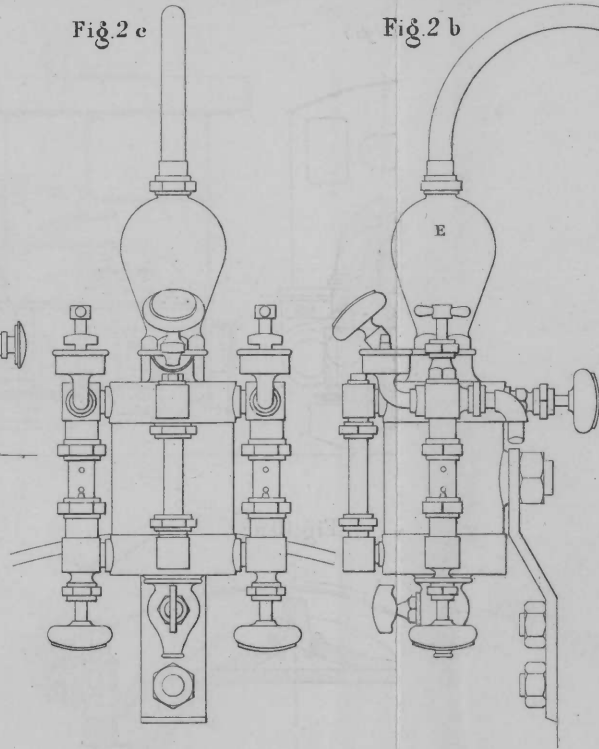
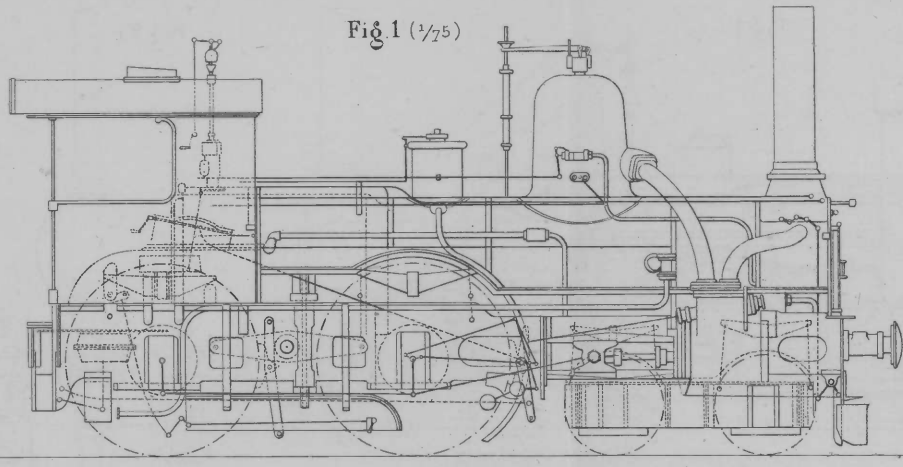
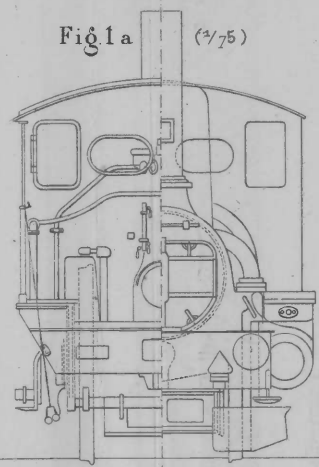
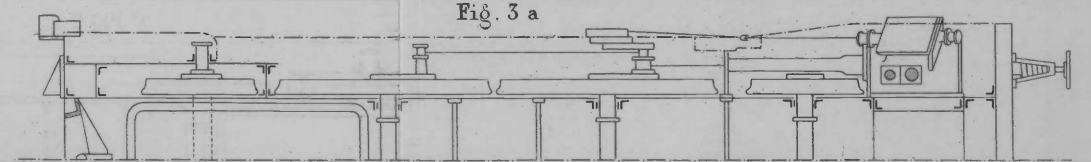
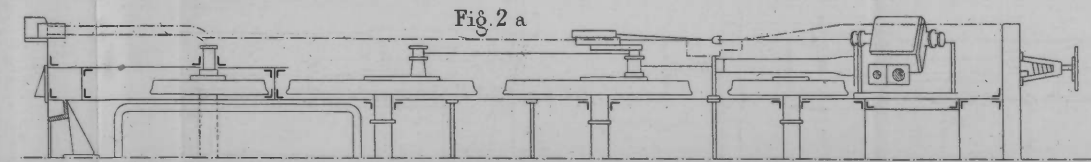
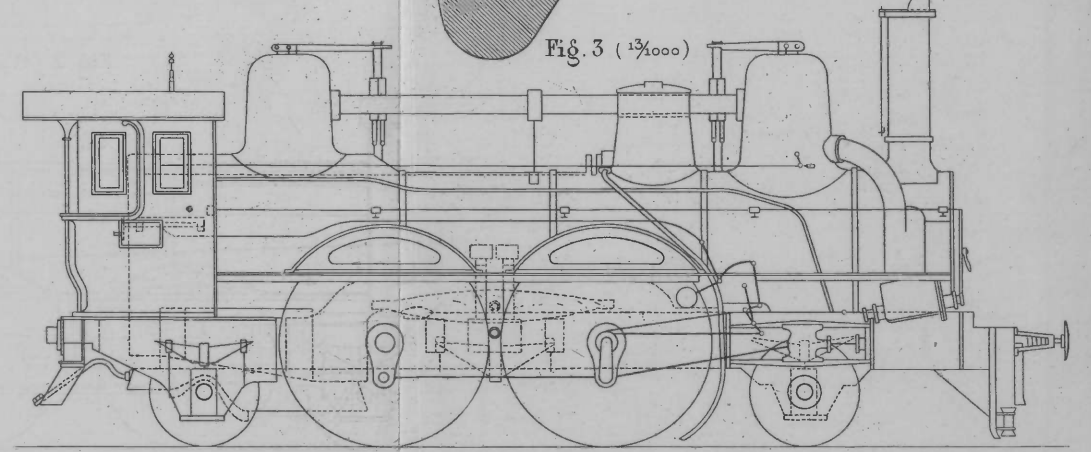
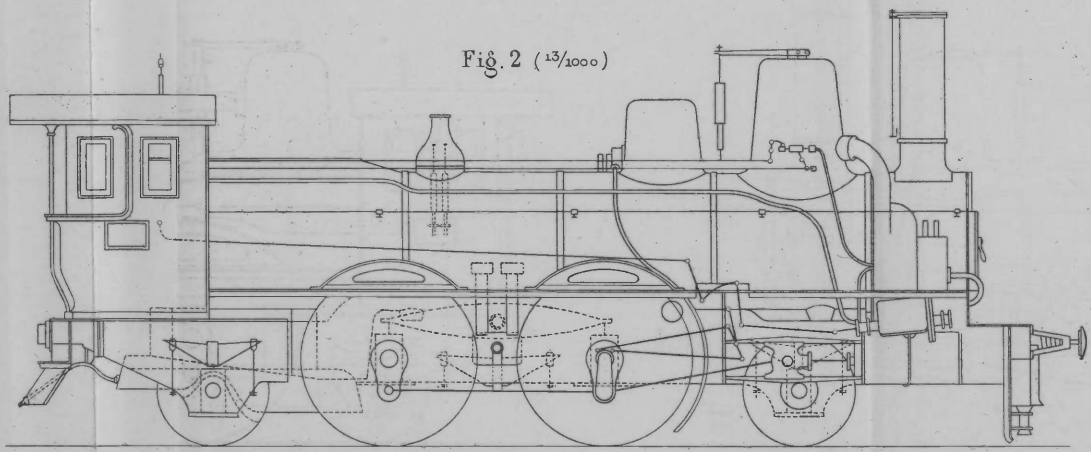
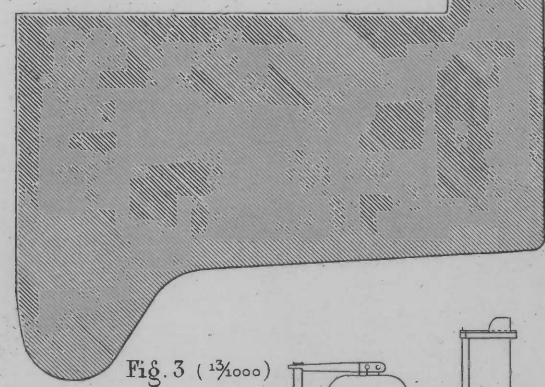
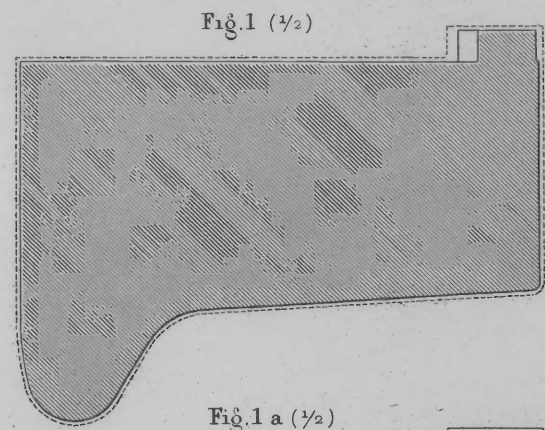
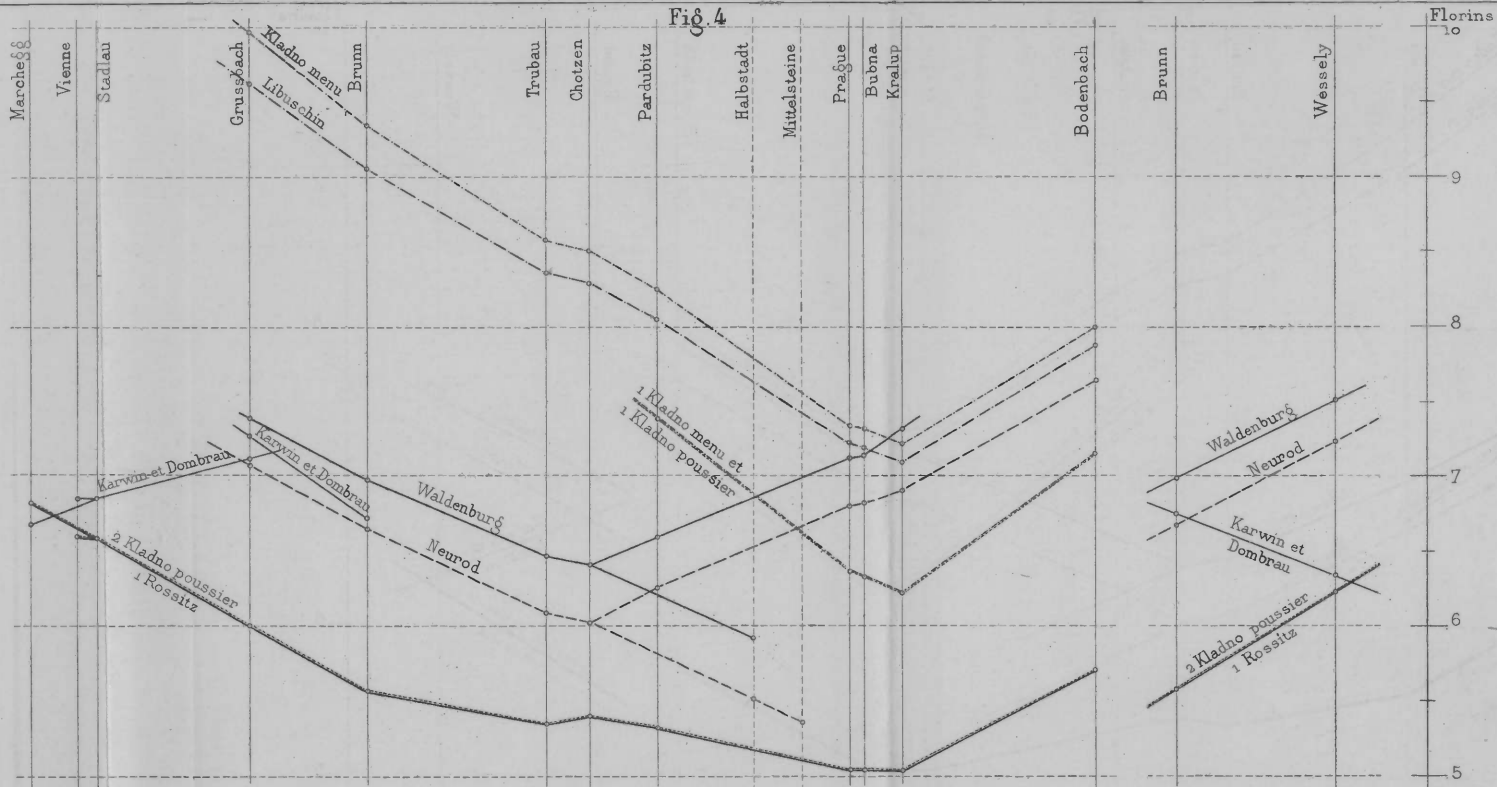


Fig. 4









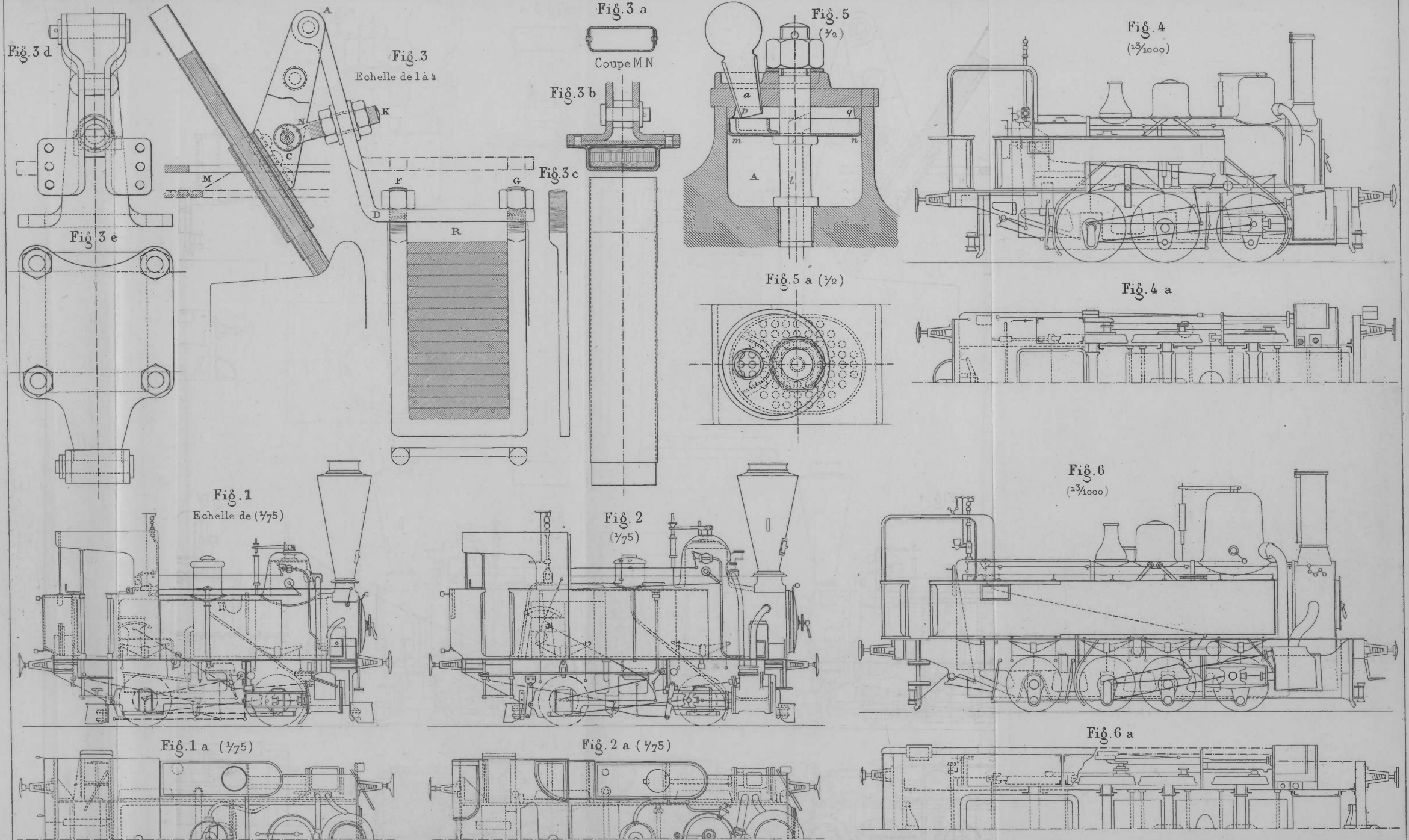




Fig.1  
Echelle (1<sup>3</sup>/1000)

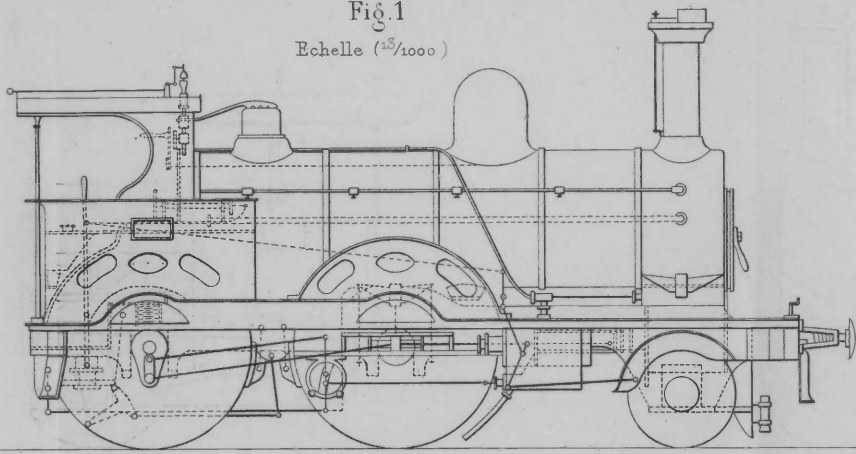


Fig. 1 a

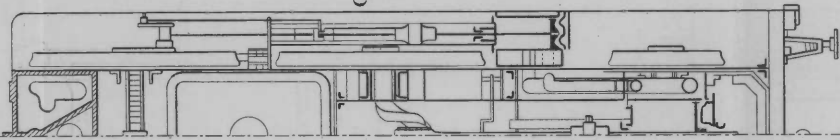


Fig.2  
Echelle (1<sup>3</sup>/1000)

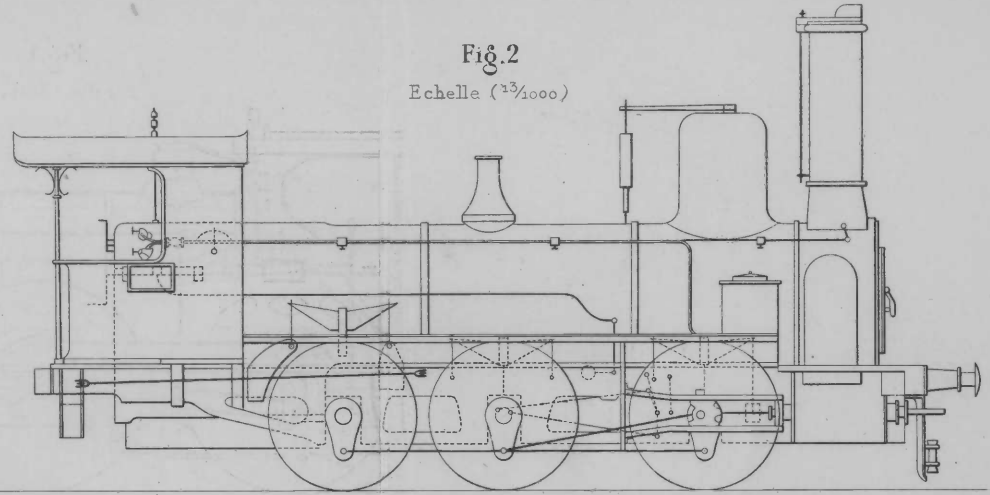


Fig. 2 a

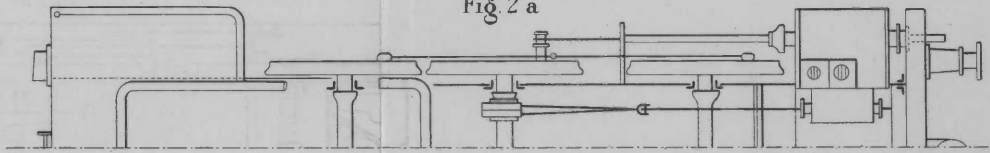


Fig.3  
Echelle (1<sup>3</sup>/1000)

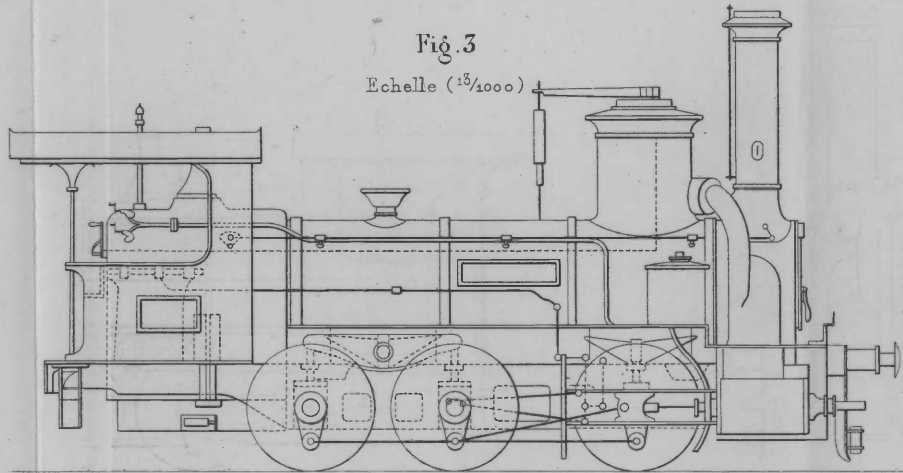


Fig. 3 a

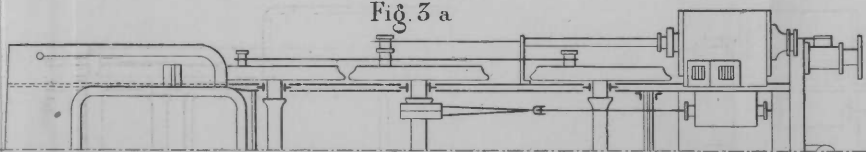


Fig.4  
Echelle (1<sup>3</sup>/1000)

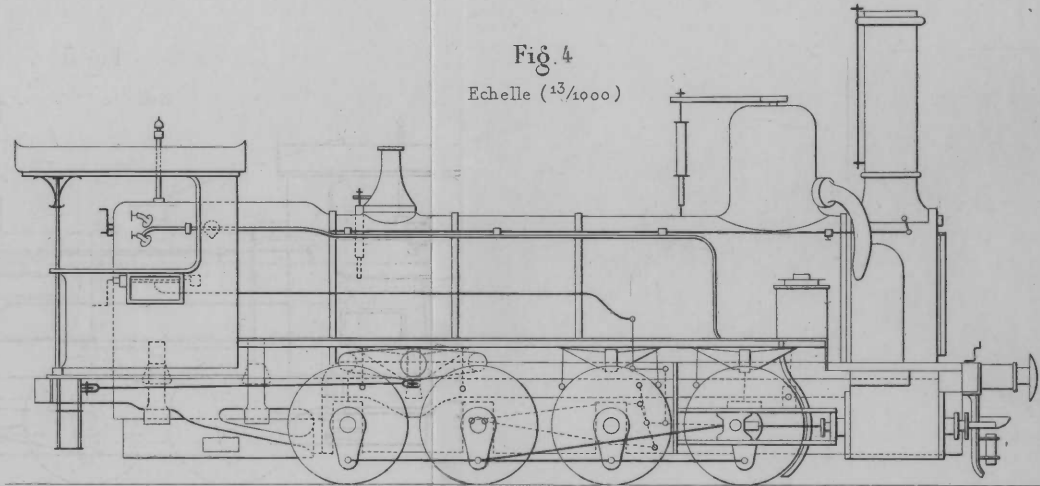
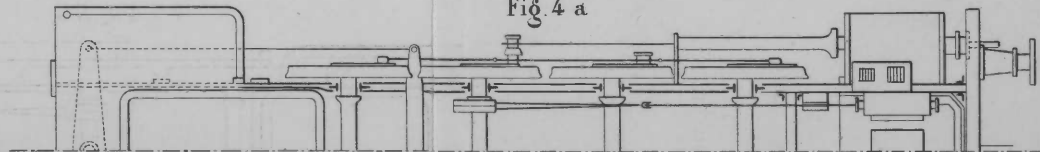
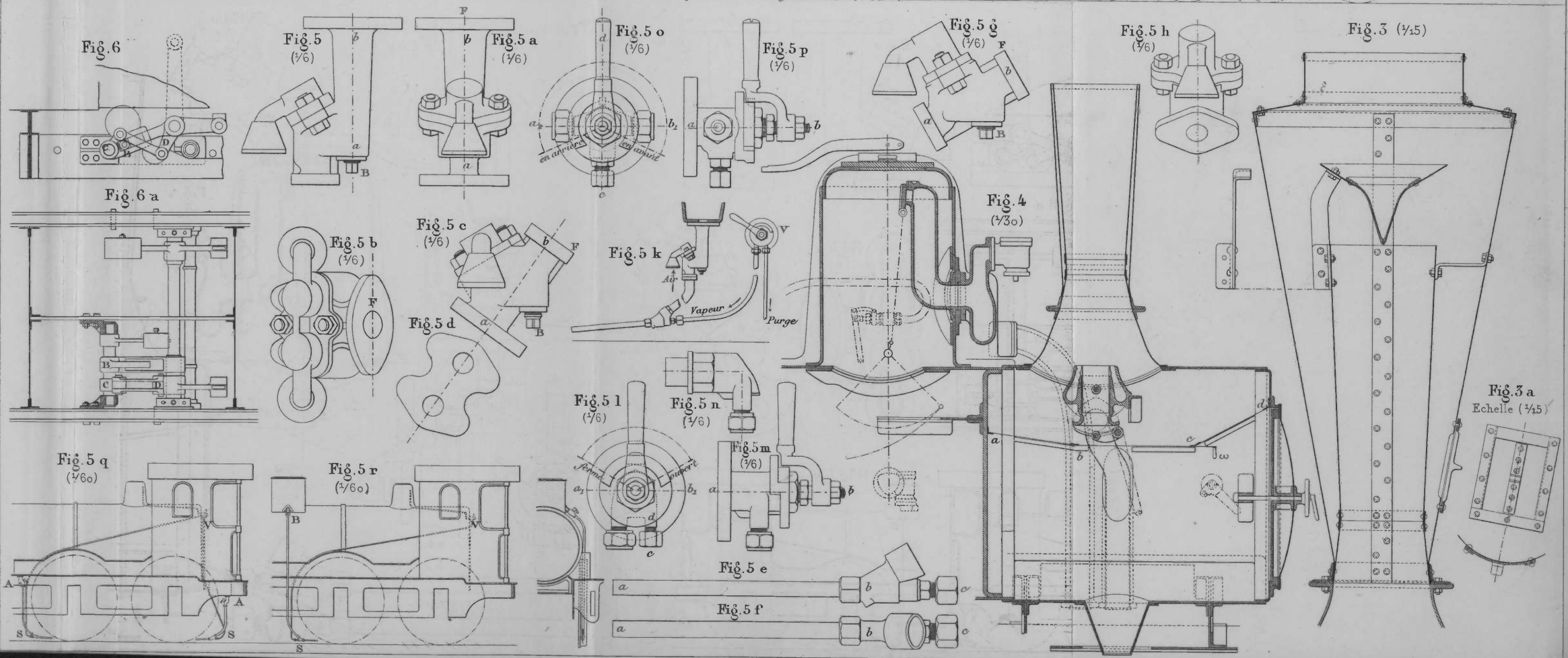
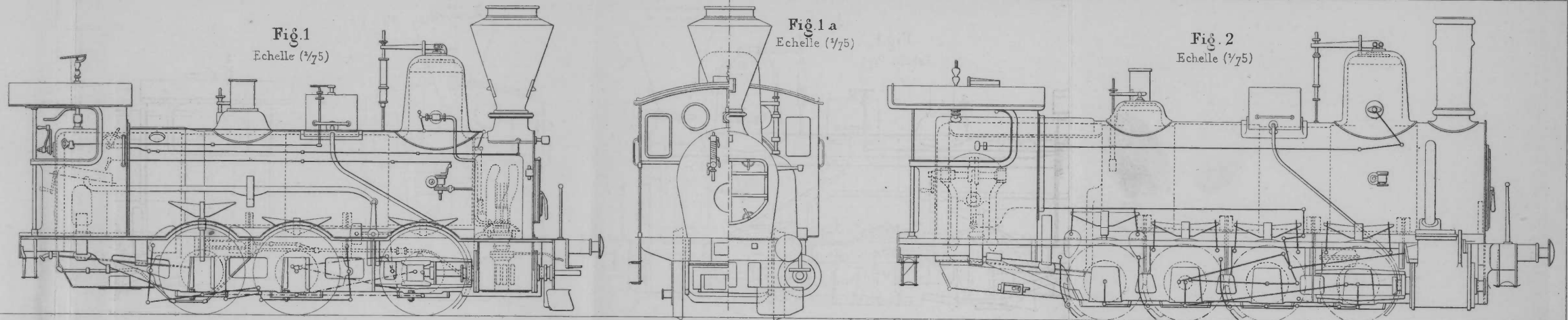


Fig. 4 a







EXPLOSION DE GRISOU  
du 3 Juillet 1889  
au Puits Verpillieux.

Fig. 1. Plan des travaux  
Echelle de 7500

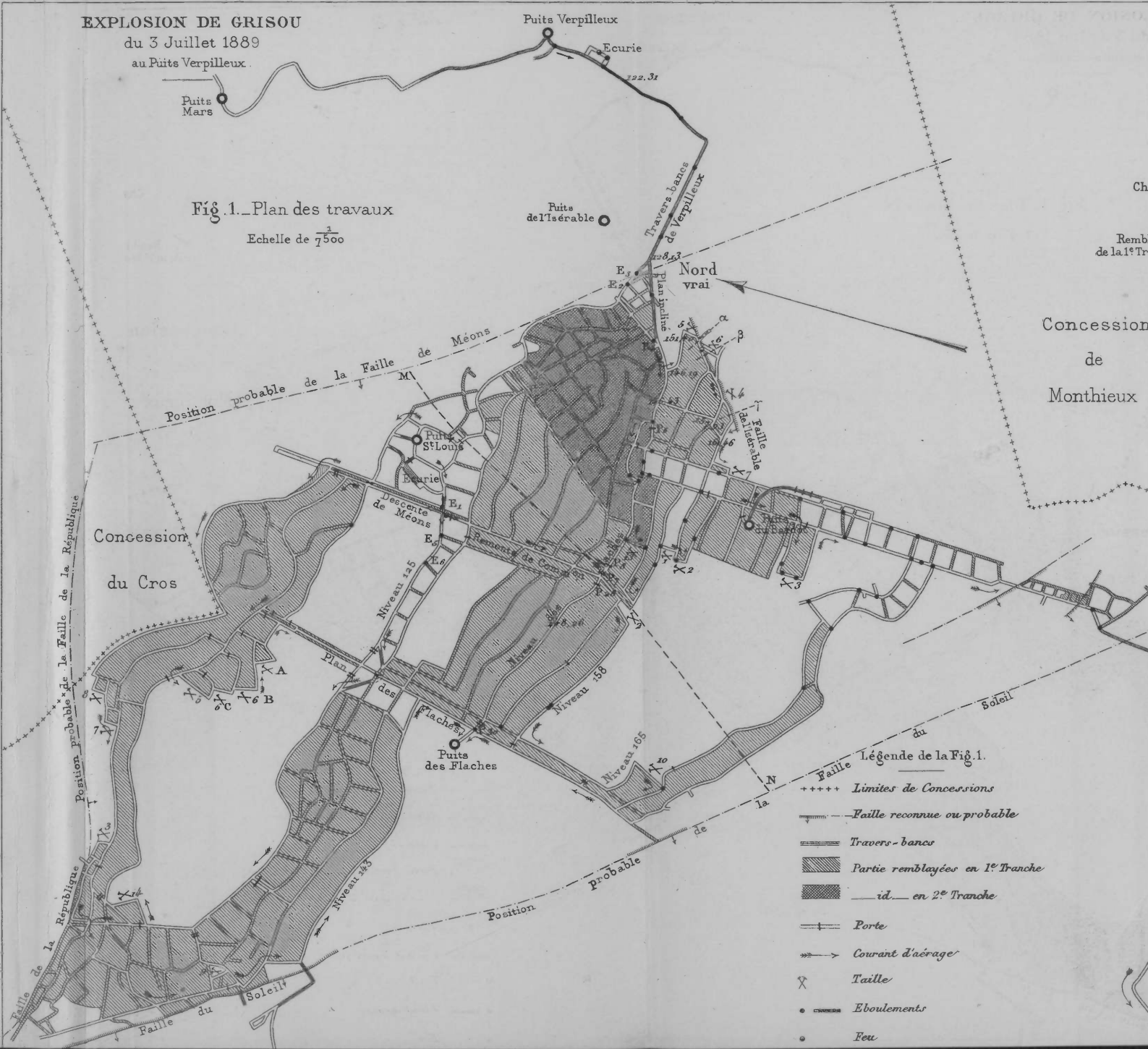


Fig. 2 à 4. Coupes normales  
à la Faille de l'Isérable

Fig. 2. Coupe α.

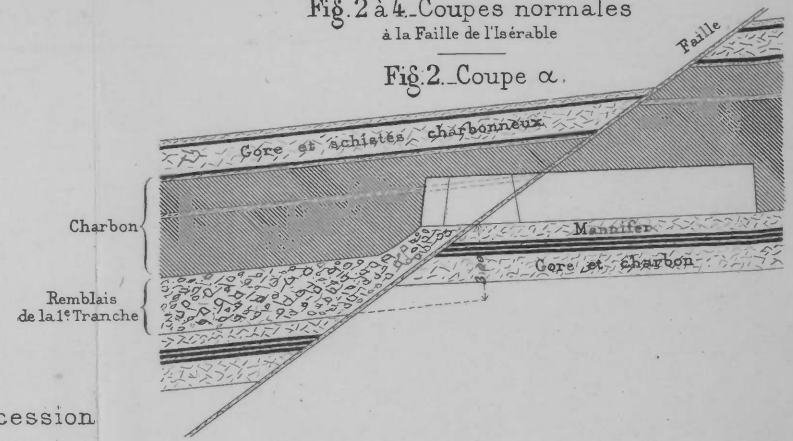


Fig. 3. Coupe β.

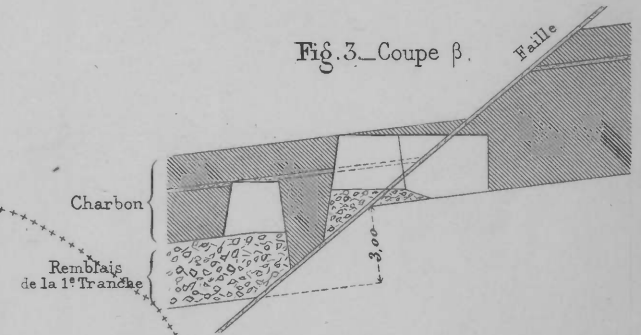
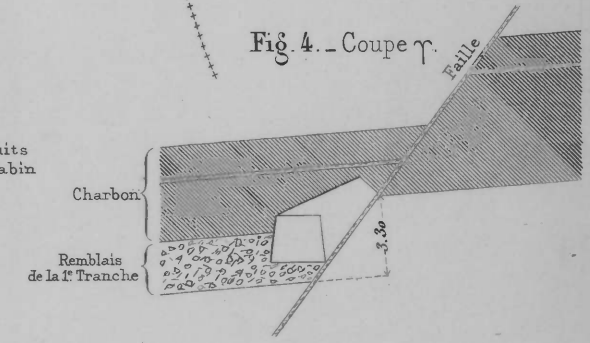


Fig. 4. Coupe γ.



Légende de la Fig. 1.

- +++++ Faille
- +++++ Limites de Concessions
- Faille reconnue ou probable
- ==== Travers-bancs
- ▨ Partie remblayées en 1<sup>re</sup> Tranche
- ▩ id. en 2<sup>e</sup> Tranche
- ||| Porte
- Courant d'aérage
- X Taille
- Eboulements
- Feu

Echelle  
des fig. 2 à 4 = 300

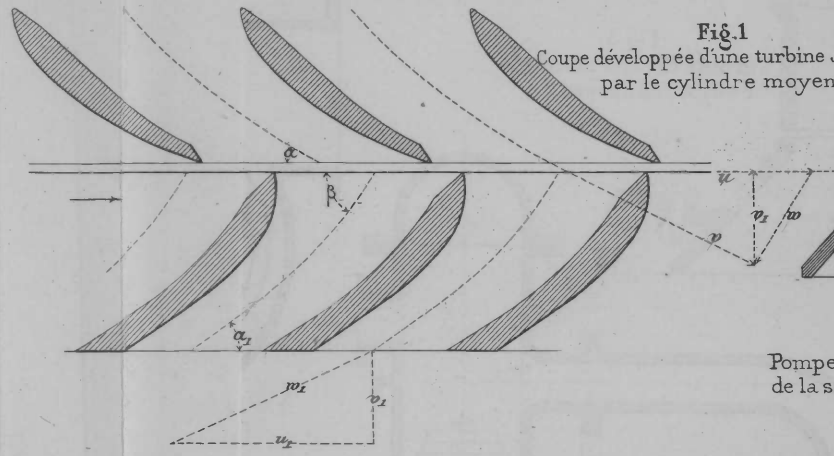


Fig. 1  
Coupe développée d'une turbine Jonval  
par le cylindre moyen

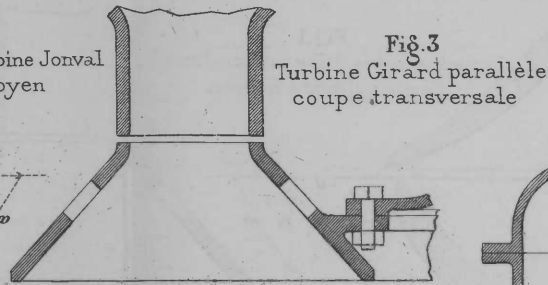


Fig. 3  
Turbine Girard parallèle  
coupe transversale

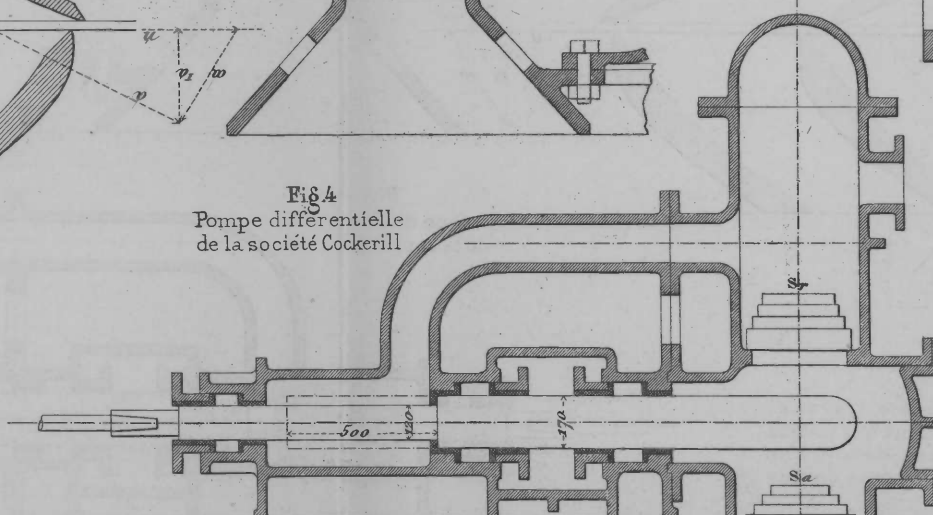


Fig. 4  
Pompe différentielle  
de la société Cockerill

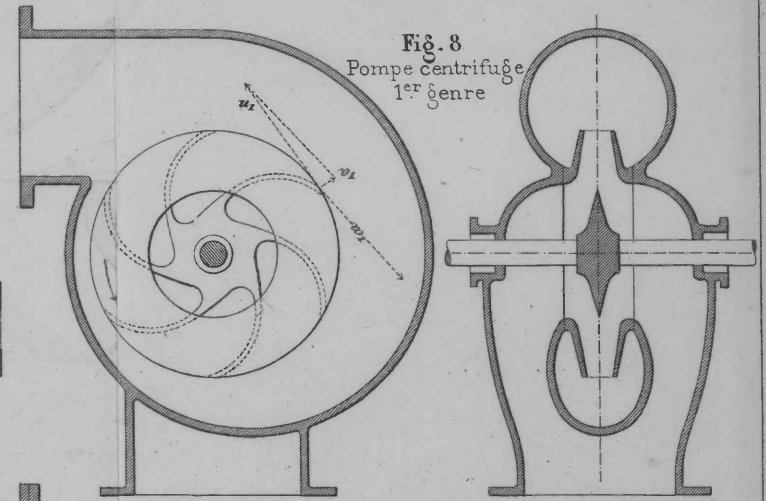


Fig. 8  
Pompe centrifuge  
1er genre

Fig. 2. Diagramme des travaux recueillis et perdus dans une turbine aux diverses vitesses de marche  
E F. Perte due aux frottements dans le distributeur.  
C D. Perte due aux frottements dans la couronne mobile.

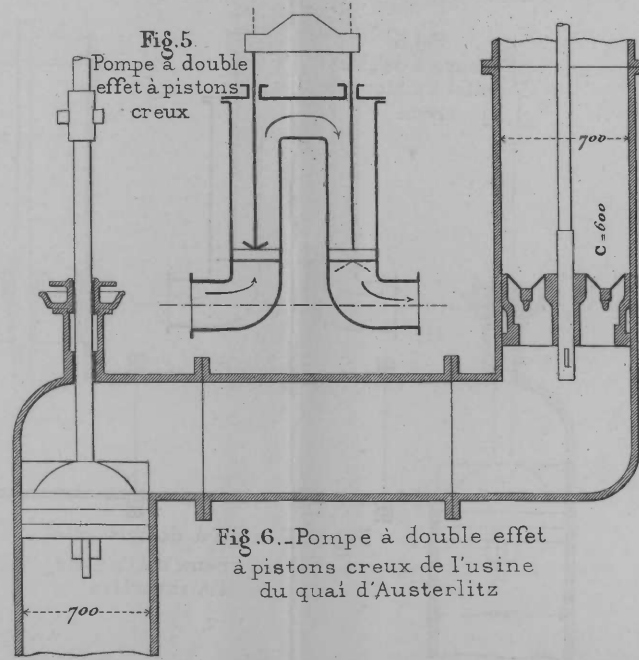
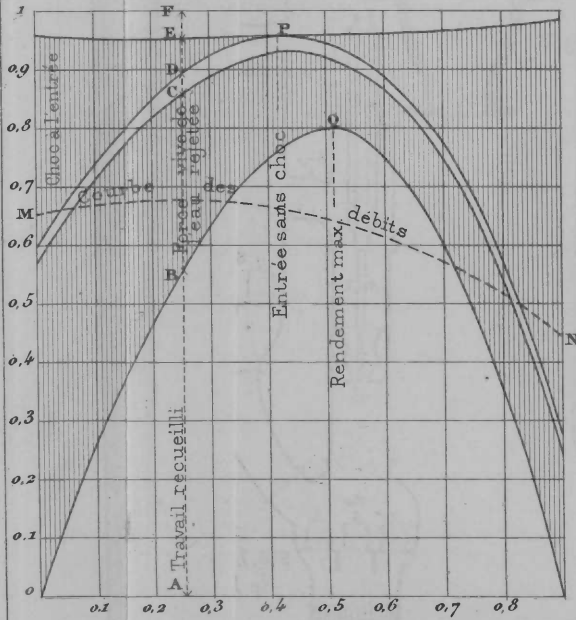


Fig. 5  
Pompe à double  
effet à pistons  
creux

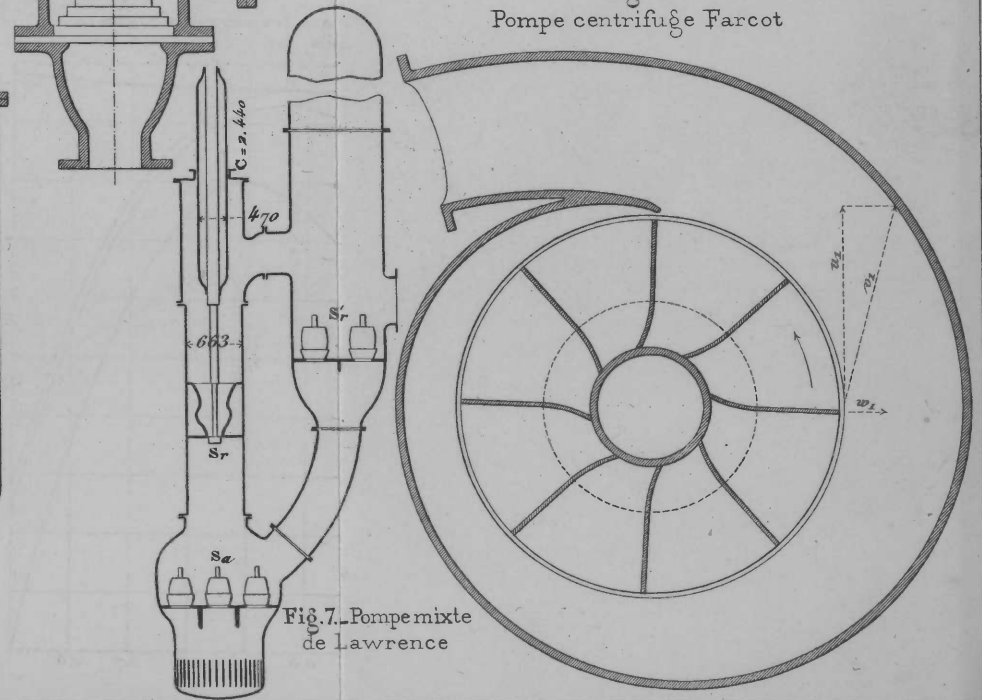


Fig. 6. Pompe à double effet à pistons creux de l'usine du quai d'Austerlitz

Fig. 7. Pompe mixte de Lawrence



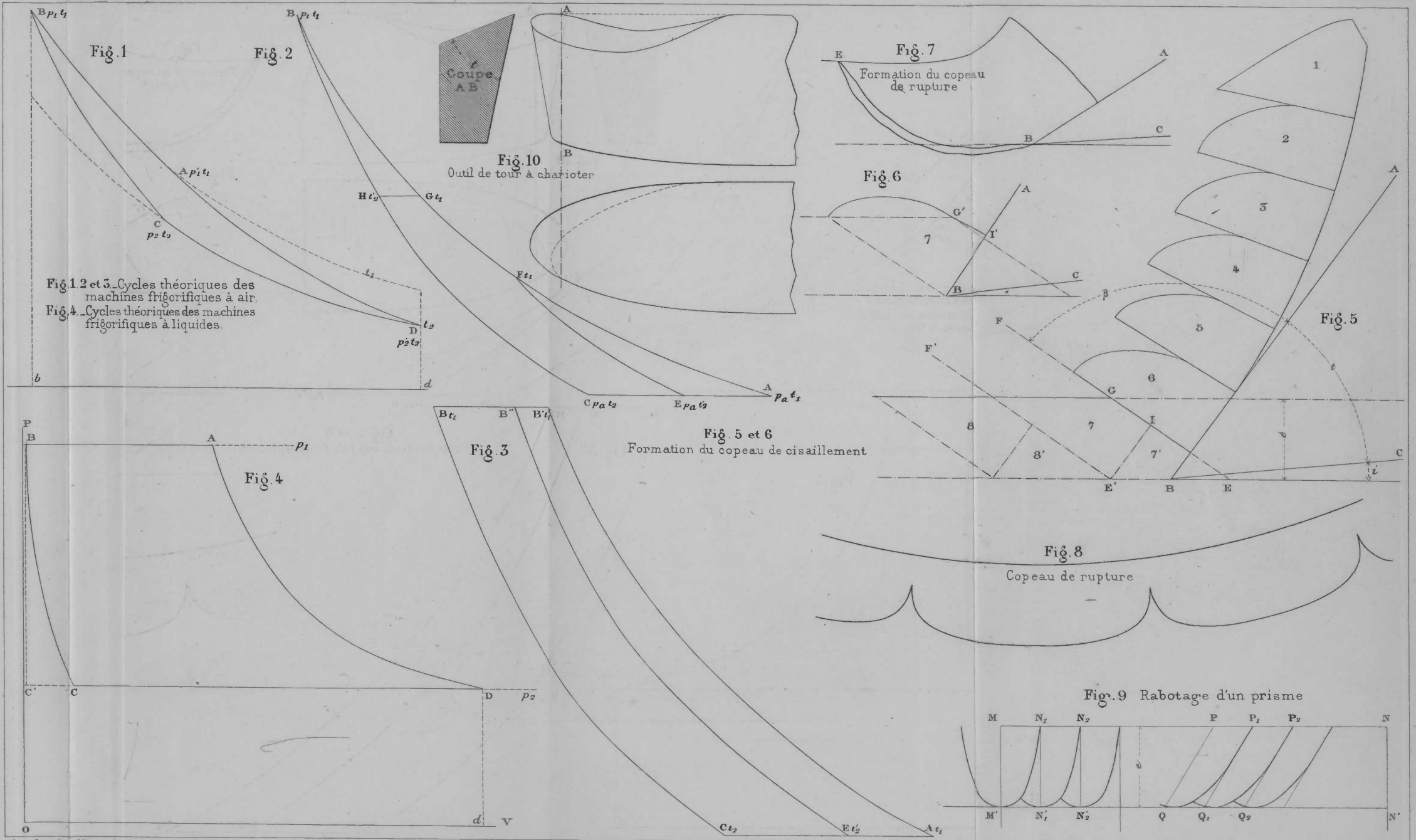


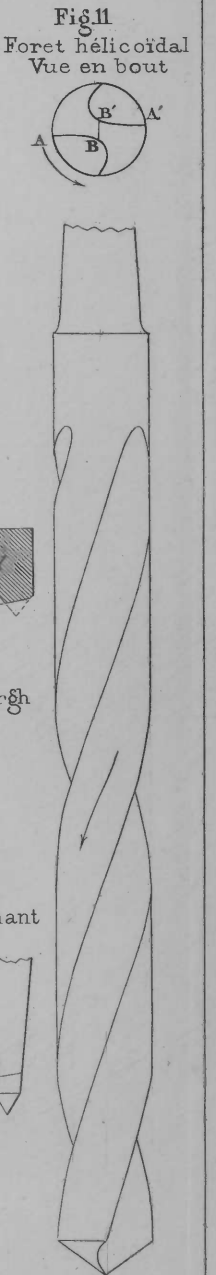
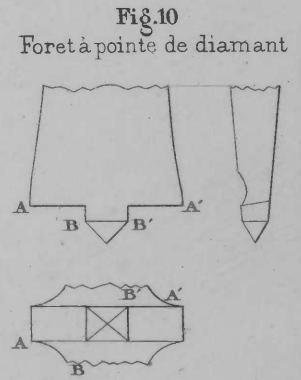
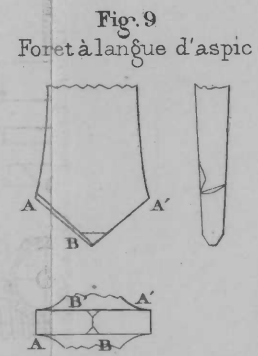
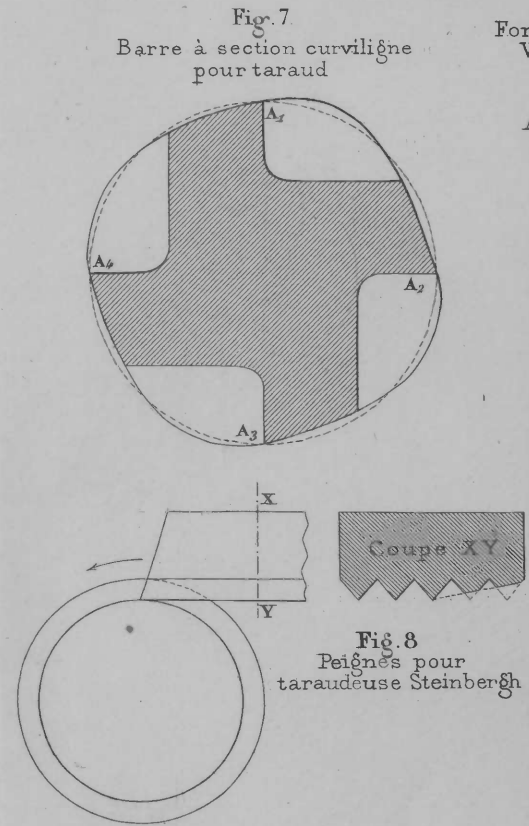
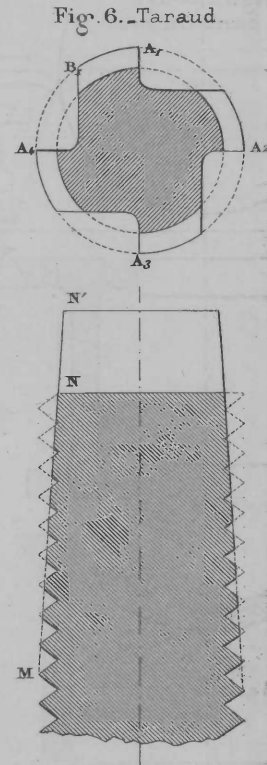
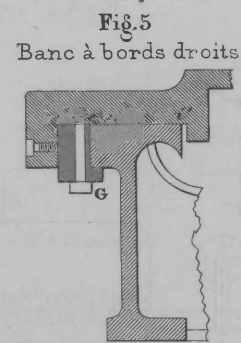
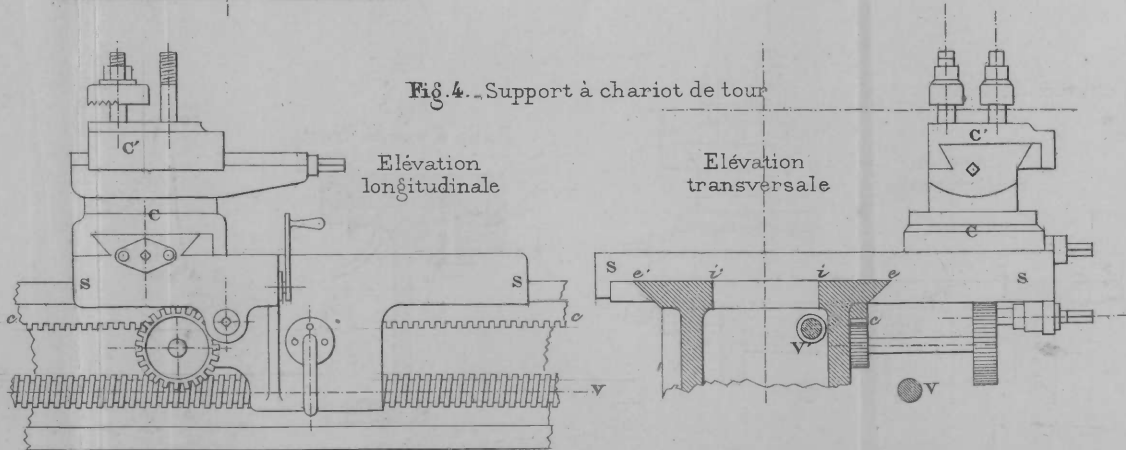
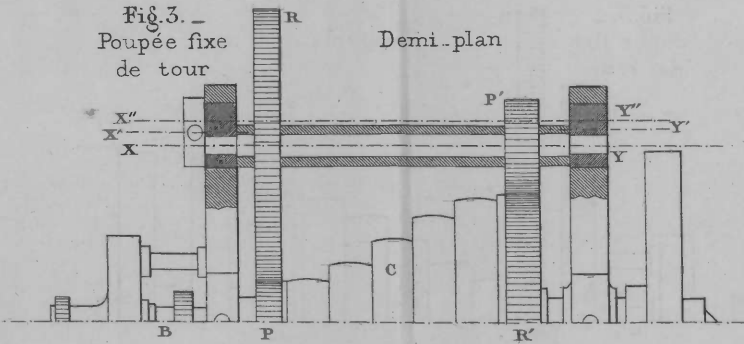
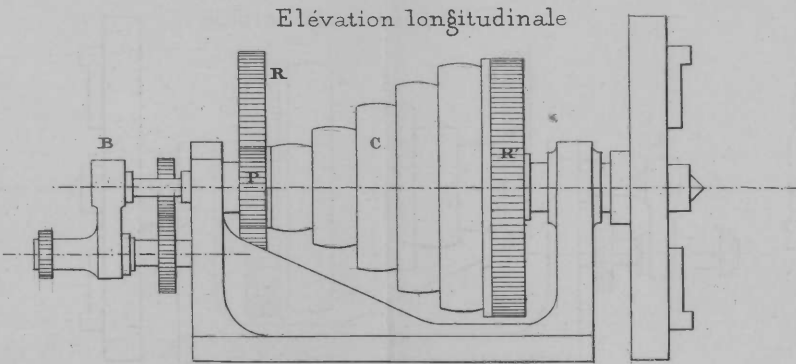
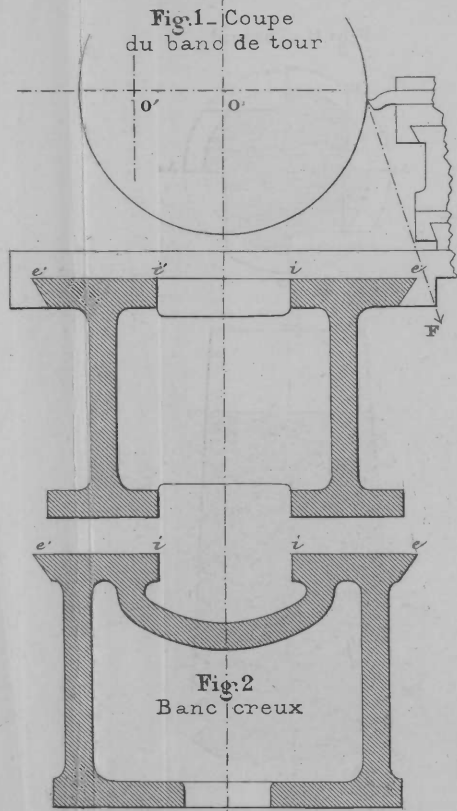
Fig. 1 et 2. Cycles théoriques des machines frigorifiques à air.  
Fig. 3. Cycles théoriques des machines frigorifiques à liquides.

Fig. 5 et 6. Formation du copeau de cisaillement.

Fig. 7. Formation du copeau de rupture.

Fig. 8. Copeau de rupture.

Fig. 9. Rabotage d'un prisme.





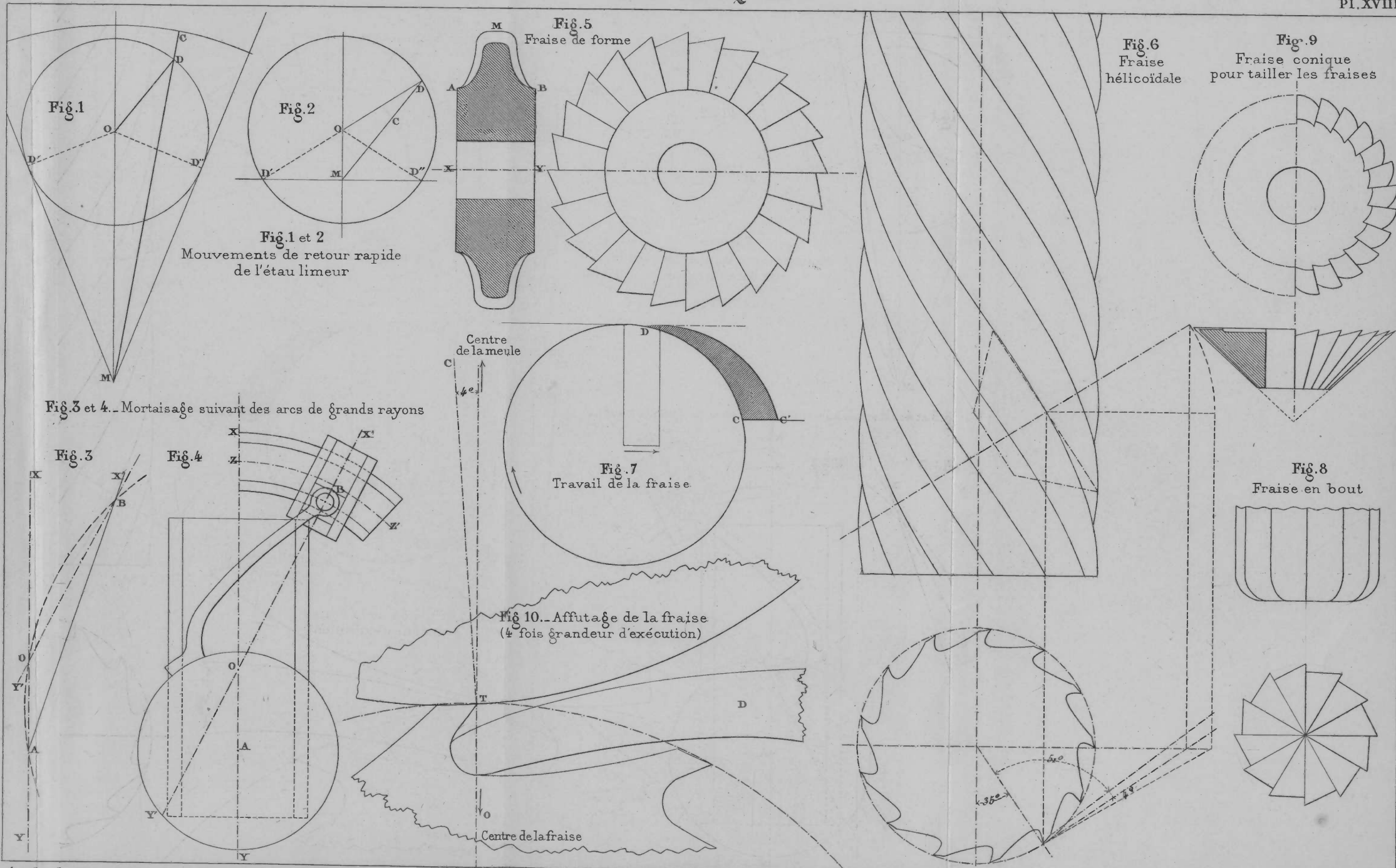


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 1 et 2  
Mouvements de retour rapide  
de l'étau limeur

Fig. 5  
Fraise de forme

Fig. 6  
Fraise  
hélicoïdale

Fig. 9  
Fraise conique  
pour tailler les fraises

Fig. 3 et 4. Mortaisage suivant des arcs de grands rayons

Fig. 3

Fig. 4

Fig. 7  
Travail de la fraise

Fig. 8  
Fraise en bout

Fig. 10. Affûtage de la fraise  
(4 fois grandeur d'exécution)

Centre de la meule

Centre de la fraise

